

University of Groningen

Schade door röntgen- en radiumstraling. Een hoofdstuk uit de vroege geschiedenis van de radiologie, 1896-1939.

Fokkema, Roelof Egbert

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

1993

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Fokkema, R. E. (1993). *Schade door röntgen- en radiumstraling. Een hoofdstuk uit de vroege geschiedenis van de radiologie, 1896-1939.* [S.n.].

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

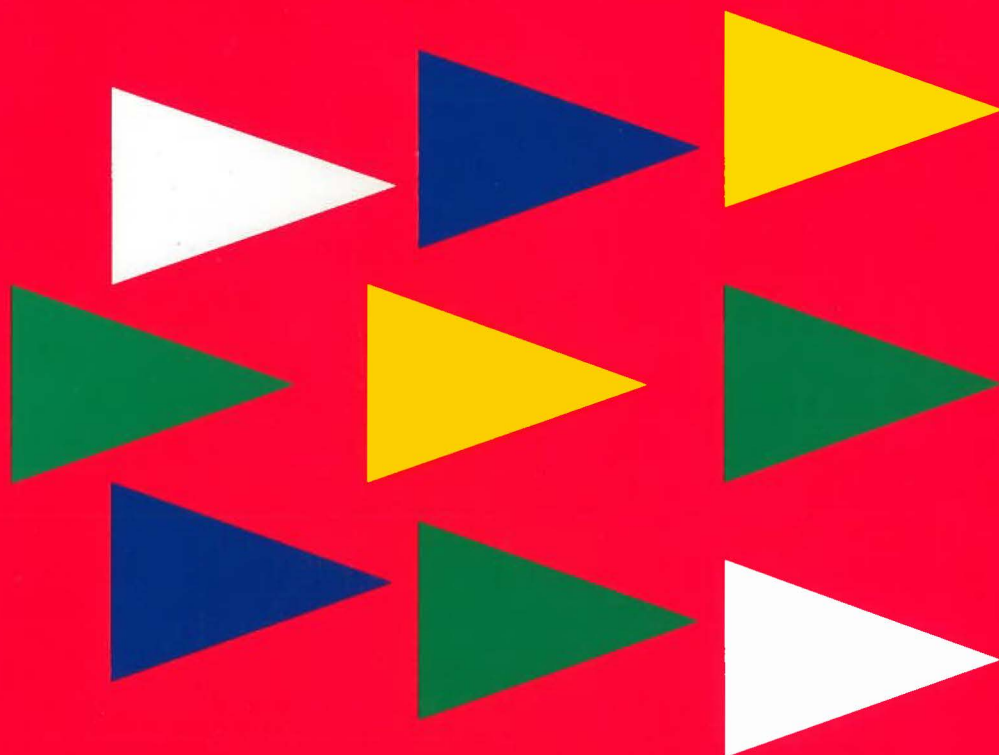
Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

SCHADE DOOR RÖNTGEN- EN RADIUMSTRALING

Een hoofdstuk uit de vroege geschiedenis
van de radiologie, 1896-1939



R.E. Fokkema

SCHADE DOOR RÖNTGEN- EN RADIUMSTRALING

Een hoofdstuk uit de vroege geschiedenis van de radiologie,
1896-1939

Stellingen.

1. De ontwikkeling van de radiologie tot een algemeen erkend medisch specialisme past goed in het 'market model' voor het ontstaan van een medisch specialisme van Gritzer en Arluke uit 1985.
2. De Eerste Wereldoorlog was van beslissende invloed op de ontwikkeling van de radiologie tot een algemeen erkend medisch specialisme.
3. Een van de gevolgen van de Eerste Wereldoorlog voor de radiologie was, dat na beëindiging van de oorlog een groot aantal ondeskundige röntgenartsen ging praktizeren.
4. De ontwikkeling van de intensieve bestralingsmethoden in Duitsland in de jaren 1915-1916 was mede een gevolg van de Duitse politiek-economische situatie van dat moment.
5. De boycot, na de Eerste Wereldoorlog, van de Duitse wetenschap door de onderzoekers uit de geallieerde landen, is, tenminste in de radiologie, geenszins volledig geweest.
6. Het angiografisch onderzoek is zowel diagnostisch als therapeutisch van grote waarde bij patiënten met iatrogene gastro-intestinale bloedingen.
7. Bij onderzoek naar vroege en late effecten van bestraling in weefsel, is bestudering van de capaciteit der bloedvoorziening ter plaatse van belang.
8. Nuclear Magnetic Resonance biedt de mogelijkheid om in vivo dosimetrie toe te passen.
9. De stad Antwerpen, die drie universiteiten huisvest, kan, althans in de Groningse zin van het woord, geen studentenstad worden genoemd.
10. Het schrijven van een proefschrift dient menigmaal eerder het persoonlijk belang van de auteur, dan het algemeen belang.
11. In de ruitersport zijn de ambities van de ruiter vaak af te lezen aan de mate van nervositeit van het paard, waarbij er een recht evenredig verband lijkt te bestaan.

RIJKSUNIVERSITEIT GRONINGEN

SCHADE DOOR RÖNTGEN- EN RADIUMSTRALING.

Een hoofdstuk uit de vroege geschiedenis van de radiologie, 1896-1939.

Proefschrift

**ter verkrijging van het doctoraat in de
Geneeskunde
aan de Rijksuniversiteit Groningen
op gezag van de
Rector Magnificus Dr S. K. Kuipers
in het openbaar te verdedigen op
dinsdag 18 mei 1993
des namiddags te 2.45 uur precies**

door

Roelof Egbert Fokkema

geboren op 21 april 1961

te Sneek

Promotores:

Prof Dr J. Vermeij
Prof Dr K. van Berkel

Promotiecommissie:

Prof Dr G. W. Barendsen
Prof Dr M. J. van Lieburg
Prof Dr C. J. P. Thijn

Aan Laura

VERANTWOORDING.

De geschiedenis van de radiologie bestrijkt nu bijna een gehele eeuw. In deze periode hebben op radiologisch gebied enorme ontwikkelingen plaatsgevonden, die van grote betekenis zijn geweest -en nog steeds zijn- voor de mensheid. Aan deze ontwikkelingen kleefden echter ook enkele nadelen. Eén donkere bladzijde uit de geschiedenis van de radiologie zal in dit werk worden behandeld. Het betreft het optreden van stralenschade bij patiënten en bij degenen, die in de geneeskunde met straling werkten. Deze studie beperkt zich tot de jaren 1896-1939 aangezien stralenschade toen veel vaker optrad dan in de periode daarna.

De gedachte om een medisch-historisch proefschrift te schrijven, is bij mij ontstaan tijdens een van de interessante lunchcolleges over de geschiedenis van de geneeskunde, die prof. dr. P.J. Kuijjer ieder jaar geeft in het Academisch Ziekenhuis van Groningen. Professor Kuijjer was het ook, die mij in contact bracht met mijn huidige promotor, prof. dr. J. Vermeij. Samen met professor Vermeij heb ik na veel speurwerk het onderwerp van dit onderzoek uitgezocht en mede dankzij zijn enthousiasme en bezieling is dit werk in de huidige vorm tot stand gekomen.

Prof. dr. K. van Berkel verklaarde zich bereid, dit onderzoek vanuit het oogpunt van de historicus kritisch te volgen. Zijn adviezen zijn van grote waarde geweest voor de uitwerking ervan en het doet mij genoegen, dat hij eveneens bereid is als promotor op te treden.

Een onderwerp, dat door zijn aard raakt aan de fysica, kan niet verantwoord worden uitgediept zonder begeleiding van een fysicus. Daartoe werd medewerking gevraagd aan ir. D. Bakker, wiens constructieve opmerkingen dankbaar in dit boek zijn verwerkt.

Nu dit werk voltooid is, zijn ook woorden van dank op hun plaats jegens allen, die op enigerlei andere wijze tot het tot stand komen ervan hebben bijgedragen. Dit geldt met name voor het personeel van het uitleenbureau van de Groningse universiteitsbibliotheek, dat om mij ter wille te zijn honderden loodzware ingebonden jaargangen van tijdschriften heeft verplaatst. Voorts dank ik de heer A.A. Canrinus en mijn broer ir. G.A. Fokkema voor hun technische assistentie en de heer drs. J. Admiraal voor het door hem verrichte onderzoek in het Gemeentearchief van Amsterdam. Door een aantal vrienden en familieleden werden diverse taalkundige correcties aangebracht: daarvoor dank ik de heren Joh. Fokkema, drs. M.A. Boonstra en drs. U.T. Bosma. Tot slot wil ik mijn erkentelijkheid uitspreken jegens mijn moeder, mevrouw A. Fokkema, die enkele tekeningen verzorgde en mijn echtgenote drs. Laura Boonstra, die voor de afronding van deze studie talrijke hand- en spandiensten heeft verricht.

Groningen, 3 april 1993
R. E. Fokkema

INHOUD.

| | |
|--|----|
| Verantwoording. | I |
| Inhoudsopgave. | II |
| Hoofdstuk I. Inleiding en probleemstelling. | 1 |
| I.1 Inleiding. | 1 |
| I.2 Probleemstelling en vraagstellingen. | 3 |
| I.3 Bespreking van enkele belangrijke publikaties over stralenschade en de geschiedenis van de radiologie. | 7 |
| I.4 Samenvatting en conclusies. | 10 |
| Hoofdstuk II. Korte geschiedenis van de radiologie. | 11 |
| II.1 Inleiding. | 11 |
| II.2 De ontdekking van de röntgenstralen. | 11 |
| II.3 De ontwikkeling van de röntgendiagnostiek. | 12 |
| II.4 De ontwikkeling van de röntgentherapie. | 14 |
| II.5 Radiumtherapie. | 19 |
| II.6 Biografische schetsen. | 21 |
| II.7 De eerste jaren van de Nederlandse radiologie. | 30 |
| II.8 Samenvatting en conclusies. | 31 |
| Hoofdstuk III. Historisch overzicht van de uitingvormen van röntgen- en radiumschade bij patienten. | 32 |
| III.1 Inleiding. | 32 |
| III.2 Stralenbeschadiging van de huid. | 32 |
| III.3 Stralenbeschadiging van de inwendige organen en orgaansystemen. | 35 |
| Skelet. | 35 |
| Gonaden. | 36 |
| Spieren. | 37 |
| Larynx. | 37 |
| Hart en bloedvaten. | 38 |
| Beenmerg en bloed. | 39 |
| Milt. | 39 |
| Darmen. | 39 |
| Speekselklieren. | 40 |
| Nieren. | 41 |
| Lever en galwegen. | 41 |
| Blaas en ureters. | 42 |
| Pancreas. | 42 |
| Longen en pleurae. | 43 |
| Oesophagus. | 43 |
| Ogen. | 44 |

| | | |
|---------------|---|-----|
| | Vruchtbeschadiging. | 44 |
| | Endocriene klieren. | 45 |
| | Zenuwweefsel. | 46 |
| | Mamma. | 46 |
| | Prostaat. | 47 |
| III.4 | Genetische effecten van straling. | 47 |
| III.5 | Samenvatting en conclusies. | 49 |
| Hoofdstuk IV. | De radiologie als medisch specialisme. | 50 |
| IV.1 | Inleiding. | 50 |
| IV.2 | De sociale ontwikkeling van de radiologie voor de Eerste Wereldoorlog. | 51 |
| IV.3 | De radiologie en de Eerste Wereldoorlog. | 56 |
| IV.4 | Onderwijs en opleiding in de radiologie na de Eerste Wereldoorlog. | 60 |
| IV.5 | De radiologie en de 'division of labor'. | 69 |
| IV.6 | Niet-medici die zelfstandig radiologisch werk verrichtten. | 70 |
| IV.7 | Niet-medici en niet specialistisch opgeleide medisch radiologen als oorzakelijke factor bij het ontstaan van stralenschade bij patiënten. | 76 |
| IV.8 | De röntgenologie en de industrie. | 78 |
| IV.9 | De publieke opinie en de medische toepassing van röntgen- en radiumstraling. | 80 |
| IV.10 | Juridische aspecten van stralenschade. | 83 |
| IV.11 | Samenvatting en conclusies. | 88 |
| Hoofdstuk V. | Technische oorzaken van stralenschade bij patiënten. | 89 |
| V.1 | Inleiding. | 89 |
| V.2 | Gasbuizen. | 89 |
| V.3 | De Coolidge-buis. | 95 |
| V.4 | Filters. | 99 |
| V.5 | Ampèremeter, voltmeter, klok en netspanning. | 107 |
| V.6 | Afschermbende lamellen en kappen. | 108 |
| V.7 | Versterkingsschermen en films. | 116 |
| V.8 | Samenvatting en conclusies. | 118 |
| Hoofdstuk VI. | Dosimetrie van röntgenstraling. | 120 |
| VI.1 | Inleiding. | 120 |
| VI.2 | Röntgendosimetrie voor 1902. | 120 |
| VI.3 | Röntgenquantimetrie. | 121 |
| | Chemische dosimeters. | 121 |
| | Electrische dosimeters. | 131 |
| | Biologische dosimetrie. | 132 |
| | Ionisatiekamers. | 133 |
| VI.4 | De eenheid 'Roentgen'. | 137 |

| | | |
|---|--|-----|
| VI.5 | Röntgenqualimetrie. | 144 |
| | De hand als qualimeter. | 144 |
| | Fluorometrie. | 144 |
| | De parallele vonkenbaan. | 145 |
| | De qualimeter van Bauer. | 146 |
| | De hardheidsschalen. | 147 |
| | Absorptiecurves. | 149 |
| VI.6 | Samenvatting en conclusies. | 150 |
| Hoofdstuk VII. Radiumdosimetrie. | | 151 |
| VII.1 | Inleiding. | 151 |
| VII.2 | De eerste pogingen tot radiumdosimetrie. | 152 |
| VII.3 | De methode van Quimby. | 153 |
| VII.4 | Het doseringssysteem voor uitwendige en intracavitare radiumtherapie van Paterson en Parker. | 157 |
| VII.5 | Interstitiële radiumdosimetrie. | 161 |
| VII.6 | Het gebruik van de eenheid roentgen in de radiumdosimetrie. | 166 |
| VII.7 | Samenvatting en conclusies. | 168 |
| Hoofdstuk VIII. Methoden in de röntgenologie. | | 169 |
| VIII.1 | Inleiding. | 169 |
| VIII.2 | Radiografie en radioscopie. | 169 |
| VIII.3 | Röntgentherapie voor 1910. | 173 |
| VIII.4 | Röntgen-dieptetherapie na 1910. | 177 |
| | De multiportale methode (Eerste Freiburgse Bestralingstechniek). | 177 |
| | De Tweede Freiburgse Bestralingstechniek. | 178 |
| | De Erlangse Bestralingstechniek. | 179 |
| VIII.5 | Fractionering in de röntgentherapie. | 185 |
| VIII.6 | Combinatie- en cumulatievebeschadigingen. | 191 |
| VIII.7 | Samenvatting en conclusies. | 193 |
| Hoofdstuk IX. Methoden in de radiumtherapie. | | 194 |
| IX.1 | Inleiding. | 194 |
| IX.2 | De eerste jaren van de radiumtherapie. | 194 |
| IX.3 | Uitwendige radiumtherapie. | 198 |
| IX.4 | Interstitiële radiumtherapie. | 199 |
| IX.5 | Radiumpakken en teleradiumtherapie. | 201 |
| IX.6 | Intracavitare radiumtherapie. | 205 |
| IX.7 | Radium en radon in de interne geneeskunde. | 208 |
| IX.8 | Het optreden van röntgen- en radiumstralenschade in de jaren dertig. | 212 |
| IX.9 | Samenvatting en conclusies. | 213 |

| | |
|---|------------|
| Samenvatting en conclusies. | 214 |
| Summary and conclusions. | 217 |
| Noten. | 220 |
| Geraadpleegde bronnen en literatuur. | 276 |
| Lijst van figuren en tabellen. | 306 |
| Glossarium medicum. | 309 |
| Register. | 315 |

HOOFDSTUK I INLEIDING EN PROBLEEMSTELLING.

Inhoud:

1.1 Inleiding.

1.2 Probleemstelling en vraagstellingen.

1.3 Bespreking van enkele belangrijke publikaties over stralenschade en de geschiedenis van de radiologie.

1.1 Inleiding.

De medische wetenschap kreeg in de laatste jaren van de vorige eeuw in de vorm van de röntgenstralen beschikking over een nieuw hulpmiddel, dat de ontwikkeling der geneeskunde op revolutionaire wijze heeft beïnvloed. Dit 'fin de siècle cadeau' leek wel van Asklepios zelf afkomstig te zijn. De toepassing van de 'x-stralen' in de geneeskunde leidde in eerste instantie tot een snelle uitbreiding van de diagnostische mogelijkheden. Voor het eerst was het mogelijk delen van het skelet af te beelden, zodat fracturen en botziekten konden worden opgespoord. Doordat met de nieuwe stralen ook de longen konden worden afgebeeld, was het mogelijk de gevreesde volksziekte tuberculose in een veel vroeger stadium te detecteren dan voordien mogelijk was geweest: een belangrijke stap voorwaarts in de tuberculosebestrijding. De introductie van contraststoffen maakte het mogelijk inwendige organen, zoals maag en darmen, af te beelden, waardoor onder andere zweren en tumoren konden worden opgespoord. De x-stralen hadden evenwel nog een andere eigenschap, die voor de geneeskunde van groot belang was. De stralen bleken ook een therapeutische werking te bezitten, zodat zij als geneesmiddel konden worden ingezet in de behandeling van allerlei huidziekten. Door tumoren met röntgenstralen te behandelen, was een nieuwe fase aangebroken in de strijd tegen kanker. Na de ontdekking van radium werd ook radiumstraling gebruikt voor de behandeling van huidziekten en neoplasieën. Opnieuw was er een belangrijke aanvulling gekomen op het therapeutische arsenaal, dat de geneeskunde aan het begin van deze eeuw ter beschikking stond. De geschiedenis van de radiologie, de wetenschap met betrekking tot de geneeskundige toepassing van ioniserende straling, bestrijkt nu bijna een gehele eeuw. Het onderzoek, dat in dit proefschrift wordt beschreven, heeft betrekking op een deel van deze geschiedenis; het zal de periode

omvatten van het begin van de medische toepassing van röntgen- en radiumstraling tot aan de Tweede Wereldoorlog.

Zowel röntgen- als radiumstraling is ioniserende straling; in hun biologische effecten verschillen zij niet wezenlijk van elkaar. Ioniserende straling is energierijke, penetrerende straling en dankt haar naam aan het feit, dat ze in staat is bijvoorbeeld lucht en biologisch materiaal te ioniseren.

Ioniserende straling kan worden onderscheiden in elektromagnetische straling en straling van een deeltjeskarakter. Deze laatste vorm kan weer bestaan uit α -deeltjes en β -deeltjes.

Bij elektromagnetische straling wordt verder een onderscheid gemaakt tussen gamma-straling en röntgenstraling. Men spreekt van γ -straling, als stralen vrijkomen als gevolg van veranderingen binnen de atoomkern van het atoom, dat ze uitzendt; van röntgenstraling, als de straling het gevolg is van verplaatsing van elektronen van de ene baan naar de andere baan van de elektronenwolk om de atoomkern.

Als elementen zonder uitwendige oorzaak voortdurend ioniserende stralen uitzenden, noemt men ze radioactief. Een voorbeeld van een radioactief element is radium. Radium zendt α -deeltjes en γ -stralen uit en gaat daarbij over in het gasvormige radon. De halveringstijd van radium is 1602 jaar. Radon vervalt op zijn beurt met een halveringstijd van 3,82 dagen door α -deeltjes uit te zenden. (1) De medische toepassing van zowel radium als radon (ook wel radiumemanatie genoemd) komt in dit proefschrift uitgebreid aan de orde.

In dit onderzoek zal alleen de medische toepassing van röntgenstraling en radiumstraling worden besproken, aangezien voor de Tweede Wereldoorlog andere vormen van ioniserende straling medisch vrijwel niet werden toegepast. Op de tandheelkundige toepassing van röntgenstraling zal niet afzonderlijk worden ingegaan. (2) Ook aan de specifieke aspecten van de nucleaire geneeskunde, de wetenschap met betrekking tot de medische toepassing van radioactieve isotopen, zal slechts zijdelings aandacht worden besteed, aangezien de meeste stralenschade in de onderzochte periode is veroorzaakt door straling van gesloten (afgekapselde) stralingsbronnen, in casu röntgenbuizen en gesloten radiumhouders. Ioniserende stralen kunnen schade bij mensen veroorzaken, doordat zij moleculen kunnen dissociëren of ioniseren, die onderdeel zijn van de menselijke cellen en weefsels. Deze stralenschade kan reparabel zijn, maar kan ook irreversibel zijn.

Al onmiddellijk na het begin van de medische toepassing van ioniserende straling openbaarden zich allerlei vormen van stralenschade bij patiënten en bij personen, die met straling werkten. Deze vormen van stralenschade kunnen in twee soorten worden ingedeeld: somatische en genetische schade.

Somatische schade is schade, die zich in het lichaam openbaart. Na een bestraling van het gehele lichaam met een bepaalde dosis kan er bijvoorbeeld beenmergdepressie optreden. Na een nog hogere dosis kan het darmepitheel zodanig aangetast raken, dat het zogenaamde darmsyndroom (diarree en uitdroging) optreedt. Deze voorbeelden van stralenschade behoren tot de zogenaamde 'vroege effecten' van ioniserende straling op

weefsels, effecten die binnen enkele weken na de applicatie van de stralen optreden. Daarnaast worden ook 'late effecten' onderscheiden, dat wil zeggen effecten, die na veel langere tijd manifest worden.

Somatische schade kan zowel deterministisch als stochastisch van aard zijn. Een deterministisch effect houdt in, dat de ernst van het optredende effect een functie is van de ontvangen dosis, waarbij er bovendien een drempeldosis bestaat, waaronder geen effect zal optreden. Het verband tussen de ernst van het effect en de grootte van de ontvangen dosis is niet-lineair en neemt bij uitzetting in een grafiek de vorm van een S-curve aan.

De beenmergdepressie en het darmsyndroom na bestraling zijn voorbeelden van deterministische somatische schade. Een ander deterministisch somatisch effect is bijvoorbeeld de stoornis in groei en ontwikkeling van embryo en foetus na bestraling met bepaalde doses ('teratogene effecten'). Ook bestraling van delen van het lichaam kan tot deterministische somatische schade leiden. Zo kan bijvoorbeeld bestraling van de ooglenzen leiden tot het vervroegd optreden van cataract.

Somatische effecten kunnen ook stochastisch van aard zijn. Dit betekent, dat niet de ernst, maar de kans op het optreden van een bepaald effect na bestraling een functie is van de grootte van de opgelopen dosis. Voor stochastische effecten geldt geen drempeldosis. In de huidige stralingsbescherming neemt men vaak een lineair verband aan tussen de kans op het optreden van een bepaald effect na bestraling en de grootte van de geapliceerde dosis.

Voor het ontstaan van een somatisch effect als bijvoorbeeld cancerogenese kan de zogenaamde 'promotie' van belang zijn, waarbij de veroorzaakte stralenschade door de inwerking van een tweede beschadigende factor (bijvoorbeeld een virus of ultraviolette straling) in het somatische effect resulteert.

Voorbeelden van stochastische somatische effecten zijn de verhoging van de kans op het ontstaan van leukemie of bepaalde tumoren na blootstelling aan ioniserende stralen. Het feit, dat er voor de stochastische effecten geen drempeldosis bestaat, houdt in, dat iedere dosis straling, hoe gering ook, de kans op het optreden van het effect vergroot en daarom zo mogelijk vermeden dient te worden.

Naast somatische stralenschade bestaat er ook genetische stralenschade, dat wil zeggen schade, die zich zou kunnen openbaren bij het nageslacht. Zij is het gevolg van door de stralen veroorzaakte genmutaties, chromosoombreuken en non-disjuncties. Deze vorm van stralenschade is stochastisch van karakter. (3)

1.2 Probleemstelling en vraagstellingen.

Natuurlijk hadden de pioniers van de medische radiologie veel minder kennis van de effecten van ioniserende straling dan hun hedendaagse collega's. Zij werkten in nog onontgonnen gebied en wisten door vallen en

opstaan hun kennis te vergroten en de basis te leggen van de huidige radiologie.

In deze dissertatie zal de aandacht grotendeels uitgaan naar de niet-stochastische stralenschade bij patiënten, omdat stochastische stralenschade, die optreedt als gevolg van de medische toepassing van straling, moeilijk aantoonbaar is. Met niet-stochastische stralenschade bij patiënten werd de radiologie al vanaf haar prille begin geconfronteerd. Door het optreden van déze schade begon men zich binnen de medische wetenschap rekenschap te geven van het gevaar, dat straling voor de mens kan hebben. De ontwikkeling van dit besef leidde er toe, dat medici gingen zoeken naar de oorzaken van stralenschade. Door zoveel mogelijk oorzaken vervolgens te elimineren, kon het optreden van stralenschade worden beperkt.

Uit voor deze studie verricht literatuuronderzoek naar het optreden van stralenschade bij patiënten in de periode 1896-1939 blijkt, dat in de loop der tijd drie pieken in de incidentie van stralenschade bij patiënten zijn aan te geven. Het onderscheiden van deze pieken is gebaseerd op gegevens, zoals die in de wetenschappelijke literatuur in de betreffende periode zijn vermeld.

In 1897 hadden de Franse dermatologen Oudin, Barthélemy en Darier 50 gevallen van röntgenstralenschade uit de literatuur verzameld, terwijl later dat jaar de arts Stone Scott uit Cleveland al 69 van dergelijke gevallen had opgespoord. (4) De Duitse chirurg Gocht telde een jaar later in de literatuur meer dan 70 gevallen van röntgenshade en nam zelf nog eens zeventien gevallen waar. Ook de Nederlandse arts Kuipers deed in 1899 dergelijke waarnemingen. (5) In maart 1902 berichtte de Amerikaan Codman, die als chirurg werkzaam was aan de Harvard Medical School, over zijn studie van de gevallen van röntgenstralenschade, die in de jaren 1896-1901 in de literatuur waren beschreven. Hij had 147 gevallen verzameld, die in deze periode in Engeland, Frankrijk, Duitsland, Oostenrijk en de Verenigde Staten waren opgetreden. Tweederde van de gevallen betrof patiënten, terwijl de overige gevallen 'werkers' betroffen. Hij schatte, dat in de betreffende periode in de belangrijkste steden van deze landen een miljoen belichtingen waren uitgevoerd. De incidentie van röntgenstralenschade zou volgens hem 1:5000 zijn. Als een factor vijf werd gehanteerd voor de niet gepubliceerde en verzwegen gevallen, zou deze incidentie 1:1000 worden. Codman had de factor vijf willekeurig gekozen om een ruime 'veiligheidsmarge' in acht te nemen. Dit heeft echter tot gevolg, dat zijn schatting van de incidentie van stralenschade niet volledig betrouwbaar kan worden geacht.

Tweederde van de onderzochte gevallen bleek te zijn opgetreden in de jaren 1896 en 1897. (6) In deze twee jaren lijkt op grond van deze gegevens een piek in de incidentie van röntgenstralenschade bij patiënten te zijn opgetreden, terwijl de incidentie daarna is afgenomen. In de Amerikaanse medische literatuur zou in 1901 zelfs maar één geval van röntgenstralenschade zijn gepubliceerd. (7) In de periode 1896-1897 ligt dan ook het *eerste* maximum in het aantal opgetreden gevallen van röntgenstralenschade, dat kan worden onderscheiden.

De Weense hoogleraar dermatologie Riehl concludeerde in 1904, dat hij de afgelopen tijd 'zeer veel' patiënten met röntgenstralenschade had gezien. Hij noemde op grond van zijn eigen ervaringen de schattingen van Codman inzake de incidentie hiervan veel te laag. (8) De Weense radioloog Holzknacht, die in 1904 had berekend, dat bij één op honderd bestraalde patiënten stralenschade optrad, stelde, dat in de jaren 1904-1905 een maximum in het aantal opgetreden röntgenschadegevallen te constateren was (9). Deze piek in de incidentie van röntgenstralenschade bij patiënten is het *tweede* maximum, dat kan worden onderscheiden.

Na 1905 daalde de incidentie van stralenschade weer door het in bredere kring in gebruik raken van dosimetrische methoden, maar zij bleef onder invloed van vele factoren toch nog een niet te verwaarlozen complicatie vormen.

In röntgendiagnostiek, röntgentherapie en radiumtherapie zou een volgend maximum optreden vlak na de Eerste Wereldoorlog. Dit *derde* maximum in de incidentie van stralenschade viel uiteen in drie componenten.

- In de röntgendiagnostiek lag het derde maximum in de jaren 1923-1926 en dit werd voornamelijk veroorzaakt door doorlichtingen. (10)

- In de röntgentherapie veroorzaakten de op dat moment gangbare behandelingsmethoden een maximum in de incidentie van röntgenstralenschade bij patiënten rond 1923, waarbij naast huidverbrandingen nu ook schade van de inwendige organen een belangrijke rol speelde. (11) Na 1923-1926 ging de incidentie van deze röntgenstralenschade definitief dalen. Als er nog röntgenschade optrad, dan betrof dit in de jaren dertig meestal late schade, die voor een deel het gevolg was van cumulatie en combinatie. (12)

- In de radiumtherapie betrof stralenschade voor 1915 met name de huid, maar na de invoering van nieuwe behandelingsmethoden voor de behandeling van inwendige tumoren, traden ook radiumbeschadigingen op van inwendige organen, zoals blaas, rectum en vagina. Dit leidde rond 1920 tot een maximum in de incidentie van radiumbeschadigingen bij patiënten en dit vormt de derde component van het bovengenoemde derde maximum. (13)

Na de Tweede Wereldoorlog kwam deterministische stralenschade bij patiënten, afgezien van ongelukken en van voorspelbare neveneffecten bij de bestraling van tumoren, niet structureel meer voor. Het is om deze reden, dat deze studie zich vrijwel geheel concentreert op de periode 1896-1939.

Het boven beschreven onderscheid in diverse pieken in het optreden van stralenschade bij patiënten is gebaseerd op een relatief gering aantal publikaties. Berichten over stralenschade bij patiënten door medisch handelen, waarin incidenties of aantallen worden genoemd, zijn bijzonder schaars. Dit kan voor een deel worden verklaard doordat artsen, die stralenschade bij hun patiënten veroorzaakten, dit liever niet in de openbaarheid brachten om hun reputatie te beschermen en om eventuele schadeclaims te ontlopen. Voor een deel speelde ook een rol, dat veel

publiciteit rond stralenschadegevallen het imago van het vak radiologie, zowel binnen als buiten de medische wereld, zou aantasten. Om de fluctuaties te kunnen verklaren, moet worden gezocht naar oorzaken van de stralenschadepeken, die passen in de ontwikkeling van de radiologie vanaf 1896 en die passen in de tijd waarin de pieken zijn gelegen. Bovendien dienen de ontwikkelingen, die de pieken zouden neutraliseren, nader te worden onderzocht.

De probleemstelling van deze studie luidt als volgt:

Hoe zijn de bovengenoemde fluctuaties in het optreden van stralenschade bij patiënten te verklaren?

Om antwoord te krijgen op deze probleemstelling werden de volgende vraagstellingen geformuleerd:

- a- hoe zijn de bovengenoemde fluctuaties in het optreden van stralenschade bij patiënten te plaatsen in de ontwikkeling van de radiologie?
- b- welke factoren speelden een rol bij het ontstaan van schade door röntgen- en radiumstraling bij patiënten?
- c- wat is er door artsen en fysici gedaan om stralenschade bij patiënten te beperken en de genoemde maxima weg te werken ?

De beantwoording van deze vragen is gebaseerd op literatuuronderzoek. Daartoe werd hoofdzakelijk gebruik gemaakt van de Groningse Universiteitsbibliotheek (en de daar beschikbare bibliografische naslagwerken, zoals de Wellcome Index en de Cumulated Index Medicus van de National Library of Medicine) en de diverse bibliotheken van het Academisch Ziekenhuis Groningen, waaronder die van de afdelingen radiotherapie, radiodiagnostiek en dermatologie de belangrijkste waren. Enkele radiologische tijdschriften uit de periode, waarop dit proefschrift betrekking heeft, werden systematisch per jaargang onderzocht. Dit betrof onder meer *Strahlentherapie, Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen* en het *American Journal of Roentgenology*. Ook enkele niet-radiologische tijdschriften werden op deze wijze doorgenomen, waaronder *Klinische Wochenschrift, Dermatologische Wochenschrift* en het *Nederlandsch Tijdschrift voor Geneeskunde*. Daarnaast is meer gericht gezocht in afzonderlijke jaargangen van een groot aantal verschillende tijdschriften. Een literatuurlijst achterin dit werk geeft een volledig overzicht van de geraadpleegde boeken en tijdschriftartikelen. Voor enkele specifieke onderwerpen, die in deze dissertatie ter sprake komen, werd een aantal archieven doorgenomen. In het Provinciaal Archief Groningen werden de notulen van de vergaderingen van de Faculteit der Geneeskunde uit de jaren 1918-1935 systematisch bestudeerd. Voor nadere informatie over de persoon van Nederlands belangrijkste radioloog uit de te bespreken periode, J.K.A. Wertheim Salomonson, werd het Gemeentearchief van Amsterdam geraadpleegd.

Het doel van deze studie is uiteraard niet om een volledig overzicht te geven van de geschiedenis van de medische radiologie. Toch is het van belang hier enige kennis van te hebben, zodat dit medisch-historisch onderzoek tegen de juiste achtergrond kan worden geplaatst. Het is om deze reden, dat in hoofdstuk II aandacht zal worden besteed aan een aantal mijlpalen uit de geschiedenis van de medische toepassing van röntgen- en radiumstraling. In hoofdstuk III zullen in een kort historisch overzicht de verschillende vormen van schade aan menselijke organen en weefsels door de medische toepassing van ioniserende straling en het moment, waarop de medische wetenschap hiervan kennis nam, worden besproken. In de daarop volgende hoofdstukken zal getracht worden een antwoord te geven op de bovengenoemde vraagstellingen.

1.3 Bespreking van enkele belangrijke publikaties over stralenschade en de geschiedenis van de radiologie.

Het is niet mogelijk om in deze paragraaf alle publikaties met betrekking tot het optreden van schade door röntgen- en radiumstraling te bespreken, aangezien deze zeer talrijk zijn.

In de primaire literatuur (boeken en artikelen uit de periode voor 1940) zijn echter enkele publikaties te onderscheiden, die in de beantwoording van de vraagstellingen een belangrijke rol spelen, zodat deze wel nadere beschouwing verdienen.

In 1922 verscheen een artikel van de hand van de Weense radioloog Guido Holz knecht, getiteld *Über die häufigsten Ursachen der Röntgenshädigungen und ihre Vermeidung*. (14) Dit artikel vormt een belangrijke bron voor het eerder vermelde onderscheid in maxima in het optreden van stralenschade bij patienten. Het belang van dit artikel ligt vooral in het feit, dat Holz knecht als een der weinigen fluctuaties onderscheidde in het vóórkomen van stralenschade in de periode 1896-1922. Hij gaf een eerste maximum in het optreden van stralenschade bij patienten aan in de jaren 1904-1905, dat volgens hem werd geneutraliseerd door het in gebruik raken van de eerste dosimeters. Deze piek is in de vorige paragraaf gepresenteerd als het tweede maximum in de incidentie van stralenschade bij patienten.

Holz knecht sprak daarnaast nog van een tweede stijging in het aantal opgetreden gevallen van stralenschade in het tweede decennium van onze eeuw, die volgens hem verband hield met de ontwikkeling van de röntgentherapie van inwendige tumoren. Hij stelde:

'Die Häufigkeit der Röntgenshädigungen nimmt gegenwärtig rapid zu, aber wir haben Grund zu hoffen, dass der Höhepunkt der Kurve dank unserer vereinten Bemühungen bald überschritten sein wird.' (15)

Dit maximum is in de vorige paragraaf als derde maximum beschreven. Holz knecht sprak in deze publikatie enkel over röntgenbeschadigingen en

ging niet in op radiumschade. Zijn publikatie ligt aan de basis van de voorlopige indeling in pieken van stralenschade, die in het vervolg van deze dissertatie nader zal worden onderzocht.

Een andere publikatie, die hier bespreking verdient, is van de hand van de Duitse stralenschade-expert Otto Strauss. In het *Lehrbuch der Strahlentherapie* van Hans Meyer (1925) wijdde Strauss een vol hoofdstuk aan röntgen- en radiumschade. (16) Hij vermeldde de belangrijkste oorzaken van stralenschade en ging uitgebreid in op de anatomisch-pathologische aspecten ervan. Hoewel hij beweerde, dat het in de aard van de ontwikkeling van de radiologie lag, dat zeer veel artsen zich ermee bezig gingen houden zonder enige kennis van zaken te bezitten (17), besteedde hij inhoudelijk geen aandacht aan deze ontwikkeling. Deze uitgebreide verhandeling is bedoeld ter lering van de toenmalige radiologen en Strauss vermeldde dan ook diverse regels, waaraan artsen zich dienden te houden om stralenschade te voorkomen. Hij illustreerde zijn bloemlezing bovendien met een compilatie van vaak schrijnende gevallen van stralenschade. Strauss' inzichten zijn vooral interessant, omdat hij zijn kennis niet alleen ontleende aan literatuurstudie, maar ook aan eigen ervaringen als gerechtelijk stralenschade-expert en als radioloog. Hij had trouwens zelf ook enkele malen stralenschade bij patiënten veroorzaakt!

In 1927 verscheen van de hand van de Duitse arts Lossen een artikel getiteld *Über Ergebnisse unserer Materialiensammlung der Unfälle und Schäden in reichsdeutschen Röntgenbetrieben (Groedel, Liniger und Lossen)*, waarin de resultaten van een grote studie naar vóórkomen en oorzaken van röntgenstralenschade bij patiënten in Duitse röntgeninstituten in de jaren twintig werden besproken. In 1921 had de Duitse arts Groedel gewezen op 'grosse Misstände', die zich in de loop van het tweede decennium van onze eeuw in toenemende mate op Duitse röntgenafdelingen voordeden. Als gevolg van deze ontwikkeling had de Deutsche Röntgen-Gesellschaft in 1922 besloten een onderzoek te laten instellen naar alle bekende gevallen van röntgenshade, om op die wijze inzicht te krijgen in de oorzaken ervan en om voorschriften ter preventie van schade te kunnen opstellen. Dit onderzoek werd uitgevoerd door Groedel, Liniger en Lossen en in 1927 presenteerden deze onderzoekers een studie waarin 183 röntgenshadegevallen waren onderzocht. Naar gedeelten van dit onderzoek zal in het vervolg van dit boek herhaaldelijk worden verwezen en van de belangrijkste resultaten zal daarom nu reeds gewag worden gemaakt. Onder de 183 onderzochte gevallen van röntgenshade bevonden zich 53, die door röntgendiagnostiek en 120, die door röntgentherapie waren veroorzaakt; vier gevallen waren abusievelijk als stralenschade aangeduid en zes gevallen betroffen chronische röntgenbeschadigingen. Van de diagnostische schadegevallen hadden drie een dodelijke afloop; van de therapeutische schadegevallen waren dit er zeventien. De meeste diagnostische schade bleek te zijn ontstaan bij onderzoek van het maagdarkanaal (28 van de 53 gevallen, ofwel 52.8%). De oorzaak hiervan lag voor een deel in technische factoren, die later in dit boek uitgebreid aan de orde zullen komen. Onder de 183 onderzochte gevallen

bleken echter maar liefst 111 te zijn veroorzaakt door onachtzaamheid of onwetendheid van artsen en hulp personeel! (18)

De Duitse gynaecoloog Wilhelm Flaskamp publiceerde in 1930 een boek getiteld *Über Röntgenshäden und Schäden durch radioaktive Substanzen*, waarin de verschillende vormen van stralenschade werden uiteengezet en met zeer veel voorbeelden werden geïllustreerd. (19) Flaskamp gaf een gedetailleerde bespreking van de tot dan toe verschenen klinisch-histologische literatuur over stralenschade. De nadruk lag in dit werk op casuïstiek en op de klinische en anatomisch-pathologische beschrijving van stralenschade. Daarnaast noemde Flaskamp vele oorzaken van stralenschade en ook diverse maatregelen ter voorkoming van schade; mede daardoor is zijn boek van grote waarde voor dit onderzoek.

In de boven besproken publikaties werd het fenomeen stralenschade niet geplaatst tegen de achtergrond van de ontwikkeling van de radiologie als medisch specialisme. Ook maatschappelijke invloeden op het optreden van stralenschade (zoals bijvoorbeeld het effect van de Eerste Wereldoorlog en de invloed van de publieke opinie) werden niet aangesneden. Opvallend is wel, dat al deze onderzoekers opriepen tot het instellen van beter onderwijs in de radiologie, daarmee een onderwerp touchierend, dat in radiologische kringen in de jaren twintig voortdurend ter sprake kwam.

In de secundaire literatuur bij dit onderzoek (literatuur na 1939) is weinig systematisch onderzoek naar oorzaken en achtergronden van stralenschade in de periode 1896-1939 beschreven. Twee werken over de geschiedenis van de radiologie dienen echter te worden genoemd.

In zijn dissertatie *Röntgen en Nederland* (1966) beschreef de Nederlandse radioloog W.A.H. van Wylick de persoonlijke banden van Wilhelm Conrad Röntgen met Nederland, waarbij gebruik werd gemaakt van een grote hoeveelheid oorspronkelijk briefmateriaal. (20) Er is in dit boek een goed overzicht gegeven van de beginjaren van de Nederlandse radiologie, waarbij ook de nodige aandacht is besteed aan de eerste hoogleraar röntgenologie in Nederland (en in de wereld), J.K.A. Wertheim Salomonson. Van Wylick benaderde de ontwikkeling van de Nederlandse röntgenologie echter vanuit het oogpunt van een continue toename van kennis, waarbij hij slechts beperkt inging op de invloed van maatschappelijke factoren op dit proces. De therapeutische toepassing van radium viel buiten zijn onderzoek. Het optreden van stralenschade is in zijn betoog wel genoemd (21), maar niet nader onderzocht.

De Amerikaanse journalisten Ruth en Edward Brecher publiceerden in 1969 een boek getiteld *The rays. A history of radiology in the United States and Canada*. (22) Hierin werd de ontwikkeling van de Noord Amerikaanse radiologie tot in detail besproken, waarbij ook maatschappelijke invloeden op dit proces, zoals de invloed van röntgen- en radiumindustrie, aan de orde kwamen. De Brechers schonken ook enige aandacht aan stralenschade en beschreven enkele vroege waarnemingen van schadelijke effecten van straling op de mens. (23) Ook de studie van Codman brachten zij ter sprake. (24) Zij legden in hun werk de nadruk op stralenschade, die is opgetreden in de eerste jaren na de ontdekking van de röntgenstralen (25), op schade, die is opgetreden bij de eerste werkers en op late stralenschade

(26). Kenmerkend voor de hoge kwaliteit van dit boek is, dat de auteurs ook de medische toepassing van radium uitgebreid hebben behandeld. Zij schetsten de eerste waarnemingen (in 1900 en 1901) van 'radiumverbrandingen' van de huid (27) en weidden uit over de eerste therapeutische proeven met radium in de behandeling van tumoren in de Verenigde Staten (28). In dat verband roerden zij ook enkele andere vormen van radiumschade aan, waaronder rectum- en larynxverbrandingen. (29) Het optreden van stralenschade na de beginjaren van de radiologie is door hen echter niet onderzocht en zij spraken niet over eventuele fluctuaties in de incidentie van deze beschadigingen. Zoals de titel van hun boek reeds aangeeft, lieten zij de Europese radiologie geheel buiten beschouwing.

1.4 Samenvatting en conclusies.

Uit voor deze studie verricht literatuuronderzoek naar het optreden van stralenschade bij patiënten in de periode 1896-1939 blijkt, dat in de loop der tijd drie pieken in de incidentie van stralenschade bij patiënten zijn te onderscheiden. Het eerste maximum in het aantal opgetreden gevallen van röntgenstralenschade lag in de jaren 1896-1897. De tweede piek trad op in de jaren 1904-1905. Het derde maximum viel vlak na de Eerste Wereldoorlog en bestond uit drie componenten: een maximum in de röntgendiagnostiek in de jaren 1923-1926, in de röntgentherapie rond 1923 en in de radiumtherapie rond 1920. Het vóórkomen van deze undulaties zal in dit proefschrift nader worden onderzocht aan de hand van de volgende probleemstelling:

Hoe zijn de bovengenoemde fluctuaties in het optreden van stralenschade bij patiënten te verklaren?

Voor de beantwoording van deze probleemstelling werden de volgende vraagstellingen geformuleerd:

- a- hoe zijn de bovengenoemde fluctuaties in het optreden van stralenschade bij patiënten te plaatsen in de ontwikkeling van het specialisme radiologie?
- b- welke factoren speelden een rol bij het ontstaan van schade door röntgen- en radiumstraling bij patiënten?
- c- wat is er door artsen en fysici gedaan om stralenschade bij patiënten te beperken en de genoemde maxima weg te werken?

HOOFDSTUK II KORTE GESCHIEDENIS VAN DE RADIOLOGIE.

Inhoud:

II.1 Inleiding.

II.2 De ontdekking van de röntgenstralen.

II.3 De ontwikkeling van de röntgendiagnostiek.

II.4 De ontwikkeling van de röntgentherapie.

II.5 Radiumtherapie.

II.6 Biografische schetsen.

II.7 De beginjaren van de Nederlandse radiologie.

II.8 Samenvatting en conclusies.

II.1 Inleiding.

In dit hoofdstuk zullen in kort bestek enkele belangrijke ontwikkelingen in de radiodiagnostiek en de radiotherapie worden besproken. De nadruk zal hierbij liggen op de toename van kennis op het nieuwe vakgebied en op de groei van het specialisme radiologie door continue uitbreiding van de radiodiagnostische en radiotherapeutische mogelijkheden. Bovendien wordt de ontwikkeling van de radiumtherapie aan de orde gesteld. Een dergelijke opsomming van feiten gaat gepaard met het noemen van veel namen van personen. Aan de achtergrond van al deze onderzoekers kan geen uitgebreide aandacht worden besteed; enkele artsen en fysici, die een bijzondere rol met betrekking tot het onderwerp van deze studie spelen, zullen echter in een afzonderlijke paragraaf nader worden belicht. (1)

II.2 De ontdekking van de röntgenstralen.

Op 8 november 1895 was de vijftigjarige hoogleraar in de natuurkunde Wilhelm Conrad Röntgen in zijn laboratorium te Würzburg bezig onderzoek te doen naar de werking van kathodestrallen, toen hij op een scherm van barium-platinacyaan, dat onder invloed van kathodestrallen gaat fluoresceren, hem onbekende lichtverschijnselen zag.

Aangezien de Hittorf-Crookes vacuümbuis, waarmee hij de kathodestrallen opwekte, met zwart karton was bedekt en het scherm zich op grote afstand bevond, kon het oplichten van het scherm niet door de kathodestrallen zelf zijn veroorzaakt.

Röntgen concludeerde, dat een ander, nog onbekend soort stralen voor het optreden van de lichteffecten verantwoordelijk moest zijn: een soort stralen met het vermogen om vaste ondoorzichtige stoffen in meerdere of mindere mate te kunnen doordringen. Hij noemde deze onbekende stralen 'x-stralen'.

Röntgen ontdekte, dat van voorwerpen, die hij aan de straling blootstelde, een afbeelding te zien was op het barium-platinacyanuurscherm en dat ook het skelet van de menselijke hand op deze wijze was af te beelden:

'Hält man die Hand zwischen den Entladungsapparat und den Schirm, so sieht man die dunkleren Schatten der Handknochen in dem nur wenig dunklen Schattenbild der Hand'. (2)

Hij maakte bovendien van diverse voorwerpen afbeeldingen op de fotografische plaat. Uiteraard had Röntgen nog geen weet van enig gevaar, dat van de nieuwe stralen voor de mens uit zou kunnen gaan:

'Die Retina des Auges ist für unsere Strahlen unempfindlich: das dicht an den Entladungsapparat herangebrachte Auge bemerkt nichts, wiewohl nach den gemachten Erfahrungen die im Auge enthaltenen Medien für die Strahlen durchlässig sein müssen'. (3)

Röntgen publiceerde zijn bevindingen op 28 december 1895 en zijn naam is sindsdien onverbrekkelijk met de stralen verbonden.

Het was meteen duidelijk, dat zijn ontdekking grote gevolgen zou hebben voor de geneeskunde. Het feit, dat Röntgen zijn hand had gebruikt om het doordringend vermogen van de x-stralen te demonstreren, heeft ongetwijfeld de medische toepassing ervan versneld. De mogelijkheid om het skelet van de mens af te beelden bood immers grote perspectieven voor de medische diagnostiek. Overal op de wereld begonnen onderzoekers met de röntgenstralen te experimenteren en alleen al in het eerste jaar na Röntgens ontdekking verschenen er meer dan duizend artikelen en vijftig boeken, die op de nieuwe stralen betrekking hadden.

II.3 De ontwikkeling van de röntgendiagnostiek.

In het eerste jaar na Röntgens ontdekking werd in de vorm van radioscopie en radiografie een begin gemaakt met de medisch-diagnostische toepassing van x-stralen. Het verrichten van radioscopie hield in, dat men met röntgenstralen een patient doorlichtte, waarbij op een barium-platinacyanuurscherm een fluorescerend beeld, dat de uittredende stralen hierop veroorzaakten, werd bestudeerd.

Radiografieën, ook wel skiografieën genoemd, waren afbeeldingen, die door de uittredende stralen werden veroorzaakt op fotografische platen. Het waren de voorlopers van de huidige röntgenfoto's.

In veel landen gingen onderzoekers, onafhankelijk van elkaar, röntgenstralen diagnostisch toepassen. (4) De diagnostische röntgenologie ontwikkelde zich tot een tak van wetenschap, waarin vele ontdekkingen werden gedaan. Voor ieder orgaan moesten immers de normale anatomische verhoudingen op het röntgenbeeld (met al haar varianten) en de veranderingen, die hierin plaatsvinden met het klimmen der leeftijd, worden beschreven. Daarnaast dienden de fysiologische bewegingen van bepaalde organen en de wijze, waarop ziekteprocessen zich op het röntgenbeeld kunnen presenteren, nauwkeurig te worden onderzocht. Het wetenschappelijk onderzoek op dit gebied leidde tot kennis van tal van nieuwe ziektebeelden.

In het bestek van dit hoofdstuk is het niet mogelijk om alle ontwikkelingen op het gebied van de röntgendiagnostiek te noemen, laat staan alle medici, die met hun specifieke bijdragen voor deze ontwikkelingen verantwoordelijk waren. Door toch een klein aantal mijlpalen te noemen, kan evenwel een indruk worden gegeven van de snelle ontplooiing van de radiodiagnostiek tot een niet meer weg te denken vakgebied binnen de geneeskunde. De ontwikkeling van de radiologie tot een zelfstandig specialisme en de maatschappelijke context, waarbinnen dit plaatsvond, komen in hoofdstuk IV aan de orde.

De vooruitgang, die in de röntgendiagnostiek werd geboekt, hing nauw samen met de ontwikkeling en toediening van allerlei contraststoffen, die het mogelijk maakten diverse inwendige organen af te beelden. In 1898 werden door de Berlijnse geneesheren Boas en Levy-Dorn ingekapselde bismutzouten ingevoerd als contrastmiddel bij maag-darmonderzoeken. (5) De bismutcontrastmiddelen raakten meer in zwang, toen de Münchense hoogleraar Rieder in 1904 zijn 'Rieder-maaltijd', bestaande uit een brij van voedsel en bismutzouten, introduceerde, waarmee hij een deel van het maag-darmkanaal wist af te beelden. (6)

In 1905 ontwikkelden Völcker en Von Lichtenberg een methode om het nierbekken te fotograferen, na vulling met contrast via de urineleider (ascenderende pyelografie); daarvoor gebruikten zij als contrastmiddel eerst een bismutoplossing, maar later gingen zij over op collargol. In ditzelfde jaar werd voor het eerst een gewrichtsholte afgebeeld, nadat deze met contrast was gevuld (arthrogram) en deed het bariumsulfaat zijn intrede als contrastmiddel voor onderzoek van het maag-darmkanaal.

In 1910 werd in de Verenigde Staten de urethrografie ontwikkeld en werd in Duitsland een begin gemaakt met het fotograferen van de met contrast gevulde baarmoeder (hysterografie).

Een jaar later gelukte het de Fransen Lomon en Comandon, om de bewegingen van hart, darmen en bepaalde gewrichten door middel van cineradiografie af te beelden. (7)

De introductie in 1913 van de Coolidge-buis zou van grote betekenis zijn voor de röntgendiagnostiek; deze röntgenbuis was namelijk gemakkelijk te hanteren en in haar werking zeer betrouwbaar. Bovendien profiteerde de röntgendiagnostiek van een aantal technische verbeteringen, zoals de vervanging van de fotografische glasplaten door films en de invoering van versterkingschermen en van het Potter-Bucky diafragma (zie hoofdstuk V).

In de jaren na 1910 werden ook diverse nieuwe contrastonderzoeken ontwikkeld. De Amerikaan Chevalier Jackson wist in 1918 de bronchiaalboom af te beelden door bismutpoeder in de trachea te blazen en daarmee was hij de grondlegger geworden van de bronchografie. Zijn landgenoot Dandy insuffleerde in de jaren 1918-1919 lucht in de menselijke hersenventrikels, waardoor deze op de fotografische plaat konden worden afgebeeld; Dandy introduceerde daarmee de ventriculografie.

In 1921 suggereerde de Fransman Bocage een nieuwe methode van röntgenologisch onderzoek, de tomografie, die het mogelijk zou maken, dat bepaalde vlakken in het lichaam scherp konden worden afgebeeld. Deze methode werd in de jaren dertig in praktijk gebracht, onder andere door de inspanningen van de Italiaan Vallebona en van de Nederlandse arts Ziedses des Plantes, die in 1932 deze methode in de vorm van de 'planigrafie' verder uitwerkte.

In de jaren 1922 en 1923 voerden de Fransen Sicard en Forestier lipiodol in voor bronchografie en voor de afbeelding van het ruggemerg (myelografie) en het jaar daarop introduceerden de Amerikanen Graham en Cole tetra-joodfenolthaleïne als contrastmiddel voor de afbeelding van de galblaas. (8)

De cardiovasculaire röntgenologie werd in de jaren 1924 en 1925 geïnitieerd; in 1927 wisten de Portugezen Moniz en Lima met behulp van contrastmiddelen de hersenvaten af te beelden, terwijl in 1931 hun landgenoten Dos Santos, Lamas en Caldas op soortgelijke wijze de beenarteriën konden afbeelden. Uit deze eerste pogingen tot angiografie hebben zich in latere jaren de angiocardiografie, de arteriografie en de flebografie ontwikkeld. (9)

De Braziliaan D'Abreu construeerde in 1936 een 'fotofluorografisch apparaat', waarmee van het doorlichtingsbeeld een afbeelding op een film kon worden vastgelegd. Dit maakte het voor het eerst mogelijk om bevolkingsonderzoeken uit te voeren, waardoor bijvoorbeeld longtuberculose vroegtijdig op het spoor kon worden gekomen. (10)

II.4 De ontwikkeling van de röntgentherapie.

Op 9 januari 1896 brachten de kranten van Chicago het sensationele nieuws, dat een Duitse professor een nieuw soort stralen had ontdekt. (11) Emil Grubbé (1875-1960), die student was aan het Hahnemann Medical College te Chicago (een homeopathische 'medical school') en daarnaast werkzaam was als 'manufacturer of incandescent lamps, Geissler and Crookes tubes', ging meteen, nadat hij van dit bericht kennis had genomen, experimenteren met een Crookes-vacuümbuis. Als gevolg van deze proefondervindingen ontwikkelde hij in de laatste week van januari 1896 een röntgendermatitis van zijn linker handrug, die zo heftig verliep, dat hij medisch advies nodig achtte. Op 27 januari consulteerde hij in de faculteitskamer van het Hahnemann Medical College een van zijn hoogleraren, Dr. Cobb. Op het moment, dat deze Grubbé's aangedane hand onderzocht, traden drie andere hoogleraren de kamer binnen, die

onmiddellijk grote belangstelling toonden voor de nieuwe aandoening. Een van deze professoren, Dr. Gilman, concludeerde, trouw aan homeopathische principes als de wet van Arndt-Schulz, dat als de x-stralen in staat waren een pathologische toestand van de huid teweeg te brengen, zij ook tot genezing in staat zouden moeten zijn. Hij stelde voor, dat Grubbé een aantal patienten met de nieuwe stralen zou gaan behandelen. Naar aanleiding van deze suggestie bestraalde Grubbé op 29 januari 1896 een patiente, Mrs. Rose Lee, voor inoperabel carcinoom van de linker borst en hij was daarmee de eerste persoon ter wereld, die x-stralen voor therapeutische doelen appliceerde. Overigens overleed Mrs. Lee binnen een maand na de eerste stralenbehandeling aan de gevolgen van haar ziekte, nog voordat een conclusie ten aanzien van het effect van de bestraling mogelijk was. (12)

De Britse arts Glover Lyon had trouwens in een brief aan het toonaangevende medische tijdschrift *The Lancet* ook al op de mogelijke therapeutische waarde van x-stralen gewezen. Deze brief werd gepubliceerd op 29 januari 1896, de dag waarop Grubbé zijn eerste patient bestraalde. (13)

In het begin van 1896 bestraalde de Fransman Despeignes zonder veel succes een maagcarcinoom; hij nam hierbij waar, dat de bestraling de pijn deed verminderen. (14) Als grondlegger van de röntgentherapie wordt evenwel de Oostenrijker Leopold Freund gezien, die in 1897 te Wenen de stralen therapeutisch toepaste bij een patientje met een behaarde naevus en daarmee in eerste instantie goed resultaat leek te boeken. Enkele weken na de behandeling ontwikkelde zich echter in het bestraalde gebied een grote röntgenzweer, die zeer moeilijk te behandelen was. (15) Inmiddels waren er meer en meer berichten verschenen, waarin werd vermeld, dat röntgenstralen een schadelijk effect op de huid konden hebben. De Brit Stevens, een der eersten, die melding heeft gemaakt van schade door x-stralen aan de huid, berichtte, dat personen, die veel met de stralen werkten, dikwijls een pijnlijk erytheem met zwelling kregen aan oogleden, neusvleugels, bovenlip, handen en polsen en de voorhuid. (16) Soortgelijke mededelingen verschenen in de loop van 1897 in toenemende mate (17) en dit leidde tot de vaststelling, dat de huid bij een doorlichting of een fotografische opname twee tot drie weken na blootstelling roodheid en zwelling kon gaan vertonen, hetgeen wees op een biologische werking van röntgenstraling. Dit had tot gevolg, dat men in de jaren 1897 en 1898 röntgenstralen ging toepassen ter bestrijding van allerlei goedaardige huidziekten. De Zweden Sjögren en Stenbeck toonden in 1899 op een vergadering van het Zweedse Genootschap van Geneesheren een patient, bij wie zij met succes een huidcarcinoom met x-stralen hadden behandeld. Deze mededeling gaf de radiotherapie van maligne huidziekten een belangrijke impuls. Voor het eerst was immers aangetoond, dat een maligne huidziekte met behulp van straling kon worden genezen! (18)

In deze eerste jaren van de röntgentherapie lag de nadruk voor een groot deel op toepassing in de dermatologie. Een aantal publikaties in het jaar 1903 zou echter vergaande gevolgen hebben voor de geneeskundige toepassing van x-stralen.

In dat jaar deelde de Amerikaanse arts Senn mede, dat het hem was gelukt om bij twee leukemiepatiënten het bloedbeeld gunstig te beïnvloeden door middel van röntgenbehandeling. Als resultaat van de bestraling noteerde hij bovendien teruggang van de leukemische zwellingen van milt en lymfeklieren.

Ongeveer gelijktijdig berichtte Senns landgenoot Pusey over succesvolle resultaten in de röntgentherapie van de ziekte van Hodgkin. (19)

Daarnaast meldde de Hamburgse arts Albers-Schönberg, dat hij bij konijnen, na applicatie van röntgenstralen op de testes, azoöspermie had waargenomen. (20)

Er leek op grond van deze feiten maar één conclusie mogelijk: röntgenstralen konden door de huid heen inwerken op de inwendige organen en hun werking was niet tot de huid beperkt. Deze mededelingen waren opmerkelijk, omdat de medische wetenschap tot dan toe alleen een werking van de stralen op de huid had aangenomen en nog geen duidelijke aanwijzingen had voor een effect op de inwendige organen, hoewel dit door sommige artsen wel als mogelijkheid was gesuggereerd.

De Duitser Heineke leverde in de jaren 1903 en 1904 aan de hand van dierproeven het definitieve bewijs voor de dieptewerking van röntgenstralen. Heineke toonde bovendien aan, dat bepaalde weefsels, zoals lymfatisch weefsel, bijzonder gevoelig waren voor straling en dat de therapeutische toepassing van röntgenstralen bij ziekten van de inwendige organen binnen het bereik der mogelijkheden lag. (21)

In 1904 formuleerden de Fransen Bergonié en Tribondeau de naar hen genoemde 'wet', die betrekking had op het effect van straling op cellen en weefsels en die op het volgende neerkwam: onrijpe cellen en cellen, die zich in het proces van een celdeling bevinden, zijn gevoeliger voor straling dan cellen, die gerijpt zijn en hun uiteindelijke morfologische en fysiologische vorm al hebben aangenomen. (22)

Nu dit alles bekend was geworden, begon de röntgentherapie voor ziekten van de inwendige organen zich sterk te ontwikkelen. Een belangrijke stap voorwaarts in dit verband was het werk van de jonge Duitse fysicus Friedrich Dessauer. Reeds in 1905 had deze zich afgevraagd, of het fysisch mogelijk zou zijn een werkzame dosis straling in de diepte van het lichaam te appliceren, zonder huid en tussenliggende weefsels te verbranden. (23)

Op het Vierde Internationale Congres voor Geneeskundige Electrologie en Radiologie, dat werd gehouden van 2 tot 5 september 1908 te Amsterdam, sprak hij over de oplossing voor dit probleem. Het was hem gelukt, op diepgelegen nieuwvormingen de benodigde hoeveelheid stralen te concentreren, door de dieper doordringende componenten van de x-stralen te gebruiken. Deze werden veel gelijkmatiger door de weefsels geabsorbeerd en door de afstand van de röntgenbuis tot de patient te vergroten, wist hij een min of meer homogene bestraling te creëren. Door vanuit verschillende richtingen te bestralen, zorgde hij er voor, dat de huid op een bepaalde plek korter bestraald kon worden dan het geval zou zijn geweest, als de stralenapplicatie vanuit één punt zou hebben plaatsgevonden. (24) Dessauer, die zelf in 1963 zou overlijden aan een door straling geïnduceerd huidcarcinoom (25), wist met deze bestralingstechniek de huid te sparen en

toch het ziekteproces diep in het lichaam een therapeutische dosis te geven. Op deze wijze heeft hij een fundamentele bijdrage geleverd aan de verbetering van de dieptetherapie.

De snelle ontwikkeling van de röntgentherapie had tot gevolg, dat aan röntgenapparatuur steeds hogere eisen moesten worden gesteld. Dit leidde er toe, dat er voortdurend nieuwe typen röntgenbuizen (steeds geavanceerder en doelmatiger) werden ontworpen. Daarnaast moest er worden gewerkt aan de ontwikkeling van betrouwbare dosimetrie, aangezien dit een absolute voorwaarde was voor een wetenschappelijke en veilige manier van werken (zie de hoofdstukken VI en VII). (26)

Vanaf 1910 staat de röntgentherapie voor een groot deel in het teken van de dieptetherapie. (27) De introductie van de Coolidge-buis in 1913 maakte het mogelijk, dat er röntgenstralen geproduceerd werden met een spanning van 140 kilovolt en dit legde de basis voor de verdere ontwikkeling van de uitwendige röntgentherapie. In 1922 was al een röntgenbuis beschikbaar, waarbij met een voltage van 200 kilovolt kon worden gewerkt. Deze ontwikkelingen vormden het begin van de zogenaamde orthovolt röntgen-dieptetherapie.

Onderzoekers van het Institut du Radium te Parijs demonstreerden in 1922 op het Internationale Congres voor Otologie te Parijs zes patienten, die bekend waren met larynxcarcinoom en die in het voorafgaande jaar waren behandeld door middel van röntgentherapie. Deze patienten waren op het moment van rapportage ogenschijnlijk klinisch zonder kanker (28) en vijftien jaar na de behandeling waren drie van hen nog gezond. (29) Voor het eerst was hiermee aangetoond, dat radiotherapie duurzame curatieve resultaten kon geven. (30)

In 1927 toonde de Amerikaanse geneticus Hermann Muller aan, dat röntgenstralen mutaties konden veroorzaken in het genetisch materiaal van bananenvliegjes (*Drosophila monogaster*). (31) Hoewel ditzelfde bij de mens niet te bewijzen was, maande deze ontdekking de medische wereld tot voorzichtigheid en hierdoor begon de radioprotectie van patient en werkers meer aandacht te krijgen. (32)

In 1928 had de Amerikaanse fysicus Lauritsen een manier uitgedacht om röntgenstralen onder een spanning van 0.75 miljoen volt op te wekken; hij kwam bovendien met het idee om deze energierijke röntgenstraling in de behandeling van ziekten toe te passen. De eerste patient werd al in oktober 1930 met deze hoogenergetische röntgenstraling behandeld. (33)

In deze jaren kon, dankzij de voortgang der techniek, ook geëxperimenteerd worden met alternatieve vormen van straling, zoals elektronenstraling en neutronenstraling. Op het 23e Duitse Röntgencongres, dat werd gehouden in 1931, stelde Brasch, dat energierijke elektronen in de diepte van een lichaam meer energie afgaven dan aan de oppervlakte. Hij wees verder op de grote betekenis van deze vaststelling voor de geneeskunde. (34)

In de jaren 1938-1940 ontwierp de Amerikaan Kerst het bètatron, een apparaat, dat langs een cirkelvormige baan elektronen tot zeer hoge snelheden kon versnellen. (35) De experimenten van onder anderen Beck, Halberstaedter en Schindler lieten de bijzonder goede tolerantie van het gezonde menselijke weefsel voor snelle elektronen zien. Uiteindelijk leidde

dit in 1951 tot de toepassing van therapie met snelle elektronen bij patiënten. (36) De daarop door de Duitser Grund ontwikkelde elektronenversneller liet zwenken toe en was gemakkelijk hanteerbaar (37), zodat in de jaren vijftig de oppervlaktetherapie met snelle elektronen algemeen kon worden toegepast.

Reeds in 1919 had de beroemde fysicus Rutherford ontdekt, dat atoomkernen kunstmatig konden worden getransmuteerd, als ze met α -deeltjes, afkomstig van een natuurlijk radioactief element, werden beschoten. (38) Nadat eerst de Engelsen Cockroft en Walton transmutatie van een atoomkern hadden bereikt door beschieting met kunstmatig versnelde deeltjes, kwam in 1931 de Amerikaan Lawrence met het door hem ontwikkelde cyclotron en werd in 1932 het neutron ontdekt door de Brit Chadwick.

In een cyclotron kunnen elektrisch geladen deeltjes worden versneld. Deze versnelde deeltjes kunnen op atoomkernen geschoten worden, waardoor kernreacties optreden waarbij snelle neutronen vrijkomen. Deze laatste kunnen bij patiënten worden gebruikt voor bestraling van ziekteprocessen. In de jaren 1938 en 1939 werden met een door Lawrence ontwikkeld 37 inch cyclotron voor het eerst kankerpatiënten behandeld met snelle neutronen. (39) De resultaten bij deze patiënten leken in eerste instantie veelbelovend, maar de complicaties, die na enige tijd optraden, brachten neutronenpionier Stone in 1948 tot de conclusie, dat van het gebruik van snelle neutronen in de radiotherapie op dat moment geen heil was te verwachten. (40) Het streven naar veilige toepassing van neutronentherapie zou in de decennia daarna nog veel onderzoek vergen. (41) In de jaren dertig werden al toestellen gemaakt, die straling opwekten onder een spanning van een megavolt. De röntgenstraling werd in deze buizen gegenereerd door elektronen, die in een elektrisch veld werden versneld, met als gevolg, dat de maximale energie van de straling gelijk was aan het potentiaalverschil, dat de elektronen hadden doorlopen. De 'megavolttherapie' kwam echter pas na de vijftiger jaren goed op gang. Er werd toen een manier ingevoerd om de elektronen, nodig voor het opwekken van röntgenstralen, een energie van vele mega-elektronvolten te geven (terwijl ze in feite veel lagere potentiaalverschillen doorliepen), door ze met microgolven voort te stuwen in een versnellingspijp. De eerste zogenaamde 'lineaire versneller' werd in 1952 in het Hammersmith Hospital te Londen geïnstalleerd en de eerste therapeutische proeven vonden daar in 1953 plaats. (42) Vanaf deze tijd verspreidde de 'linac' zich, met name vanuit Groot-Brittannië en de Verenigde Staten, over de hele wereld. Tegenwoordig kunnen röntgenstralen met een maximale energie van vele tientallen mega-elektronvolt worden opgewekt (43) en is de lineaire accelerator een vertrouwd verschijnsel geworden in veel radiotherapeutische instituten.

II.5 Radiumtherapie.

In het voorjaar van 1896 maakte de Parijse hoogleraar in de fysica Antoine Becquerel (1852-1908) bekend, dat bestanddelen van uraniumerts onzichtbare doordringende straling afgaven en dat deze stralen een fotografisch effect hadden en in staat waren een electroscoop te ontladen. (44) Becquerel was hiermee de ontdekker van de natuurlijke radioactiviteit geworden.

De Poolse natuurkundige Marya Curie-Sklodowska (1867-1934), die een onderwerp zocht voor haar dissertatie, raakte geïnteresseerd in de ontdekking van Becquerel en besloot zijn bevindingen nader te onderzoeken. Madame Curie begon, eerst alleen, maar na enige tijd bijgestaan door haar echtgenoot Pierre Curie (1859-1906), een onderzoek naar de oorsprong van de energie, die het uraniumerts uitzond.

In de loop van 1898 ontdekte het echtpaar, dat uraanpekerts twee tot dan toe onbekende radioactieve elementen bevatte, die zij polonium en radium zouden noemen. Zij slaagden erin radium te isoleren en het atoomgewicht ervan te bepalen. (45) In 1903 kregen Becquerel en de Curies voor hun onderzoek de Nobelprijs voor fysica.

Becquerel was overigens misschien wel de eerste persoon, die een huidreactie opliep als gevolg van de inwerking van radiumstralen. In 1899 droeg hij een glazen buisje met daarin 200 milligram radium in zijn vestzak; vijftien dagen later zag hij een reactie van zijn huid optreden, die een maand nodig had om te herstellen. Ook Pierre Curie, die de huid van zijn arm aan radiumstraling had blootgesteld, zag een dergelijke reactie ontstaan. In deze zelfde periode verkondigden de medici Walkoff en Giesel reeds, dat radium 'bepaalde fysiologische effecten' had. (46) Deze gebeurtenissen leidden er toe, dat artsen gingen experimenteren met de toepassing van radium in de behandeling van huidziekten. In 1901 had Pierre Curie een klein buisje, gevuld met radium, aan de arts Danlos gegeven, met de suggestie, dat dit misschien wel therapeutisch gebruikt zou kunnen worden. Danlos en Block van het Hôpital Saint Louis te Parijs gebruikten dat jaar als eersten radium voor de behandeling van huid-tuberculose. (47)

In augustus 1903 verscheen in *Nature* een brief van Alexander Graham Bell, de Schots-Amerikaanse uitvinder van de telefoon, waarin deze stelde:

'...but there is no reason why a tiny fragment of radium sealed up in a fine glass tube should not be inserted into the very heart of the cancer, thus acting directly upon the diseased material.' (48)

Onder de eersten, die dit idee ten uitvoer brachten, was de Amerikaan Robert Abbe, die operatief celluloid buisjes in een tumor plaatste, de wond zodanig dichtmaakte, dat de openingen van de buisjes er nog uit staken en daarna de buisjes vulde met radium. Dit was het begin van de brachytherapie. In 1904 werd radium al in diverse ziekenhuizen therapeutisch toegepast. Ook in Nederland begon de medische toepassing van radium

aandacht te krijgen. Nederlandse artsen als Posthumus Meijjes, Bollaan en Van Dugteren publiceerden al in de jaren 1904-1906 hun ervaringen met radiumtherapie. (49)

Er ontstonden zelfs speciale radiuminstituten. Zo werd in 1905 het 'Holt Radium Institute' te Manchester opgericht, in 1910 'Radiumhemmet' te Stockholm (onder leiding van de legendarische Gosta Forssell) en in 1911 het 'London Radium Institute'. (50) Vlak voor het uitbreken van de Eerste Wereldoorlog werd te Parijs het 'Institut du Radium' opgericht, dat onder meer tot doel had de biologische en medische toepassing van radioactiviteit te onderzoeken en uit te breiden. (51) De radiumtherapie maakte een grote stap voorwaarts, toen Henri Dominici in 1907 een methode beschreef voor het werken met gefilterde radiumpreparaten; hij had met behulp van deze preparaten bij een aantal patienten met inoperabele carcinomen zodanige tumorregressie bereikt, dat operatief ingrijpen mogelijk was geworden. (52) Een andere belangrijke bijdrage aan de toepassing van radiumtherapie werd geleverd door de Ier Stevenson. Deze Dublinse arts was in 1914 de eerste, die glazen houders, gevuld met radon, een gasvormig vervalproduct van radium ('radiumemanatie'), toepaste voor interstitiële therapie. (53) Naast het dure en moeilijk te verkrijgen radium, werd al vanaf 1912 in Duitsland en Oostenrijk ook met het veel goedkopere en gemakkelijker te verkrijgen mesothorium gewerkt.

In de loop der tijd werd radium in steeds grotere hoeveelheden toegepast. In 1911 gebruikte Finzi voor de behandeling van patienten 600 milligram radium en in 1914 paste Cameron al 1020 milligram radium voor ditzelfde doel toe.

Reeds in 1912 had König het idee geopperd om een zodanige hoeveelheid radium te gaan toepassen, dat daarmee vanaf een afstand bestraald zou kunnen worden. In zijn enthousiasme bouwde König zelfs een 'radiumkanon' voor de behandeling van tumoren in het bekkengebied, maar hij moest zijn plannen al gauw weer opgeven, omdat die zijn gehele voorraad stralende substantie in beslag namen (hij had voor zijn experimenten trouwens mesothorium in plaats van radium gebruikt). König had hiermee echter wél de eerste aanzet gegeven tot de ontwikkeling van de telecurie-therapie. Het eerste apparaat, dat een hoeveelheid radium bevatte, die geschikt was voor bestraling op afstand, was waarschijnlijk het toestel, dat in 1922 werd vervaardigd door de Zweed Lysholm van Radiumhemmet te Stockholm. Uit dit apparaat trad een bundel γ -stralen afkomstig van twee gram radium en Lysholm noemde zijn vondst daarom 'radium howitzer'. (54)

In 1920 had Lazarus-Barlow al vijf gram radium voor therapeutisch gebruik ter beschikking. Rond 1930 gebruikte Regaud drie tot vier gram radium voor externe bestraling van diepe tumoren en in 1933 behandelde hij patienten met cervixcarcinoom al met een 'radium bom', die tien gram van de stralende substantie bevatte. (55).

Radium werd niet alleen gebruikt voor externe bestraling of voor brachytherapie. Het element werd soms in de vorm van radiumnaalden of radiumdrinkbekers geapliceerd en ook toegepast in combinatie met röntgentherapie (zie hoofdstuk IX). De stralende substantie werd verder

toegepast in lichaamsholten, zoals mond, keelholte en vagina, die immers van buitenaf gemakkelijk toegankelijk waren.

Radiumtherapie heeft echter nooit zo'n grote vlucht genomen als röntgentherapie. Voor een deel is dit het gevolg geweest van het feit, dat de hoeveelheden radium, die de artsen ter beschikking stonden, te klein waren, waardoor voor applicatie van een therapeutische dosis zeer lange blootstellingstijden nodig waren. Externe radiumbestraling moest bovendien, vanwege de kleine hoeveelheden, vanaf geringe afstand geschieden, waardoor een ongunstige verdeling van de stralingsenergie in het lichaam optrad.

Na de ontdekking van de kunstmatige radioactiviteit in 1934 door het echtpaar Joliot-Curie kwam het idee naar voren om radium te gaan vervangen door andere, voor therapie meer geschikte, radioactieve elementen. Na de Tweede Wereldoorlog kwam het onderzoek naar radium vervangende nucliden pas goed op gang. (56) In deze tijd ontstond ook de gedachte om Kobalt 60 te gaan gebruiken voor telecurietherapie. De eerste behandeling van een patient met Kobalt 60 vond plaats op 27 oktober 1951, in het Victoria Hospital te Londen in Canada. De Kobalt 60 telecurietherapie won daarna snel terrein en werd een belangrijk onderdeel van de radiotherapie. In de loop der jaren heeft radium, mede om redenen van stralingsbescherming, ook in de brachytherapie en intracavitare radiotherapie zijn plaats prijs moeten geven.

II.6 Biografische schetsen.

In deze paragraaf zullen enkele personen nader worden belicht, die in dit werk herhaaldelijk ter sprake zullen komen, omdat zij een belangrijke rol hebben gespeeld in de ontwikkeling van de radiologie.

Guido Holzknacht (1872-1931) zal door zijn niet aflatende ijver voor de preventie van stralenschade bij patienten in het vervolg van dit proefschrift een steeds terugkerende figuur zijn. Holzknacht werd geboren in Wenen en studeerde geneeskunde in Straatsburg (dat in die tijd tot Duitsland behoorde), Königsberg en Wenen. In juli 1899 studeerde hij af als 'Doktor der gesamten Heilkunde'. Tijdens zijn verblijf in Königsberg werden de röntgenstralen ontdekt. Met name door toedoen van de hoogleraar geneeskunde Ludwig Lichtheim, die hem met de nieuwe stralen in contact bracht, raakte Holzknacht gefascineerd door de mogelijkheden hiervan voor de geneeskunde. Hij gaf zijn voornemen om psychiater te worden op en besloot zijn loopbaan aan de medische toepassing van röntgenstralen te wijden.

In oktober 1899 trad hij in dienst bij de afdeling inwendige geneeskunde van het Allgemeine Krankenhaus van de Universiteit van Wenen. Daar kreeg hij een door een andere afdeling afgedankt röntgenapparaat ter beschikking. Hij wijdde zich onmiddellijk geheel aan de röntgendiagnostiek van inwendige ziekten. Inmiddels was onder jurisdictie van de afdeling dermatologie van het Allgemeine Krankenhaus een Röntgen-Institut opgericht onder leiding van de arts Gustav Kaiser. Deze geneesheer moest

zijn functie echter in 1901, vanwege ernstige röntgenbeschadigingen, die zich bij hem openbaarden, neerleggen. Nadat eerst een waarnemer was aangesteld, werd Holz knecht in 1902 tot Kaisers opvolger benoemd. De overgang van het 'röntgenkamertje' van de afdeling inwendige geneeskunde naar het veel beter geoutilleerde Röntgen-Instituut bracht Holz knecht in de positie om zijn capaciteiten ten volle te ontplooiën. Naast de röntgendiagnostiek kon hij zich nu ook gaan bezig houden met de röntgen-radiumtherapie van dermatosen. Hij bestudeerde tot in detail de diverse huidreacties en reeds in 1902 presenteerde hij de chromoradiometer (zie hoofdstuk VI), waarmee hij wereldfaam verwierf. In 1904 werd hij benoemd tot directeur van het Röntgen-Instituut (voordien had het instituut geen directeur gekend) en een jaar later werd aan het Allgemeine Krankenhaus een onafhankelijk Laboratorium für Röntgendiagnostik und Röntgentherapie opgericht, waarvan hij de leider werd. In de daaropvolgende jaren richtte zijn aandacht zich voornamelijk op de röntgendiagnostiek van het maagdarmkanaal.

Gedurende de Eerste Wereldoorlog diende Holz knecht als luitenant-kolonel in het Oostenrijks-Hongaarse leger. Hij organiseerde militaire radiologische diensten, ontwikkelde röntgendiagnostische hulpinstrumenten en werkte mee aan de oplossing van de medisch-chirurgische oorlogsproblematiek. Na de oorlog hield hij zich bezig met zowel röntgendiagnostiek als -therapie, de preventie van stralenschade bij patiënten, de emancipatie van de radiologie als zelfstandige discipline binnen de geneeskunde en de invoering van radiologisch onderwijs. (57) Del Regato stelde in zijn korte biografie van Holz knecht:

'Holz knecht had a magnetic personal charm, that made him popular as well as respected; he was stubborn but friendly, and he relished controversy.' (58)

Niemand heeft in de eerste vijftig jaar van deze eeuw zo zijn stempel gezet op de radiologie als deze Weense arts. Hij was zonder meer de belangrijkste radioloog van zijn tijd en hij maakte Wenen tot het toonaangevende radiologische centrum van de wereld.

Holz knecht betaalde een hoge prijs voor zijn pionierswerk. De drang om zijn ervaring steeds verder uit te breiden en zijn voorliefde voor radioscopie hadden het optreden van chronische röntgenbeschadigingen van de huid van zijn handen tot gevolg. De opgetreden hyperkeratoses ontwikkelden zich na enige tijd tot carcinomen en aan het einde van zijn leven waren daardoor diverse operaties noodzakelijk, die resulteerden in de amputatie van zijn rechter hand en een deel van de linker. Deze radicale ingrepen mochten echter niet baten en op 30 oktober 1931 overleed hij als slachtoffer van zijn beroep te Wenen, de stad waar hij bijna zijn hele leven had gewoond en gewerkt. (59)

Holz knecht had enkele beroemde Weense collega's, die ieder voor zich bijdroegen aan de faam van de Weense School.

Leopold Freund (1868-1961), die oorspronkelijk dermatoloog was maar zich tot een beroemd röntgenoloog ontwikkelde, had bekendheid verkregen,

doordat hij als een der eersten röntgenstralen therapeutisch had toegepast. Hij was verbonden aan de Klinik für Syphilis und Hautkrankheiten van het Allgemeine Krankenhaus te Wenen en hield zich met name met radiotherapie van huidziekten bezig. (60) De contacten met Holz knecht, wiens Röntgen-Institut onder de jurisdictie van de dermatologische kliniek viel, hebben ongetwijfeld bijgedragen aan de totstandkoming van Freunds jodoform-chloroform dosimeter, een van de eerste chemische dosimeters. Een andere beroemde Weense röntgenpionier was Robert Kienböck (1871-1953), die een goede vriend was van Holz knecht. In 1899 had hij een 'Privat-Röntgeninstitut' opgericht, maar in 1904 werd hem de venia legendi verleend en werd hij hoofd van de radiologische afdeling van de Wiener Allgemeine Poliklinik. Hij had zich gespecialiseerd in osteologie. Naar Kienböck zijn een aantal osteologische ziekten genoemd, die hij als eerste heeft beschreven, onder andere de botatrofie (1901), de lunatum malacie (1910) en de handluxatie (1910) 'van Kienböck'. (61)

Een bekende leerling van Holz knecht was Gottwalt Schwarz (1880-1959), die reeds tijdens zijn medische studie te Wenen onderzoek deed naar de werking van röntgenstralen op planten en van radiumstralen op kippeëieren. Hij werd door Holz knecht opgeleid tot radioloog, zodat het geen verbazing gewekt zal hebben, dat hij onder diens hoede in 1906 een chemische dosimeter ontwikkelde: de kalomelradiometer. (62)

Naast de invloedrijke Weense School waren elders diverse individuele onderzoekers actief, die belangrijke bijdragen hebben geleverd aan de radiologische wetenschap.

De Franse dermatoloog Raymond Sabouraud (1864-1938) was vanaf 1897 hoofd geweest van het laboratorium van het Hôpital Saint Louis te Parijs en had zich ontwikkeld tot een expert op het gebied der parasitaire huidziekten. Vanaf 1900 was hij directeur van de Parijse École Lailler, een ziekenhuis en opleidingsinstituut, dat samenwerkte met het Hôpital Saint Louis. Sabouraud behandelde parasitaire huidziekten van de schedel, waaronder ringworm, door middel van röntgenepilatie. Hij besloot een dosimeter te construeren, die alleen de epilatie-dosis hoefde aan te geven. Samen met zijn medewerker Noiré ontwikkelde hij daarop de radiometer X, een dosimeter, die wijdvermaard zou worden. Sabouraud bleef evenwel in de eerste plaats dermatoloog; de ontwikkeling van deze dosimeter was voor hem slechts een onderdeel van zijn veelomvattende dermatologische werkzaamheden. (63)

De eerste Franse arts, die zich uitsluitend met radiologie bezig hield, was Antoine Béclère (1856-1939). Béclère werkte op het moment van de ontdekking van de X-stralen in het Hospice Debrousse te Parijs, waar hij zich bezig hield met onderzoek op het gebied van immunologie en infectieziekten. In het begin van 1896 hield de Parijse arts Paul Oudin in zijn huis in de rue de Belzunce een 'soirée', waarvoor enkele vooraanstaande geneesheren waren uitgenodigd. Het hoogtepunt van de avond zou een radioscopische demonstratie zijn. Antoine Béclère was een van de genodigden, maar op die bewuste avond werd hij weggeroepen om een ernstig ziek kind te onderzoeken. Dit leidde er toe, dat hij pas op de

bijeenkomst verscheen, toen de demonstratie reeds was afgelopen. Zijn teleurstelling was zo groot, dat zijn vrienden besloten de doorlichting nogmaals uit te voeren. De oude dienstbode, die als proefpersoon had gefungeerd, werd weer uit haar bed gehaald om opnieuw voor de röntgenbuis plaats te nemen. Op het primitieve fluorescerende scherm zag Bécclère voor het eerst van zijn leven de bewegende schaduwen van hart en middenrif. Hij begreep onmiddellijk de enorme mogelijkheden van de x-stralen voor de geneeskunde. Zodra hij op deze wijze kennis had genomen van Röntgens ontdekking, schafte hij de benodigde apparatuur aan om zelf röntgenfoto's te kunnen nemen. Vanaf dat moment stond zijn leven in dienst van de radiologie. In 1899 werd hij benoemd tot Chef de Service van het Hôpital St. Antoine en in die functie verrichtte hij talloze radioscopische onderzoeken. Geconfronteerd met het onvoorspelbare gedrag van zijn röntgenbuis en de onbevredigende manier, waarop het doordringend vermogen van de straling werd gemeten, ontwikkelde hij in 1900 de zogenaamde spintermeter. In 1902 richtte hij in het Hôpital St. Antoine een radiotherapeutische dienst op, waar hij vanaf 1904 ook radium toepaste. In 1908 was hij een van de oprichters van de Société d'Électroradiologie Médicale de Paris, die enige jaren later 'de France' zou worden. (64)

Naast Bécclère zouden nog enkele andere Franse radiologen een grote reputatie verwerven, waaronder twee onderzoekers van het Institut du Radium te Parijs: Claudius Regaud (1870-1940) en Henri Coutard (1876-1950), die een klinisch goed bruikbare methode voor gefractioneerde radiotherapie ontwikkelden.

Regaud was vanaf 1901 hoogleraar histologie geweest in Lyon en had vooral onderzoek gedaan naar de effecten van straling op dierlijke testes. In 1912 stelde hij samen met zijn medewerker Nogier vast, dat testes van een ram permanent steriel gemaakt konden worden zónder het scrotum te beschadigen, als deze driemaal bestraald werden met tussen de bestralingen steeds vijftien dagen pauze. Dit werk legde de biologische basis voor de fractionering, die Regaud later in de radiotherapie zou invoeren. In 1909 kreeg Emile Roux, leerling van Louis Pasteur en directeur van het Institut Pasteur te Parijs, de ingeving om een laboratorium te scheppen voor Madame Curie, teneinde de beroemde fysica uit haar laboratorium aan de Sorbonne weg te lokken en tot 'stermedewerker' van het Institut Pasteur te maken. Deze plannen gingen echter de curatoren van de Universiteit van Parijs te ver en na ampele discussie werd door Roux en vice-rector magnificus Liard besloten voor gezamenlijke rekening van beide instellingen -400.000 franc voor elk- een Institut du Radium te bouwen. Het nieuwe instituut zou uit twee paviljoenen bestaan: het Pavillon Curie werd het fysisch laboratorium van Madame Curie (die in functie bleef van de Sorbonne) en het Pavillon Pasteur werd een centrum voor radiofysiologische en radiotherapeutische studies. Regaud werd benoemd tot directeur van het Pavillon Pasteur. Het werk in het Institut du Radium was net begonnen, toen de Eerste Wereldoorlog uitbrak. Regaud diende als luitenant-kolonel in het leger en was onder andere hoofd van een opleidingscentrum voor militaire artsen. Pas in 1919 kon hij zijn werk in het

Institut du Radium hervatten. Hij richtte zich op de histologische studie van tumoren en samen met Coutard op de studie van de gefractioneerde radiotherapie. (65) In de oorlog had hij majoor Henri Coutard ontmoet, die hoofd was van de radiologische dienst van een militair ziekenhuis en voor de oorlog in het Laboratoire d'Essais de Substances Radioactives te Parijs had gewerkt. Na de wapenstilstand bood Regaud Coutard een betrekking aan in het Institut du Radium, waar de laatste in een kelder een eigen röntgeeneenheid ter beschikking kreeg voor diagnostisch, therapeutisch en experimenteel onderzoek. De samenwerking tussen deze beide artsen legde de basis van de gefractioneerde radiotherapie, die tot op de dag van vandaag toepassing vindt. (66)

Ook in het land van Röntgen traden belangrijke radiologen naar voren. De Duitse medicus Heinrich Albers-Schönberg (1865-1921) was op het moment van Röntgens ontdekking praktizerend arts in Hamburg. In 1897 richtte hij in zijn woonplaats een 'Institut zur Anwendung der Röntgenstrahlen' op en vanaf dat moment stelde hij zijn leven in dienst van de radiologie. Dit leidde nog in datzelfde jaar tot de oprichting van de *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen*, een van de eerste radiologische tijdschriften. Albers-Schönberg wordt algemeen beschouwd als de eerste Duitse 'Facharzt für Röntgenologie'. In 1903 werd hij röntgenoloog aan het Allgemeine Krankenhaus St. Georg in Hamburg en in 1919 volgde zijn benoeming tot hoogleraar röntgenologie aan de Universiteit van Hamburg. Hoewel hij zich grotendeels bezig hield met röntgendiagnostiek, leverde hij ook belangrijke bijdragen aan de röntgentherapie (zie ook hoofdstuk VI). Ook Albers-Schönberg betaalde een hoge prijs voor zijn pionierswerk. Na een lijdensweg van meer dan tien jaar stierf hij in 1921 aan chronische röntgenbeschadigingen. (67)

Een van de bekendste Duitse radiotherapeuten was Hermann Wintz (1887-1947). Wintz studeerde geneeskunde in Erlangen, Heidelberg en Freiburg, waarna hij te Erlangen assistent werd in de vrouwenkliniek van professor Ludwig Seitz. Hij maakte een voorspoedige carrière door en werd in 1918 benoemd tot hoogleraar gynaecologie en verloskunde. Twee jaar later volgde hij Seitz op als hoogleraar-directeur van de Erlangse vrouwenkliniek. Gedurende zijn assistententijd gaf Wintz reeds blijk van een grote technische belangstelling en hij legde al in die periode contact met de fysici en technici van de röntgenfabriek Reiniger, Gebbert & Schall, die te Erlangen gevestigd was. Dit contact leidde tot een langdurige en intensieve samenwerking, waaruit onder andere de totstandkoming voortvloeide van de Wintz-tubus en de röntgenfotometer. Tijdens de Eerste Wereldoorlog werd in de Erlangse vrouwenkliniek een modern geoutilleerd 'Zentral-röntgeninstitut' ingericht en dit gaf Wintz gelegenheid zijn aandacht volledig op de röntgentherapie van tumoren te richten. Dit resulteerde onder andere in de creatie van de Erlangse Bestralingstechniek voor de behandeling van diepgelegen tumoren, die een belangrijke rol heeft gespeeld in het veroorzaken van stralenschade bij patiënten en die in hoofdstuk VIII uitgebreid zal worden besproken. (68)

De ontwikkeling van de radiologie is het werk geweest van artsen én fysici, zodat ook enkele natuurkundigen hier bespreking verdienen.

De Amerikaan William Coolidge (1873-1975) ontwierp de eerste niet-gashoudende röntgenbuis, waardoor de ontwikkeling van de radiologie een belangrijke impuls zou krijgen. Coolidge had het diploma electrotechnisch ingenieur behaald aan het Massachusetts Institute of Technology te Boston en studeerde daarna nog eens twee jaar in Leipzig. In de eerste jaren van deze eeuw was hij als fysicus verbonden aan het Massachusetts Institute of Technology. In 1905 kreeg hij een positie aangeboden in de staf van de General Electric Research Laboratories te Schenectady, New York. Daar raakte hij betrokken bij het fysisch onderzoek naar een materiaal, dat het koolstof in de gloeidraad van gloeilampen kon vervangen. Dit onderzoek leidde langs een aantal omwegen uiteindelijk tot de constructie van de beroemde Coolidge-buis. (69)

De Duitse fysicus Walter Friedrich (1883-1968) had in 1912 naam gemaakt, omdat hij in München samen met de student Knipping experimenteel had aangetoond, dat röntgenstraling elektromagnetische straling is. Na zijn aanstelling als hoogleraar fysica in Freiburg, kwam hij in contact met de gynaecoloog Krönig en de patholoog Aschoff, die onderzoek deden naar de biologische werking van röntgenstralen, met name op het gebied van de bestrijding van kanker. Friedrich besloot zijn onderzoek te richten op het bepalen van een fysische meetmethode van straling, die proportioneel was aan het biologisch effect ervan. Redenerend, dat het menselijk lichaam grotendeels uit water bestaat, bepaalde hij eerst de absorptie van röntgenstralen in water. Hij ontdekte, dat de absorptie van straling in water op dezelfde wijze afhankelijk is van de golflengte van de stralen als in lucht. Hij trachtte daarop een ionisatiekamer te creëren, die grotendeels uit lucht bestond, zodat van een wandeffect geen sprake zou zijn. Hij slaagde in zijn opzet door een ionisatiekamer samen te stellen, die bekend werd onder de naam 'Fasskammer'. Daarna construeerde hij een ionisatiekamer, die in de medische praktijk bruikbaar zou zijn, de iontoquantimeter, die de dosimetrie veel betrouwbaarder zou maken en daardoor van grote waarde was voor de ontwikkeling van de radiologie. (70)

Uiteraard beperkten fysici zich niet tot het onderzoek van röntgenstralen. Ook radiumstralen werden systematisch bestudeerd en in bepaalde instituten onderzochten artsen en fysici gezamenlijk de toepassing van radium in de geneeskunde. In het Memorial Hospital te New York werd in de jaren twintig baanbrekend onderzoek verricht op het gebied van radiumdosimetrie en radiumtherapie. Dit ziekenhuis werd geleid door de beroemde patholoog James Ewing. In 1912 werd een nieuwe afdeling voor radiumtherapie ingesteld onder leiding van de later gevierde radium-therapeut en chirurg Henry Janeway. Janeway bereidde zich op zijn nieuwe taak voor door intensief colleges fysica te volgen aan de Columbia University. In 1915 nam hij Gioacchino Failla, die juist als fysicus aan de Columbia University was afgestudeerd, in zijn staf op. Op deze wijze bereikte hij een effectieve integratie van fysica en geneeskunde. Eerst had het Memorial Hospital slechts weinig radium ter beschikking. In 1916 werd echter een grote hoeveelheid radium uit Colorado verkregen en daardoor kreeg men beschikking over 2,3 gram radium, een van de grootste

hoeveelheden ter wereld (zie ook pg. 197). Deze omstandigheden zorgden er voor, dat het Memorial Hospital binnen een paar jaar het belangrijkste 'radium research center' van de Verenigde Staten was geworden en bovendien tot de toonaangevende radiumklinieken van de wereld ging behoren. (71) In 1919 werd Edith Quimby (1891-1982) benoemd tot Failla's medewerkster. Quimby had natuurkunde gestudeerd aan het Whitman College, Walla Walla, Washington en aan de University of California. Zij stelde haar gehele loopbaan in dienst van onderzoek op het gebied van dosimetrie en stralingsbescherming. In het Memorial Hospital werkte zij voornamelijk op het terrein van de radiumdosimetrie en haar werk leidde in 1922 tot de creatie van het eerste wetenschappelijk onderbouwde radiumdoseringssysteem. (72)

Niet alleen in New York werd gewerkt aan betrouwbare radiumdosimetrie. In het Holt Radium Institute te Manchester (Groot-Brittannië) ontwikkelden Paterson en Parker in de jaren dertig een radiumdoseringssysteem, dat in de klinische radiumtherapie zeer goed bruikbaar zou zijn.

De Schot Ralston Paterson (1897-1981) studeerde geneeskunde aan de University of Edinburgh en behaalde in Cambridge het Diploma of Medical Radiology and Electrology. Hij volgde daarnaast een chirurgische opleiding en werd Fellow of the Royal College of Surgeons. In de jaren 1926-1927 studeerde hij enige tijd in de beroemde Mayo Clinic te Rochester, Minnesota. Daar liep hij drie maanden stage in radiodiagnostiek, zes maanden in röntgentherapie en drie maanden in radiumtherapie. Na enige omzwervingen (hij werkte onder meer in radiologische instituten in Chicago, Toronto en Edinburgh) werd hij in 1931 benoemd tot directeur van het Holt Radium Institute te Manchester. Paterson was een man met grote gaven en een uitstekend organisator. Hij realiseerde zich, dat hij niet voldoende was onderlegd om een instituut voor radiumtherapie naar behoren te kunnen leiden. Hij had zich immers in de acht jaren voor zijn benoeming tot directeur van het Holt Radium Institute vrijwel alleen met röntgen-diagnostiek bezig gehouden. Om deze reden ondernam hij na zijn benoeming studiereizen naar de radiuminstituten van Brussel, Stockholm en Parijs. Deze reizen brachten hem in contact met het probleem van de radiumdosimetrie. Toen hij terug was in Manchester, besloot hij zijn onderzoek daarop te richten. (73) Paterson had het geluk, dat hij als medewerker de jonge veelbelovende fysicus Parker kreeg. Herbert Parker (1910-1984) had natuurkunde gestudeerd aan de University of Manchester en had tijdens zijn studie diverse prijzen gewonnen. De samenwerking tussen deze bekwame fysicus en de begaafde clinicus en radioloog Paterson zou voor de radiumdosimetrie grote gevolgen hebben. (74) Paterson en Parker ontwikkelden in de loop van de jaren dertig twee doseringssystemen, die de toepassing van radiumtherapie vrijwel geheel betrouwbaar zouden maken. Hun samenwerking is een mooi voorbeeld, hoe volgens wetenschapssocioloog Paul Hoch een interactie tussen onderzoekers met verschillende achtergronden kan leiden tot nieuwe inzichten. Hoch bracht dit in 1987 als volgt onder woorden:

'.....such intellectual syntheses usually occur, not in the minds of 'isolated' practitioners (or even as chance discoveries), but as a result of interactions -most powerfully of the face-to-face kind- between practitioners with diverse intellectual skills, backgrounds and orientations, who have been brought together by the temporary or permanent movement between institutions.' (75)

In Nederland is Johannes Karel August Wertheim Salomonson (1864-1922) veruit als de belangrijkste radioloog van zijn tijd te beschouwen. Wertheim Salomonson werd op 18 februari 1864 te Ambt-Almelo geboren en begon in 1881 met zijn studie geneeskunde in Leiden. In 1888 promoveerde hij cum laude op een proefschrift over stereognosis. Na zijn artsexamen kreeg hij een benoeming als assistent neurologie in Amsterdam. Aangezien Wertheim Salomonson was gezegend met een buitengewone aanleg voor wiskunde, fysica en techniek, lag het voor de hand, dat hij zich zou gaan bewegen op het raakvlak van geneeskunde en fysica. In de neurologie werd dit grensgebied gevormd door de elektrotherapie van het zenuwstelsel, een gebied waarop Wertheim Salomonson in korte tijd groot gezag verwierf. Na de ontdekking van de x-stralen was Wertheim Salomonson, samen met de fysicus Ernst Cohen, de eerste, die de stralen in Nederland in de geneeskunde toepaste. Er verscheen een groot aantal publikaties van zijn hand over röntgenologie en röntgentechniek. In 1899 werd hij aan de Gemeentelijke Universiteit van Amsterdam benoemd tot buitengewoon hoogleraar in de neurologie en de röntgenologie. (76) In februari 1901 richtten Wertheim Salomonson en de arts Bollaan zich in een circulaire tot alle collega's, van wie bekend was, dat ze zich met electrotherapie en radiologie bezig hielden,

'...hen opwekkende een vereeniging in het leven te roepen, die gelegenheid zou geven elkanders arbeid te leeren kennen, en elkander op de hoogte te houden van de vorderingen op dit gebied der geneeskundige wetenschap'. (77)

Dit initiatief leidde op 14 april 1901 tot de oprichting van de Nederlandse Vereeniging voor Elektrotherapie en Radiologie, waarvan Wertheim Salomonson voorzitter werd. Dit betekende evenwel niet, dat Wertheim Salomonson zijn neurologische werkzaamheden staakte. Gedurende het vervolg van zijn loopbaan bleef hij een van de beste kenners van het perifere zenuwstelsel. In 1912 werd hij lid van de Koninklijke Akademie van Wetenschappen en 1915 werd hij benoemd tot gewoon hoogleraar in zijn twee vakgebieden. Deze laatste benoeming gaf volgens de neuroloog professor C. Winkler in de gemeenteraad van Amsterdam aanleiding tot een voor Wertheim Salomonson 'zeer grievend en volkomen ongemotiveerd debat' en deze opmerking nodigt uiteraard uit tot een nadere bestudering van de notulen van de betreffende gemeenteraadsvergaderingen. (78) De reden van de door Winkler aangehaalde discussie in de gemeenteraad lag onder meer in het feit, dat een aantal raadsleden meende, dat de ver-

diensten van Wertheim Salomonson lagen in de electrologie en radiologie en niet in de neurologie. De overdracht van de taken van de vertrekkende hoogleraar neurologie C. Winkler aan Wertheim Salomonson achtten zij noch in het belang van het onderwijs in de neurologie, noch in het belang van de betrokken hoogleraar. (79) Tegen deze opvatting werd echter in een adres aan de gemeenteraad door een aantal neurologen en assistenten uit het Binnen Gasthuis, waar Wertheim Salomonson werkzaam was, heftig geprotesteerd. (80) Deze brandbrief kon de groep kritische raadsleden echter niet overtuigen. Het raadslid Bellaer Spruijt stelde zelfs, dat Wertheim Salomonson op zuiver neurologisch gebied weinig had gepresteerd, terwijl het raadslid Polak opmerkte, dat in vijftien jaar tijd bij Wertheim slechts één persoon was gepromoveerd en dat nog wel op een onderwerp over electro-cardiografie! (81) Bij de uiteindelijke stemming in de gemeenteraad was het merendeel van de raadsleden Wertheim Salomonson evenwel toch goed gezind: met tweeëntwintig stemmen voor, acht tegen en drie onthoudingen werd zijn benoeming bekrachtigd. (82) Wertheim Salomonson viel veel wetenschappelijke eer te beurt. Hij was erelid van zowel de Franse als de Engelse vereniging van radiologen en lid van de Deutsche Röntgen-Gesellschaft. (83) In 1921 volgde zijn inauguratie als rector magnificus van de Gemeentelijke Universiteit van Amsterdam. Tijdens dit rectoraat overleed hij op 16 september 1922. Kenmerkend voor Wertheim Salomonson was, dat hij zowel de neurologie als de röntgenologie bij voorkeur benaderde vanuit fysisch-technisch oogpunt. Hij verwierf een zo grote autoriteit als fysicus en technicus, dat hij (als geneesheer!) gekozen werd als lid van de 'Nederlandse staatscommissie ter voorbereiding van de draadloos-telegrafische gemeenschap met Indië'. (84) Zijn radiologische publikaties en voordrachten gingen vooral over technische zaken en niet zelden over technische verbeteringen aan röntgenapparatuur, die hij zelf in theorie én praktijk had ontwikkeld, daarbij geholpen door zijn weergalozes technische vaardigheden. (85) Dat deed evenwel niets af aan de kwaliteit van zijn klinisch-radiologische publikaties, maar deze hadden minder zijn belangstelling en waren ook minder talrijk. Zijn technische preoccupatie had echter tot gevolg, dat volgens de röntgenoloog en chirurg Van der Goot op de vergaderingen van de Nederlandsche Vereeniging voor Elektrotherapie en Radiologie de 'minder wetenschappelijk aangelegden' soms grote moeite hadden hem te volgen. (86) Wertheim Salomonson, die na zijn overlijden door Van der Goot 'de vader van onze vereeniging', 'de ziel van onze vereeniging' en 'de man, naar wien ieder opzag' werd genoemd, (87) stond onder de Nederlandse radiologen op eenzame hoogte, met name door zijn ongeëvenaarde kennis van fysica en techniek. Aan zijn optreden kleefde ten aanzien van de emancipatie van de klinische radiologie in Nederland wellicht als enig nadeel, dat zijn briljante (maar voor veel artsen onnavolgbare) technische werkstukken de indruk versterkt zullen hebben, dat de radiologie een zuiver technische aangelegenheid betrof, die ver stond van de reguliere geneeskunde.

II.7 De eerste jaren van de Nederlandse radiologie.

Evenals in vrijwel alle andere Europese landen kwam de medische toepassing van röntgenstralen in ons land reeds in 1896 op gang. (88) In eerste instantie betroffen publikaties over x-stralen met name demonstraties van röntgenfoto's (89) en besprekingen van de zich steeds verder uitbreidende röntgendiagnostische mogelijkheden. (90) Ook aan de therapeutische werking van x-stralen werd aandacht besteed. De arts Kuipers beschreef in 1899 twee gevallen van lupus facieï (tuberculose van de aangezichtshuid), die door hem succesvol met röntgenstralen waren behandeld. (91) In de Nederlandse radiologie was de leidende figuur de persoon van Wertheim Salomonson, die in 1901 de oprichting van de Nederlandsche Vereeniging voor Electrologie en Radiologie initieerde. (92) Het was waarschijnlijk aan zijn internationale reputatie te danken, dat onder zijn voorzitterschap van 1-5 september 1908 het vierde internationale congres voor medische electrologie en radiologie te Amsterdam werd gehouden. (93)

De Nederlandsche Vereeniging voor Electrologie en Radiologie werd een gremium, waar de leden hun ervaringen uitwisselden en kennis konden nemen van de nieuwste ontwikkelingen binnen de radiologie. Van Wylick geeft in zijn dissertatie *Röntgen en Nederland* een uitgebreide opsomming van de wetenschappelijke en klinische resultaten van het werk van de Nederlandse röntgenologen, zoals die destijds (meestal in het *Nederlandsch Tijdschrift voor Geneeskunde*) werden gepubliceerd. (94) Opvallend hierbij is, dat de ontwikkeling van de röntgenologie in Nederland vrijwel geheel te danken is aan het werk van individuen. Van de vorming van een Nederlandse School, zoals de Weense School van Holzknacht, was geen sprake, ook niet rond de persoon van de eminente geleerde Wertheim Salomonson. Deze hield zich immers vooral bezig met technische vraagstukken, waarvoor veel artsen slechts geringe belangstelling konden opbrengen. De reden van het individuele karakter van de Nederlandse röntgenologie ligt misschien ook in het feit, dat Holzknacht en zijn medewerkers zich alleen met radiologie bezighielden, terwijl de Nederlandse röntgenologen hun röntgenactiviteiten doorgaans naast andere medische werkzaamheden uitvoerden. Holzknacht beheerde bovendien een compleet en modern uitgerust röntgeninstituut en werd omringd door enkele zeer begaafde radiologen (zoals Freund, Kienböck en Schwarz), die ieder voor zich bijdroegen aan het tot stand brengen van de Weense School. De radiumtherapie kwam in Nederland, in tegenstelling tot de röntgenologie, vrij traag op gang. Dit was een logisch gevolg van het feit, dat ons land niet over radiummijnen beschikte, waardoor geïnteresseerde artsen het schaarse radium voor zeer veel geld in het buitenland moesten aanschaffen en derhalve slechts over zeer kleine hoeveelheden konden beschikken. Dit neemt niet weg, dat reeds in de jaren 1904-1906 door enkele Nederlandse artsen over de therapeutische toepassing van radium werd gepubliceerd. (95) In tegenstelling tot röntgentherapie en röntgendiagnostiek werd radiumtherapie in ons land na 1914 in de praktijken van individuele artsen nauwelijks toegepast. Dit gebeurde daarentegen wel in speciaal voor dit

doel opgerichte instituten, waardoor de radiumtherapie in Nederland meer voet aan de grond kreeg. In 1914 kwam te Leiden een inrichting voor radiotherapie tot stand (96) en in Haarlem een vrouwenkliniek, waarin over 100 milligram radium werd beschikt. (97) Op 1 december 1914 werd het Rotterdamsch Radio-Therapeutisch Instituut geopend. Dit instituut was in eerste instantie gevestigd in daarvoor ter beschikking gestelde ruimten van het Eudokia Ziekenhuis, maar op 23 juni 1916 kon een eigen gebouw in gebruik worden genomen. Deze instelling ontwikkelde zich tot een radiotherapeutische kliniek, waarin zowel radium, mesothorium als röntgenstralen therapeutisch werden gebruikt. (98) Het geld voor de oprichting van deze instituten was ingezameld door speciaal voor dit doel opgerichte verenigingen of afkomstig van liefdadigheidsinstellingen. Dat dit alles in ons land op zo korte termijn mogelijk was, geeft wel het belang aan, dat ook van de zijde van de bevolking werd gehecht aan de mogelijkheden van radiumtherapie.

Na de Eerste Wereldoorlog volgde de Nederlandse radiologie gestaag de internationale ontwikkelingen op radiologisch gebied; deze zullen in het vervolg van dit werk nader worden besproken.

II.8 Samenvatting en conclusies.

In dit hoofdstuk werd de ontwikkeling van de radiologie geschetst vanuit het oogpunt van een continue toename van kennis. Röntgenstraling werd vanaf 1896 radiografisch, radioscopisch en therapeutisch toegepast. In de radiotherapie betrof dit in eerste instantie met name de behandeling van huidziekten. Na 1903 werd begonnen met het bestralen van inwendige ziektehaarden. Vanaf 1901 werd radium therapeutisch toegepast, eerst uitwendig, maar later ook intracavitair, interstitieel en in de vorm van teleradiumtherapie. Aan de levensbeschrijving van enkele belangrijke radiologen en fysici, alsook aan de beginjaren van de Nederlandse radiologie, werd kort aandacht besteed.

HOOFDSTUK III HISTORISCH OVERZICHT VAN DE UITINGSVORMEN VAN RÖNTGEN- EN RADIUMSCHADE BIJ PATIENTEN EN WERKERS.

Inhoud:

- III.1 Inleiding.*
- III.2 Stralenbeschadiging van de huid.*
- III.3 Stralenbeschadiging van de inwendige organen en orgaansystemen.*
- III.4 Genetische effecten van straling.*
- III.5 Samenvatting en conclusies.*

III.1 Inleiding.

In eerste instantie werden de röntgenpioniers geconfronteerd met stralenbeschadigingen van de huid, zoals bijvoorbeeld in het geval van Grubbé (pg. 14), waar de herkenning van schade voorafging aan de therapeutische toepassing van straling. Vanaf 1903 werd in de literatuur melding gemaakt van stralenschade aan de inwendige organen, terwijl de genetische effecten van straling pas in 1927 werden aangetoond. In dit hoofdstuk zullen de verschillende vormen van schade aan diverse organen en orgaansystemen van de mens, alsmede de genetische schade, worden besproken. Ook zal worden aangegeven wanneer de medische wetenschap deze stralenschade onderkende. Er zal geen volledige beschrijving van alle bij de mens bekende radiopathologische effecten worden gegeven. Daarvoor zij verwezen naar de leerboeken voor radiopathologie.

III.2 Stralenbeschadiging van de huid.

Reeds in het eerste jaar na Röntgens ontdekking doken er in de literatuur berichten op over een schadelijke werking van de nieuwe stralen. De gevallen van schade door ioniserende straling, die voor 1903 werden gemeld, hadden enkel betrekking op het lichaamsoppervlak van de mens. De Duitse ingenieur Leppin gebruikte in 1896 zijn linker hand als proef-objekt om een röntgenbuis te testen en nam na enige tijd waar, dat zijn hand ter plekke een diffuse zwelling met blaarvorming ging vertonen, behalve daar, waar zijn ring had gezeten. Later bleef deze hand rood en rimpelig, waardoor ze veel ouder leek dan de gezonde rechter hand. (1)

Kort hierna berichtte de arts Marcuse over ernstige huid- en haarveranderingen, die na doorlichting waren opgetreden. Bij een focus-huidafstand van 25 centimeter of minder was een patient vier weken lang één- tot tweemaal daags vijf tot tien minuten doorlicht. Er ontwikkelden zich daarop verbrandingsverschijnselen van de huid van hoofd, gezicht en thorax, met haaruitval en conjunctivitis. (2) Ook Fuchs maakte melding van een soortgelijk geval (3), terwijl de Brit Stevens opmerkte, dat degenen, die veel met straling werkten, dikwijls pijnlijk erytheem en zwelling kregen aan oogleden, neusvleugels, bovenlip, handen en polsen en het praeputium. (4). Sehrwaldt beschreef een zeer ernstige dermatitis met hyperaemie en blaarvorming, waarbij later in het bestraalde gebied pigmentatie, haaruitval en vermindering van de zweet- en talgproductie ontstonden. (5) In de jaren, die hierop volgden, werd melding gemaakt van een hele reeks huidbeschadigingen door röntgenstraling. (6)

Plonski meldde op de Berliner medizinische Gesellschaft van 1 februari 1897 de gevolgen van een verbranding van de huid door röntgenstralen. De patient was vaak bestraald en had daardoor diepe verbrandingen van rug en handen opgelopen. De zweren waren met littekenvorming geheeld, waarbij teleangiëctasieën (verwijdingen van haarvaatjes) waren ontstaan. Plonski was daarmee één der eersten, die wees op het optreden van teleangiëctasieën in de bestraalde huid. (7)

Gassmann gaf in 1898 een gedetailleerde beschrijving van de histologie van röntgenulcera. (8) In 1902 had Codman al 147 gevallen van huidverbranding na röntgenbestraling uit de vakliteratuur verzameld (9), zodat mag worden aangenomen, dat rond deze tijd vrijwel iedere arts, die met straling werkte en zijn vakliteratuur goed bijhield, kennis had kunnen nemen van het gevaar, dat van de straling uitging voor de huid.

Nadat een aantal jaren was verstreken en diverse deterministische effecten van straling waren beschreven, werd voor het eerst ook over het stochastische carcinogene effect van straling gepubliceerd.

Op 21 oktober 1902 demonstreerde de Duitse arts Friebe voor de Hamburger Ärztevereinigung een cancroïd op de handrug van een arbeider in een röntgenbuizenfabriek, die langdurig aan röntgenstraling had blootgestaan. (10) Deze waarneming maakte medici bewust van een mogelijk carcinogeen effect van de ioniserende straling.

Het zou echter tot 1911 duren, voor werkelijk licht werd geworpen op deze vermeende carcinogeniteit. In dat jaar publiceerde de Duitser Otto Hesse over 94 in Duitsland, Engeland, Frankrijk en de Verenigde Staten waargenomen gevallen van röntgencarcinoom. Hieronder waren 54 ongecompliceerde carcinomen, 13 röntgencarcinomen met dusdanig complicerende factoren, dat niet zeker gezegd kon worden, dat de straling een oorzakelijke rol had gespeeld en 27 röntgencarcinomen, die na bestraling van lupus vulgaris in het bestraalde gebied waren ontstaan. Voor de 54 eerstgenoemde carcinomen wees Hesse als oorzaak de ioniserende straling aan, aangezien bij deze patienten de huid van te voren tumorvrij was, er geen voor tumor predisponerende eigenschappen aanwezig waren en er in werking van röntgenstralen binnen afzienbare tijd kanker was ontstaan. Onder de 54 genoemde patienten waren 26 artsen, 24 röntgentechnici en

4 patienten. (11) Na Hesse's publikatie zijn vele röntgencarcinomen tot in detail beschreven en werd in de literatuur ook aandacht besteed aan het röntgensarcoom. (12)

Uiteraard trachtte men, toen de effecten van straling op de huid bekend werden, een indeling te maken in graden van huidreactie, om daarmee de ernst van de reactie aan te kunnen geven en om een indeling te hebben, die van diagnostische waarde zou kunnen zijn. (13) Zo onderscheidde Oudin, Foveau de Courmelles en Darier al in 1897 twee verschillende klinische vormen van huidaantasting als gevolg van stralenapplicatie.

De eerste, *chronische*, vorm betrof met name onderzoekers en technici, trad vooral op aan vingers en handen en zou bij vermijding van het beschadigende agens vanzelf weer verdwijnen. Bij hernieuwde bestraling zou hetzelfde effect sneller en gemakkelijker optreden dan bij de eerste keer.

De tweede, *acute*, vorm had voornamelijk betrekking op proefpersonen en patienten. Deze vorm trad plotseling op, in hevigheid variërend van eenvoudige roodheid van de huid en haaruitval tot schilfering, blaarvorming en korstvorming. De korstvorming kon zeer uitgebreid zijn, verdween slechts langzaam en was niet te onderscheiden van brandkorsten. (14)

Veel bekendheid kreeg aan het begin van onze eeuw de indeling door Holz knecht van stralenschade aan de huid. De *acute vorm* (acute röntgendermatitis genoemd) deelde hij in in vier graden van reactie.

Graad I: Drie weken na bestraling doen zich haaruitval en lichte desquamatie voor, waarop pigmentatie volgt.

Graad II: Twee weken na de bestraling treedt erytheem op met hyperaemie, zwelling en infiltratie van de huid. De huid is warm, gevoelig en pijnlijk. Er verschijnt pigmentatie en epilatie.

Graad III: Eén week na bestraling manifesteert zich een blauwrood erytheem, overgaand in blaarvorming en gepaard gaande met ernstige pijnen. Er treedt exfoliatie en excoriatie op en de zweet- en talgklieren raken sterk beschadigd. Na zes tot twaalf weken treedt genezing op, die soms tijdelijk is. Huidatrofie en teleangiëctasieën kunnen tot twee jaar na bestraling in de beschadigde huid ontstaan. De pigmentatie kan zeer sterk zijn.

Graad IV: Twee dagen na bestraling ontstaat blauwrood erytheem met blaarvorming waarop een diepreikende weefselnecrose volgt. Het weefselverval gaat met vreselijke pijnen gepaard. Op verschillende plaatsen in het bestraalde gebied kunnen ulcera ontstaan, die tenslotte confluëren tot één groot ulcus. Na enige tijd vertoont zich korstvorming, die na verloop van tijd verdwijnt. Daarna kan opnieuw korstvorming optreden. Pas na maanden begint het herstel, soms pas na jaren. Vanuit de periferie begint zich dan weefsel over de wond te verspreiden, waarna tenslotte een groot litteken ontstaat, dat op den duur tot contracties kan leiden.

De *chronische* röntgendermatitis beschreef Holz knecht als volgt:

Als gevolg van vele zeer kleine stralingsdoses wordt de huid hyperaemisch en raakt gepigmenteerd. De aantasting van zweet- en talgkliertjes veroorzaakt een droge huid. Tenslotte ontwikkelt zich hyperkeratose. De hoornhuid verdikt zich, er ontstaan eeltknobbeltjes en pijnlijke fissuren. Meestal betreft dit de handen, waarbij de nagels vaak dun en bros worden. De gewrichten van de vingers verdikken zich, periost en periarticulair bindweefsel worden hypertrofisch. Tenslotte ontstaan ulcera en nog later kan het proces overgaan in carcinoom. (15)
Andere indelingen van de stralenschade aan de huid, die bekendheid kregen, waren die van Kienböck (16), Wetterer en Schreus. (17)

III.3 Stralenbeschadiging van de inwendige organen en orgaansystemen.

Nadat de mogelijkheid van werking van de straling op de inwendige organen bekend was geworden, kwam in de medische literatuur een stroom van publikaties op gang, die betrekking had op de schadelijke werking van de stralen op diverse organen, zowel bij proefdieren als bij de mens. In deze paragraaf zullen in dit verband de verschillende organen en orgaansystemen van het lichaam de revue passeren.

Skelet.

Het eerste bericht over remming van de groei van het skelet onder invloed van straling kwam van Perthes, die als een der eersten systematisch experimenteel onderzoek deed naar de effecten van straling. In 1903 bestraalde hij enkelzijdig de vleugeltjes van kuikens, een dag nadat ze uit het ei waren gekomen. Daarop volgde hij de groei van de vleugeltjes en daaruit bleek, dat de bestraalde zijden aanzienlijk achterbleven in groei. (18) In 1905 vond Récamier, dat bestraling van de schedel van jonge katjes een remming van de osteogenese tot gevolg had met sterke atrofie van de bestraalde delen. Bij kippen bracht bestraling van de pijpbeenderen atrofie teweeg, terwijl bestraling van jonge haasjes vertraging van de ontwikkeling van het periost tot gevolg had. Récamier toonde niet alleen aan, dat bot door bestraling in zijn groei werd geremd, maar ook, dat voor kraakbeen hetzelfde gold. (19) Op de röntgencongressen van 1907 en 1909 wezen Försterling en Krukenberg eveneens op het nadelig effect van straling op de skeletgroei van proefdieren. (20) Iselin gaf in 1912 de klinische bevestiging van deze experimentele gegevens: bij meer dan een dozijn kinderen, die therapeutisch waren bestraald, nam hij groeivertraging van het bot waar. (21)

Het definitieve klinische bewijs voor de vertragende werking op de osteogenese werd in 1929 geleverd door Hueck en Spiess. Uit een groep van 76 patienten, allen jonger dan twintig jaar, die radiotherapeutisch behandeld waren, namen zij bij 60 patienten een verstoring van de groei van het skelet waar. (22)

Natuurlijk trachtte men na te gaan of ook het volwassen bot van de mens stralenschade op kan lopen. Het probleem hierbij was, dat het moeilijk was aan te duiden, wat na bestraling van bot voor een bepaalde aandoening de

oorzaak van de botbeschadiging was: de primaire ziekte of de geapliceerde straling. Zo beschreven Perthes in 1923 en Kurtzahn in 1924 een aantal patienten met gewrichtstuberculose, die daarvoor waren bestraald. De drie patienten van Kurtzahn kregen drie jaar na bestraling van de handgewrichten ulcera van de huid in het bestraalde gebied met ernstige schade aan het onderliggende bot. De patient van Perthes, die was bestraald voor kniegewrichtstuberculose, ontwikkelde een jaar na bestraling necrose van de knieschijf met ulceraties van de bovenliggende huid. (23) Het was bij dit soort gevallen niet uit te maken, of de tuberculose, de straling, of een combinatie van beide de oorzaak van de osteonecrose was. Nadat Blum in 1923 een geval van osteonecrose van de kaak na radiumapplicatie had beschreven (24) en Baensch in 1927 over twee patienten had gepubliceerd, die na bestraling van bekkentumoren een fractuur van het collum femoris hadden opgelopen (25), volgde in 1932 een rapportage van Philipp over vijf patienten, die een femorale collum fractuur hadden opgelopen, nadat zij bestraald waren voor cervixcarcinoom. (26) In 1938 meldden Watson en Scarborough liefst 235 patienten met osteonecrose van de mandibula na radiotherapie (27), zodat er geen twijfel meer kon bestaan over het vóórkomen van osteoradionecrose van het volwassen menselijke bot.

Gonaden.

De experimenten van Albers-Schönberg uit 1903 hadden aangetoond, dat zachte röntgenstraling, geapliceerd op de testes van konijntjes en cavia's, azoöspermie op kon wekken. (28) In 1904 volgde de eerste publikatie, die betrekking had op de menselijke testes. Philipp had waargenomen, dat bij twee mannen, die op de testes waren bestraald, na enige maanden azoöspermie optrad. (29)

Brown en Osgood meldden in 1905 achttien gevallen van azoöspermie en oligonecrospermie bij werkers in de röntgenologie; bij zes van deze personen was er bovendien röntgendermatitis van de handen aanwezig. (30)

Deze eerste waarnemingen hadden tot gevolg, dat er meer aan radio-protectie van de mens werd gedaan, dan tot die tijd was gebeurd. (31) Thies demonstreerde bovendien in 1905 het destructief effect van radiumstraling op het kiemepitheel van testes van volwassen cavia's. (32) In datzelfde jaar had Halberstaedter atrofische veranderingen aangetoond in de ovaria van bestraalde konijnen, die gepaard gingen met folliculaire degeneratie. (33)

Reifferscheid bracht als één der eersten in 1910 gegevens over het effect van straling op de menselijke ovaria. In zes bestraalde menselijke ovaria had hij degeneratie van follicels en ova gevonden, terwijl daarnaast lichte corticale bloedingen aanwezig bleken te zijn. (34)

Simon maakte in 1911 gewag van folliceldegeneratie in een ovarium van een tweeënveertigjarige vrouw, die radiotherapie had ondergaan. Hij wees er op, dat deze bevindingen overeenkwamen met zijn bevindingen bij dierproeven. (35) In 1915 vestigde Reifferscheid opnieuw de aandacht op de schadelijke effecten van röntgenstralen op de menselijke en dierlijke

ovaria. (36) De medische wetenschap had door deze onderzoeken al vroeg kennis van schadelijke effecten van straling op de gonaden, maar het zou nog een aantal jaren duren, eer de genetische effecten van straling zouden worden ontdekt.

De toepassing van steeds grotere doses röntgen- en radiumstraling in de gynaecologische radiotherapie, die in de jaren na 1910 begon (zie de hoofdstukken VIII en IX), maakte duidelijk, dat uterus en cervix vrij radioresistent zijn, terwijl daarentegen de vagina veel gevoeliger is voor straling.

Spiëren.

Ernstige schade van de huid kon zo diep reiken, dat ook het onderliggende vet- en bindweefsel, de musculatuur en zelfs het bot aangedaan raakten. In 1905 deed Thies onderzoek naar het effect van straling op de dwarsgestreepte spieren van hamsters. Blootstelling aan een capsule met twintig milligram radiumbromide, die gedurende zes uren onder de fascia werd gelegd, leidde tot necrose van de spiervezels. (37) Na hem deden andere onderzoekers soortgelijke waarnemingen. (38)

Schmidt beschreef in 1921 als één der eersten uitgebreid een geval van spierneecrose bij de mens. De betreffende patient werd met een onbekende dosis straling behandeld voor een etterige huidaandoening ter hoogte van de nek en stierf negen maanden later als gevolg van luchtwegobstructie. Histologisch onderzoek toonde aan, dat de larynxmusculatuur ernstig was aangetast. (39) Ook Jüngling beschreef vier van dergelijke patienten. (40) Haendly publiceerde in 1921 de anatomisch-pathologische bevindingen bij 127 therapeutisch bestraalde patienten, die waren overleden aan darmkanker of kanker van de vrouwelijke geslachtsorganen. Bij 62 van deze patienten bleek stralenschade aan de dwarsgestreepte en gladde spieren te bestaan, variërend van hyaline degeneratie van afzonderlijke spiervezels tot atrofie en volledige destructie van alle spiercellen. (41) Deze waarnemingen leverden het klinische bewijs voor schadelijke werking van straling op menselijke spiervezels.

Hirschberg wees een aantal jaren later op de mogelijkheid, dat er jaren na de stralenapplicatie alsnog spieratrofie op kon treden. Hij beschreef in 1929 twee patienten, van wie de ene, een meisje van negen jaar, dat voor een sarcoom bestraald was op de dij, elf jaar na de bestraling ernstige spieratrofie had gekregen in het bestraalde gebied. De andere patient betrof een jongeman, die op achtjarige leeftijd in de nek was bestraald voor een schimmelinfectie en bij wie zich op drieëntwintigjarige leeftijd atrofie van de nekspieren had ontwikkeld. (42)

Larynx.

Freudenthal publiceerde in 1904 over een patiente, bij wie gedurende een half uur 0,25 gram radium op het strottehoofd was geapliceerd wegens larynx tuberculose. Dit had geleid tot zwelling en verstopping van de larynx, terwijl drie soortgelijke applicaties in de drie dagen erna, hadden geleid tot infiltratie van de rechter stemband, kortademigheid en ulceratie in het gebied tussen de arytenoïden. (43)

In 1906 beschreef hij een patient met epithelioom van de larynx, bij wie radiumbehandeling leidde tot zwelling en ulceratie van het strottehoofd, waardoor laryngectomie nodig was. (44) Freudenthal liep daarmee vooruit op een reeks publikaties, die rond 1920 zou verschijnen.

In 1919 wees Hahn erop, dat radiotherapie in het larynxgebied, bijvoorbeeld voor tuberculeuze halsklieren, kon leiden tot schade aan de larynx. Bij hoge doses kon volgens hem een aantal weken durende heesheid optreden en bij sterke overdosering kon larynxoedeem manifest worden. (45) Ook Holfelder vermeldde in 1921 de mogelijkheid van larynxschade door straling. (46) In datzelfde jaar rapporteerde Marchik vier gevallen van stralenschade aan dit orgaan. Eén van deze patienten was een vrouw van 36 jaar, bij wie twee jaar na herhaalde röntgenbestraling van een halslymfoom een ulcus was ontstaan op de rechter zijde van de larynx; een jaar later traden heesheid en dyspnoe op. Laryngoscopie liet roodheid en zwelling van de laryngeale mucosa zien, infiltratie van de valse stembanden, bewegingsbeperking van de ware stembanden en vernauwing van de glottis, zodat tracheotomie nodig was. De röntgenzweer breidde zich daarna uit tot de tracheotomiewond, maar herstelde na enige tijd wel. (47) Wetzels deed verslag van een soortgelijk geval (48) en Hering beschreef in 1922 een patient bij wie na röntgenbestraling van struma larynxnecrose was opgetreden (49), terwijl ook Von Hofmeister in datzelfde jaar drie gevallen van stralenschade aan het strottehoofd bekend maakte. (50) Dit soort mededelingen leidde er toe, dat steeds meer auteurs zich bewust werden van het gevaar van te intensieve stralenapplicatie op de larynx. (51)

Hart en bloedvaten.

Reeds in 1897 verscheen een eerste mededeling in de literatuur, die wees op een mogelijk effect van straling op het hart. Segui en Quenisset beschreven het optreden van heftige en irregulaire palpitations bij een patient, die op de thorax was bestraald. Deze Franse artsen behoorden daarmee tot de eersten, die de mogelijkheid van een effect van x-stralen op een inwendig orgaan suggereerden. (52) In 1924 beschreef Schweizer het geval van een jongeman, die mediastinaal bestraald was voor de ziekte van Hodgkin, hetgeen tot fibrineuze pericarditis en degeneratieve veranderingen in de hartspier had geleid (53) en in 1927 publiceerde Renfer over twee patienten, die na intra-oesophageale radiumapplicatie, ter bestrijding van slokdarmcarcinoom, radionecrose van het myocard hadden opgelopen. (54)

In 1899 beschreef Gassmann het optreden van zwelling en proliferatie van vaatendotheel in bestraalde bloedvaten. Daarnaast had hij in deze vaten vacuolisatie van de gladde spieren waargenomen. (55)

Linser zag in 1904, dat de vaten in de menselijke huid na röntgenbestraling geoccludeerd werden door thrombi, dat er lichte perivasculaire infiltratie optrad en dat de media van de vaten fissuren ging vertonen. Na twintig dagen was er aanzienlijke intimaverdikking door bindweefselvorming te zien, terwijl een aantal vaten geoblitereerd was. Baermann en Linser toonden in datzelfde jaar aan, dat radionecrose van tumorweefsel voor een

deel het gevolg was van vasculaire laesies, met name intima-degeneratie en thrombose. (56)

Beenmerg en bloed.

Uit het dierexperimenteel onderzoek van Heineke was in 1904 gebleken, dat binnen drie uren na bestraling van het beenmerg er een aanzienlijke destructie van de beenmergcellen te zien was; dit effect was op haar hevigst na elf uren, terwijl na drie tot vier weken volledig herstel was opgetreden. (57)

Experimentele onderzoeken, die hierop volgden, bevestigden Heinekes bevindingen. Warthin toonde in 1906 aan, dat de myelopoïese bij dieren stralengevoeliger is dan de erythropoïese; hij stelde bovendien, dat deze bevindingen ook van toepassing waren op de mens. (58)

Reeds in 1904 had Heineke gewezen op de stralengevoeligheid van lymfocyten bij proefdieren. (59) Zijn bevindingen werden in 1919 bevestigd door Taylor, Witherbee en Murphy en in 1924 publiceerden Minot en Spurling een klinische studie over de veranderingen in het bloed bij non-leukemische patiënten na radiotherapie. Zij vonden een sterke daling van het aantal lymfocyten bij vrijwel alle onderzochte patiënten, die op haar hevigst was in de eerste 24 uren na de bestraling en drie tot vijf dagen aanhield. Andere onderzoekers deden trouwens soortgelijke waarnemingen. Er bleek, dat neutrofile granulocyten, hoewel minder radiosensitief dan lymfocyten, op therapeutische doses reageerden in de vorm van neutropenie. (60)

In de jaren dertig verschenen mededelingen over patiënten, die onder invloed van straling een progressieve agranulocytose ontwikkelden en daaraan ten onder gingen. (61) In deze periode werd ook duidelijk, dat intensieve radiotherapie op grote velden het aantal thrombocyten sterk deed dalen, soms leidend tot purpura, hemorrhagieën of zelfs de dood. (62) Gettler en Norris wezen er in 1933 op, dat na radiotherapie soms ernstige anemie op kon treden, met name bij patiënten, die vóór de bestraling al anemisch of verzwakt waren. (63)

Milt.

Gavazzeni en Minelli beschreven de bevindingen bij autopsie van een in 1912 aan progressieve anemie overleden radioloog, die zichzelf nooit tegen straling had beschermd. De milt van de arts bleek sterk gepigmenteerd en fibrotisch. (64) Ook andere auteurs betoogden, dat de milt na intensieve bestraling fibrotisch wordt, krimpt en donker gekleurd raakt door afzetting van ijzerpigment. (65) In 1938 beschreven Den Hoed, Levie en Straub sterke siderose van de milt na teleröntgentherapie van het hele lichaam. (66)

Darmen.

De opkomst van de röntgen-dieptetherapie rond 1920, waarbij bewust hoge doses straling op inwendige processen werden geapliceerd, ging gepaard met het optreden van nog meer schadegevallen aan inwendige organen (zie ook hoofdstuk VIII). De ontwikkeling van de röntgen-

dieptetherapie bracht bovendien met zich mee, dat men bekend raakte met een complex van symptomen, dat optrad na bestraling en dat werd aangeduid met de term 'röntgenkater'. Enige uren na bestraling en soms aansluitend op de bestraling, kreeg de patient last van hoofdpijn, lusteloosheid, angst, onrust en malaise en konden slechte eetlust, misselijkheid en braken optreden. Meestal was het syndroom op zijn hevigst op de dag na de bestraling, terwijl de klachten vooral optraden na bestraling van de buikregio. (67)

In 1912 hadden Regaud, Nogier en Lacassagne de aandacht gevestigd op stralenschade aan het maagdkanaal van honden, die abdominaal waren bestraald. (68)

Een aantal jaren later bracht Franz als eerste een geval van stralenschade aan de menselijke darm in de publiciteit. In 1917 bestraalde hij een patient met cervixcarcinoom met zo hard mogelijke straling. Hij had in eerste instantie dertien uren lang vanaf verschillende plaatsen bestraling op de tumor toegepast. Vijf weken later had hij op dezelfde wijze nog eens tien uren lang bestraald. Na de eerste sessie was een kleine huidverbranding opgetreden. Na vier maanden werd een derde sessie gehouden, waarbij de patient eveneens dertien uren werd bestraald. Aansluitend hierop trad zulk een ernstige diarree op, dat de patient overleed. Obductie leerde, dat zowel in de dikke darm als de dunne darm ulceratie en slijmvliesnecrose waren opgetreden, met name in dat gebied van de darmen, dat in het stralenveld had gelegen. (69)

Kort hierop beschreef Von Franqué eveneens een dodelijk geval van stralenschade aan de darmen. Hij had een drieënveertigjarige vrouw bestraald wegens endometritis hyperplastica. Na drie sessies ontwikkelde zich op de buik een uitgebreide huidverbranding en traden meteorisme, diarree en kolieken op. Weliswaar kon men na enige tijd een verbetering van deze klachten vaststellen, maar ruim zestien maanden na de laatste bestraling ontstond een darmfistel, die de patiente, ondanks operatief ingrijpen, ten grave sleepte. Histologisch onderzoek van de getroffen darm liet zien, dat het lymfevaatstelsel zwaar beschadigd was, de krypten van Lieberkühn grotendeels verdwenen waren en dat deze darmschade hetzelfde beeld vertoonde als in het geval van Franz. (70) De patholoog-anatoom, die de obductie van deze patiente verrichtte, concludeerde, dat alle veranderingen aan darm, spierweefsel, bindweefsel en vaatstelsel een direct gevolg waren van de stralenerking. (71)

Een jaar later meldde Fischer nog eens drie patienten met radionecrose van de darmen en daarmee was duidelijk geworden, dat het maagdkanaal een zeer kwetsbaar orgaan was bij toepassing van röntgen-dieptetherapie. (72)

Speekselklieren.

In 1911 tekenden Bergonié en Speder tien gevallen op van hevige reacties van de speekselklieren op bestraling. Vier van deze patienten vertoonden enkel zwelling van de glandula parotis en bij vier andere was alleen de glandula submandibularis opgezet. Bij weer een andere patient waren deze klieren beide opgezet en bij de laatste patient ging parotiszwelling gepaard

met xerostomie. De zwelling deed zich steeds een paar uren na röntgenbestraling voor en verdween spontaan na uren tot dagen. (73) Ceresole publiceerde in 1912 over 21 soortgelijke gevallen (74), terwijl ook Marquès in datzelfde jaar twee gevallen meldde. (75)

In de jaren daarna wezen onder anderen ook Pfahler, Schmidt, Mühlmann, Von Salis en Pordes op de stralengevoeligheid van speekselklieren. (76) Desjardins maakte in 1931 onderscheid tussen een vroege reactie en een late reactie van speekselklieren op bestraling. De vroege reactie bestond uit een snelle zwelling van de bestraalde klier, die drie tot zes uren na bestraling optrad en na enige uren tot dagen weer verdween. De klier was hierbij gevoelig, en soms ook pijnlijk. De late reactie trad één tot drie weken na bestraling op en werd gekenmerkt door xerostomie, doordat de speekselproductie was afgenomen, waardoor ook het kauwen minder goed verliep. Na twee tot vier weken was deze late reactie op haar hoogtepunt en daarna nam zij langzaam, in de loop van maanden, af. (77)

Nieren.

In 1905 presenteerden Schultz en Hoffmann als eersten microscopische veranderingen in de nieren van konijnen na bestraling (78) en in 1907 beschreef Warthin een geval van nefritis na bestraling bij een patient met leukemie. (79)

Twintig jaar later zouden deze waarnemingen klinische ondersteuning krijgen. Hartman, Bolliger en Doub bespraken in 1926, nadat zij in datzelfde jaar bij honden experimenteel radionefritis hadden opgewekt, achttien klinische gevallen van nefritis na röntgen-dieptetherapie. Deze bevindingen brachten hen tot de conclusie, dat het optreden van nefritis een direct gevolg van bestraling kon zijn. Zij raadden daarom rechtstreekse stralenapplicatie op de menselijke nieren sterk af. (80)

Lever en galwegen.

Nadat dierexperimentele onderzoeken naar de effecten van ioniserende straling op de lever door Scholtz, Seldin en Hudelett aan het begin van onze eeuw weinig aan het licht hadden gebracht, was het Mills, die in 1910 na intensieve uitwendige bestraling van de lever van proefdieren beschadiging van de hepatocyten wist aan te tonen. (81) Hall en Whipple gaven in 1919 aan, dat de lever veel radioresistenter is dan bijvoorbeeld darmen en nieren. (82) In de jaren twintig doken de eerste gevallen op van stralenschade aan de menselijke lever. Wetzel beschreef in 1921 een patiente, die in twee sessies was bestraald voor een maagcarcinoom en twee weken na de laatste bestraling was overleden. Bij obductie bleek, dat ernstige necrose van de linker leverlobulus was opgetreden en dat de necrose zich vanuit het middelpunt der gecumuleerde stralenwerking, dat tussen maag en lever lag, had uitgebreid, waardoor ook de maagwand door necrose was aangedaan. Wetzel stelde zonder meer de straling voor deze defecten verantwoordelijk. (83)

In 1924 beschreven Case en Warthin drie patienten, die intensief op het abdomen waren bestraald en waarbij obductie had aangetoond, dat niet

alleen de hepatocyten door de straling waren beschadigd, maar ook de epitheelcellen van de galgangen. (84)

Blaas en ureters.

In 1920 beschreef Schmitz als eerste een geval van ureter strictuur, dat het gevolg was van door straling geïnduceerde fibrose in het parametrium. (85) In 1927 gaf Dean een zorgvuldige beschrijving van ulceratie van de blaas als gevolg van radiumapplicatie. Drie patienten, die veertien tot vierentwintig maanden daarvoor met radium waren behandeld voor uteruscarcinoom, waren bij hem verschenen met klachten van pyurie, dysurie en hematurie. Cystoscopisch onderzoek bij één van de patienten leerde, dat er sprake was van ulceratie en necrotisering van de blaaswand. Histologisch onderzoek van de bipten liet een beeld zien van chronische cystitis met ulceraties, zonder aanwijsbaar tumorweefsel. Aangezien bij deze patiente in de voorgeschiedenis sprake was van bestraling van de uterus en het gebied van necrose in de blaaswand op dat punt was gesitueerd, dat het dichtst bij het geapliceerde radium had gelegen en de laesie histologisch niet leek op bekende blaaswandlaesies, zoals carcinoom of tuberculose, concludeerde Dean, dat er bij genoemde patiente, maar ook bij de twee anderen, waarvan voorgeschiedenis en klinisch beeld identiek waren aan die van de gebiopteerde patiente, sprake was van schade veroorzaakt door de bestraling met radium. (86)

Schugt beschreef in 1923 een geval van vesicale hemorrhagie na radium- en röntgenbestraling voor benigne uterusbloedingen. Histologisch onderzoek liet teleangiëctasieën van de blaasbodem zien, die hij toeschreef aan de stralenwerking. (87)

Matusovszky betoogde in 1924, dat een van de complicaties van gynaecologische radiotherapie anurie door uretercompressie is, die ontstaat door fibrose van de parametria. (88)

Ottow en Heidler puliceerden in 1927 over het in een later stadium optreden van blaasfistels in het bestraalde gebied, terwijl Handorn en Stacey in 1928 blaasulcera beschreven, die eveneens het gevolg waren van stralenapplicatie. (89)

In 1930 zette Schmitz de mogelijke complicaties van radiotherapie van blaas en ureters nog eens op een rij, zodat alle medici van deze risico's kennis konden nemen: urethritis, fibrose (waardoor in de loop van maanden tot jaren de ureters dichtgedrukt konden worden), cystitis, induratie of ulceratie van de blaaswand en fistelvorming. (90)

Pancreas.

Stralenbeschadiging van de pancreas, als gevolg van radiotherapie, is vrijwel nooit voorgekomen. (91)

Case en Warthin beschreven in 1924 bij een patient, die tien weken na intensieve röntgenbestraling op het epigastrium was overleden, de volgende veranderingen in de pancreas: atrofie van de acinaire cellen, vacuolaire degeneratie, necrose en lymfocyttaire infiltratie.

Uit de door hen verzamelde gegevens, trokken Desjardins in 1931, Friedman in 1942 en Rubin en Casarett in 1968 allen de conclusie, dat de pancreas zeer radioresistent is. (92)

Longen en pleurae.

Jessen en Rzewuski beschreven in 1909 een patient, die na thoracale bestraling voor longtuberculose sterk moest hoesten, slijm opgaf en koorts kreeg. (93) In 1912 publiceerde Strasser over een patient, die werd bestraald voor een mediastinale tumor en die daarna symptomen ontwikkelde, die wezen op mediastinale pleuritis (pijn op de borst, koorts, pleurawrijven). (94) Bij deze beide casus bleef het echter onduidelijk, of de na bestraling optredende symptomen het directe gevolg waren van de primaire ziekte, of van de geapliceerde straling.

Pas in 1922 wisten Groover, Christie en Merritt het bewijs te leveren voor een rechtstreekse reactie van het longweefsel op ioniserende straling. Zij hadden bij een aantal patienten de thorax bestraald voor mammacarcinoom, waarbij een huidreactie optrad, die gepaard ging met blaarvorming en desquamatie. Bij een aantal patienten ontwikkelde zich drie tot vier weken na de laatste bestraling een beeld van paroxysmale onproductieve hoest en op de röntgenfoto's, die bij deze patienten werden gemaakt, waren infiltraten te zien, die zich in drie tot vier weken na het begin van de hoest snel uitbreidden vanuit de hilus over bijna de gehele long. Aangezien de klinische toestand van deze patienten te goed was om het beeld te kunnen verklaren door het optreden van longmetastasen en de uitbreiding van de infiltraties daarvoor bovendien te snel was gegaan, concludeerden de onderzoekers, dat het beeld van longontsteking, dat zij waarnamen, een direct gevolg van de toegepaste straling moest zijn. Bij één van deze patienten vonden zij later longfibrose, terwijl bij de andere de longinfiltraten verdwenen zonder een spoor achter te laten. (95)

Tyler en Blackman bevestigden in datzelfde jaar de bovengenoemde bevindingen door zeven patienten te beschrijven, die thoracaal bestraald waren en bij wie ten gevolge van de stralenapplicatie inflammatie van pleurae en longen was opgetreden. (96)

Een jaar later publiceerden Desjardins en Davis enkele gevallen van röntgenpleuritis en röntgenpneumonie. (97) Soortgelijke gevallen werden gemeld door Rose, Case, Wintz, Cathcart, Bissell en Mühlmann, zodat in het midden van de jaren twintig de mogelijke schadelijke werking van straling op pleurae en longen algemeen bekend was geworden. (98)

Oesophagus.

In 1927 meldde Rahm één van de zeer weinige gevallen van stralenschade aan de oesophagus. Hoewel de oesophagus als niet erg stralengevoelig werd gezien, stelde Desjardins in 1931, dat zeer intensieve bestraling of intraluminale radiumapplicatie wel degelijk tot stralenbeschadiging van de slokdarm zou kunnen leiden. (99)

Ogen.

Dierexperimentele onderzoeken lieten in de eerste jaren van deze eeuw zien, dat blootstelling aan straling van het zich ontwikkelende oog van jonge dieren, achterblijven in ontwikkeling van de oogbol en pathologische veranderingen in oogleden, conjunctiva, cornea, lens en iris tot gevolg heeft. (100)

Soortgelijke onderzoeken op volwassen dieren in de jaren 1904-1911 wezen er op, dat het effect van radium op het oog in essentie gelijk is aan dat van röntgenstralen en dat blootstelling aan voldoende grote doses een ontstekingsreactie in conjunctiva, oogleden, cornea en iris geeft. (101)

Ook meldingen van stralenschade aan het menselijk oog bleven niet uit. Zo vestigde Sherer reeds in 1901 de aandacht op een geval van röntgenepilatie van wimpers en wenkbrauwen, dat gepaard ging met conjunctivitis en oedeem en desquamatie van de oogleden. (102)

Birch-Hirschfeld publiceerde in 1904 over vier patienten, die röntgentherapie hadden ondergaan voor epitheloom en waarbij conjunctivitis, keratitis en epilatie van wimpers waren opgetreden, volgens hem veroorzaakt door de röntgenstraling. (103) In de jaren 1907 en 1908 publiceerde hij nog enkele gevallen, die zijn hypothese verder bevestigden. (104)

In 1920 beschreef Wilkinson het geval van een vrouw, die wegens lupus erythematoses in haar gezicht was behandeld met röntgenstraling. Tijdens de sessies waren haar ogen nooit afgeschermd en er ontwikkelde zich cataract aan beide ogen, zodat het voor de hand lag de straling hiervoor als oorzaak aan te wijzen. (105)

Ook in Nederland kreeg de radiopathologie van het oog aandacht. In 1932 demonstreerde de Amsterdamse hoogleraar oogheelkunde W.P.C. Zeeman twee patienten, bij wie zich zijns inziens als gevolg van radiumapplicatie in de nabijheid van het oog oculaire klachten hadden ontwikkeld. Deze waarnemingen hadden hem ertoe gebracht een onderzoek in te stellen bij een aantal met stralen behandelde patienten, bij wie de indicatie voor behandeling een goedaardige aandoening was geweest. In de jaren 1920-1928 waren door Zeeman 62 patienten met röntgenstralen behandeld wegens hardnekkige ontstekingsachtige aandoeningen van de ogen. De behandeling had bestaan uit geringe doses, die met een maand tussenruimte ten hoogste nog tweemaal waren herhaald. Van deze patienten werden 43 opnieuw gezien; in een viertal ogen vond Zeeman afwijkingen, die hij met meer of minder waarschijnlijkheid als beginnend röntgencataract duidde. (106)

Vruchtbeschadiging.

In 1923 stelden Bailey en Bagg, dat bestraling tijdens de zwangerschap schadelijk is voor de foetus, met name in een vroeg stadium van de zwangerschap. (107) Driessen wees in 1926 eveneens op dit gevaar, dat volgens hem na eventuele geboorte tot uiting kon komen door 'verschijnselen in hoofdzaak overeenkomend met die der mongoloïde ontaarding'. (108)

Ook Seynsche keerde zich in 1926 om dezelfde reden tegen het uitvoeren van bestraling in de zwangerschap. Uit de toenmalige literatuur bleek, dat

na bestraling van de vrucht kinderen geboren konden worden met de volgende afwijkingen: microphthalmus, microcornea, achterblijven in lichaams-groei, intelligentiedefecten en imbeciliteit. (109)

In 1927 wezen Lüdin en Feldweg nogmaals op het risico van bestraling tijdens het bestaan van zwangerschap. (110)

Goldstein en Murphy publiceerden tenslotte in 1929 de resultaten van een relatief groot onderzoek, waaruit bleek, dat van 75 kinderen, die in utero aan straling hadden blootgestaan, doordat de moeder radiotherapie had ondergaan, er 28 mentale of fysieke afwijkingen vertoonden, waarvoor géén andere oorzaak dan de bestraling aangewezen kon worden. Onder deze 28 kinderen waren er 20 die ernstige stoornissen van het centrale zenuwstelsel vertoonden. (111)

Al deze gegevens leidden tot de conclusie, dat er geen twijfel aan kon bestaan, dat zowel bij het menselijke als het dierlijke embryo door bestraling in utero afwijkingen kunnen worden veroorzaakt. (112)

Endocriene klieren.

De effecten van straling op de endocriene klieren werden grotendeels dierexperimenteel aangetoond. Er waren wel meldingen in de literatuur van eventuele stralenschade aan de menselijke endocriene klieren, maar zelden kon met zekerheid worden gesteld, dat de oorzaak inderdaad de straling was. Eén melding, die volgens radiopatholoog Warren niet aan twijfel onderhevig kon zijn, betrof een geval van schade aan de bijnieren, dat werd beschreven door Smithies in 1932: een gezonde achtenvijftig jaar oude man werd intensief bestraald wegens een vermeende tumor in het dorsolumbale deel van het ruggemerg. Na een maand ontwikkelden zich symptomen van de ziekte van Addison, hetgeen wees op aantasting van de bijnieren en spoedig daarna stierf de patient.

Bestraling van de hypofyse, bijvoorbeeld in geval van adenoom of abnormaal functioneren, kan aanleiding geven tot het beeld van hypopituitarisme. Warren concludeerde in 1943 uit de toen beschikbare dierexperimentele en klinische gegevens, dat de functie van de normale menselijke hypofyse alleen door zulke intensieve bestraling verstoord kon raken, dat hierop bij de toenmalige bestralingstechnieken geen kans was. (113)

McCombs bestraalde tussen september 1954 en september 1955 26 patienten met gemetastaseerd mammacarcinoom met protonen op de gezonde hypofyse. Bij drie patienten ontwikkelde zich diabetes insipidus. Binnen anderhalf jaar na de bestraling waren 24 patienten overleden. Obductie liet zien, dat bij al die patienten, die een dosis boven 20.000 rad hadden ontvangen, de hypofyse ernstig door necrose was aangetast. (114)

Groover zag in 1929 bij 1,3% van de voor hyperthyreoïdie met röntgenstralen behandelde patienten hypothyreoïdie optreden. (115) Het dierexperimentele werk uit 1931 van Walters, Anson en Ivy toonde evenwel aan, dat het normale schildklierweefsel vrij radioresistent is. (116)

Pfahler meende deze laatste opvatting in 1940 klinisch te kunnen bevestigen, doordat hij tot dan toe nooit had waargenomen, dat na bestraling van larynxcarcinoom, waarbij hoge doses werden toegepast,

hypothyreoïdie was opgetreden. Bovendien was naar zijn weten in de medische literatuur ook nooit een dergelijk geval beschreven. (117)

Zenuwweefsel.

De eerste waarnemingen van een effect van straling op het zenuwstelsel werden gedaan bij proefdieren. In de jaren dertig verschenen ook mededelingen over schadelijke effecten van de stralen op het menselijke centrale zenuwstelsel.

O'Connell en Brunschwig onderzochten in 1937 de hersenen van een aantal patienten, die radiotherapie voor een hersentumor hadden ondergaan, maar waren overleden. Hun conclusie luidde, dat de straling zowel het hersenweefsel zelf als de bloedvaten daarin had beschadigd. In 1938 bestraalden Scholz en Hsü de schedels van drie patienten met schizofrenie; twee van deze patienten stierven binnen twintig maanden. Obductie liet zien, dat niet alleen vasculaire beschadigingen waren opgetreden, maar ook focale necroses in het zenuwweefsel zelf. (118)

Vijf jaar later presenteerden Smithers, Clarkson en Strong een geval van het syndroom van Brown-Séguard, dat één jaar en drie maanden na bestraling van de oesophagus was opgetreden (119) en in 1945 meldden Stevenson en Eckhardt het optreden van cervicale myelitis na bestraling van nasopharynxcarcinoom. (120) In datzelfde jaar wezen Wachowski en Chenault op een directe actie van de straling op de zenuwcellen. Zij hadden zes patienten bestraald voor hersentumoren. Gedurende een periode van acht tot zesentwintig maanden leek bij vijf van de patienten verbetering in de klinische toestand op te treden. Daarna traden echter verschijnselen op, die wezen op hersenbeschadiging, zoals convulsies, visuele stoornissen en verlies van de normale cerebrale functies, en die leidden tot de dood van de patienten. Bij drie patienten werd obductie uitgevoerd; er bleken bij alle drie uitgebreide degeneratieve veranderingen in het zenuwweefsel aanwezig, zonder dat het vaatweefsel opvallend was aangetast. (121)

Boden onderzocht in 1948 161 patienten, die in de jaren 1942-1946 therapeutisch waren bestraald en waarbij het ruggemerg in het bestraalde gebied had gelegen. Bij tien van deze patienten vond hij cervicale myelitis, die volgens hem door de bestraling was veroorzaakt. (122) In de jaren veertig kon dan ook geen twijfel meer bestaan over de schadelijke werking van straling op menselijk zenuwweefsel.

Mamma.

De zich ontwikkelende borstklier is gevoelig voor radioactieve straling. In 1948 beschreven Underwood en Gaul een patient, bij wie in de puberteit een caverneus hemangioom op de borst was bestraald met radium, waardoor een kleine in elkaar gekrompen borst was ontstaan, die functioneel sterk achterbleef. (123)

De volwassen borstklier is radioresistent; bij behandeling van oesophageale tumoren of longtumoren met hoge doses straling, waarbij ook de borstklier wordt getroffen, treedt voornamelijk huidreactie op, terwijl in het borstklierweefsel soms secundaire atrofische veranderingen kunnen optre-

den. Pathologische veranderingen in de normale borstklier als gevolg van stralenapplicatie, zijn echter in de literatuur vrijwel nooit beschreven. (124)

Prostaat.

De prostaat is zeer radioresistent. Zelfs bij zeer hoge doses (6000-7000 rad), zoals toegepast bij de bestraling van blaascarcinoom of prostaatcarcinoom, treedt geen prostatitis of zwelling van de prostaat op. (125) In de literatuur is dan ook geen melding gemaakt van patienten, die als gevolg van bestraling prostaatklachten ontwikkelden.

III.4 Genetische effecten van straling.

Uit de experimenten van Muller was in 1927 gebleken, dat ioniserende straling in staat is bij bananenvliegjes mutaties te veroorzaken en dat straling aldus tot genetische effecten in staat is. (126) In de daarop volgende jaren lukte het onderzoekers bij alle mogelijke dier- en plantensoorten mutaties op te wekken onder invloed van röntgen- of radiumstralen.

Uiteraard was meteen de gedachte opgekomen, dat ook het menselijke genetische materiaal door straling beïnvloed zou kunnen worden en daardoor had de mededeling van Muller binnen de medische wereld een enorme schok teweeggebracht. De Hongaarse radioloog Nándor Ratkóczy beschreef dit in 1971 als volgt:

'Die Publikation von Muller erweckte grossen Aufruhr und Schrecken in den Kreisen der Radiologen. Ich kann mich noch gut erinnern, dass auf dem Kongress in Berlin in dem Jahre 1928 mehrerseits das Wort erhoben wurde in dem Sinne, man möge den Röntgenologen das Zölibat empfehlen und als Schwestern nur Nonnen anstellen.' (127).

De Duitse fysicus Robert Jaeger herinnerde zich in 1970 ten aanzien van de ontdekking van Muller het volgende:

'Diese Tatsache wirkte auf die Fachwelt wie ein Schock. Der Autor selbst wurde Zeuge einer solchen Reaktion in einem kleinen Kreis von Radiologen, Physikern und Biologen. Der Berliner Radiologe Bucky, ... hatte zu einem Colloquium in seiner Wohnung eingeladen, wo der Genetiker Houtermans ein Referat über die Mullerschen Ergebnisse hielt. Die dann berühmt gewordenen Bilder von missgestalteten Abkömmlingen des bestrahlten Tauffliegenpaares lösten nicht nur eine sehr lebhaft Diskussions aus, sondern es wurde sogar die Forderung laut, mit dem 'Röntgen' überhaupt aufzuhören.' (128)

Hoewel in de literatuur over dit onderwerp diverse publikaties verschenen, meestal betrekking hebbende op de nakomelingschap van vrouwen, die gynaecologisch bestraald waren geweest, heeft dit nooit significante gegevens opgeleverd, daar genetische afwijkingen pas na vele generaties tot uiting kunnen komen. Ondanks het gebrek aan gegevens, die betrekking hadden op de mens, wilde de medische wetenschap tot een standpunt komen. De Deutsche Röntgen-Gesellschaft stelde in 1932 een commissie in, die een uitspraak moest doen over eventueel gevaar voor kiembeschadiging bij de mens, als deze bloot staat aan radium- of röntgenstralen. De uitspraak van deze commissie, die bestond uit gynaecologen, röntgenologen en genetici, kwam op 26 maart 1933 en werd in 1934 in het *Nederlandsch Tijdschrift voor Geneeskunde* als volgt weergegeven:

'De aanwezigen zijn eenstemmig van mening, dat het gevaar van kiembeschadiging door radium- en röntgenstralen op grond van tot nu toe bekende proeven met dieren en planten als gegeven moet worden beschouwd. Het zal wel nooit mogelijk zijn in een bepaald geval van ophoping van zieke erfactoren in het menselijke kiemplasma het verband tussen deze en de inwerking van stralen te bewijzen. Ook is het wel onmogelijk de grootte van dit gevaar voor de mensheid op de juiste waarde te schatten. Zonder twijfel echter wordt dit gevaar groter in ieder bepaald geval en ook in het algemeen, naarmate de hoogte van de stralendosis en de frekwentie van de bestralingen toeneemt. Verdere onderzoeken over deze vraagstukken en wel vooral proeven bij zoogdieren, worden volstrekt noodzakelijk geacht en een werkplan voor de uitvoering van deze proeven wordt besproken. De commissie raadt aan, om met het oog op het gevaar voor het kiemplasma van ons volk, bij de bestraling van mannelijke en vrouwelijke geslachtsklieren de uiterste voorzichtigheid in acht te nemen en zowel bij therapeutisch als bij diagnostisch gebruik van de stralen in het gebied van de buik, slechts van de stralen gebruik te maken bij de strengste medische indicatie en na een zorgvuldige overweging van het mogelijke nut, terwijl de dosis steeds zo klein mogelijk moet worden gehouden.' (129)

Uit deze verklaring, die weliswaar in de nazi-tijd werd afgegeven, toen in Duitsland de 'zuiverheid van het volk' steeds meer aandacht kreeg, blijkt, dat het besef, dat uit genetisch oogpunt uiterst voorzichtig met straling moet worden omgegaan, in de jaren dertig binnen de medische wetenschap vrij snel tot ontwikkeling kwam. Overigens zijn genetische effecten van straling bij de mens nooit aangetoond.

III.5 Samenvatting en conclusies.

In de eerste jaren van de medische toepassing van ioniserende straling trad alleen stralenschade van de huid op de voorgrond. In de eerste drie decennia van de twintigste eeuw werden gevallen bekend, waarbij mensen stralenschade hadden opgelopen aan kraakbeen, bot, spieren, gonaden, larynx, bloed en beenmerg, hart en vaten, tractus digestivus, nieren, lever, speekselklieren, milt en longen. In de jaren twintig kreeg de mogelijkheid van schadelijk effect van straling op de zich ontwikkelende vrucht steeds meer aandacht en werden bij bananenvliegjes genetische effecten van straling aangetoond, met als gevolg, dat de wetenschap vanaf dat moment rekening moest houden met eventuele radiogenetische effecten bij de mens. In latere jaren bleek, dat ook schadelijke werking van straling op endocriene klieren en zenuwweefsel mogelijk is, terwijl organen zoals pancreas, mamma, prostaat, uterus en cervix relatief radioresistent zijn.

HOOFDSTUK IV. DE RADIOLOGIE ALS MEDISCH SPECIALISME.

Inhoud:

- IV.1 Inleiding.*
- IV.2 De sociale ontwikkeling van de radiologie voor de Eerste Wereldoorlog.*
- IV.3 De radiologie en de Eerste Wereldoorlog.*
- IV.4 Onderwijs en opleiding in de radiologie na de Eerste Wereldoorlog.*
- IV.5 De radiologie en de 'division of labor'.*
- IV.6 Niet-medici die zelfstandig radiologisch werk verrichtten.*
- IV.7 Niet-medici en niet specialistisch opgeleide medisch radiologen als oorzakelijke factor bij het ontstaan van stralenschade bij patienten.*
- IV.8 De röntgenologie en de industrie.*
- IV.9 De publieke opinie en de medische toepassing van röntgen- en radiumstraling.*
- IV.10 Juridische aspecten van stralenschade.*
- IV.11 Samenvatting en conclusies.*

IV.1 Inleiding.

In het optreden van stralenschade bij patienten kwam één oorzaak, die vanaf het prille begin van de radiologie een rol moet hebben gespeeld, steeds duidelijker naar voren: het gebrek aan radiologische scholing en deskundigheid bij de artsen, die de straling appliceerden. In dit hoofdstuk zal niet alleen worden nagegaan hoe het kwam, dat deze artsen onvoldoende in dit vak geschoold waren, maar ook wanneer en op welke wijze scholing werd ingesteld. De instelling van radiologische opleidingen voor artsen zal worden beschouwd in het licht van de ontwikkeling van de radiologie tot een volwaardig medisch specialisme. Bovendien zal in dit hoofdstuk aandacht worden besteed aan de niet-medici, die radiologisch werk verrichtten en aan enkele maatschappelijke factoren, die van invloed waren op de ontwikkeling van de radiologie.

IV.2 De sociale ontwikkeling van de radiologie voor de Eerste Wereldoorlog.

Op het moment, dat de radiologie nog in de kinderschoenen stond, kende de geneeskunde reeds een aantal specialismen, die werden beoefend door een steeds groter wordend aantal speciaal daarvoor opgeleide artsen. De radiologie zou, door zich te organiseren en door het instellen van onderwijs en opleidingen, aansluiting moeten vinden op de professionalisering, die binnen de geneeskunde gaande was.

In de tweede helft van de negentiende eeuw waren de eerste medische specialismen ontstaan. In eerste instantie waren dit de inwendige geneeskunde, chirurgie en gynaecologie en verloskunde. (1) Het optreden van medische specialismen ging gepaard met het instellen van onderwijs in deze vakken aan de universiteiten, niet alleen voor studenten, maar ook voor artsen, die zich in een bepaald vak wilden specialiseren. In Duitsland werd door Von Langenbeck en diens leerlingen, waaronder Billroth, een begin gemaakt met de systematische opleiding van jonge artsen tot chirurg door middel van klinische assistentschappen. Dit opleidingssysteem werd in andere landen overgenomen en had aan het begin van onze eeuw brede weerklink gevonden. (2)

Uit de chirurgie ontwikkelde zich in de tweede helft van de negentiende eeuw de oogheekunde als zelfstandig specialisme; rond 1900 werden in diverse oogheekundige klinieken oogartsen opgeleid. (3) De keel-neus-oorheekunde maakte eenzelfde ontwikkeling door; in Nederland kwam de specialistische opleiding in dit vakgebied na 1905 tot ontwikkeling. (4) De dermatologie was eerst lange tijd in handen van internisten, chirurgen en huisartsen, die op dit gebied geheel autodidact waren. Aan de universiteiten werd aan dit vak nauwelijks aandacht besteed. Rond 1850 ontstonden echter de eerste 'dermatologische scholen', waar de eerste gespecialiseerde huidartsen werden opgeleid. Rond 1900 was het belang en de noodzaak van specialistische dermatologische opleidingen algemeen erkend en nam het aantal opleidingscentra snel toe. (5)

Het begin van de medische toepassing van röntgenstralen leek dan ook op een gunstig moment plaats te vinden. De professionalisering binnen de geneeskunde had bovendien een toenemend gebruik van instrumenten door artsen tot gevolg. (6) De historica Audrey Davis stelde in 1978 in haar artikel *Historical studies of medical instruments* :

'The western physician over a period of eighty years (1820-1900) learned to rely on at least several mechanical devices and instruments to help him discover and understand the disease process. He entered the twentieth century with a firm commitment to an increasing variety of instruments and a decreasing confidence in his unaided ability to diagnose and treat disease. The mark of a good physician turned from one of being selfreliant to one who could and would use instruments in his practice.' (7)

Ondanks deze schijnbaar gunstige omstandigheden, verliep de ontwikkeling van de radiologie tot een volwaardig medisch specialisme niet zonder problemen.

De röntgenstralen werden in de eerste jaren na hun ontdekking toegepast door vertegenwoordigers van de reeds bestaande specialismen. In eerste instantie werden zij bijna uitsluitend door chirurgen gebruikt voor diagnostische doeleinden. Na het baanbrekende werk van onder anderen Leopold Freund, de Weense huidarts, die als een der eersten een huid-aandoening met straling behandelde (zie pgs. 22-23), gingen dermatologen de straling therapeutisch toepassen. De voortgang der techniek maakte de stralen daarna ook bruikbaar voor de internisten.

De röntgenologie werd binnen de geneeskunde vrijwel alleen beoefend in de chirurgische, dermatologische en interne klinieken, hoewel ook huisartsen met röntgenapparaten werkten. De beschikbare kennis op het gebied van de röntgenologie nam snel toe. Na enige tijd traden artsen naar voren die zich hoofdzakelijk met röntgenologie bezig hielden en die op dit gebied daardoor 'specialistische' kennis van zaken vergaarden. (8)

Daarmede is overigens nog niet het ontstaan van het medisch specialisme radiologie verklaard; daarbij speelden vele andere factoren eveneens een rol.

In hun boek *The Making of Rehabilitation. A political economy of medical specialization, 1890-1980* uit 1985 geven Glenn Gritzer en Arnold Arluke aan de hand van een algemeen model voor het ontstaan van een medisch specialisme, het 'market model', de opkomst en ontwikkeling van het specialisme revalidatie-geneeskunde weer. Dit 'market model' wordt door hen tegenover het 'natural growth model' geplaatst, dat het ontstaan van medische specialismen alleen verklaart door het optreden van technologische vernieuwingen en toename van kennis; dit model schenkt echter, in tegenstelling tot het 'market model', geen aandacht aan sociale, economische en politieke invloeden.

Gritze en Arluke stellen:

'For medical specialties the cognitive dimension develops later in the game and is the outcome of occupational organization rather than its cause or the vehicle for its occurrence. What is critical to specialty formation is the simple and concrete, not the complex or esoteric. Material factors such as technologies define a sphere of work to insiders and outsiders. Physicians who specialize in their use develop uniquely held skills in the actual application of the technology and empirical observations about its clinical effects. Practitioners often characterize technical or manual skills as more critical and much early attention is devoted to improving skill in applying rudimentary devices.'

'.....specialty groups may form around service 'commodities' defined by readily recognizable technical devices. Later in their struggle to secure the market for their services, claimed

theoretical knowledge becomes an important component in the professional project. (9)

De ontwikkeling van het specialisme radiologie lijkt goed in het bovengenoemde 'market model' te passen. Het vak vormde zich immers onmiddellijk rond de technische bron van de nieuwe straling, het röntgenapparaat. Bovendien organiseerden de artsen, die zich met röntgenologie bezig hielden, zich razendsnel, door zowel tijdschriften als radiologische organisaties op te richten. Reeds in mei 1896 verscheen in Engeland het eerste medische tijdschrift voor röntgenstralen en de toepassing daarvan, de *Archives of Clinical Skiagraphy*. In mei 1897 verscheen het *American X-Ray Journal*, volgens oprichter Dr. Heber Robarts uit St. Louis '...a monthly journal devoted to practical X-ray work and allied arts and sciences' en '...a monthly devoted to the practical application of the new science and to the physical improvement of man'. (10)

In september 1897 werd in Hamburg, onder meer door Albers-Schönberg, *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen* opgericht. Er verschenen bovendien honderden artikelen over röntgenstralen (en na 1898 ook over radium) in bestaande medische tijdschriften als de *Lancet*, *British Medical Journal*, *Deutsche medizinische Wochenschrift*, *Münchener medizinische Wochenschrift*, *Berliner klinische Wochenschrift*, *Wiener klinische Wochenschrift*, *Comptes Rendu de l'Académie des Sciences* en het *Nederlandsch Tijdschrift voor Geneeskunde*.

De medici richtten ook radiologische vakverenigingen op: in 1897 in Groot-Brittannië de (British) Roentgen Society, in maart 1898 de Berliner Röntgenvereinigung en in mei 1900 door onder anderen Albers-Schönberg de Deutsche Röntgen-Gesellschaft. In laatstgenoemde jaar werd de Roentgen Society of the United States opgericht (waarvan de naam in 1902 veranderde in American Roentgen Ray Society, ARRS) en in 1901 de Nederlandsche Vereeniging voor Electrotherapie en Radiologie. In november 1908 kwam door toedoen van Bécclère de Société de Radiologie Médicale de Paris tot stand, die in 1913 een nationale organisatie werd en haar naam veranderde in Société de Radiologie Médicale de France.

Een andere manier, waarop de eerste radiologen zich gingen organiseren, was het houden van congressen. Een *Congrès International d'Électrologie et de Radiologie Médicales* werd voor het eerst gehouden in 1900; voor de Eerste Wereldoorlog werd zeven maal een dergelijk congres georganiseerd. Het feit, dat de medici zich gingen organiseren, was niet alleen een gevolg van gemeenschappelijke interesses of bezigheden. Door het creëren van tijdschriften, waarin hoofdzakelijk artsen publiceerden en vakverenigingen, waarvan alleen artsen (en soms ook röntgenfysici) lid konden worden, werd een bepaald vakgebied afgebakend en geclaimd, waardoor het voor niet-medici moeilijker werd dit gebied te betreden. Bovendien was het een manier om binnen de geneeskunde erkenning te verkrijgen voor de nieuwe discipline, die als een nieuw specialisme beschouwd wilde worden. Holz knecht en Kienböck schreven al in 1904 een gezamenlijk artikel, waarin zij uiteenzetten, dat de radiologie als een zelfstandige tak van de

geneeskunde beschouwd moest worden. De Weense röntgenpioniers brachten dit als volgt onder woorden:

'So ist es also eine unbestreitbare Tatsache, dass einerseits wegen ihres Umfanges und raschen Fortschrittes bei ihrer grossen praktischen Wichtigkeit die Radiologie ein neuer Zweig der pathologischen Wissenschaft geworden ist. Die Beschäftigung mit derselben beansprucht die ganze Kraft eines Mannes, sie duldet nicht die gleichzeitige Betätigung auf anderen Gebieten.' (11)

Het feit, dat de erkenning van de radiologie als specialisme echter niet zonder meer tot stand kwam, merkte Holznecht aan den lijve. Toen hij in 1905 hoofd was geworden van het onafhankelijke Laboratorium für Röntgendiagnostik und Röntgentherapie van het Allgemeine Krankenhaus te Wenen, slaagde hij er wel in zijn laboratorium tot een centraal röntgeninstituut te maken, maar moest hij ten gevolge van concurrentie van andere afdelingen van het ziekenhuis toestaan, dat op deze afdelingen kleine radiologische diensten bleven bestaan, die in handen waren van de betreffende afdelingsspecialisten. (12)

Voor 1910 komt in de radiologie de 'cognitive dimension' vrijwel alleen tot uiting in tijdschriftartikelen en in de vele handboeken die verschenen: voor 1906 waren reeds 125 radiologische handboeken en atlassen uitgegeven. (13)

Na 1910, toen de arts-radiologen zich reeds in veel landen hadden georganiseerd, kwam in de radiologie de 'cognitive dimension' ook in andere vorm naar voren. Het jonge vak had inmiddels zo veel theoretische en praktische kennis vergaard, dat overdracht daarvan naar medisch studenten en artsen noodzakelijk werd geacht. Bovendien werd er door radiologen op gewezen, dat niet iedere arts radiologie kon bedrijven. Zo meende de Duitse arts Schwarz reeds in 1911, dat ter voorkoming van beschadigingen, röntgenstations alleen bezet mochten worden door artsen, die met de radiologie vertrouwd waren. (14)

Drie jaar later stelde de Duitse radioloog Meyer, dat de radiotherapie zo complex was geworden, dat zij alleen nog door specialisten beoefend kon worden. (15)

In 1917 wees Thurstan Holland, voorzitter van de Roentgen Society of London, op de noodzaak, dat iedere medisch student kennis diende te nemen van röntgendiagnostiek en -behandeling. Op dat moment werd in Engeland geen enkel onderwijs op dit gebied verzorgd. Hij stelde verder:

'There is a prevalent idea abroad that a radiologist is a mere photographer, and that any medical man can interpret radiographs. Never was there a greater mistake.' (16)

Het jonge specialisme kon binnen de geneeskunde slechts met moeite waardering oogsten en een eigen plaats veroveren. In veel chirurgische klinieken, waar radiotherapie werd toegepast, hielden de chirurgen zich hier

zélf niet daadwerkelijk mee bezig, maar lieten zij een jonge onervaren assistent of een hulpkracht de behandeling volgens een opgesteld en ingestudeerd schema met meer of minder succes verrichten. (17) In academische kringen werden röntgendiagnostiek en röntgentherapie lange tijd niet voor vol aangezien. Dit remde de totstandkoming van onderwijs in de radiologie, waardoor er een gebrek aan goed geschoolde radiologen ontstond, en '...wo Mangel herrscht, gibt es bekanntlich Surrogate', aldus de Russische röntgenarts Gassul. Volgens hem ging de ene arts in de leer bij een röntgenzuster, de andere bij een technicus, terwijl weer een andere uit de boeken leerde, op welke wijze met röntgenapparatuur moest worden omgegaan. Deze artsen meenden, dat als zij het apparaat konden hanteren en een doorlichting konden uitvoeren, ze ook werkelijk röntgenoloog waren. Gassul noemde deze praktizerende artsen evenwel 'analfabeten in de röntgenologie'. (18)

Overigens werd er al vanaf 1897 sporadisch onderwijs gegeven in röntgenologie, maar dit was kleinschalig en van geringe invloed op de ontwikkeling van het vak.

Het onderwijs in radiologie begon in Frankrijk al in 1897, toen Antoine Béclère op persoonlijke titel in het Hôpital Tenon te Parijs zijn eerste colleges radiologie gaf (zeven colleges in een tot drie weken) om medici de grondbeginselen bij te brengen. Hij demonstreerde de benodigde apparatuur, het doorlichten en het medisch-chirurgisch gebruik van de stralen. (19) In het algemeen werden in Frankrijk hier en daar klinische demonstraties gegeven. Die bevoorrechte artsen, die werden 'opgeleid', kregen privé-instructies van een meer ervaren collega. Het officiële onderwijs toonde echter geen interesse voor het nieuwe vak.

Een aantal hoogleraren medische fysica in Frankrijk begon rond de eeuwwisseling college over röntgenstralen te geven. In Bordeaux werd vanaf 1902 in het tweede jaar van de medische studie onderwijs gegeven over de technische aspecten van de radiologie; in het vierde jaar werd gedurende drie maanden klinisch-radiologisch onderricht verzorgd.

Enkele jaren later gingen steeds meer radiologen er toe over onderwijs (naar het voorbeeld van Béclère) te geven. In 1908 was het mogelijk op deze wijze cursussen te volgen in bijvoorbeeld interpretatie van radiografieën of radiotherapie van dermatosen. Dit soort cursussen werd vooral populair, doordat tijdens de lessen techniek en praktijk niet van elkaar werden gescheiden.

Vanaf 1910 werd door de Parijse ziekenhuizen onderwijs gegeven in algemene medische radiologie met klinische lessen en praktische oefeningen. Deze 'Conférences d'Électro-Radiologie' kon men gratis bijwonen. Zij werden druk bezocht door Franse en buitenlandse artsen. In 1914 hadden de Conférences zich ontwikkeld tot (voor die tijd) compleet onderwijs in de radiologie. (20)

Ook in Italië werd reeds vanaf 1901 radiologisch onderwijs gegeven en wel aan de universiteit van Napels. In 1908 werd aan de universiteit van Rome de eerste Italiaanse hoogleraar in electrotherapie en radiologie benoemd. In 1912 volgden soortgelijke benoemingen aan de universiteiten van Napels

en Genua, terwijl op dat moment ook aan vele andere Italiaanse universiteiten reeds facultatief onderwijs werd verzorgd. (21)

In 1900 startte in de Verenigde Staten één 'medical college' met röntgenologisch onderwijs aan studenten. Daarna breidde het aantal 'colleges', waar dit onderwijs in het medisch curriculum werd opgenomen, gestaag uit. (22)

Frankrijk, Italië en de Verenigde Staten stonden nochtans in het eerste decennium van deze eeuw, wat de invoering van radiologisch onderwijs betrof, vrijwel alleen. In de meeste andere Europese landen kwam voor de Eerste Wereldoorlog de instelling van medisch-radiologisch onderwijs, ondanks de roep hierom van de zijde van radiologische organisaties, door de lage status van het vak binnen de geneeskunde niet van de grond. (23)

In 1913 zond de Deutsche Röntgen-Gesellschaft een pro-memoria naar alle Duitse medische faculteiten, waarin werd aangedrongen op de instelling van leerstoelen in de röntgenologie. Aan een aantal Duitse universiteiten werd in 1913 al röntgenologisch onderwijs aan medisch studenten gegeven, maar dit onderwijs kwam volgens de Duitse hoogleraar geneeskunde Dietlen in het geheel niet tot zijn recht. (24)

Aan de vooravond van de Eerste Wereldoorlog was de radiologie dan ook geen algemeen erkend specialisme. Er was een kleine groep eminente radiologen, terwijl het vak verder werd uitgeoefend door huisartsen en een aantal specialisten, die het als een bijvak of hulpvak beschouwden. Het merendeel van de medici wist van dit vakgebied vrijwel niets af en besteedde ook aan röntgendiagnostiek (door bijvoorbeeld röntgenonderzoeken aan te vragen) geen aandacht. (25) De radiologie was slechts een randgebied van de geneeskunde, het viel te ver buiten de reguliere geneeskunde om binnen de medische wereld als volwaardig deelgebied (zoals bijvoorbeeld chirurgie of oogheelkunde) te worden beschouwd.

IV.3 De radiologie en de Eerste Wereldoorlog.

Gritzer en Arluke stelden in *The Making of Rehabilitation* :

'The development of medical specialties also depends on the ability of groups of workers to take advantage of unique historical events. Events such as war for example, provide special opportunities to groups having a low status because of their involvement in activities previously outside regular medicine.' (26)

De Eerste Wereldoorlog, die op 1 augustus 1914 uitbrak, is van groot belang geweest voor de emancipatie van de radiologie tot zelfstandig specialisme. Overigens is de radiologie niet het enige medisch specialisme, dat in haar ontwikkeling door deze oorlog is beïnvloed. Ook bijvoorbeeld de orthopedie en de revalidatie-geneeskunde werden erdoor in hun ontwikkeling gestimuleerd. (27)

De Britse militaire autoriteiten hadden in 1914, na het uitbreken van de oorlog, bij de organisatie van de militaire röntgenologie geen vooraanstaande radiologen geconsulteerd. De militairen gaven volledig onopgeleide personen, artsen zowel als niet-medici, de leiding over militaire röntgenafdelingen, hetgeen volgens de Britse radioloog Melville aanleiding gaf tot '...endless tragedies'. (28)

De Britse legerleiding schonk bovendien onvoldoende aandacht aan de opleiding van radiologen. De militaire radiologen gingen de oorlog in met verouderde apparatuur. In zowel leger als marine was een groot gebrek aan getrainde radiologen, zodat al snel vrijwel alle civiele radiologen werden opgeroepen voor militaire dienst. Maar ook dat was nog niet toereikend. Het gevolg was, dat vele 'geïmproviseerde' radiologen, in zowel het leger als het civiele leven, aan het werk togen, 'with stout hearts but with colossal ignorance'. (29)

Het uitbreken van de Eerste Wereldoorlog deed ook in Frankrijk een groot tekort aan radiologen ontstaan. Bovendien werden de 175 beschikbare röntgenartsen lukraak over de legeronderdelen verspreid, zonder dat rekening werd gehouden met hun specialiteit, waarbij sommige zelfs bij gevechtseenheden werden geplaatst. Blijkbaar was ook de Franse legerleiding bij het uitbreken van de oorlog zich nog niet bewust van de mogelijkheden van het röntgenologisch onderzoek voor de oorlogschirurgie. (30) Frankrijk bezat overigens bij het uitbreken van de oorlog slechts één röntgenautomobil en geen enkele andere transportabele röntgeninstallatie. (31)

De Franse militaire autoriteiten realiseerden zich echter spoedig, dat deze situatie volledig achterhaald was en zij organiseerden op korte termijn de eerste militaire röntgeneenheden en besloten daarnaast faciliteiten te scheppen voor de opleiding van militaire röntgenologen. Dit leidde er toe, dat in het midden van de oorlog in diverse opleidingsinstituten militaire röntgenologen werden gevormd. Antoine Béclère leidde in het militaire hospitaal Val du Grâce te Parijs medici in minder dan een maand op tot militair radioloog. Hij gaf radiologische training aan groepen van twintig artsen. In totaal leidde hij 260 militaire radiologen op. Bovendien organiseerde hij de oprichting van 120 radiologische stations in het militaire complex in en rond Parijs. Als gevolg van deze inspanningen telde het Franse leger aan het einde van 1916 527 medisch röntgenologen en ten tijde van de wapenstilstand (11 november 1918) waren dit er 810: hiervan waren 700 tijdens de oorlog opgeleid. (32) Deze ontwikkeling heeft volgens de Franse röntgenpionier Belot zonder twijfel bijgedragen aan de enorme expansie van de radiologie binnen de medische wereld en heeft het vak bovendien bij het grote publiek een hoog aanzien gegeven. (33)

Een aantal maanden voordat de Verenigde Staten in april 1917 betrokken raakten bij de oorlog, had de American Roentgen Ray Society, anticiperend op de komende oorlog, een Committee of Preparedness opgericht, dat de interesse van röntgenologen trachtte op te wekken voor militaire röntgenologie. Chirurgen en röntgenologen, die ervaring hadden opgedaan in de Europese oorlog, maakten aan de commissie duidelijk, dat de beste resultaten in het opsporen van vreemde lichamen werden bereikt, als de

röntgenoloog een in dit vak getrainde arts was. De commissie adviseerde daarop aan de Surgeon General, dat militaire röntgenologen altijd arts moesten zijn; de Surgeon General nam dit advies over en stelde in negen Amerikaanse steden röntgenologische opleidingsscholen in, waar door speciaal voor dit doel geselecteerde radiologen instructie werd gegeven aan voor militaire dienst opgeroepen röntgenologen en later ook aan op dit gebied minder ervaren artsen. Deze medici werden drie maanden lang getraind in röntgenologische technieken, waarbij met name het röntgenonderzoek van recruten en methoden ter lokalisatie van corpora aliena werden onderwezen. Omdat chirurgen en röntgenologen aan het front effectief en op voet van gelijkheid moesten samenwerken, werden in chirurgisch-militaire opleidingsscholen de röntgenologische onderzoeksmethoden en hun betekenis grondig uitgelegd. (34) Dit laatste heeft ongetwijfeld binnen de geneeskunde de acceptatie van de radiologie als specialisme bevorderd.

In Duitsland liet het oorlogsgebeuren de radiologie evenmin onberoerd. Het militair-radiologische onderdeel van het leger was in dat land zorgvuldig voorbereid. Het leger beschikte over talloze transportabele röntgeninstallaties, die gemakkelijk met voertuigen te verplaatsen waren; aan het begin van de oorlog werd de productie van deze installaties sterk opgevoerd. (35) De superieure organisatie van de militaire radiologie in Duitsland werd vergemakkelijkt door de in dat land goed ontwikkelde röntgenindustrie. De grote Duitse firma's Reiniger, Gebbert & Schall A.-G. (Berlijn en Erlangen), VEIFA-Werke (Frankfurt am Main-Aschaffenburg) en Siemens & Halske (Berlijn) leverden allemaal een ruim assortiment militaire röntgenapparatuur. (36) Dit leidde er toe, dat in het Duitse leger reeds in 1915 een groot aantal röntgenautomobielen in gebruik was. In tegenstelling tot Frankrijk waren in Duitsland alle bouwstoffen voor de productie van röntgenbuizen aanwezig. Frankrijk was hiervoor afhankelijk van het in Duitsland geproduceerde Thüringer glas, een glassoort die zich goed met de metalen delen van de buis liet verwerken en kreeg na het uitbreken van de oorlog met een nijpend tekort aan dit glas te kampen. Een soortgelijke glassoort moest daardoor in Frankrijk op last van de Franse regering overhaast worden ontwikkeld. (37)

Tijdens de oorlog werd steeds duidelijker, dat de röntgenologie van onschatbare waarde was in de oorlogschirurgie. Kogels, granaatsplinters en bomscherven konden met behulp van röntgenfoto's en doorlichtingen moeiteloos worden opgespoord. Hoe zeer het aanzien van de röntgenologie in deze periode veranderde, werd ervaren door Madame Curie, die gedurende de oorlog een 'vloot röntgenwagens' organiseerde en zelf als röntgenologe optrad. In de biografie van haar moeder schreef Eve Curie:

'Sommige chirurgen, die het nut van de x-stralen begrijpen, behandelen haar als een waardevolle medewerkster, een grote collega. Anderen, die onwetend zijn, bekijken haar instrumenten met heilig wantrouwen. Als dan enige der radioscopische proeven goede resultaten hebben, zijn ze verrukt dat 'het goed gaat' en kunnen hun ogen nauwelijks geloven, als ze

op de plaats, die door de stralen was onthuld en die werd aangeduid door Madame Curie, onder het ontleedmes de granaatscherf voelen, die ze vergeefs gezocht hadden in het gemartelde vlees. Plotseling overtuigd, weiden ze lang uit over het gebeurde, als over een wonder...’ (38)

Ook in Engeland trad binnen de medische wereld door de belangrijke rol van de radiologie in de oorlogsgeneeskunde een houdingsverandering ten aanzien van dit vak op, die ook in de civiele radiologie tot uiting zou komen.

In maart 1917 riep de Council of the Electrotherapeutic Section of the Royal Society of Medicine een kleine commissie in het leven, die de status van de medische radiologen diende te onderzoeken en diende na te gaan, hoe de radiologie de haar toekomstige plaats binnen de disciplines der geneeskunde in kon nemen en hoe de kwaliteit van de radiologen kon worden verbeterd en het onderwijs kon worden bevorderd. De commissie kwam tot de conclusie, dat vrijwel alle in Groot-Brittannië werkzame radiologen hun kennis enkel door ervaring hadden opgebouwd, ten koste van hun patiënten. In talloze praktijken kon veel lijden van de kant der patiënten worden voorkómen door competente radiologen de leiding te geven. De commissie stelde een plan op voor het opzetten van een radiologisch opleidingsinstituut in Londen en voor het instellen van een post-graduate opleiding in radiologie in Cambridge. (39)

De opmars van de oorlogsröntgenologie ging ook in Nederland niet onopgemerkt voorbij. In 1917 werd op een vergadering van de Nederlandsche Vereeniging voor Electrologie en Radiologie uitgebreid over dit onderwerp gediscussieerd. De Nederlandse röntgenoloog Dietz maakte op deze vergadering duidelijk, dat oorlogschirurgie zonder röntgenonderzoeken haast ondenkbaar was geworden. (40)

Na de Eerste Wereldoorlog was het in de landen, die aan de oorlog hadden deelgenomen (en ook daarbuiten) duidelijk, dat kliniek en praktijk niet meer zonder de röntgendiagnostiek konden. De röntgendiagnostiek had door de oorlog enorm aan prestige gewonnen en hierdoor leek de weg vrij naar algemene erkenning van het specialisme radiologie, een erkenning, die ook in de instelling van specialistische opleidingen tot uiting zou moeten komen. Aan de gevolgen van de oorlog zaten voor de radiologie echter ook enkele schaduwzijden. De ontwikkelingen in de gynaecologische röntgentherapie, die overigens voor een deel los stonden van de oorlogsprikelen, maakten, dat tegen 1920, met name door de inspanningen van gynaecologen als Krönig en Gauss op het gebied van de röntgen-dieptetherapie, steeds meer gynaecologen zich bezig gingen houden met röntgentherapie, omdat zij hierin de oplossing van het vraagstuk van de bestrijding van kanker zagen (zie ook hoofdstuk VIII). Deze ontwikkeling werkte de centralisering in röntgeninstituten, waar alleen vakröntgenologen werkten, tegen. Deze tendens werd versterkt door de oorlog, aan het einde waarvan veel artsen, die in militaire dienst als ‘röntgenoloog’ gewerkt hadden, zich in de civiele maatschappij als zodanig presenteerden en naast hun eigenlijke vak de röntgenologie gingen beoefenen: ‘Auchröntgenologen’. De ‘Zersplitterung

der Röntgenologie' nam daardoor na de oorlog weer toe. Als gevolg van het nieuwe besef, dat de röntgenologie de andere specialismen geweldige diensten kon bewijzen, ontstond in 1918 in Duitsland de alledaagse praktijk, dat een chirurg een röntgenapparaat kocht, zich door een monteur de hantering van het apparaat uit liet leggen en daarna het apparaat in de praktijk toepaste. Ook kwam het voor, dat een gynaecoloog een toestel voor röntgen-dieptetherapie kocht, 'weil ihm sonst zu viele Fälle verloren gehen', een röntgenzuster in dienst nam en zijn eigen praktijk voor röntgen-dieptetherapie begon. Soms namen deze artsen nog de moeite een röntgencursus van acht dagen bij een fabriek te volgen; dan meenden zij voldoende opleiding te hebben gehad, met volgens Dietlen 'alle gevolgen van dien'. (41)

Aan het einde van de oorlog besloot ook een groot deel van de geïmproviseerde Britse militaire radiologen 'hun specialisme' in de burgermaatschappij voort te zetten. Deze artsen ontdekten echter al vrij gauw, dat in de civiele maatschappij hogere eisen werden gesteld dan in het oorlogsapparaat. Het succesvol uitoefenen van een eigen praktijk vereiste een goede reputatie en een minimum aan fouten. De ex-militairen trachtten dan ook in de Civil Hospitals alsnog een opleiding te volgen. Deze ziekenhuizen konden echter de grote toeloop van gegadigden niet aan. (42)

IV.4 Onderwijs en opleiding in de radiologie na de Eerste Wereldoorlog.

In Frankrijk en Engeland resulteerde het toegenomen prestige van de radiologie meteen na de oorlog in de instelling van specialistische opleidingen. Ook in andere landen kreeg het radiologisch onderwijs in de loop van de jaren twintig nieuwe mogelijkheden. In deze paragraaf zal de instelling van radiologisch onderwijs in een aantal landen worden besproken.

Na de oorlog wilde de Faculté des Sciences in Parijs het onderwijs gaan verzorgen in zowel het fysisch-technische als het medische deel van de radiologie. Deze faculteit voelde zich waarschijnlijk in dit voornemen gesterkt door het feit, dat aan het begin van de oorlog door het tekort aan militair personeel, dat in staat was röntgenapparaten te bedienen, leraren natuurkunde waren opgeroepen, die na een korte cursus in het Institut du Radium deze taak op zich moesten nemen; aan deze oproep was in ruime mate gevolg gegeven. Bovendien had de medische faculteit voor de oorlog nooit belangstelling getoond voor het verzorgen van dit onderwijs. Dit zou echter betekenen, dat de radiologie geheel in niet-medische handen zou raken. Dit nu was voor de wakker geschudde medische faculteit onverteerbaar. Het gevolg was een harde en langdurige strijd, omdat de medici betoogden, dat zowel diagnostiek als therapie alleen in handen van artsen thuishoorde. Er werd ten slotte overeengekomen, dat aan de medische faculteit van de Universiteit van Parijs (onder auspiciën van de hoogleraar medische fysica Broca) onderwijs zou worden gegeven door fysici en medici in alle aspecten van de radiologie (fysisch, technisch en

klinisch). Dit onderwijs was niet verplicht, maar bedoeld voor die studenten, die zich wilden specialiseren in Electro-Radiologie, waarvan de bekroning een universitair diploma was. De vooroorlogse Conférences d'Électro-Radiologie werden opgeheven.

Het onderwijs van Broca bevatte de volgende elementen:

- radiofysica (productie, meting en applicatie).
- techniek van de medische applicatie (radiodiagnostiek en radiotherapie).
- radiodiagnostiek.
- radiotherapie.

De colleges werden iedere avond gegeven van december tot april. 's Ochtends liepen de studenten stage in een der radiologische klinieken in Parijs. Iedere student moest minstens bij twee verschillende ziekenhuizen stage lopen. Bovendien werden praktische lessen gegeven in het toepassen van radioactieve stoffen in het Institut du Radium. Ook werden de studenten getraind in electrologie. Aan het eind van het academisch jaar legden de studenten examens af; de geslaagden kregen een certificaat voor radiodiagnostiek en/of radiotherapie en/of electrologie. Degenen die in het bezit waren van een certificaat konden twee jaar lang stage lopen in radiologische klinieken, die door de Faculteit Geneeskunde waren geselecteerd. Aan het einde van deze tweejarige stage werd de kandidaten door een speciale jury een examen afgenomen, dat betrekking had op de gehele electroradiologie. De geslaagden kregen het Diplôme de Radiologistes de l'Université de Paris. In 1924 stelde de Parijse universiteit een leerstoel in voor klinische radiologie, die zou worden bezet door professor René Ledoux-Lebard.

Naar het voorbeeld van Parijs gingen verscheidene Franse universiteiten er toe over onderwijs in radiologie in te stellen. Overigens werd in de Parijse ziekenhuizen nog steeds - niet-officieel - onderwijs gegeven, zowel aan beginnende artsen als aan specialisten, die in hun vak bij wilden blijven. (43)

In 1920 stelde de University of Cambridge, zoals voorgesteld door de eerder genoemde commissie van de Royal Society of Medicine, als eerste Britse universiteit het Diploma in Medical Radiology and Electrology (DMRE) in. In 1928 boden naast Cambridge ook de universiteiten van Liverpool en Edinburgh dergelijke opleidingen. De studie voor het DMRE duurde minimaal negen maanden en bestond uit de volgende elementen:

- colleges en practica in fysica, electro-techniek, radiologie en electrologie (zes maanden).
- klinische instructies: drie maanden durend klinisch assistentschap in een ziekenhuis van minimaal 200 bedden, dat was erkend door de University of Cambridge. Gedurende deze drie maanden moest de student een thesis schrijven.

In de loop van de jaren twintig bleek, dat het theoretisch-praktische deel van het DMRE niet in zes maanden op verantwoorde wijze kon worden gegeven. In oktober 1928 werd besloten deze tijdsduur te verlengen. (44)

Het Diploma in Medical Radiology and Electrology werd in Cambridge tot in 1942 uitgereikt en in Liverpool van 1921 tot 1944. In deze laatste stad werd het diploma in 1946 opnieuw ingesteld, waarbij een onderscheid werd gemaakt tussen een diploma voor radiodiagnostiek (Diploma in Medical Radiodiagnosis) en een voor radiotherapie (Diploma in Medical Radiotherapy). De lessen in electrologie waren daarmee definitief vervallen. De Universiteit van Edinburgh, die vanaf 1925 een diploma in radiologie uitreikte, maakte vanaf 1946 een onderscheid in DMRD en DMRT. De Universiteit van Londen verzorgde vanaf 1932 colleges en examens die leidden tot het Academic Diploma in Medical Radiology (ADMR). In datzelfde jaar had het Royal College of Physicians and Surgeons een Diploma in Medical Radiology ingesteld.

In 1934 werd de British Association of Radiologists opgericht, waarvan alleen erkende radiologen lid konden worden. Deze organisatie stelde in 1935 een hogere radiologische kwalificatie in: het 'fellowship'. Alleen een speciale groep oudere leden mocht zich meteen fellow noemen. De gewone leden mochten naar de rang van fellow dingen. De eerste fellowship examinations werden in december 1937 gehouden.

In 1939 fuseerde de British Association of Radiologists met de in 1935 opgerichte Society of Radiotherapists of Great Britain and Ireland, onder de nieuwe naam Faculty of Radiologists. Het fellowship werd vanaf dat moment FFR (Fellow of the Faculty of Radiologists) genoemd. (45)

Ook in Duitsland betekende de Eerste Wereldoorlog de 'doorbraak' voor de radiologie. In dit door de gevolgen van de verloren oorlog (economische neergang, herstelbetalingen, politieke instabiliteit) geteisterde land, duurde het een paar jaar langer dan in Engeland en Frankrijk, voor het vraagstuk van de specialistische opleidingen werd opgelost. Economische concurrentie tussen huisartsen en zich 'Facharzt' noemende artsen dwong de overheid tot ingrijpen: 'die wirtschaftlich verschlechternde Lage des privaten Zahlers, der sich in der Inanspruchnahme des Arztes heute eine begreifliche Beschränkung auferlegt', had tot gevolg, dat deze patiënten de huisarts oversloegen en meteen naar de specialist gingen. Bovendien konden ook ziekenfondspatiënten zonder eigen kosten specialisten consulteren. De opleiding van deze 'Fachärzte' kon echter van velerlei aard zijn; bindende regels hiervoor waren er niet. In 1924 waren de Duitse huisartsen bereid een aantal specialismen te erkennen, die buiten hun 'Konkurrenzphäre' vielen en waarvoor in hun ogen training over langere tijd vereist was; een van deze specialismen was de radiologie. (46) In 1926 besloot de 'Reichsausschuss für Aerzte und Krankenkassen' te Berlijn, dat vanaf dat moment aan de titel 'Facharzt' eisen gesteld werden. Voor de radiologie betekende dit, dat na het artsexamen drie jaar lang een assistentschap moest worden gelopen in een universiteitskliniek, of in door erkende radiologen geleide zelfstandige radiologische afdelingen van grote ziekenhuizen, privé-klinieken, kuuroorden of lazaretten. Na deze driejarige opleiding was men radioloog. (47) In de praktijk vertrouwden de ziekenfondsen voorsnog de radiologische behandeling van hun patiënten alleen

toe aan erkende radiologen, die als zodanig door een commissie van oudere collega's waren aangewezen. (48)

In een aantal Amerikaanse universiteiten konden na 1920 studenten post-graduate training krijgen in radiologie. De opleiding varieerde en duurde een tot drie jaar. Het merendeel van het post-graduate onderwijs werd echter in 1928 in de Verenigde Staten verzorgd door de röntgenafdelingen van de Class A Hospitals. 'Class A' hield in, dat een ziekenhuis of medical school aan de eisen van het American College of Surgeons voldeed. De opleiding in deze ziekenhuizen duurde een tot twee jaar; ieder ziekenhuis had een geheel eigen onderwijsprogramma. Slechts enkele universiteiten reikten in 1928 diploma's uit in Post-Graduate Roentgenology. (49) In de Verenigde Staten waren in de loop van de jaren 1916-1925 een aantal radiologische organisaties opgericht. In 1916 was door een aantal in de medische toepassing van radium geïnteresseerde artsen en chirurgen de American Radium Society (ARS) opgericht. In 1915 was de Western Roentgen Society opgericht (WRS), uit onvrede over het functioneren van de American Roentgen Ray Society (ARRS), waarvan de leden vrijwel allemaal uit de oostelijke staten kwamen; toelating tot het lidmaatschap van de ARRS was alleen mogelijk als de betreffende radioloog werd gesteund door twee actieve ARRS-leden van goede naam. De meeste westelijke radiologen kenden niet persoonlijk de voor hen ver weg wonende ARRS-leden en kregen daardoor in de praktijk moeilijk toegang tot het lidmaatschap. Bovendien werden de vergaderingen van de ARRS in het oosten gehouden, waardoor het voor de westelijke leden veel tijd en geld kostte om de bijeenkomsten bij te wonen. Als gevolg van de westelijke onvrede werd in 1915 de Western Roentgen Society opgericht. Aangezien het aantal leden snel groeide en uit vele staten afkomstig was (in 1919 had de Western Roentgen Society 472 leden uit 38 staten), werd in 1919 de naam veranderd in Radiological Society of North America (RSNA). De concurrentie tussen de American Roentgen Ray Society en de Radiological Society of North America kreeg een nieuwe dimensie, toen in 1923 het American College of Radiology (ACR) werd ingesteld. Dit was een organisatie, waarvan alleen eminente radiologen lid mochten worden. De gewone leden werden 'fellows' genoemd (zij dienden minstens tien jaar radiologische ervaring te hebben), terwijl er bovendien 'honorary fellows' kwamen, namelijk 'those whose contributions to the science of radiology warrant honorary recognition'. Het American College of Radiology was gevormd naar het voorbeeld van het American College of Surgeons (1913) en het American College of Physicians (1915). (50) Later zou Dr. Lowell Goin over het American College of Radiology schrijven:

'....in these early years, the existence of the College served to emphasize the fact that Radiology had assumed its rightful place as a medical specialty, and as a peer of the other great branches of Medicine, some of which had Colleges in existence....' (51)

Onder druk van de goed georganiseerde radiologen stelde de American Medical Association, waarvan alle Amerikaanse artsen lid waren, in 1925 een 'Section on Radiology' in. (52) De tweespalt in de Amerikaanse radiologie bracht problemen teweeg, toen de Verenigde Staten werden uitgenodigd afgevaardigden naar het Tweede Internationale Congres voor Radiologie te sturen, die zich moesten verdiepen in de mogelijkheid van de oprichting van een nieuwe internationale organisatie op het gebied van de radioprotectie. Voor de andere landen was dit geen probleem, omdat deze slechts één radiologische organisatie binnen hun grenzen hadden. In de Verenigde Staten rees echter de vraag hoe uit de beide grote radiologische organisaties (ARRS en RSNA) een delegatie moest worden gekozen. Dit probleem werd opgelost door van beide organisaties één afgevaardigde te sturen, terwijl een fysicus van het National Bureau of Standards te Washington, Lauriston Taylor, als derde persoon meeging, 'to keep peace between them'. Op het congres werd niet alleen een International X-Ray and Radium Protection Committee opgericht, maar ook de aanbeveling gedaan, dat 'a single central committee be established in those countries having more than one radiological organization'. Hierdoor werden ARRS en RSNA gedwongen een gezamenlijke commissie te creëren. In 1929 resulteerde dit in de oprichting van de US Advisory Committee on X-Ray and Radium Protection. De samenwerking, die hiermee tussen deze organisaties begon, leidde tot het plan om een American Board of Radiology op te richten, een plan waaraan zowel de Radiological Society of North America, de American Roentgen Ray Society, het American College of Radiology als de American Radium Society meewerkte, alsook de American Medical Association Section on Radiology. Deze Board zou examens moeten afnemen voor het specialisme radiologie en het voorbeeld moeten volgen van de American Board of Ophthalmology (1917) en de Board of Otolaryngology (1924). De in oprichting zijnde Board of Obstetrics and Gynecology (1932) en Board of Dermatology and Syphilology (1932) zouden volgens dezelfde principes gaan functioneren. Vóór de instelling van de American Board of Radiology kon iedere arts dit specialisme gaan beoefenen, ook al had hij daarvoor geen speciale opleiding genoten. Het instellen van een 'certifying board' zou het onderscheid tussen goed opgeleide en gekwalificeerde specialisten en de 'self-announced' duidelijk maken. Op 31 januari 1934 werd de American Board of Radiology officieel ingesteld en in juni 1934 werden de eerste specialistenexamens afgenomen. (53)

In 1927 was de Italiaanse radioloog Perussia, hoogleraar-directeur van het Instituut voor Radiologie van de Universiteit van Milaan, fel tekeer gegaan tegen de 'radiologische kwakzalvers', waarmee hij die artsen bedoelde, die zonder voldoende radiologische opleiding dit vak toch uitoefenden. Er waren hem enkele gevallen bekend, waarin artsen radiotherapie toepasten, terwijl dit zinloos was en radiumapplicatie voorwendden zonder dat een spoor van radium aanwezig was! Volgens Perussia bestonden de gevolgen van 'onoordeelkundige' radiotherapie uit radiodermatiden, ulceuze proctitiden, bot- en kraakbeenecrose, vaginale fistels, blaasfistels,

peritonitiden en pernicioze anemie. De radiologisch gezien ondeskundige arts had naar zijn ervaring steeds de neiging 'veel te wagen', aange-
moedigd door de omvang van de middelen, die hij ter beschikking had.
De patient kon volgens Perussia stralenschade oplopen als gevolg van de
volgende factoren:

- onvoorzichtige of overdadige bestraling.
- gebrekkige techniek als gevolg van onvoldoende financiële middelen.
- onvoldoende voorzorgsmaatregelen.

Maligne tumoren konden door inadequate behandeling later niet curatief
meer te behandelen zijn. Het hielp volgens hem niets om aan de uitoefening
van de radiotherapie de voorwaarde te verbinden, dat over apparatuur van
minstens 200 kilovolt moest worden beschikt (men kon dan immers toch
met lagere spanning gaan behandelen, bijvoorbeeld om de buis te sparen),
of dat men over minstens 100 milligram radium moest beschikken (men
kon dit immers opdelen om zo verscheidene patienten tegelijk te behan-
delen).

Regeling en controle in de radiotherapie waren niet te betrekken op de
steeds veranderende technieken en apparatuur, maar wel op de *personen*,
die röntgen- en radiumtherapie uitoefenden. De meeste buitenlandse
verenigingen van radiologen en ook de meeste vooraanstaande Italiaanse
en buitenlandse radiologen, deelden in 1927 de mening, dat de wet alleen
die artsen tot de praktische uitoefening der röntgen- en radiumtherapie
mocht toelaten, die een grondige technische en klinische opleiding hadden
genoten; alleen de toekenning van een diploma en regelgeving met betrek-
king tot het voeren van de titel van specialist konden het probleem van de
'kwakzalverij' oplossen.

In veel landen mocht in 1927 wettelijk gezien iedere arts na zijn arts-
examen ieder specialisme, ook de radiologie, uitoefenen, ook al had hij daar
niets over geleerd. (54)

In Italië was op 31 december 1923 een specialistenwet in werking
getreden, waarin werd gesteld:

*'De titel specialist, om het even op welke tak der geneeskunde
deze betrekking heeft, mag alleen door diegenen worden
gevoerd, die het overeenkomstige diploma hebben verworven
volgens de regels, die door het Instituut voor Medische
Specialisatie en aan de hand van de statuten der universiteiten
zijn opgesteld. Diegenen, die dit voorschrift overtreden, lopen
het risico van de uitvoering van de specialistische praktijk te
worden uitgesloten zonder daarmede andere straffen te
ontlopen, die in de wet voor zulke overtredingen zijn voorzien'.*
(55)

Dit leek veelbelovend, maar op 25 september 1925 werd aan deze wet het
volgende decreet toegevoegd:

*'...dat aan al diegenen de titel specialist wordt verleend, die
kunnen bewijzen, dat zij voor de eerste december 1923 de*

specialistische praktijk daadwerkelijk uitoefenden. Talrijke universiteiten van het koninkrijk hebben opleidingen voor specialisatie in klinische radiologie ingesteld; in de afgelopen tijd is hierdoor een groot aantal gediplomeerde radiologen gevormd.’ (56)

Het gevolg hiervan was, dat iedere arts, die, zonder hiervoor opleiding te hebben genoten, voor december 1923 als radioloog was opgetreden, zich ‘radiologisch specialist’ mocht noemen. De inderhaast opgezette specialistencursussen voldeden volgens Perussia niet aan de eisen, die de werkelijk universitair opgeleide radiologen hieraan wensten te stellen. (57) In 1928 werd aan vrijwel alle Italiaanse universiteiten georganiseerd onderwijs in de radiologie gegeven. Bovendien was aan vijf universiteiten (Rome, Milaan, Padua, Florence en Bologna) een radiologische specialisatopleiding toegevoegd, die twee jaar duurde. (58)

In Oostenrijk werd onder invloed van Holzknecht reeds in 1904 de ‘medische Radiologie’ als niet verplicht leervak in de medische curricula opgenomen en dit vak werd in 1928 aan de drie Oostenrijkse medische faculteiten (Wenen, Graz en Innsbruck) nog altijd vrijblijvend gedoceerd. In 1928 boden drie Oostenrijkse röntgencentra, waaronder het röntgeninstituut van Holzknecht, een specialistische opleiding röntgenologie voor artsen.

Een belangrijke impuls voor de totstandkoming van onderwijs en opleidingen in de radiologie ging uit van het Tweede Internationale Congres voor Radiologie in Stockholm in 1928. In de ogen van de ‘internationale radiologie’ ging de instelling van onderwijs in haar vak niet snel genoeg. Op het congres werd een hele dag besteed aan het onderwijs in radiologie in de deelnemende landen. Hier werd zowel het onderwijs aan medisch studenten, als het onderwijs in de vorm van specialistische opleidingen besproken. In het algemeen kan worden gesteld, dat vrijwel alle radiologen, die voor 1920 werkzaam waren, autodidact waren, afgezien van de militaire röntgenologen, die een beperkte op de oorlogsgeneeskunde gerichte opleiding hadden genoten. In de periode 1920-1930 nam het aantal specialistisch opgeleide radiologen langzaam toe. Holzknecht stelde in 1928 op het congres in Stockholm vast, dat de meeste artsen, die op dat moment röntgenstralen toepasten, niet veel meer kennis hadden dan ‘hoe een foto te maken’; diagnostisch wist men er verder weinig mee te beginnen. Dit gold volgens hem ook voor de jonge artsen, die tijdens hun studie alleen passief onderwijs in röntgenologie hadden ontvangen. Naar zijn mening bestond het merendeel van de röntgenspecialisten van dat moment nog uit artsen, die het vak in de praktijk geleerd hadden en geen systematische scholing hadden genoten. Veel medisch specialisten meenden volgens hem nog steeds, dat de röntgenologie hun ‘net als de percussie’ ter beschikking stond en zagen niet in, dat voor de toepassing van de stralen een geheel op zichzelf staande opleiding nodig was. Op de universiteiten was overal echter al het inzicht gerijpt, dat radiologisch onderwijs absoluut noodzakelijk was geworden. Als verklaring voor de late totstand-

koming van onderwijs en opleiding in de radiologie zag Holz knecht, naast de conservatieve houding van de universiteiten, voornamelijk het feit, dat niemand had kunnen voorzien, dat de toepassing van straling zo spoedig een praktische noodzaak binnen de geneeskunde zou worden en zo snel zo'n grote omvang aan zou nemen, dat zij in handen zou raken van alle artsen, zelfs van huisartsen. (59)

In de toonaangevende landen op het gebied van de radiologie kreeg na de Eerste Wereldoorlog de instelling van radiologisch onderwijs steeds meer vorm. Hoe was echter de toestand op het gebied van het radiologisch onderwijs en de radiologische specialisatie in Nederland?

In 1899 werd aan de Universiteit van Amsterdam Johannes K.A. Wertheim Salomonson (1864-1922) benoemd tot buitengewoon hoogleraar in de neurologie en radiografie. In 1915 werd hij benoemd tot gewoon hoogleraar neurologie en tot hoofd van de röntgenafdeling van het Binnen Gasthuis. In datzelfde jaar werd aan dezelfde universiteit Nicolaas Voorhoeve (1879-1927) benoemd tot privatdocent röntgenologie en tot röntgenoloog van de Kliniek der Inwendige Geneeskunde.

In Leiden werd de röntgenologie lange tijd alleen in de afzonderlijke klinieken bedreven. In 1913 werd Dirk Jan Steenhuis (1887-1954) benoemd tot assistent inwendige geneeskunde; aangezien deze arts zich voor röntgenologie interesseerde, werden steeds meer patienten van andere afdelingen voor röntgenonderzoeken naar hem verwezen en daardoor ontwikkelde zich onder zijn leiding een centrale röntgenafdeling. Onderwijs in het nieuwe vak werd niet gegeven. In 1919 werd Steenhuis benoemd tot hoofdassistent voor röntgenologie en in 1926 tot lector in dit vak. In 1928 gaf hij een uur college per week aan doctoraalstudenten. De studenten waren verder vrij om praktische onderzoeken bij te wonen. In Utrecht was in 1918 Cornelis H. Kok (1886-1949) benoemd tot privatdocent röntgenologie; hij gaf per jaar tien uren college in algemene röntgenologie.

In Groningen was in 1918 Sijbrand Keijser (1889-1966) aangesteld als lector in de röntgenologie; deze voormalige conservator bij psychiatrie verzorgde een uur college per week. (60)

In Nederland was in 1928 alleen in Amsterdam (Universiteit van Amsterdam) een hoogleraar röntgenologie in functie. In 1935 was het radiologische onderwijsbestand in Nederland nog bijna hetzelfde als in 1926: aan de Rijksuniversiteit Utrecht was nu echter bovendien een privatdocent neuroröntgenologie en pathologische electrologie werkzaam, Bernard G. Ziedses des Plantes (geboren in 1902). (61)

Het onderwijs in de radiologie aan medisch studenten kwam in Nederland, net zoals in de omringende landen, voor de Tweede Wereldoorlog vroeg, maar aarzelend op gang en bleef vrijblijvend: van een systematisch verplicht onderricht was geen sprake.

Aan de radiologische specialisatie werden in ons land vanaf 1933 eisen gesteld. De Nederlandse specialistenverenigingen voelden er in de eerste jaren na de Eerste Wereldoorlog niet voor om adspirantleden examens af te nemen, of om zelf diploma's uit te gaan reiken. De gedachte was, dat de

ongespecialiseerde artsen, die als specialist optraden, als vanzelf aan de concurrentie van meer deskundige collegae het hoofd niet zouden kunnen bieden en derhalve nooit een praktijk van enige omvang zouden krijgen. (62)

Toen de minister van koloniën en het legerbestuur in 1923 aan de Geneeskundige Faculteit van de Rijksuniversiteit Groningen hadden gevraagd, om aan bepaalde militaire artsen, die een 'specialistische opleiding' hadden genoten, diploma's uit te reiken, antwoordde de Faculteit:

'.....dat officiële specialisten bij ons niet bestaan, dat de Faculteit zich ook niet van de bevoegdheid om zich zoo te noemen kon overtuigen, dat zij dus als zodanig dergelijke verklaringen niet zou kunnen geven en ook haar afzonderlijke leden niet zou kunnen opleggen om een getuigschrift met officiële erkenning van een specialiteitschap uit te reiken, daar elke bevoegdheid bij ons berust op die van arts en het een zelf-gekozen beperking is als een arts zich slechts voor een deel der praktijk beschikbaar stelt.' (63)

In de loop van de jaren twintig groeide echter het besef, dat het tolereren van 'ongespecialiseerde specialisten' het belang der volksgezondheid en het vertrouwen in de medisch-specialistische stand niet ten goede kwam, aangezien het publiek van deze lieden de dupe zou worden. Reeds in 1926 namen daarom verschillende specialistenverenigingen al niet meer zo gemakkelijk als voordien iedere specialist aan, die zich maar als lid aanmeldde. De toelating werd afhankelijk gesteld van het antwoord op de vraag, wat de betreffende arts het recht gaf de titel specialist te voeren. Aangezien de specialistenverenigingen contracten met ziekenfondsen afsloten voor het verlenen van specialistische hulp aan ziekenfondsleden en daarin vaak de bepaling voor kwam, dat de ziekenfondsen niet met andere specialisten overeenkomsten mochten aangaan, werd men als niet-lid van de ziekenfondspraktijk uitgesloten. (64)

De Nederlandsche Maatschappij tot bevordering der Geneeskunst (NMG) formuleerde tenslotte een algemene regeling voor het specialistenvraagstuk, die gestoeld was op de situatie in Duitsland, waar in 1931 reeds assistentschappen van drie tot zes jaar verplicht waren. In 1931 vroeg de NMG aan vijftien wetenschappelijke specialistenverenigingen, waaronder de Nederlandsche Vereeniging voor Electrologie en Radiologie, een vertegenwoordiger te willen afvaardigen naar de nieuw te constitueren Specialisten Registratie Commissie. Op 16 februari 1932 werd de SRC geïnstalleerd. Jonge artsen, die zich wilden laten registreren, moesten bewijzen van hun opleiding kunnen overleggen aan de SRC. Een minimale opleiding (in de vorm van een klinisch assistentschap) van drie jaar was vereist. Op 1 januari 1933 werd het eerste register van erkende specialisten in Nederland gepresenteerd; 42 artsen hadden zich, al of niet in combinatie met een ander vak, als radioloog ingeschreven. (65)

IV.5 De radiologie en de 'division of labor'.

Uit het voorgaande blijkt, dat het cognitieve aspect in de radiologie na de Eerste Wereldoorlog sterk werd ontwikkeld, waardoor de radiologie zich tot een volwaardig medisch specialisme kon ontwikkelen.

Naast het cognitieve element en het innemen van een plaats tussen de bestaande specialismen, noemen Gritzer en Arluke in hun algemene model echter nog een belangrijk aspect, dat in de opkomst van een specialisme een rol kan spelen:

'The expansion of a subordinate division of labor may begin with a sudden heightened demand for medical services during wartime. Physicians, unable to meet this demand completely, may provide active assistance in forming and promoting allied occupations. Tasks that are unpleasant, or lack esteem, such as the application of treatments, may be delegated to allied groups by physicians. Indeed, the ascendancy of a specialty may depend on its success in delegating some aspects of work while controlling other responsibilities, such as diagnosis. Only then might those aspiring to specialty status appear as normal clinicians.' (66)

Gold dit ook voor de radiologie? De radiologie was bij uitstek een vak waarvan een bepaald onderdeel, namelijk de technische bediening van de röntgenapparatuur, uitbesteed kon worden aan hulpkrachten. Voor de oorlog was het gewoonte, dat de radioloog zijn eigen hulppersoneel naar eigen inzicht opleidde. De artsen, die de radiologie *im Nebenamt* uitoefenden, waren vaak geheel afhankelijk van een bewaame laborant, die zelfstandig de apparatuur kon bedienen. Er ontstond om deze reden steeds meer behoefte aan geschoolde laboranten en in 1914 verscheen voor het eerst een speciaal leerboek voor röntgenlaboranten, dat door een fysicus en twee radiologen was geschreven. (67)

De Eerste Wereldoorlog had grote gevolgen voor het 'Hilfspersonal'. Madame Curie werd aan het begin van de oorlog, toen zij actief was in het organiseren van radiologische hulpposten en radiologische auto's, met het tekort aan geoefende helpers geconfronteerd. Ze stelde daarop de Franse regering voor om een cursus radiologie voor laboranten in het leven te roepen. De beroemde natuurkundige kreeg hiervoor uiteraard toestemming en verzamelde in 1916 een twintigtal verpleegsters in het Institut du Radium voor de eerste lessen. De leerstof omvatte theoretisch onderwijs over electriciteit en röntgenstralen, praktische oefeningen en anatomie. In de periode 1916-1918 leidde Madame Curie op deze wijze 150 technische helpsters (*manipulatrices*) op. (68) Bovendien werden door de Service de Sante van het Franse Ministerie van Oorlog vanaf 1915 mannen opgeleid tot technisch helper (*manipulateurs*). In maart 1917 werd in Parijs de eerste school voor militaire röntgenlaboranten opgericht, l'Hôpital-École Edith Cavell, terwijl enige tijd later l'École d'Infirmières Heine-Fould haar deuren

opende. Er werden deze technische assistenten overigens geen diagnostische vaardigheden bijgebracht. (69)

Ook in het Amerikaanse leger werden de röntgenologen van technische helpers voorzien. Op de Army Medical School te Washington werden voor dit doel militairen opgeleid voor de technische verzorging van de röntgenapparatuur, de ontwikkeling van röntgenplaten en andere routine werkzaamheden. (70)

Na de oorlog kregen de radiologen steeds meer invloed op het hulp-personeel. Niet alleen werden er door radiologen leerboeken geschreven voor röntgenlaboranten, er werden ook dienstreglementen opgesteld, die regels bevatten, waaraan de laboranten zich dienden te houden. Dit betrof niet alleen technische aanwijzingen; er werd ook duidelijk gemaakt, dat de arts de leiding had. In de 'Dienststanweisung', die de Berlijnse röntgenoloog Gustav Bucky in 1925 opstelde, zijn de volgende regels te lezen:

'Gespräche mit dem Patienten über seine Krankheit, deren Heilungsverlauf usw. sind strengstens verboten. Die Patienten sind mit solchen Fragen an den Arzt zu verweisen.'

'Auch bei den kleinsten Unfällen ist der Arzt sofort heranzuholen. Der Apparat darf dann nicht früher wieder in Gang gesetzt werden, ehe der Arzt die Anweisung dazu gibt.'

'Jede Anweisung des Arztes ist bis auf die geringste Kleinigkeit zu befolgen.' (71)

Op deze manier werden de grenzen van de bevoegdheid van helper en arts nauwkeurig omschreven. In het arbeidscontract, dat de hulpkracht kreeg aangeboden, werd vermeld, dat deze van de 'Dienststanweisung' kennis had genomen en haar 'anerkante'. (72)

Al met al kan dan ook worden gesteld, dat de radiologie zich in de loop van de jaren twintig en dertig tot een volwaardig medisch specialisme heeft ontwikkeld; rond 1935 werden in diverse landen opleidingseisen gesteld, waaraan iedere arts, die zich als erkend radioloog wilde vestigen, behoorde te voldoen.

IV.6 Niet-medici die zelfstandig radiologisch werk verrichtten.

Een verschijnsel, dat in de eerste decennia na 1895 een rol speelde, was het feit, dat niet-geneeskundigen zich zonder tussenkomst van een arts bezig gingen houden met het medisch toepassen van röntgenstralen. Ten tijde van de ontdekking van de röntgenstralen bloeide de lekengeneeskunde in Europa en de Verenigde Staten als nooit tevoren. In Duitsland was door een wetswijziging in 1869 de 'Kurierfreiheit' ingevoerd en in Groot-Brittannië en de Verenigde Staten was de wetgeving niet stringent genoeg om het optreden van lekendokters te verhinderen. In Frankrijk, waar op dit terrein betere wetgeving bestond, werd de naleving ervan onvoldoende

gecontroleerd. Het gevolg van dit alles was, dat rond 1900 kruidendokters, 'bonesetters', magnetiseurs, kankergenezers etc. zonder veel problemen hun gang konden gaan. (73)

De aard van de lekendokters was in de loop van de tweede helft van de negentiende eeuw veranderd. De rondreizende 'kwakzalver', die van kermis naar kermis trok, had plaats gemaakt voor lekendokters, die zelf beter opgeleid waren, die op de hoogte waren van de wetenschappelijke ontwikkelingen van hun tijd en die hun kuren een semi-wetenschappelijke grondslag gaven. Dit laatste was het gevolg van het feit, dat ook het publiek beter opgeleid was geworden en via de pers op de hoogte werd gebracht van wetenschappelijke ontwikkelingen. In 1911 werd in het *British Medical Journal* gesteld:

'The present day quack is either an electrician or a pharmacist.' (74)

Deze leken geneeskundigen maakten op grote schaal gebruik van advertenties in kranten en tijdschriften. Bovendien traden steeds vaker goed georganiseerde firma's op, die op grote schaal adverteerden met kuurmiddelen en die geheel in handen waren van niet-artsen. (75)

In dit licht was het niet vreemd, dat ook de medische toepassing van röntgenstralen niet aan medici voorbehouden bleef. De ontdekking van röntgenstralen en radiumstralen was bovendien het werk geweest van fysici en niet van artsen. Aangezien straling een geheel nieuw verschijnsel was, dat plotseling tevoorschijn was gekomen, was iedereen -ook de arts- die de stralen medisch ging toepassen te beschouwen als 'leek'. In het begin waren het met name fysici en technici, die met x-stralen experimenteerden.

In medische kringen werd echter al spoedig geprotesteerd tegen deze nieuwe lekendokters.

In Frankrijk was Antoine Béclère de belangrijkste voorvechter van de 'geneeskundige radiologie'. In 1898 werd in het Parijse Hôpital Salpêtrière een Laboratoire de Radiographie ingericht en de gemeenteraad van Parijs benoemde de fotograaf Mr. Londe tot hoofd van dit laboratorium. In datzelfde jaar maakte de gemeenteraad, door middel van financiële ondersteuning, de opening mogelijk van een Laboratoire de Radiographie in het Parijse Hôpital Necker, dat zou worden geleid door een zekere Mr. Contremoulins. Dit beleid wakte grote ergernis bij Béclère, die ervan was overtuigd, dat het radiologisch onderzoek door artsen diende te worden verricht; hij kwam onmiddellijk tegen de benoeming van de niet-medische radiologen in het geweer en dit was het begin van een lang gevecht tegen de uitoefening van röntgenologie door niet-geneeskundigen.

Béclère kreeg spoedig bijval van andere artsen. In 1900 wees ook de Franse geneesheer Testaz op de noodzaak, dat röntgenonderzoeken alleen door medisch deskundigen zouden mogen worden uitgevoerd. (76) Mede op aandrang van Béclère stelde de raad van toezicht van l'Assistance Publique, een welzijnsorganisatie, die diverse ziekenhuizen beheerde, in december 1901 een commissie in, die de oprichting van centrale

röntgenafdelingen in twintig Parijse ziekenhuizen moest organiseren. Onder zijn invloed nam de Société Médicale de Paris in 1902 een motie aan, waarin dit project steun werd toegezegd. Vier jaar later verscheen een rapport van de Académie de Médecine, waarin werd verklaard, dat het uitvoeren van röntgenonderzoeken door niet-medici als illegale uitoefening der geneeskunde moest worden beschouwd. Langzaam maar zeker wonnen Bécclère en zijn medestanders terrein. In april 1908 stelde de raad van toezicht van l'Assistance Publique elf nieuwe Chefs de Laboratoire de Radiologie aan, die allen arts waren. Doordat het aantal geneesheer-radiologen in Parijs steeds groter werd, waardoor hun onderlinge communicatie, die tot die tijd via een 'circuit des amis' had plaatsgevonden of via niet-radiologische gremia, zoals de Société Médicale des Hôpitaux de Paris, beter moest worden gecoördineerd, achtten de Parijse artsen de tijd rijp voor de oprichting van een vereniging van medisch-radiologen, waarvan uiteraard alleen geneesheren lid mochten worden. Op 10 december 1908 vond de oprichtingsvergadering van de Société de Radiologie Médicale de Paris plaats in het huis van Bécclère, die een week later zelf de eerste voorzitter van de nieuwe vereniging zou worden. Uiteraard werden de niet-medici door deze maatregelen nog verder geïsoleerd. Bécclère's niet aflatende strijd tegen de niet-artsen resulteerde er tenslotte in, dat de radiologische commissie van de Franse Académie des Sciences op 7 juni 1909 tot het officiële standpunt kwam, dat röntgentherapie alleen door artsen uitgevoerd mocht worden en dat voor de benoeming tot hoofd van een röntgenafdeling waar vooral radioscopie werd toegepast, alleen een doctor medicinae in aanmerking kwam. (77)

Waren het eerst individuele röntgenartsen, die tegen het optreden van hun niet-medische collegae ageerden, nadat radiologische verenigingen waren opgericht (waarvan in het algemeen alleen artsen lid konden worden), namen die deze rol over. In 1909 wist de Nederlandsche Vereeniging voor Electrologie en Radiologie te bereiken, dat in een in Haarlem opgericht instituut voor röntgenologie, dat geheel in handen was van leken, het röntgenonderzoek van patienten aan artsen voorbehouden bleef. (78) In 1910 tekende dezelfde vereniging protest aan bij de Rijksverzekeringsbank, omdat een onderwijzer in opdracht van een controlerend geneesheer röntgenfoto's had gemaakt. (79) De Nederlandsche Vereeniging voor Electrologie en Röntgenologie stelde in 1910 overtuigd te zijn van het gevaar en de ondoeltreffendheid van de geneeskundige toepassing der röntgenstralen door niet-geneeskundigen. Deze vereniging, waarvan alleen artsen lid konden worden, riep in 1910 de regering op bepalingen in het leven te roepen, die aan deze misstand een einde moesten maken. (80) Ook op röntgencongressen kwam de lekenproblematiek ter sprake. Op het Vijfde Duitse Röntgencongres werd in 1909 een aantal stellingen aan de deelnemers ter overweging meegegeven. Een van deze stellingen luidde: alleen de arts mag röntgenstralen in de praktijk toepassen. (81) Op het Zesde Duitse Röntgencongres in 1910 werden deze stellingen zonder meer door alle aanwezigen aangenomen. Bovendien werd er op dit congres de nadruk op gelegd, dat ook artsen niet tot röntgenbehandeling mochten

overgaan zonder de techniek der röntgenbestraling volkomen te beheersen. (82)

Alleen al het feit, dat de medische radiologen hun eigen specialistenverenigingen oprichtten, waaraan de leden prestige konden ontlenen, maakte het voor niet-medici moeilijker als radioloog op te treden. De Amerikaanse röntgenoloog Percy Brown constateerde in december 1908 op een bijeenkomst van de American Roentgen Ray Society, dat de positie van de medisch röntgenoloog, ten opzichte van zijn medische en niet-medische 'concurrenten', een stuk rooskleuriger was geworden:

'The electrician, after dallying in the dark room with the chemicals, produced photographic results of no higher quality than might be expected from an electrician; the photographer, after producing a generous display of pyrotechnics in the immediate vicinity of the patient, finally met with a practical electric problem quite beyond his depth; while the surgeon, albeit well versed in all heretofore employed methods of diagnosis, skillfully cut for renal stone in an endeavor to find what was, in reality, the elusive suspender button.....'. 'When therefore, there appeared at this juncture the one so long needed, an individual who foresaw the importance of roentgenology as a medical specialty, and was prepared to declare himself a devotee thereof, his arrival was as opportune as Sheridan's at Winchester.....' (83)

Dit nam trouwens niet weg, dat in 1910 driekwart van de leden van de American Roentgen Ray Society de röntgenologie als bijvak uitoefende; van deze groep was meer dan de helft als huisarts werkzaam. (84)

De Duitse arts en jurist Kirchberg stelde in 1914, dat het de hoogste tijd was, dat wettelijke bepalingen er voor gingen zorgen, dat de toepassing van röntgen- en radiumstralen in ieder geval voor therapeutische doelen uitsluitend aan artsen werd toegestaan:

'So wie die Verhältnisse jetzt liegen, kann ja bei uns mit unserer famosen Kurierfreiheit auch jeder Kurpfuscher, wenn er nur genug Geld hat, mit dieser Materie arbeiten, die doch in der Gefährlichkeit ihrer Wirkung sicher jedem Medikament, dessen Abgabe nur auf ärztliches Rezept hin erlaubt ist, gleichsteht.' (85)

In de Verenigde Staten was in veel medische en chirurgische instituten de röntgenologie voor een deel gebaseerd op het werk van niet-medici. De enige kwalificatie van deze personen voor dit werk was een min of meer speciale training in fotografie en electriciteit. In dit land waren bovendien op grote schaal 'commercial roentgenray laboratory's' opgericht, die in handen waren van niet-artsen.

De Amerikaanse radioloog Case trok hiertegen in 1918 fel van leer:

'The trained medical roentgenologist needs the protection of wise legislation no less than does the physician or surgeon. The protection of such men is the protection of the sick public from both ignorance and deception and from unnecessary or harmful operations, or other treatment, which rest upon mistaken diagnoses.' (86)

Ook in Engeland gingen artsen steeds meer tegen de radiologische 'lekepraktijken' protesteren. (87) De arts Kempster wees er in 1917 op, dat niet alleen op het Engelse platteland, maar ook in grote ziekenhuizen in Londen veel niet-geneeskundigen radiologisch werk verrichtten. Bovendien hadden deze personen vaak ook nog een privé-praktijk! In een groot opleidingsziekenhuis in Londen werd in 1917 een niet-medicus benoemd tot hoofd van de röntgenologische en radiotherapeutische afdeling. (88) De medische staf van deze ziekenhuizen begreep volgens Kempster niet, dat de beoefening der radiologie alleen aan artsen toebehoorde. De Britse militair-radioloog Hall-Edwards stelde in 1917, dat een aantal Britse geneeskundigen in dit verband een onverantwoordelijke en gedachtenloze houding had ontwikkeld, waaraan zo snel mogelijk een einde diende te komen. (89)

Hierbij is de kanttekening op haar plaats, dat in 1917, door het tekort aan deskundig radiologisch personeel in de strijdkrachten, veel Britse radiologen voor de militaire dienst waren opgeroepen. Dit maakte het voor de civiele ziekenhuizen moeilijker medische radiologen aan te stellen, zodat zij voor een deel ook wel gedwongen waren niet-medici te werven. (90)

In de eerste jaren na de oorlog werd de positie van de niet-medici steeds zwakker, maar zij verdwenen niet zonder meer. Nog in 1922 meldde de Duitse arts Schmitt het volgende geval:

een drieëndertigjarige loodgieter werd door een arts, wegens wratten op zijn linker handrug, naar een postbeambte verwezen, die in het bezit was van een röntgenapparaat. In de loop van een jaar bestraalde deze de hand dertig tot veertig maal en wel in series van vijf bestralingen van elk tien tot vijftien minuten op vijf opeenvolgende dagen. Na de tweede serie begon de huid een reactie te vertonen, die door middel van zalfjes werd onderdrukt. Daarna hervatte de postbeambte de bestralingen. Spoedig na de laatste serie ontstond een ernstige röntgenzweer in het bestraalde gebied en dat betekende voor deze patient het begin van een lange lijdensweg. (91)

Het optreden van niet-geneeskundigen, die radiologie bedreven, hing met een aantal factoren samen.

In het begin van deze eeuw stelden sommige fabrieken van röntgenapparatuur inleidende röntgenologische cursussen in, die zes weken duurden en bestemd waren voor personen -niet alleen artsen-, die in het omgaan met de apparatuur vertrouwd gemaakt wilden worden. Daardoor kregen ook niet-medici de kans om onderricht in röntgentechniek te ontvangen. De röntgenologie werd bovendien, zoals in de vorige paragraaf ter sprake kwam, lange tijd binnen de medische wereld als een vorm van fotografie beschouwd; geneesheren, die zich hier te veel mee bezig hielden, werden

door collega's als minderwaardige artsen beschouwd. (92) In december 1908 verwoordde de Amerikaanse röntgenoloog Percy Brown op een bijeenkomst van de American Roentgen Ray Society de opvatting van de medische stand in de eerste jaren van de röntgenologie over dit vak als volgt:

'The throat mirror needed the practiced eye, the stethoscope an acute ear, and the scalpel trained fingers, but (in the early days) this new affair, these X-rays, their very name an expression of inexactitude, could be managed by any hospital photographer, ward orderly or nurse. The one thing needful..... was a hand to start the machine and then- to stop it. A proces purely mechanical; no brains necessary. I heard it said, about ten years ago, that any high-school boy, given a smattering knowledge of human anatomy, should be able to 'take X-ray pictures'.....' (93)

Brown gaf ook de reden van deze situatie:

'The practice of using Roentgen rays for purposes of medicine was not placed on a stable basis. It was a piebald proceeding, a sort of Joseph's coat of many colors, which fitted no one. The attendant wires and sparks suggested an electrician's work, surely: ...but there were the plates, dark room and chemicals, considered usual accessories of the photographer. Neither of these artisans, on the other hand, could be expected to intrude themselves so far into the realms of medicine as to offer a diagnostic verdict....' (94)

In deze eerste jaren was het vaak zo, aldus de Duitse radioloog Loose,

'dass jeder, der sich einen Röntgenapparat anschafft, damit auch sofort als Meister vom Himmel fällt.' (95)

Het röntgenologisch werk vereiste, met name in de eerste twee decennia van deze eeuw, niet alleen medische kennis, maar ook fysisch-technische kennis; dit laatste lag buiten de competentie van veel artsen, maar niet van fysisch-technisch ingestelde niet-medici. De radiologie lag daardoor ver buiten het terrein van de reguliere geneeskunde.

Zoals in het voorgaande reeds werd gesteld, waren voor de Eerste Wereldoorlog vrijwel nergens georganiseerde radiologische opleidingen voor artsen beschikbaar; bovendien bood in de meeste landen de wetgeving geen bescherming tegen het optreden van niet-medische radiologen.

Een gevolg van al deze factoren was, dat met name in de eerste twee decennia van de radiologie, de uitoefening ervan voor een groot deel werd overgelaten aan mecaniciens, fotografen en verpleegsters.

Het aantal niet-artsen, dat zelfstandig radiologisch werk verrichtte nam na de Eerste Wereldoorlog snel af. De niet-medici hadden zich voornamelijk

bezig gehouden met het maken van röntgenfoto's, in mindere mate met röntgentherapie en zelden met radiumtherapie, doordat voor het uitvoeren van radiumtherapie een hoeveelheid radium nodig was, die alleen voor zeer veel geld te verkrijgen was. Alleen de toepassing van radium- en radon-*kuren* was tot in de jaren dertig deels in handen van niet-medici (zie hoofdstuk IX). De Duitse stralenschade-deskundige Strauss noemde in 1925 gevallen van stralenbeschadigingen bij patiënten, veroorzaakt door niet-medici, '*Kuriosa*', hoewel ze volgens hem in het geheel niet meer mochten voorkomen. In zijn beschouwing van de vigerende oorzaken van stralenschade bij patiënten speelden de niet-geneeskundigen geen rol van betekenis. (96)

De oorzaak van de eliminatie van het optreden van niet-medische radiologen lag ook weer in de verandering in status, die de radiologie in de Eerste Wereldoorlog had doorgemaakt. Bovendien hadden de medisch radiologen in de oorlog de niet-geneeskundigen (zoals de technische helpers van Madame Curie) definitief en met instemming van de militair-medische autoriteiten onder hun supervisie geplaatst; van zelfstandig optredende niet-medische 'radiologen' kon daardoor geen sprake meer zijn. Hall-Edwards formuleerde dit (met betrekking tot de militaire röntgen-assistenten) in 1918 als volgt:

'The interests of both the public and the profession must be safeguarded, and these assistants must be told that there is no more chance of their being able to make a living out of x-rays after the war (except as assistants) than there is of a navy in the Royal Engineers being able to make a living as a consulting engineer.' (97)

IV.7 Niet-medici en niet specialistisch opgeleide medisch radiologen als oorzakelijke factor bij het ontstaan van stralenschade bij patiënten.

Tot in de jaren twintig hebben niet-medici zich bezig gehouden met röntgendiagnostiek, röntgentherapie en soms radiumtherapie. Hoewel zij stralenbeschadigingen bij patiënten veroorzaakt hebben, is hun optreden - althans zo blijkt uit de literatuur- in de Europese landen geen hóófdoorzaak van stralengevallen bij patiënten geweest. Hierbij moet wel aangetekend worden, dat niet-medici, die stralenschade veroorzaakten, daar niet over publiceerden, enerzijds doordat zij geen toegang hadden tot de officiële medische tijdschriften, anderzijds omdat ruchtbaarheid geven aan eigen falen in hun nadeel kon werken.

Vanaf het begin van de medische toepassing van röntgenstralen, was het optreden van de ondeskundige 'arts-röntgenoloog' een belangrijke oorzaak van stralenschade bij patiënten. Toen de meeste oorzaken van stralenschade bij patiënten rond 1925 konden worden geëlimineerd (zie de hoofdstukken V tot en met IX) werd, met name in de röntgendiagnostiek, maar ook in de röntgentherapie, steeds duidelijker, dat de arts, die zonder

speciale opleiding radiologisch werk verrichtte, de zwakke schakel was in de preventie van stralenbeschadigingen. (98)

Uit het in de inleiding besproken onderzoek van Groedel, Liniger en Lossen bleek, dat onder 183 onderzochte gevallen van stralenschade, er maar liefst 111 waren veroorzaakt door onachtzaamheid of onwetendheid van arts en hulppersoneel. (99)

De Groningse lector in de radiologie S. Keijser noemde in 1925 het grootste gevaar, dat de 'radiologische patient' bedreigde, het gevaar van de röntgenoloog zelf of ten minste van degene, die zich röntgenoloog noemde. Hij meende, dat de toestand zoals die op dat moment in Nederland was, waar iedereen zich zonder enige voorbereiding als röntgenoloog kon gaan vestigen, een zeer groot gevaar inhield, zowel bij therapeutische behandelingen als bij diagnostisch onderzoek. Er was hem reeds verschillende malen door een medicus gevraagd om gedurende enige maanden een middag in de week in het röntgenologisch instituut te Groningen te mogen komen kijken, met als bedoeling, dat deze arts zich daarna op wilde werpen als specialist-röntgenoloog! (100)

In 1926 stelden diverse radiologen van naam, dat röntgenonderzoeken niet meer tot beschadigingen mochten leiden; gebeurde dit wel, dan was dit vrijwel altijd door directe schuld van de uitvoerend arts. (101) Onder 'profyaxe van röntgenbeschadigingen' werd door hen verstaan, dat alleen goed hiervoor opgeleide artsen zich met de toepassing van röntgenstralen - in zowel diagnostiek als therapie- mochten bezig houden. (102)

Het derde maximum in het optreden van stralenschade bij patienten is in de röntgendiagnostiek dan ook grotendeels te wijten aan de omstandigheid, dat de 'oorlogsröntgenologen' zich als algemeen röntgenoloog in de civiele maatschappij vestigden en dat steeds meer artsen röntgenapparaten aanschafte, die met de röntgenologie in het geheel niet vertrouwd waren. (103)

Deze factor speelde ook mee in het veroorzaken van het maximum in radiumbeschadigingen (rond 1920) en het maximum in beschadigingen door röntgentherapie (rond 1923), maar hierbij zijn enkele andere oorzaken eveneens van groot belang geweest (zie de hoofdstukken VIII en IX).

De Duitse radioloog Reich schatte op grond van zijn eigen ervaringen, dat meer dan 50% van de röntgenbeschadigingen in therapie en diagnostiek had kunnen worden voorkomen, als artsen en personeel voor dit werk goed opgeleid waren geweest. (104) Uiteraard had de instelling van radiologische opleidingen niet meteen een volledig profylactisch effect. Nog in 1930 werd melding gemaakt van een zesendertigjarige tuberculosepatient, die met röntgenstralen was behandeld en door een fout van de behandelend arts ernstige röntgenulcera van het colon transversum had opgelopen en daaraan was overleden. (105)

Toch was het aantal optredende röntgenbeschadigingen in 1930 al sterk afgenomen. Doordat op congressen en in de literatuur er voortdurend op werd gewezen, dat het beste middel ter vermijding van stralenschade in zowel diagnostiek als therapie de verzorging van goed onderricht in radiologie was (106), werd steeds meer aandacht besteed aan scholing en opleiding. De toename van het aantal specialistisch geschoolde radiologen,

die begon in de periode 1920-1930, kwam daardoor in de jaren dertig goed op gang. Rond 1935 was het in medische kringen onacceptabel geworden, dat niet-gespecialiseerde artsen zich als radioloog vestigden; dit had tot gevolg, dat deze laatsten als systematische oorzaak van stralenschade bij patiënten in de loop van de jaren dertig verdwenen.

IV.8 De röntgenologie en de industrie. (107)

De productie van röntgenbuizen was rond de eeuwwisseling voor een deel het werk van individuen, die vaak hun eigen werkplaats hadden. In de jaren voor de Eerste Wereldoorlog ontstonden echter steeds meer firma's, die zich geheel toelegden op de commerciële fabricage van röntgenbuizen en aanverwante apparatuur.

In 1907 richtte Friedrich Dessauer voor dit doel de Vereinigte Elektrotechnische Institute Frankfurt-Aschaffenburg (VEIFA Werke) op. (108) De plotselinge grote vraag naar röntgenbuizen bracht ook vele bestaande firma's er toe, deze in productie te nemen. De General Electric Company, Harrison, New Jersey (Verenigde Staten), kondigde reeds in augustus 1896 aan röntgenapparaten te produceren. (109) In de grotere steden in de Verenigde Staten werden diverse bedrijven opgericht, die zich specialiseerden in het repareren van röntgenbuizen. (110) In Duitsland gingen enkele grote bestaande fabrieken, zoals Reiniger, Gebbert & Schall te Erlangen en Siemens & Halske te Berlijn, zich eveneens op deze sector van de geneeskunde richten. Ook in Groot-Brittannië en Frankrijk ontstond een 'röntgenindustrie'. (111)

De röntgenfabrikanten onderhielden nauwe contacten met de röntgenologen. Zo reikte in 1901 de (British) Roentgen Society haar Gold Medal uit aan de röntgenfabriek C. H. F. Müller te Hamburg. (112) De Zweedse producent van röntgenapparatuur Bror Järnh gaf in 1907 de stoot tot de oprichting van de Svenska Radiologisk Föreningen door enkele prominente Zweedse röntgenologen een lunch aan te bieden, waar de oprichting van deze vereniging kon worden besproken. (113) Veel fabrikanten stelden bovendien röntgencursussen in voor artsen en niet-medici om deze in enkele dagen te leren, hoe de röntgenapparatuur moest worden bediend. Aangezien de Nederlandse artsen tijdens de Eerste Wereldoorlog moeilijkheden ondervonden om de in de oorlogvoerende landen geproduceerde röntgenbuizen te importeren, wendde professor Wertheim Salomonson al zijn invloed aan om fabricage van röntgenbuizen en aanverwante apparatuur in Nederland te doen plaats hebben. (114) Door voortdurend aandrang uit te oefenen op de heer Philips wist hij te bereiken, dat de firma Philips in mei 1918 met de productie van röntgenbuizen begon. (115) Overigens was het al voor de Eerste Wereldoorlog gebruikelijk geworden, dat röntgenapparatuur door de firma's, die ze produceerden of verkochten, werd tentoongesteld en gedemonstreerd op bijeenkomsten van röntgenologen. (116)

De röntgenindustrie heeft door continue productie van steeds betere apparatuur, die op steeds grotere schaal ter beschikking kwam, de 'opmars

van de röntgenologie' in materiële zin mogelijk gemaakt en zo bijgedragen aan de ontwikkeling van de radiologie tot een volwaardig medisch specialisme.

De goede samenwerking tussen industrie en röntgenologen past goed binnen het eerder genoemde 'market model' voor de ontwikkeling van een medisch specialisme. De röntgenindustrie had niet alleen belang bij goede contacten met de röntgenologen, die hun afzetmarkt vormden, maar ook bij de ontwikkeling van de röntgenologie tot een erkend en geaccepteerd medisch specialisme, dat een vaste plaats binnen de geneeskunde in zou nemen, zodat de nieuwe afzetmarkt voorgoed werd gegarandeerd.

Voor de röntgenologen anderzijds was de inzet van industriële capaciteit voor de ontwikkeling van betere en veiliger röntgenapparatuur van essentieel belang, omdat voor de 'opmars van de röntgenologie' een steeds grotere aanvoer van apparatuur nodig zou zijn (117) en omdat door kwalitatief steeds betere resultaten te boeken (bijvoorbeeld scherpere foto's bij kortere belichting), erkenning van de waarde van hun verrichtingen en daardoor erkenning van de door hen gewenste specialistische status binnen de geneeskunde zou worden bespoedigd.

De producenten van röntgenapparatuur speelden overigens al vrij snel in op het optreden van röntgenverbrandingen, door te wijzen op de veiligheid van hun buizen. In advertenties voor röntgenbuizen werd rond de eeuwwisseling soms zelfs gesteld: 'safe to handle'! (118) Dit soort advertenties bleef echter voor de firma, die ze had laten plaatsen, niet altijd zonder gevolgen.

In maart 1899 veroorzaakte een Amerikaanse arts bij zichzelf een ernstige röntgenverbranding toen hij zijn heup 45 minuten lang belichtte voor het maken van een röntgenfoto. Aangezien de firma, die de gebruikte gasbuis had geproduceerd, had beweerd, dat deze röntgenbuis geen verbrandingen kon veroorzaken, eiste de getroffen arts schadevergoeding. Een gerechtelijke uitspraak, die daarop volgde, verplichtte de betrokken firma tot het uitbetalen van maar liefst \$675- smartegeld. (119)

De fabrikanten realiseerden zich, dat de vele meldingen van stralenschadegevallen hun afzet negatief konden beïnvloeden. In februari 1909 stuurde de Londense röntgenfabrikant H.W. Cox een circulaire rond, waarin werd betoogd:

'....that the exaggerated reports which have appeared consequent upon the sufferings of some of the earliest workers with Röntgen rays have affected not only the English manufacturer and the medical man who were sufficiently enterprising to take up the new treatment, but also to a considerable extent deprived the public of the benefit of the discovery which has been of such incalculable value in the relief of suffering and the advancement of medical knowledge. It should now be well known, however, that apparatus have been devised which entirely obviates any danger either to the patient or to the operator, while experiments have determined the maximum exposure which may be given with safety to the

human skin. The rays are now used with perfect safety in thousands of hospitals throughout the world in the treatment of various diseases.' (120)

Cox stelt in dit rondschrijven zonder meer de veiligheid van de toenmalige röntgenbuizen overdreven voor. In zekere zin heeft de röntgenindustrie, door met reclameteksten de voorzichtigheid van medici, die met röntgenapparatuur werkten, negatief te beïnvloeden, bijgedragen aan het veroorzaken van röntgenstralenschade bij patienten. Daar staat echter tegenover, dat de röntgenindustrie voortdurend heeft gewerkt aan de verbetering van röntgenapparatuur en aanverwante hulpmiddelen, die de veiligheid van bedienend personeel en patienten steeds groter heeft gemaakt (zie ook hoofdstuk V).

IV.9 De publieke opinie en de medische toepassing van röntgen- en radiumstraling.

De toepassing in de geneeskunde van de pas ontdekte x-stralen werd al in de loop van 1896 in de pers breed uitgemeten. (121)

Zo bracht de *Nieuwe Groninger Courant* op 14 februari 1896 in de rubriek 'buitenland' het volgende verhaal:

Te Berlijn heeft weer een geneeskundige operatie plaats gehad na een waarneming met behulp van X-stralen. Het geval is zeer karakteristiek voor de Berlijnse bevolking. Eene melk-vrouw, die ondraaglijke pijnen in de arm had, wendde zich tot een arts. Bij het onderzoek van haar hand vond men daarop een zwarte punt welke ontstaan de vrouw hierdoor verklaarde, dat zij zich twee maanden geleden op die plaats met een naald diep in het vlees had geprikt, die bij het uittrekken misschien afgebroken was. Toen de arts beweerde, dat dit moeilijk te constateren was, antwoordde de melk vrouw: "Zo en waarvoor hebben we dan de X-stralen?"

Hieraan had de dokter ook reeds gedacht en hij ging met de melkboerin naar dr. Spiess, wien het na drie kwartier lukte eene photographie van de hand te nemen, waarin het stukje naald zo duidelijk te zien was, dat zelfs het dikkere en het spitse gedeelte duidelijk te onderscheiden waren. De operatie kon daarop zeer gemakkelijk geschieden. De melkboerin bedankte de heren, maar voegde er aan toe: "Geeft u mij als 't u belieft ook een photographie, dan kan ik ze in mijn winkel ophangen. Daar krijg ik zeker nieuwe klanten mee". En ze had gelijk, want geen enkele keukenmeid in de buurt verzuimt de photographie van de hand te gaan zien. (122)

Niet alle mededelingen hadden echter een komische ondertoon. De *Provinciale Groninger Courant* meldde op 29 december 1896 het volgende:

Met behulp van Röntgenstralen heeft de Brusselse heilkundige Dehaut onlangs in het Gasthuis te Brussel een kogel ontdekt, welke een meisje zich bij een poging tot zelfmoord in den hals had geschoten en die niet op andere wijze was te vinden. Toen men het meisje "radiographeerde", zoals de toepassing van de Röntgenstralen wordt genoemd, bleek de plaats van de kogel duidelijk en deze kon met gemak door een operatie verwijderd worden. (123)

De nieuwsbladen verhaalden eveneens gretig over de genezende werking van röntgenstralen, waarbij soms zelfs werd beweerd, dat de stralen selectief op het ziekteproces werkten, zonder gezond weefsel aan te tasten! (124) Ook in de populair wetenschappelijke bladen werd uitgebreid aandacht besteed aan zowel röntgendiagnostiek als röntgentherapie. (125) Nadat met de medische toepassing van radium een begin was gemaakt, concentreerde de aandacht van de pers zich ook op deze vorm van stralenterapie. Spoedig trok met name de stralenbehandeling van kanker, de gevreesde ziekte, waarop de medische wereld nog steeds geen bevredigend antwoord had, grote publieke aandacht. (126) Toen de Parijse radiumtherapeut Louis Wickham in 1909 de eerste resultaten publiceerde van de behandeling van tumoren met radiumstralen, schreef een redacteur van het blad *Nature* over de presentatie van deze gegevens:

'The appearances presented before and after treatment are such as will, almost surely, carry conviction to all laymen, whether healthy or suffering from cancer, that radium can cure the disease.' (127)

en:

'The results in Paris have attracted the attention of the world. The hopes they have aroused have awakened yet greater expectations for the future, when larger quantities of radium shall be available, and the technique better mastered.' (128)

Hij achtte dan ook de volgende waarschuwing op haar plaats:

'...radium does not appear to be nature's remedy for cancer, but an empirical remedy with the same shortcomings as all other such in the case of cancer....' (129)

In dagbladen werden soms ongenueanceerde berichten gepubliceerd over de nieuwe behandelingsmethoden van kanker met radium en radon. Voor een deel was dit het gevolg van het enthousiasme van de betreffende journalisten, voor een deel ook van de soms onzorgvuldige wijze, waarop onderzoekers hun resultaten aan de pers mededeelden. (130)

Bij het publiek vormde zich daardoor de overtuiging, dat radium kanker kan genezen. In april 1914 deed daarom de medische commissie van de British Science Guild een waarschuwing uitgaan, waarin het publiek erop werd gewezen, dat er nog geen definitief bewijs voorhanden was, dat kanker permanent kon worden genezen door radiumtherapie. (131)

Dit soort waarschuwingen had niettemin weinig effect. Bij velen ontstond zelfs de overtuiging, dat radium een geneesmiddel was voor vrijwel alle kwalen en dit zonder bijwerkingen te veroorzaken. Dit misplaatste vertrouwen in de heilzame werking van straling leidde er toe, dat duizenden mensen tussen 1915 en 1930 voor de meest uiteenlopende kwalen radium innamen, bijvoorbeeld in de vorm van radiumhoudend water. (132) De publieke opinie zou echter door een aantal gebeurtenissen geheel omslaan. In de Eerste Wereldoorlog was aan de frontlinies weinig aandacht besteed aan radioprotectie van werkers en gewonden en daardoor waren relatief veel röntgenbeschadigingen veroorzaakt. Na de oorlog besteedden de nieuwsbladen de nodige aandacht aan deze röntgenshade, hetgeen het begin betekende van een omwenteling in de publieke opinie ten aanzien van straling. (133)

De kentering in de publieke opinie (en ook in de mening van veel medici) werd versterkt, toen in de jaren twintig meer en meer gevallen van radiumvergiftiging bekend werden gemaakt.

Bovendien trad in de jaren 1920-1926 het derde maximum in het optreden van schade door röntgen- en radiumstraling op en kreeg de ontdekking van Muller van de genetische effecten van straling in 1927, zowel binnen als buiten de medische wereld, ruime aandacht. Deze ontwikkelingen hadden een zodanig effect, dat er aan het einde van de jaren twintig zelfs sprake was van een zekere mate van 'stralenangst'.

In dit verband kan ook het bericht worden gezien, dat in september 1930 verscheen in een Beiers dagblad en waaraan ook in de *Münchener medizinische Wochenschrift* aandacht is besteed. De kop van dit bericht luidde als volgt:

'Vorsicht! Röntgenuntersuchungen sind schädlich, katastrophale Zunahme der Röntgenschäden.'

In een reactie op dit nieuwsbericht schreef de Münchense hoogleraar Voltz, die hoofd was van het Strahleninstitut van de Universitäts-Frauenklinik, dat het merendeel van de op dat moment lopende stralenschadeprocessen nog betrekking had op de tijd, waarin stralenschade nog niet zeker te vermijden was; een deel van deze beschadigingen berustte volgens hem daarop, dat röntgenonderzoeken en röntgenbehandelingen waren uitgevoerd door personen, die met de techniek ervan niet vertrouwd waren. (134) In het vervolg zal duidelijk worden, dat de reactie van Voltz realistisch is geweest.

IV. 10 Juridische aspecten van stralenschade.

Het valt buiten het bestek van dit onderzoek om de wetsregels in de verschillende Europese landen en Amerikaanse staten te bespreken. Er kan nochtans wel in algemene termen en aan de hand van enige voorbeelden een beeld worden gegeven van de gevolgen voor radiologen, als zij bij patiënten stralenschade veroorzaakten en daarop door het slachtoffer voor het gerecht werden gedaagd, vrijwel altijd om schadevergoeding af te dwingen.

Een van de eerste gevallen van röntgenshade, die aanleiding heeft gegeven tot een gerechtelijk onderzoek, was 'the roentgen ray case at Hastings' in Groot-Brittannië:

In maart 1900 brak een achtenzestigjarige weduwe tijdens het leren fietsen haar linker heup. In het plaatselijke ziekenhuis werd echter vastgesteld, dat zij geen fractuur had opgelopen, waarna zij naar huis werd gestuurd. Aangezien haar klachten evenwel aanhielden, consulteerde zij een arts, die met haar toestemming door een locale fotograaf een röntgenfoto van beide heupen liet maken. Dit leidde tot een belichting van 35 minuten van de ene en 45 minuten van de andere heup. De 'local medical society' vond echter de resulterende foto's inconclusief en er werd om deze reden opnieuw één foto genomen waarop beide heupen tegelijk werden afgebeeld. Deze laatste belichting duurde 45 minuten. Een week later ontstond bij patiënte zweervorming links op de onderbuik, die in de loop van de twee volgende maanden een omvang aannam van drie bij zeven inch. Enkele maanden later overleed zij, hetgeen leidde tot een gerechtelijke procedure, die werd aangespannen door vrienden van de overledene. De gedaagden (fotograaf en huisarts) werden hierbij bijgestaan door de hoofdgeneesheer van de 'electrical department' van St. Bartholomew's Hospital. Deze legde een voor de gedaagden gunstige verklaring af. De jury kwam op 17 november 1900 in de Hastings Town Hall tot het volgende merkwaardige, maar unanieme, besluit:

'That the deceased met her death from shock and exhaustion following the accident and the effect of the roentgen rays upon a weakened system. No blame attached to either the medical man or the photographer'. (135)

Het leidt overigens, terugblikkend op deze gegevens, geen twijfel, dat de zweervorming was ontstaan als gevolg van langdurige blootstelling aan te zachte röntgenstraling. Een redacteur van de *Lancet* merkte in zijn commentaar droogjes op, dat

'...the friends of the deceased not heaving been represented by expert evidence detracts somewhat from the value of the inquiry'. (136)

Ook in andere landen werden rond de eeuwwisseling de eerste röntgenprocessen aangespannen. De Duitse arts Schürmayer schreef in 1901 over

de enige drie hem bekende gevallen van stralenschade in Duitsland, die hadden geleid tot het gerechtelijk aanklagen van de behandelend arts; in twee gevallen werd de arts vrijgesproken. (137)

In dit soort processen trad meestal een gerenommeerd röntgenarts op als gerechtelijk stralenschade-expert, waarbij deze advies gaf aan de rechter inzake schuld of onschuld van de gedaagde.

In maart 1901 verscheen in de *Lancet* een verslag van een te Parijs gevoerd röntgenproces, dat de vermelding zeker waard is. Een Parijse dame (Madame M) was wegens ischias door een arts verscheidene malen bestraald. De medicus paste drie sessies toe; de eerste duurde 40 minuten, de tweede 45 minuten. Na de tweede sessie raakte de dij van Madame M rood en ontstoken. Desondanks werd zij een derde maal bestraald en dit gedurende 75 minuten. Er ontstond na deze laatste behandeling een ernstige huidverbranding, waardoor zij vier maanden bedlegerig geraakte. Madame M eiste daarop voor het gerecht 5000 frank schadevergoeding van haar arts. Bij het proces dat volgde, werden twee gerechtelijke experts (een docteur en een monsieur) betrokken. Deze beide heren schreven een opmerkelijk rapport, waarin zij poneerden, dat de methodiek van de toepassing van röntgenstralen nog onvoldoende was geformuleerd en dat niemand de omstandigheden kende, die er verantwoordelijk voor waren, dat sommige patiënten huidverbrandingen opliepen, terwijl anderen, die even lang waren bestraald, geen schade ondervonden. De experts stelden de arts niet verantwoordelijk voor de veroorzaakte stralenschade; wel betreurden zij het feit, dat de geneesheer na de tweede bestralingssessie onvoldoende aandacht had geschonken aan de opgetreden ontstekingsreactie van de bestraalde huid en opnieuw tot langdurige bestraling was overgegaan. De rechter kwam ondanks dit advies tot een geheel andere uitspraak: de medicus werd veroordeeld tot het betalen van 5000 frank schadevergoeding wegens onzorgvuldig optreden met een (waarschijnlijk) defect röntgenapparaat. (138)

In 1902 werd te Parijs een andere geneesheer tot betaling van 500 frank schadevergoeding veroordeeld wegens het berokkenen van nadeel aan een patiënte, omdat hij de behandeling met x-stralen had overgelaten aan een assistent, die met de wijze, waarop röntgenstralen moesten worden toegepast, onvoldoende bekend was. (139)

Na deze precedënten breidde het aantal röntgenprocessen zich sterk uit. De 'allgemeine deutsche Versicherungsverein' te Stuttgart kreeg in de periode 1910-1913 40 dergelijke gevallen te verwerken. Navraag van de Duitse arts en jurist Kirchberg bij andere Versicherungsgesellschaften, leverde in 1914 soortgelijke aantallen op. In maart 1914 waren de Duitse verzekeringsmaatschappijen bij in totaal twintig röntgenprocessen betrokken. Daarbij maakte Kirchberg de notitie, dat hij lang niet alle schadegevallen had opgespoord en dat een niet onbeduidend aantal schadeclaims door de betreffende artsen 'onderhands' met de eisers werd geregeld. (140)

Uiteraard was het rampzalig voor een röntgenarts om door een patiënt voor het gerecht te worden gedaagd. Niet alleen werd daardoor zijn reputatie beschadigd, een voor de arts ongunstige gerechtelijke uitspraak kon bovendien zijn faillissement betekenen. (141) Dit leidde er toe, dat veel

röntgenartsen met de eisers tot een vergelijk trachtten te komen om de uiteindelijk te betalen schadevergoeding zo laag mogelijk te houden. Lang niet alle artsen, die x-stralen toepasten, waren voldoende hiervoor onderlegd en dit maakte hen juridisch zeer kwetsbaar. Albers-Schönberg en zijn Hamburgse collega Lorenz stelden in 1915, dat 'de arts, die met röntgenstralen omgaat, dient te kunnen bewijzen, dat hij een grondige opleiding heeft genoten voor dit gebied der geneeskunde'. De röntgenarts diende bovendien de ontwikkelingen op zijn vakgebied steeds te volgen en de fouten, die anderen hadden gemaakt en die tot schadeclaims hadden geleid, te kennen. Deed hij dit alles niet, dan kon hem van juridische zijde nalatigheid worden verweten. Om zichzelf voor ruïnering te behoeden, zou iedere röntgenarts bovendien een wettelijke aansprakelijkheidsverzekering moeten afsluiten. Een groot gevaar school voor de arts in de aansprakelijkheid voor fouten van zijn personeel. Om zich hiertegen te beschermen, diende de arts voortdurend toezicht te houden als de röntgenbuis in bedrijf was en diende hij zich ook tegen deze dreiging te verzekeren. (142)

Het was natuurlijk in het belang van radiologen om dit soort raadgevingen ter harte te nemen. In zekere zin leidde op deze wijze de angst bij röntgenologen voor schadeclaims tot aanscherping van het veiligheidsbeleid in het röntgenbedrijf.

Dit maakte echter niet meteen een einde aan het optreden van röntgenprocessen. Integendeel, in 1921 constateerde de Amerikaanse radioloog Pfahler, dat er aan de vooruitgang van de radiologische wetenschap grote schade werd berokkend door de toename van het aantal rechtsgedingen, waarbij radiologen de verdedigende partij vormden. Gerechtelijke experts, zo sprak Pfahler voor eigen parochie, dienden in het belang van de radioloog en van de patienten in het algemeen zeer voorzichtig te zijn met het trekken van conclusies als onachtzaamheid en incompetentie; zelfs als werd bewezen, dat de aangeklaagde radioloog onschuldig was, zou deze volgens Pfahler zwaar gebukt gaan onder de spanningen, die het proces met zich meebrengt, om nog maar niet te spreken van het verlies van tijd en geld. (143)

Deze situatie leidde er toe, dat in radiologische leerboeken aandacht werd besteed aan de juridische aspecten van stralenschade. In het *Lehrbuch der Strahlentherapie* (onder redactie van de Kielse radioloog Hans Meyer, 1925) besteedde de Berlijnse radioloog Gustav Bucky een geheel hoofdstuk aan dit onderwerp. (144) Naast een aantal exculperende factoren (de arts van schuld vrijspreekende factoren, zoals fabrieksfouten in de gebruikte instrumenten of netspanningsschommelingen) (145) vermeldde Bucky ook een aantal voorzorgsmaatregelen, die de arts kon treffen om gerechtelijke vervolging te voorkomen. Volgens Bucky diende een röntgenarts:

- om de acht tot veertien dagen een vakkundige controle van de apparatuur te laten doen, bijvoorbeeld door een revisie-abonnement te nemen bij de firma, die de apparatuur had geleverd.
- in geval van therapeutische bestraling een journaal bij te houden (hetgeen later als bewijs voor een zorgvuldige bedrijfsvoering kon dienen).

- de patient mondeling en het liefst in bijzijn van een getuige in te lichten over de volgende risico's, die aan bestraling verbonden waren: erytheem en pigmentatie van de bestraalde huid, röntgenkater (misselijkheid, braken en diarree), steriliteit en late gevolgen voor de bestraalde huid. Bovendien moest aan de patient worden medegedeeld, dat deze de bestraalde huid tegen bepaalde noxen (bijvoorbeeld schurende kleding) diende te beschermen. (146)

Overigens was het volgens Bucky niet zinvol om een patient een schriftelijke verklaring te laten tekenen, waarin deze zich a priori akkoord verklaarde met de behandeling, want... *'der Kranke wird dadurch misstrauig und unruhig'*. (147)

De arts moest zich volgens Bucky altijd volledig beheersen, ook ter kwader ure, aangezien de praktijk leerde, dat iedere uitspraak of opmerking later tegen hem kon worden gebruikt:

'Selbst bei eintretenden Unfällen soll man die Ruhe bewahren und vor allem die Zunge hüten. Vorwürfe mache man dem Personal nie in Gegenwart des Patienten, ebenso unterlasse man Belehrungen des Personals. Der Patient kann keine Unterschiede machen; für ihn ist jedes Wort ein Beweis, dass etwas nicht in Ordnung war. Sein Anwalt macht daraus seitenlange Schriftsätze mit endlosen Beweisanträgen'. (148)

Van groot belang was volgens Bucky zorgvuldigheid bij het kiezen van personeel, waarbij vooropleiding en ervaring in het arbeidscontract moesten worden vastgelegd. (149)

In 1925 weigerden diverse Duitse verzekeringsmaatschappijen om artsen te verzekeren tegen door hen veroorzaakte stralenschade. Dit was een gevolg van het grote aantal optredende schadegevallen (waaraan in veel gevallen de arts schuldig was) en de hoogte van de schadeclaims. (150) Hierbij speelde mogelijk ook de snelle geldontwaarding in Duitsland in deze periode een rol. Daardoor werden niet alleen de schadeclaims steeds hoger, maar ook de te betalen premies. (151)

De frequentie, waarmee röntgenprocessen werden aangespannen, lijkt in de jaren na de Eerste Wereldoorlog de stijging in het optreden van stralenschade bij patienten (leidend tot het derde maximum in het optreden van stralenschade bij patienten) te volgen. Toch kan hieraan slechts beperkt bewijskracht worden ontleend voor het werkelijk optreden van dit maximum. Immers, de toename van het aantal schadeprocessen kon ook het gevolg zijn van de publiciteit, die aan dergelijke gevallen werd gegeven, waardoor patienten op het idee werden gebracht bij vermeende stralenschade de röntgenoloog aan te klagen. Bovendien heeft in Duitsland wellicht de slechte economische situatie in de eerste jaren na de oorlog een rol gespeeld, die patienten mogelijk iedere kans op geldelijk gewin deed benutten. Het kwam zelfs voor, dat patienten stralenschade simuleerden door bijvoorbeeld hun huid met salpeterzuur te bewerken, enkel en alleen om schadevergoeding van de radioloog te kunnen eisen.

Het aantal schadeprocessen nam in de loop der jaren twintig weer af; rond 1930 hadden deze vooral betrekking op late stralenschade. (152) In Nederland heeft in ieder geval één keer een dergelijk proces plaatsgevonden. Dit betrof een geval van ernstige stralenschade aan het gelaat. Een twintigjarig fabrieksmeisje had zich in 1930 gemeld bij het Onderlinge Ziekenfonds te 's-Gravenhage met de vraag of er iets te doen was tegen haar overtollig gezichtshaar. Zij was daarop verwezen naar een arts, die als röntgenoloog aan dat fonds verbonden was. Deze Haagse röntgenoloog had haar twaalf à vijftien maal met röntgenstralen bestraald. Als gevolg van deze behandeling traden verschijnselen op aan haar gelaat, de huid aldaar, gebit en kaken, 'leidende tot extractie van haar gebit en tot uitstoting van haar onderkaak, waardoor haar gelaat ernstig is misvormd en haar blijvend nadeel is toegebracht'. (153) Op 6 mei 1939 werd de betreffende röntgenoloog gedagvaard en dit leidde tot een langdurige juridische strijd, die pas in 1950 tot een einde zou komen. De arrondissements-rechtbank te 's-Gravenhage overwoog in 1948 in haar oordeel onder meer het volgende:

dat gedaagde ten onrechte zijn aansprakelijkheid voor de gevolgen van de behandeling afwijst;
dat onbetwist is, dat de huidige wetenschap aanneemt, dat röntgenbehandeling wegens de daaraan verbonden gevaren bij overtollige beharing achterwege behoort te blijven en dat deze mening reeds in 1930 met klem gepropageerd werd;
dat aan patiënte de feitenkennis ontbrak, die haar in staat had kunnen stellen te beoordelen, of zij het risico wenste te aanvaarden;
dat zij door gedaagde vaag op dit risico is geweest, doch, toen deze desondanks de behandeling op zich nam, moest aannemen, dat dit risico verwaarloosd kon worden;
dat de geneesheer en niet de patiënt de geschiktheid der behandelingswijze in ieder bijzonder geval heeft te beoordelen en de goede en kwade gevolgen daarvan heeft af te wegen;
dat niet ontkend is, dat de door gedaagde toegepaste behandeling mede als een oorzaak der later opgetreden rampspoedige verschijnselen aanvaard kan worden. (154)

Dit vonnis werd in hoger beroep door gedaagde aangevochten, waarbij hij aanvoerde, dat het reglement van gemeld ziekenfonds een bepaling bevatte, die inhield, dat verzekerden geen geldelijk verhaal op huisarts of specialist hebben uit hoofde van de ziekenfondsverzekering, of de daarmee verband houdende behandeling. In 1949 werd deze grief door het gerechtshof van 's-Gravenhage verworpen en werd het eerder uitgesproken vonnis bekrachtigd. Opnieuw ging de veroordeelde in hoger beroep. De civiele kamer van de Hoge Raad achtte echter in 1950 het oordeel van het Haagse gerechtshof juist en verwierp het beroep. (155)

IV.11 Samenvatting en conclusies.

Het gebrek aan radiologische scholing en deskundigheid bij artsen, die straling toepasten, was een oorzaak van stralenschade, die vanaf het begin van de ontwikkeling van de radiologie aanwezig is geweest; deze oorzaak heeft belangrijk bijgedragen aan het ontstaan van het derde maximum in de incidentie van stralenschade bij patienten. De Eerste Wereldoorlog was van grote invloed op de ontwikkeling van de radiologie tot een algemeen erkend medisch specialisme, omdat aan het front het grote belang van röntgen-onderzoeken voor de oorlogschirurgie duidelijk werd. Na de oorlog werden radiologische opleidingen ingesteld en raakte de radiologie binnen de geneeskunde geaccepteerd als zelfstandige discipline. Rond 1935 werden in Europa en Noord-Amerika opleidingseisen gesteld, waaraan iedere arts, die zich als radioloog wilde vestigen, behoorde te voldoen. Dit had tot gevolg, dat de niet ter zake kundige artsen, die radiologie bedreven, als belangrijke oorzaak van stralenschade werden geëlimineerd.

HOOFDSTUK V. TECHNISCHE OORZAKEN VAN STRALENSCHADE BIJ PATIENTEN.

Inhoud:

- V.1 Inleiding.*
- V.2 Gasbuizen.*
- V.3 De Coolidge-buis.*
- V.4 Filters.*
- V.5 Ampèremeter, voltmeter, klok en netspanning.*
- V.6 Afscherpende lamellen en kappen.*
- V.7 Versterkingsschermen en films.*
- V.8 Samenvatting en conclusies.*

V.1 Inleiding.

In dit hoofdstuk zal de invloed van de stand der techniek op het optreden van stralenschade worden besproken. Een aantal technische factoren komt in dit verband aan de orde en hun rol in het veroorzaken van de in hoofdstuk I genoemde maxima in het optreden van stralenschade bij patienten zal worden uiteengezet.

V.2 Gasbuizen.

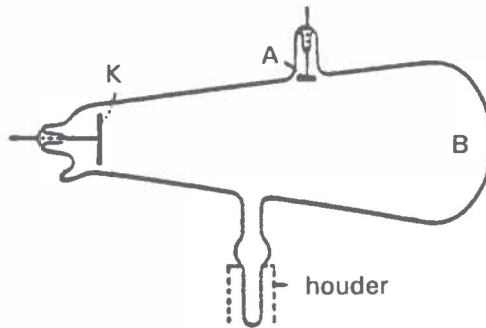
Voor een goed begrip van de rol, die gasbuizen hebben gespeeld in het veroorzaken van stralenschade, is enige kennis van de techniek van deze röntgenbuizen vereist. De eerste röntgenbuizen bestonden uit een glazen buis van drie tot vier centimeter diameter en twintig tot dertig centimeter lengte, waarin twee aluminium elektroden waren aangebracht, elk op een in het glas gesmolten platinadraad; deze platinadraden verzorgden de elektrische verbinding van de elektroden met de spanningsbron. Voor dit doel werd platina gebruikt, omdat dit metaal zich in glas laat insmelten zonder het bij afkoelen te doen barsten. (zie fig. V.1)

De elektrode K (de kathode) was via de platinadraad verbonden met de negatieve pool van de spanningsbron en bestond uit een in de lengte-as van de buis verlopende aluminiumstaaf van enige millimeters dikte en enige

centimeters lengte, waarop haaks een schijf van hetzelfde metaal was bevestigd, die bijna de hele doorsnede van de buis innam.

De elektrode A (de anode) was verbonden met de positieve pool van de spanningsbron en bestond uit een kort stuk aluminiumdraad, dat was aangebracht in een uitbochtung van de buis.

De luchtdruk in de glazen buis was met behulp van een luchtpomp tot



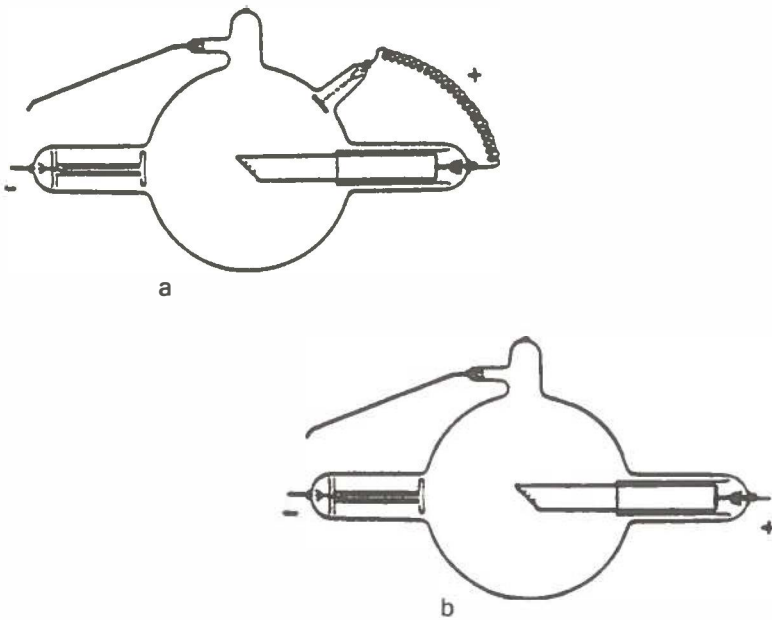
Figuur V.1 Een Hittorf-Crookes gasbuis. A = anode, K = kathode, B = buiswand

minder dan $1/100.000$ van de normale luchtdruk gereduceerd. Bovendien was het gas, dat zich aan de buiswanden en de elektroden placht te bevinden, door uitstoken vrijgemaakt en weggepompt. Daarna was de buis dichtgesmolten. Dit soort röntgenbuizen werd daarom 'vacuümbuizen' genoemd.

Als er een potentiaalverschil over de elektroden werd gelegd, werden de altijd aanwezige ionen en elektronen versneld. Door botsing van deze geladen deeltjes met achtergebleven gasmoleculen trad ionisatie op. De positieve ionen, die daardoor ontstonden, botsten op de kathode, waardoor elektronen uit de kathode losraakten, die de zogenaamde 'kathodestrallen' vormden. Deze elektronen konden op hun beurt weer gasmoleculen ioniseren. Als deze kathodestrallen op de glaswand bij B botsten, wekte dit daar een groene fosforescentie op; bij iets hogere gasdruk in de buis trad ook in het in de buis aanwezige gas een blauwachtig fosforescentielicht op. Bij voldoende spanning over de buis ontstond bij B röntgenstraling, doordat de elektronen met hoogste (en voldoende) snelheid daar de glaswand troffen.

Aangezien een aanzienlijk deel van het glasoppervlak bij B door elektronen werd getroffen, bestond de bron van de röntgenstraling bij deze buizen uit een relatief groot, meestal gekromd, glasoppervlak; van hieruit verspreidden de röntgenstralen zich door het glas heen in alle richtingen, met als gevolg,

dat de straling diffuus was en weinig intensief. (1) Deze eerste gasbuizen werden 'Crookesbuizen' genoemd (2) of 'Hittorf-Crookesbuizen', zoals de buis waarmee Röntgen de x-stralen ontdekte. (3) De Franse fysicus E. Colardeau was in 1896 de eerste, die trachtte het glasoppervlak, dat als bron van de röntgenstralen fungeerde, te verkleinen. De diffuse straling van een verhoudingsgewijs groot bronoppervlak gaf in de röntgendiagnostiek onscherpe beelden. Beperking van het emissieoppervlak zou scherpere beelden en kortere bestralingstijden mogelijk maken. Colardeau gaf daarom de glaswand recht tegenover de kathode een spits toelopende vorm, waarvan de punt een diameter van ongeveer negen tot tien millimeter had. Deze punt fungeerde als emissie-oppervlak van de röntgenstralen. Deze sigaarvormige buis gaf inderdaad scherpere beelden, maar had als nadeel, dat ze erg breekbaar was. (4) In 1896 kwam Sylvanus Thomson met het idee om in de baan van de kathodestrallen een metalen plaatje aan te brengen, waarop de röntgenstralen konden ontstaan. Het lukte de Brit Campbell-Swinton in 1897 om dit idee in praktijk te brengen. (5) Bovendien was Sir Herbert Jackson ertoe



Figuur V.2

- a. Anode en antikathode zijn beide met de positieve pool van de spanningsbron verbonden.
- b. Anode en antikathode zijn samengevoegd tot één positieve elektrode.

overgegaan om de kathodestrallen te convergeren. Dit bereikte hij door het voorvlak van de schijf van de kathode hol te maken; hierdoor kwamen de elektronen in het brandpunt samen. (6) Door de onderlinge afstoting van elektronen bestond de focus echter niet uit een punt, maar uit een klein vlakje. Als dit brandpunt zodanig werd gekozen, dat het op het ingebrachte metalen plaatje viel, bereikte men een emissie-oppervlak op het metalen plaatje van enige millimeters diameter. Het ingebrachte metalen plaatje werd 'antikathode' genoemd. (fig. V.2)

Ook de antikathode werd met de positieve pool van de spanningsbron verbonden (fig. V.2a), of antikathode en anode vormden één elektrode (fig. V.2b). Aangezien de antikathode, die voortdurend door elektronen werd getroffen, sterk werd verhit (de meeste energie van de elektronen werd omgezet in warmte), koos men als metaal daarvoor platina, dat een hoog smeltpunt heeft (circa 1750 °C) en een goede opbrengst aan röntgenstraling geeft als gevolg van het hoge atoomnummer. (7)

De sterke verhitting, die de antikathode onderging, straalde natuurlijk uit naar het omliggende glas. Zou dit glas ook sterk verwarmd raken, dan zou het door de druk van de buitenlucht worden ingedrukt, doordat in de buis onderdruk heerste. Om de afstand van het glas tot de warme antikathode te vergroten, gaf men het glas, dat rond de antikathode lag, een bolvorm. De antikathode werd onder een hoek van 45° geplaatst ten opzichte van de kathodebundel. Van hieruit breidden de röntgenstralen zich uit in alle richtingen. In de praktijk had men natuurlijk alleen belang bij de röntgenstralen, die in de richting van het te bestralen veld gingen. Röntgenbuizen, die op de boven beschreven wijze waren geconstrueerd, werden ook wel 'focusbuizen' genoemd.

De in een gasbuis optredende elektronenbeweging was op te vatten als een stroom, die van antikathode naar kathode liep (van plus naar min), overeenkomstig de stroomrichting van de spanningsbron; deze stroom moest de weerstand, die tussen de elektroden lag, overwinnen. Deze weerstand werd hoofdzakelijk bepaald door de gasdruk in de buis.

Als de röntgenbuis niet sterk geëvacueerd was, was de weerstand van de buis relatief gering, zodat geen hoge buisspanning nodig was om een stroom door de buis te doen lopen. Als het potentiaalverschil over de elektroden relatief laag was, ontstond röntgenstraling van relatief geringe energie, dus van relatief gering doordringend vermogen. Een dergelijke röntgenbuis werd een 'zachte' buis genoemd en de erdoor geproduceerde röntgenstraling 'zachte' röntgenstraling. Door de lage weerstand liep er echter een relatief grote stroom (vele milliampères) door de buis, hetgeen een rijke stralenemissie veroorzaakte. Een deel van deze aanzienlijke hoeveelheid, voornamelijk zachte straling, werd door het glas van de buis weggevangen. De toepassing van dit type röntgenbuizen bracht niettemin een grote stralenbelasting van de huid met zich mede.

Bij toepassing van steeds sterker 'geëvacueerde' röntgenbuizen, waarin steeds minder gas voor ionisatie beschikbaar was, moest er een steeds hogere spanning over de elektroden gelegd worden om ionisatie te bereiken: de weerstand van de buis werd met toenemend vacuüm steeds groter. Het hoge potentiaalverschil tussen de elektroden had tot gevolg, dat de

kathodestrallen met hoge snelheid op de antikathode botsten, waardoor röntgenstraling van hoge energie ontstond. Deze röntgenbuizen werden 'harde' buizen genoemd. De hoge weerstand van de buis had tot gevolg, dat de stroom kleine ontladingen aan punten of randen van de buis veroorzaakte, hetgeen zich uitte in een voortdurend knisperen. Wilde de stroom de weerstand tussen de elektroden overwinnen, dan was daarvoor een zeer hoge spanning nodig, een spanning zeer veel hoger dan die van het centrale net, die zelden meer dan 120 volt bedroeg. (8) Om dit doel te bereiken, werd gebruik gemaakt van een inductor, bijvoorbeeld van de Rühmkorff inductor, die ook Röntgen gebruikte bij zijn ontdekking. Een in bedrijf zijnde gasbuis 'verbruikte' zijn gas, waardoor de weerstand van de buis toenam en er een groter potentiaalverschil over de elektroden gelegd moest worden om deze te overwinnen. De röntgenstraling kreeg daardoor tijdens het in werking zijn van de buis steeds hogere energieën: de röntgenbuis had tijdens gebruik de neiging voortdurend harder te worden. De weerstand kon zo hoog worden, dat de röntgenbuis onbruikbaar werd. Bij een aantal buizen werd om deze reden een gasregulator aangebracht: een zijdelingse buis bevatte een chemische stof, die bij verhitting gas afgaf in de röntgenbuis.

Zoals in hoofdstuk III werd gesteld, traden in de laatste jaren van de vorige eeuw diverse gevallen van stralenbeschadiging van de huid van patiënten op. Uiteraard was de röntgenstraling daarvoor verantwoordelijk, maar de vraag dient gesteld te worden, welke factoren de voorwaarden schiepen voor de schadelijke werking van de straling: hoe kon het zover komen, dat de patiënt stralenschade opliep?

In de jaren 1896-1918 werd in de medische röntgenologische praktijk gewerkt met de boven beschreven gasbuizen. Deze röntgenbuizen hadden de volgende nadelen:

- 1 - als een ontlading enige seconden duurde, werd de antikathode gloeiend heet en gaf dan zoveel gas af, dat de uittredende straling zeer zacht werd en de buis opnieuw geëvacuëerd diende te worden.
- 2 - als de antikathode, die gewoonlijk uit koper en wolfram bestond, gloeiend heet was, sloegen koperdeeltjes neer op de glaswand van de buis, ook nog als de buis al enige tijd uitgeschakeld was, omdat de afkoeling van de antikathode lange tijd duurde.
- 3 - de buizen hadden de neiging, met name in de buurt van de antikathode, te barsten.
- 4 - de antikathodefocushet veranderde, door oververhitting en drukverandering in de buis, tijdens gebruik vrij snel van plaats. Soms was deze plaatsverandering definitief.
- 5 - het was relatief eenvoudig door middel van gasregulatoren de weerstand van de buis te verminderen (door gas toe te voegen), maar het was erg moeilijk de weerstand op te voeren.
- 6 - bij intensieve ontladingen in de buis smolt al spoedig het middendeel van de aluminiumkathode, waardoor gesmolten metaaldeeltjes tegen de glaswand werden geslingerd en deze soms doorboorden. Door het smelten van een deel van de kathode veranderde de corresponderende focus van plaats.

- 7 - geen gasbuis had dezelfde elektrische eigenschappen als een andere.
- 8 - het doordringingsvermogen van de röntgenstralen wisselde met de hoogspanning.
- 9 - de buis produceerde een heterogene bundel van primaire röntgenstralen, doordat aan het begin het voltage hoger was dan daarna; dit laatste was een gevolg van het feit, dat de gevormde positieve ionen de kathode neutraliseerden, waardoor het potentiaalverschil terugliep. (9)

Het zal duidelijk zijn, dat met name de factoren 1,5,7,8 en 9 een belangrijke rol speelden bij het ontstaan van stralenschade bij patienten. De nadelen 2 en 3 konden worden weggenomen door de koper-wolfram-antikathode te vervangen door een massieve wolframantikathode, die, ook al was ze gloeiend heet, langdurig kon functioneren.

De meeste van de bovengenoemde nadelen van gasbuizen, vonden echter hun oorzaak in het vrijraken van gas in de buis. De constructie van een volledig vacuüm in de buis zou deze nadelen grotendeels kunnen wegnemen. (10)

Het optreden van het eerste maximum in het aantal gevallen van röntgenstralenschade bij patienten (1896-1897) kan voor een deel worden verklaard door de onbetrouwbaarheid van de diffuus zachte straling uitzendende gasbuizen, die relatief lange belichtingstijden nodig maakten, waardoor de huid van de patienten zwaar werd belast. Veel artsen hielden, in hun ijver om scherpe afbeeldingen te verkrijgen, de Crookes-buis zo dicht mogelijk bij de te doorlichten lichaamsdelen, terwijl ze lang doorstraalden. Een belichtingsduur van 90 minuten voor één foto was geen uitzondering en beschadigingen van de huid bleven dan ook niet uit. (11) Bovendien werden röntgenbuizen voor 1902 vrijwel altijd zonder afscherpende kappen toegepast. Het aanbrengen van een antikathode en een uitgeholde kathode in de gasbuizen verhoogde wel de intensiteit van de röntgenbundel, maar niet de hardheid ervan, zodat hun introductie geen huidsparend effect had.

In deze beginperiode was het bovendien nog niet voor iedereen duidelijk, dat röntgenstraling schadelijk kon zijn. De Amerikaanse fysicus Elihu Thompson, die op zichzelf experimenteerde door zijn linker pink te bestralen en ter plekke een ernstige verbranding veroorzaakte, toonde in het najaar van 1896 aan, dat de röntgenstraling zélf (en niet bijvoorbeeld elektrische effecten, zoals soms werd beweerd) de oorzaak was van de beschadigingen, die na bestraling konden optreden. Door de onbekendheid met het fenomeen röntgenstraling moest het eerst tot een groot aantal schadegevallen komen, eer men zich bewust werd van het gevaar van de stralen en voorzichtiger te werk ging.

Uit het reeds in de inleiding besproken onderzoek van Groedel, Liniger en Lossen bleek, dat bij een groep van 38 patienten, die stralenschade hadden opgelopen als gevolg van de diagnostische toepassing van röntgenstralen, acht maal als oorzaak toepassing van te zachte straling was aan te wijzen. (12) Juist door het experiment van Thompson en de vele andere röntgenbeschadigingen, die werden gemeld, werden veel artsen (en niet-artsen)

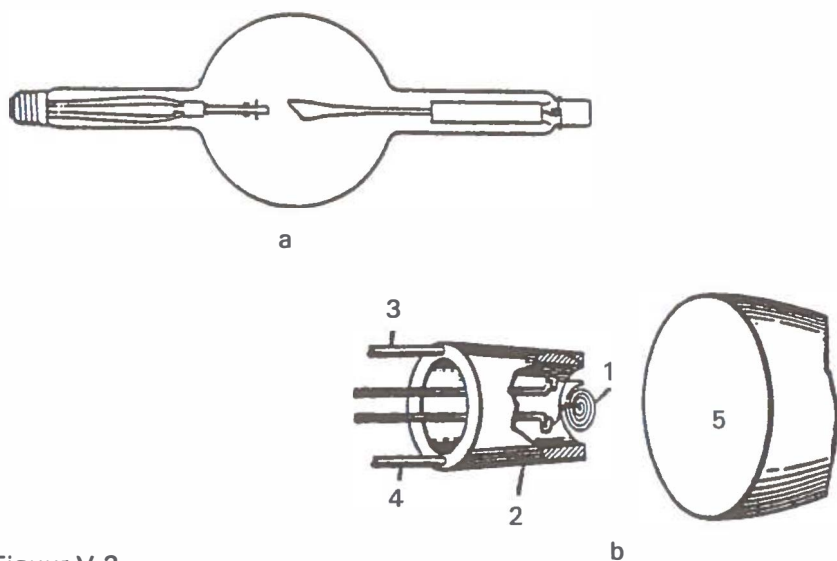
voorzichtiger, hetgeen de afname van het aantal röntgenbeschadigingen na 1897 kan verklaren.

V.3 De Coolidge-buis.

De Amerikaan William Coolidge construeerde in 1913 een gasvrije röntgenbuis, die aan de nadelen van de gasbuizen een eind maakte en daardoor wereldvermaardheid verwierf. In de General Electric Research Laboratories te Schenectady in de staat New York was Coolidge betrokken geraakt bij het fysisch onderzoek naar een materiaal, dat de in gloeilampen verwerkte koolstof (waarvan de gloeidraad was gemaakt) kon vervangen. Al geruime tijd hadden de fysici van General Electric gezocht naar een vacuümoven, waarin vuurvaste metalen, zoals wolfram, konden worden gesmolten. Coolidge introduceerde in het kader van dit onderzoek een gasbuis als 'smeltoven'. Het zou echter een aantal jaren onderzoek vergen (waarbij Coolidge zijn gasbuis-oven weer moest opgeven) voor een wolframdraad in gloeilampen kon worden toegepast. Toen dit gelukt was, zocht men naar andere toepassingsmogelijkheden voor deze draden. Coolidge meende, dat de platina antikathode van gasbuizen misschien door het wolfram vervangen zou kunnen worden. De experimenten die hierop volgden, lieten echter zien, dat ook de aluminium kathode bij hoge belasting van de buis smolt. Daarop rijpte het idee om ook de kathode uit wolfram te vervaardigen. Nader onderzoek bracht aan het licht, dat een verhitte wolframkathode in een geheel geëvacueerde buis veelbelovende resultaten opleverde en dit leidde tot de fabricage van de Coolidge-buis. (13)

De Coolidge-buis had een geheel eigen constructie. De hieronder volgende beschrijving betreft een Coolidge-buis bestemd voor diagnostiek. De therapeutische Coolidge-buis was overigens volgens dezelfde principes geconstrueerd (zie figuur V.3).

De kathode bestond uit een wolframdraad, die in de vorm van een vlakke spiraal in 5,5 windingen was opgerold. Rond de wolframdraad bevond zich, met de binnenzijde op een millimeter afstand van de buitenste wikkeling van de wolframspiraal, een molybdeen-cylinder, die in positie gehouden werd door twee dikke molybdeendraden, die op hun beurt vast zaten in de glaswand van de buis. De cylinder was óf verbonden met de spanningsbron óf met de verhitte kathode en lokaliseerde een elektrisch veld rond de kathode, waardoor de elektronen op de antikathode werden geconcentreerd. De cylinder bracht op deze manier de elektronen in de focus van de buis samen en zorgde er bovendien voor, dat er geen ontlading van de achterzijde van de verhitte kathode uit kon gaan. De antikathode, die tegelijk als anode diende, bestond uit een massief stuk wolfram van 100 gram, dat door middel van molybdeendraden, die met de anodebuis verbonden waren, in positie werd gehouden. De wand van de Coolidge-buis bestond geheel uit glas en binnen deze glaswand heerste een zo goed mogelijk vacuüm.



Figuur V.3

a. Een Coolidge gloeikathode buis. b. Een gloeikathode met antikathode:
 1- kathode van wolfram 2- molybdeen-cylinder 3 en 4- molybdeendraden
 5- antikathode van wolfram

Speciale methoden voor uitstoken en ontgassen, die de röntgenbuis had ondergaan voor de buis definitief werd dichtgesmolten, zorgden ervoor, dat tijdens werking geen gas uit de bestanddelen vrijkwam. Gedurende gebruik bleef de buis gasvrij en het vacuüm veranderde nauwelijks, in ieder geval niet zodanig, dat het de eigenschappen van de buis beïnvloedde. Tijdens het in bedrijf zijn van de buis werd deze door middel van een ventilator gekoeld, zodat de gasdruk in de buis op een vaste waarde kon worden gehouden en niet door temperatuurstijging werd beïnvloed.

De Coolidge-buis had de volgende eigenschappen:

- een ontlading, die de vorming van röntgenstralen tot gevolg had, kon alléén optreden als de kathodedraad verhit was. Alleen een gloeiende kathode was in staat elektronen uit te zenden.
- de buis liet de stroom slechts in één richting door.
- de buisstroom werd bepaald door de temperatuur van de kathodedraad. Verhoging of verlaging van deze temperatuur versterkte respectievelijk verminderde de stroom. Gasionen speelden bij de werking van de Coolidge-buis een zeer ondergeschikte rol.
- het doordringingsvermogen van de röntgenstraling werd bepaald door de spanning over de beide polen van de buis. Verhoging van het potentiaalverschil tussen de beide polen had vergroting van het doordringend vermogen van de stralen tot gevolg.

- de buis kon continu in bedrijf zijn zónder dat haar eigenschappen veranderden.
- het brandpunt veranderde, bij gegeven constructie van de buis, niet van plaats: voor de radioscopie en de radiografie had dit tot gevolg, dat veel scherpere afbeeldingen konden worden gemaakt dan met de gasbuizen het geval was.
- de gasdruk in de buis was zo laag, dat zelfs bij aanzienlijk toe- of afnemen ervan, de eigenschappen van de buis en daardoor het spectrum van de röntgenstraling, niet werden beïnvloed.
- doordat de massieve wolframantikathode zeer hoge temperaturen kon verdragen, kon de buis continu zeer intensief in werking zijn.
- tijdens het in werking zijn van de buis fluoresceerde het glas van de buis niet, waardoor de glaswand ook niet sterk verhit raakte. De oorzaak hiervan was, dat de glaswand niet getroffen werd door van de antikathode uitgaande secundaire elektronen, zoals dit bij de gasbuizen met platina-antikathoden gebruikelijk was. Dit had tot gevolg, dat in de glaswand van de Coolidge-buis geen onnodige diffuse röntgenstralen werden gegenereerd.
- de spanning over de Coolidge-buis bleef van begin tot eind van het in bedrijf zijn constant. Bij de gasbuis nam na inschakelen van de stroom het aantal ionen in de buis als gevolg van botsingen enorm toe, waardoor de spanning over de buis steeds meer ging dalen. De ionen bewogen zich immers naar de pool van tegenovergestelde lading, deze steeds meer neutraliserend. In de gasvrije Coolidge-buis werd het aantal ionen niet beïnvloed door het inschakelen van de stroom, waardoor het spanningsverschil voortdurend constant kon worden gehouden.
- de Coolidge-buis leverde een homogene primaire stralenbundel van een hardheid, die, door het spanningsverschil over de polen te variëren, naar believen was in te stellen. Voorwaarde hiervoor was wel, dat de buis met een absoluut constante spanningsbron werd verbonden.
- de buis kon worden ontworpen voor veel hogere voltages dan tot dan toe mogelijk was geweest.
- de buis kon klein van omvang worden gemaakt. Het was niet nodig om de machine tijdens gebruik visueel te controleren. Deze twee eigenschappen maakten, dat de buis geheel omhuld kon worden, zodat radio-protectie van patient en personeel veel eenvoudiger was geworden. De anode werd meestal hol gemaakt, zodat vageboderende straling door de anodewand werd geabsorbeerd. (14)

De bovengenoemde eigenschappen verhoogden het doelmatig gebruik van de buis, waardoor stralenbeschadigingen bij patienten *in beginsel* beter konden worden voorkomen.

De Coolidge-buis bracht niettemin naast alle voordelen ook een aantal ernstige risico's met zich mee. Konden de gasbuizen niet langdurig in bedrijf zijn, de Coolidge-buis kon uren lang intensief in werking zijn, ook bij instelling op een zeer klein focus. Met de Coolidge-buis konden dan ook veel hogere doses gegeven worden dan met de gasbuizen. Bovendien zond de Coolidge-buis niet alleen straling uit van de antikathodespiegel, maar ook van de antikathodehals, die zich bij de gangbare afschermdende

buispassen buiten de hoes bevond, zodat de patient vanaf deze plaats werd getroffen door ongefilterde straling. (15) De invoering van de Coolidge-buis vereiste om deze redenen peremptoire beschermingsmaatregelen voor werkers en patienten. De intensiteit en de hardheid van de opgewekte röntgenstralen stonden onder directe controle van de arts, die beide kwaliteiten onafhankelijk van elkaar snel kon doen toe- of afnemen. Door de spanning over de buis op te voeren, kon de geneesheer hardere straling genereren en kon hij tegelijkertijd de output van de buis doen toenemen. De intensiteit van de straling kon hij verhogen door de temperatuur van de gloeikathode te laten stijgen; dit was te bereiken door de stroom, die door de kathode liep, te laten toenemen. (16) Bij onoordeelkundig gebruik van een Coolidge-buis kon bij patienten dan ook excessieve stralenschade worden veroorzaakt. (17)

De toepassing van te zachte straling is, door de invoering van de Coolidge-buis, na de Eerste Wereldoorlog minder frequent geworden. De schade, die is teweeggebracht door het gebruik van Coolidge-buizen, was met name in de radiodiagnostiek niet zozeer te wijten aan slechte eigenschappen van de buis, dan wel aan een andere factor. De compacte en handige gloeikathodebuizen vonden na de Eerste Wereldoorlog aftrek bij een steeds grotere groep artsen, ook bij degenen, die weinig radiologische kennis en ervaring hadden. Juist deze laatste categorie medici had voor de interpretatie van de beelden meer tijd nodig, waardoor een doorlichting soms langer duurde dan de huid van de patient kon verdragen. (18)

De invoering van de Coolidge-buis werd echter in Europa geremd door het woeden van de Eerste Wereldoorlog. Op 27 december 1913 had Coolidge zijn röntgenbuis gepresenteerd tijdens een speciaal voor dit doel gehouden diner in New York, waarvoor vele prominente Amerikaanse röntgenologen waren uitgenodigd. De afzet van de buis kwam daarna in de Verenigde Staten vrij snel op gang. Na het uitbreken van de oorlog in 1914 stagneerde de export van de nieuwe röntgenbuis naar de Europese (oorlogvoerende) landen. (19) Pas toen de Verenigde Staten in 1917 betrokken raakten bij de oorlog, kwamen in Frankrijk met de Amerikaanse militairen ook de eerste Coolidge-buizen aan. De Amerikaanse röntgenoloog Lawrence Reynolds, die in Frankrijk was gestationeerd in het 'American Military Hospital No. 1', zag op een zondagochtend in 1917 niemand minder dan Antoine Béclère, de nestor van de Franse radiologie, verschijnen, die samen met een groep studenten een speciale reis had gemaakt om een Coolidge-buis in werking te kunnen zien. (20)

Doordat de Coolidge-buis evenwel na de Eerste Wereldoorlog in velerlei medische handen kwam (zie hoofdstuk IV), heeft haar invoering indirect bijgedragen aan het optreden van het derde maximum in de incidentie van röntgenstralenschade, zowel in de röntgentherapie (rond 1923) als in de röntgendiagnostiek (1923-1926).

V.4 Filters.

Fotonen van lage energie (zachte stralen) dragen niet bij aan scherpe afbeeldingen in de diagnostiek en hebben in de röntgen-dieptetherapie vrijwel geen therapeutische betekenis, omdat zij reeds in huid en oppervlakkige weefsels worden geabsorbeerd. Zich baserend op deze feiten, was Georg Perthes in 1904 begonnen met het toepassen van stralenfilters. Naast zijn drukke werkzaamheden als chirurg onderzocht Perthes reeds geruime tijd de biologische werking van röntgenstralen; hij was een van de eersten, die wees op het effect van filtratie van straling. De filters, die meestal uit metalen zoals koper, zink of aluminium bestonden, elimineerden de zachte component van röntgenstraling, die anders door de huid zou zijn geabsorbeerd.

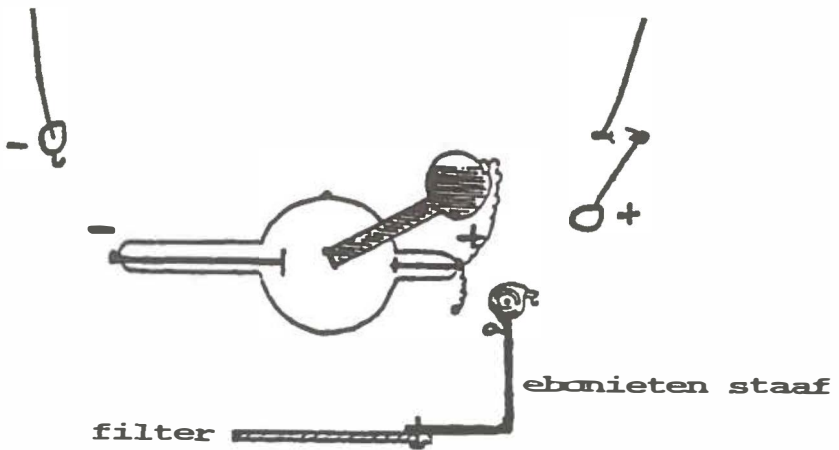
De invoering van de filtratie heeft volgens Holz knecht het risico op röntgenulcera in principe bijna geheel doen verdwijnen. Volgens hem konden in 1920 ulcera in de radiotherapie alleen nog optreden als gevolg van een fout opgesteld behandelingsplan. Bij behandeling van goedaardige aandoeningen kon de goed opgeleide specialist volgens hem geen röntgenulcera meer veroorzaken (bij maligne aandoeningen werd het trouwens soms als onontkoombaar gezien om stralenschade te veroorzaken, zie ook hoofdstuk VIII). (21)

De Nederlandse vrouwenarts Driessen, die zich intensief bezig hield met röntgen-dieptetherapie, wees er in 1918 op, dat huidverbrandingen bij patiënten voorkwamen, die het gevolg waren van het vergéten van het plaatsen van het filter. (22) Het vergeten van een zwaar filter had tot gevolg, dat er ongewenst veel zachte straling werd geapliceerd. Bovendien was de bestralingstijd des te langer naarmate het te gebruiken filter dikker was. Bij vergeten van een dik filter was daardoor niet alleen de fractie zachte straling in de stralenbundel veel te groot (kwaliteitsfout), ook de totale hoeveelheid geapliceerde straling was te groot (kwantiteitsfout). Holz knecht concludeerde in 1920, dat het vergeten van het stralenfilter, al naargelang dikte en zwaarte, in de regel leidde tot een twee- tot dertigmalige overdosering! (23) Veel praktijken waren bovendien zodanig ingericht, dat dit voorval nu en dan wel moest voorkomen, terwijl dit dan -als geen dosimeter werd gebruikt- niet direct werd opgemerkt, maar pas na drie tot veertien dagen, als er een overmatige huidreactie bij de patient was te zien. Driessen bedacht een methode, die het onmogelijk maakte om zonder filter te bestralen. Hij stelde in 1918 het volgende:

'Met de huidige installatie van de röntgeninrichtingen wordt met dit gevaar niet voldoende rekening gehouden. Men is gewoon, zowel bij therapeutische bestraling alsook bij doorlichting of fotografie, de polen, van de secundaire stroom te verbinden met de uiteinden van de röntgenbuis. Onafhankelijk van deze inschakeling wordt nu het filter in het toestel geschoven of er uit verwijderd. Men loopt aldus de kans, dat een enkele maal aan het filter niet gedacht wordt en verzuimd wordt het in- of uit te schuiven. Zo weinig

beteekenis dit verzuim heeft bij het fotograferen (door het filter mislukt alleen de foto), zo ernstige gevolgen heeft het bij de dieptebehandeling. De huid, blootgesteld aan ongefiltreerde röntgenstralen, is beschadigd en afhankelijk van duur en intensiteit der bestraling komt na korter of langer tijd de röntgen-dermatitis met al haar onvermijdelijke verwickelingen voor de dag. Wil men zich en zijn zieken vrijwaren voor de onberekenbare en noodlottige gevolgen van de "filterloze" bestraling, dan behoort de inrichting van het toestel zodanig te zijn, dat bij de dieptebehandeling bestraling zonder filter onmogelijk is. Ik heb gemeend dit vraagstuk op eenvoudige wijze te kunnen oplossen door één der polen van de secundaire stroom te verbinden met het filter en wel zodanig, dat rechtstreekse verbinding van de buis met die pool onmogelijk is: aan het filter (zie fig. V.4 en V.5) is een ebonieten omgebogen staafje vastgeschroefd; het uiteinde van die staaf wordt gevormd door een doos, waarin zich een verende, opgerolde, koperen draad (bij wijze van een centimetermaatje) bevindt, die aan de ver afgelegen positieve pool kan verbonden worden; een klein spiraaldraadje verbindt het doosje met de buis. Dit spiraaldraadje is zó kort, dat het de positieve pool niet bereiken kan. Heeft dus de röntgenarts of -zuster verzuimd het filter in te schuiven, dan gaat de stroom niet door de buis. Met andere woorden, op deze wijze ingeschakeld kan de buis nooit anders dan gefiltreerde stralen uitzenden. Voor degene, die uitsluitend dieptebehandeling toepast en niet doorlicht, ware het natuurlijk het eenvoudigst het filter vast te schroeven aan het statief; het bezwaar is echter, dat dan steeds hetzelfde filter van dezelfde dikte zou moeten gebruikt worden; ook een nauwkeurige instelling op de te bestralen plaats ware dan uitgesloten. Het ebonieten staafje kan aan elk filter aangeschroefd worden.' (24)

Driessen was hiermee een van de eersten, die een methode bedacht, die moest voorkomen, dat er zonder filter werd bestraald. Holzknacht noemde in 1920 een aantal methoden ter preventie van huidverbrandingen als gevolg van het vergeten van het filter. De eerste methode was de toepassing van een zogenaamde 'open dosimeter'. Dit was een dosimeter, die op ieder moment tijdens de bestraling de tot dan toe geapliceerde dosis aangaf en die vanaf het begin van de bestraling voortdurend moest worden gecontroleerd. Volgens Holzknacht deden echter alleen beginners dit laatste. De meer ervarenen, zo leerde de praktijk, sloegen, al vertrouwend op hun routine, vaak de eerste controles van de open dosimeter over en keken pas na applicatie van ongeveer driekwart van de totale dosis voor de eerste maal op het instrument, waardoor de functie, die de open dosimeter had in het opsporen van het ontbrekende filter, werd te niet gedaan.

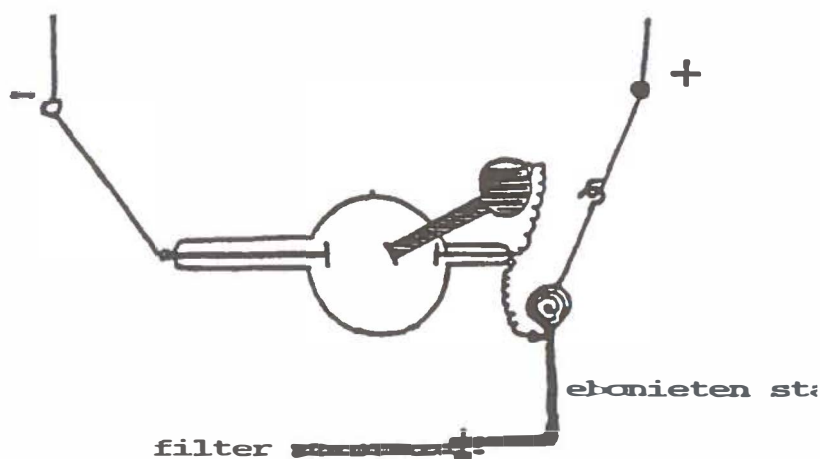


Figuur V.4 Methode van Driessen om het vergeten van het filter tegen te gaan. Het toestel is niet ingeschakeld, inschakeling van de buis is normaal gezien niet mogelijk (originele tekening van Driessen uit 1922).

Een tweede methode, die volgens Holzknecht in hoge mate bijdroeg aan het voorkómen van het vergeten van het filter, was de invoering van een *vaste volgorde* voor de handelingen, die vereist waren voor de veldinstelling; het inschuiven van het filter moest in deze volgorde als een vast onderdeel beschouwd worden. Vóór het inschakelen van het apparaat was een blik op het filter voorgeschreven. Deze vaste sequentie sloot evenwel vergissing of nalatigheid niet uit, zodat genoemde fout nu en dan wel op moest treden, hetgeen de gemoedsrust van de werkers niet ten goede kwam. Holzknecht beweerde zelfs, dat een groot deel van de röntgennecroses die in 1920 optraden, het gevolg was van het vergeten van het plaatsen van het filter. De röntgenlaborant, die de fout had gemaakt, wist volgens hem niet, dat hij het filter vergeten had, wél echter, dat hij het iedere keer plaatste en het daarom ook deze keer geplaatst moest hebben. Ook bij het verwijderen van de filters uit de schuif viel de fout niet op: als men volgens de steeds weer uitgevoerde routine in de schuif geen filter vond, was men er van overtuigd het er al uitgehaald te hebben.

De derde methode had Holzknecht samen met de röntgentechnicus Bitza ontwikkeld. Het betrof de invoering van een *akoestisch filteralarm*, dat als volgt was geconstrueerd (figuur V.6): een vonkbrug was tussen kathode en hoogspanningsbron geschakeld.

Als de hoogspanningsbron werd ingeschakeld, waardoor de röntgenbuis in werking trad en er was geen filter ingebracht, waardoor de vonkbrug niet



Figuur V.5 Methode van Driessen om het vergeten van het filter tegen te gaan. Het filter vormt de elektrische schakel tussen spanningsbron en röntgenbuis, waardoor de buis in werking kan treden (originele tekening van Driessen uit 1922).

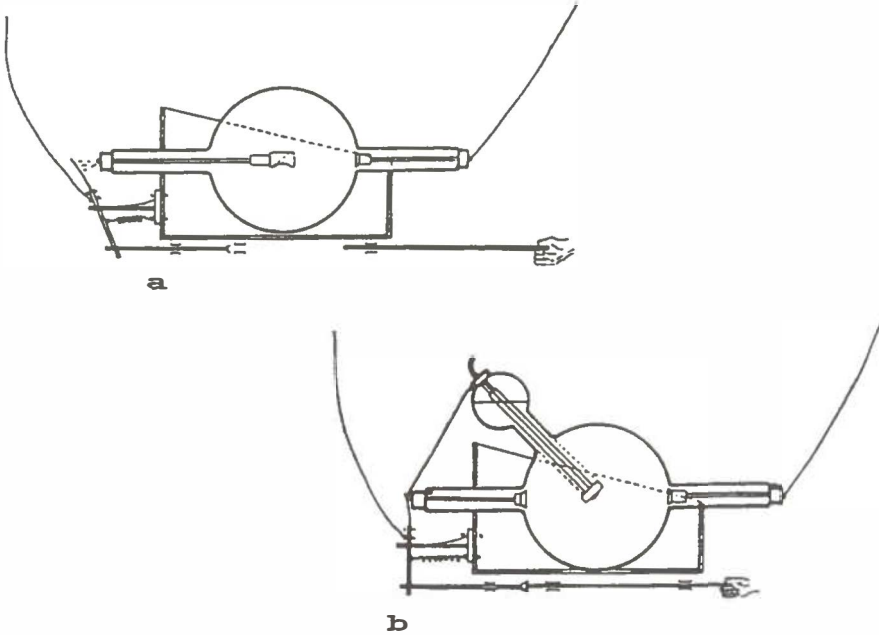
was kortgesloten, sprongen vonken over van vonkbrug naar kathode, hetgeen een knisperend geruis teweegbracht, dat duidelijk hoorbaar was. Een mechanische veer zorgde ervoor, dat de vonkbrug bij ontbreken van het filter niet in verbinding stond met de kathode.

Was het filter wel ingebracht, dan zorgde het filter mechanisch voor het tot stand komen van contact tussen vonkbrug en electrode; hierdoor sprongen geen vonken meer over en trad het alarmerende lawaai niet op.

De ervaringen van Holz knecht met dit filteralarm waren goed, al bood de methode geen bescherming tegen het plaatsen van een verkeerd filter.

Twee ervaren röntgenlaboranten kregen naar zijn ervaring maandelijks een- tot driemaal het signaal te horen. Dit betekende natuurlijk nog niet, dat anders de bestraling volledig zonder filter zou zijn verlopen. Het gevoel van zekerheid, dat deze methode met zich meebracht, werd door het personeel als een weldaad ervaren. Het gevaar van het vergeten van de stralenfilters werd volgens Holz knecht door het akoestisch filteralarm vrijwel geheel geëlimineerd. (25)

De Amerikaan Pfahler meende in 1921, dat het gevaar, dat uitging van het weglaten van het filter, groter was geworden, doordat in de dieptetherapie steeds hardere straling werd toegepast. Ook hij ontwikkelde een preventieve methode. Hij bond een stuk rode zijde aan de rand van de röntgenbuis, bóven de plaats waar de filters werden ingeschoven, zodanig dat het voor de opening hing. Als het filter was ingebracht, hield dit het lint omhoog, waardoor dit laatste niet meer zichtbaar was. De lap kon ver-



Figuur V.6 Akoestisch filteralarm van Holz knecht.

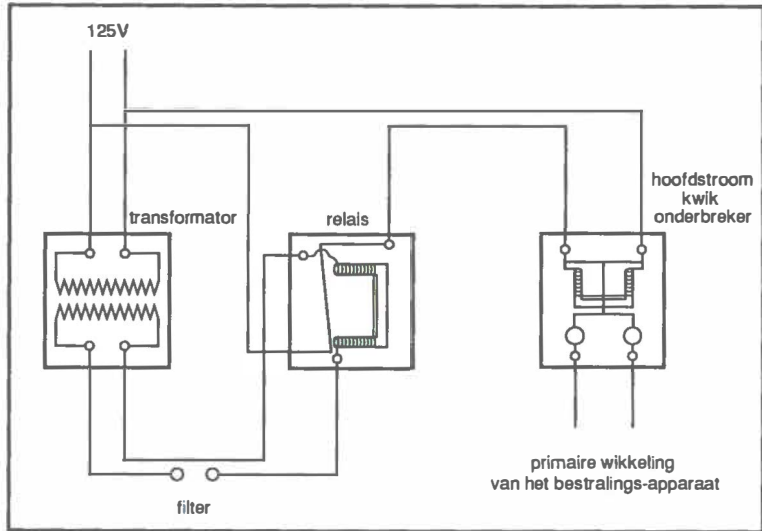
- a) Het filter is niet volledig ingeschoven, waardoor de vonkbrug open staat en een knisperend geluid maakt.
 b) Het filter is volledig ingeschoven, waardoor de vonkbrug gesloten is en geen signaal geeft.

zwaard worden met een stukje aluminium of asbest, zodat ze snel zou vallen als er geen filter was aangebracht. (26)

De Nederlandse röntgenarts Dietz had in 1918 opgemerkt, dat ook een middel gevonden moest worden om te voorkómen, dat men, overgaande van een behandeling met een zwak filter tot een behandeling met sterk gefiltreerde stralen, of omgekeerd, vergat het filter te verwisselen.

Zijn collega Mulié had er daarna op gewezen, dat dit probleem opgelost kon worden door aan ieder filter een ebonieten staaf à la Driessen te bevestigen en deze staven al naargelang het filter, waaraan zij verbonden waren, verschillend te kleuren. (27) Pfahler bedacht in 1921 een soortgelijke oplossing als Mulié, zij het, dat hij gekleurde linten aan de verschillende filters bevestigde. Aangezien iedereen, aldus Pfahler, tijdens expositie de ogen gericht hield op de patient en de installatie, konden er slechts enkele seconden voorbijgaan voordat men de verkeerde kleur van een lint bemerkte. (28)

De Leidse röntgenoloog Steenhuis beschreef in 1921 een geheel eigen methode om het vergeten van het plaatsen van het filter tegen te gaan (figuur V.7). Hij gebruikte een schakeling, die er voor zorgde, dat de



Figuur V.7 Schakeling volgens Steenhuis om het vergeten van het filter te verhinderen.

primaire stroom van het röntgentoestel gesloten werd via een relais, dat op een secundaire spanning van acht volt werkte en dat geactiveerd werd door het filter volledig in te schuiven. Via een kwikschakelaar werd de primaire stroomkring gesloten. Wanneer het filter vergeten was, of niet geheel in het statief was gestoken, kon de röntgenbuis niet in werking treden.

Zelfs bij urenlang gebruik van het toestel werd zijn systeem niet warm en vertoonde het geen gebreken. Ook eventuele statische ladingen op het statief vóór de buis hadden geen invloed op de spanning van acht volt. Het grote voordeel van deze schakeling was, aldus Steenhuis, dat het degene, die bestraalde, een grote mate van rust gaf te weten, dat hij geen kwaad kon doen. De patiënt liep niet meer het gevaar door het vergeten van het filter een röntgenzweer te krijgen. (29)

De incorrecte toepassing van stralenfilters is in de periode 1904-1930 uitgegroeid tot een belangrijke oorzaak van stralenschade bij patienten. Groedel, Liniger en Lossen hadden in 1927 69 gevallen van huidbeschadiging door radiotherapie verzameld, waarvan verreweg de meeste eigen waarnemingen betroffen. In vijftien gevallen bleek de oorzaak van de schade op filtratiefouten te berusten. (30)

Holzknacht en Strauss noemden in 1922 het vergeten van het filter een hoofdoorzaak van stralenbeschadiging van patienten. (31) De enorme aandacht, die dit probleem in de jaren 1918-1925 in de radiologische literatuur kreeg, lijkt deze opvatting te bevestigen. Het feit, dat deze oorzaak van stralenschade na de oorlog sterk op de voorgrond trad, hangt ook samen met de in deze periode optredende verspreiding van röntgenbuizen onder artsen zonder radiologische ervaring of opleiding. Deze proliferatie was op haar beurt het gevolg van de groeiende belangstelling van medici voor röntgenologie door de rol van dit vak in de oorlogschirurgie (zie hoofdstuk IV). De Duitse radioloog Wilhelm Flaskamp schatte, dat in deze jaren 50% van de schadegevallen werd veroorzaakt door het vergeten van het filter, of door het gebruik van verkeerde filters. (32)

De incorrecte filtratie heeft dan ook belangrijk bijgedragen aan het optreden van het derde maximum in de incidentie van röntgenstralenschade bij patienten, zowel in de röntgentherapie als in de röntgendiagnostiek.

De rond 1920 ontwikkelde methoden, die tegen moesten gaan, dat men het filter vergat te plaatsen, sorteerden echter relatief snel effect: Otto Strauss meende in 1925, dat röntgenschade als gevolg van onjuiste filtratie door de genomen maatregelen nauwelijks meer voorkwam. (33)

Holzknacht daarentegen wees er nog in 1927 op, dat in veel röntgenbuizen, die voor doorlichting en opnamen werden gebruikt, filters ontbraken en dat de preventiemethoden evenmin overal werden gebruikt. (34)

Toch werd foutieve filtratie in deze jaren een steeds minder belangrijke oorzaak van stralenschade. Aan het einde van de jaren twintig waren schadegevallen als gevolg van deze oorzaak zeldzaam geworden.

Anders lag dit in de *radiumtherapie*. De schadegevallen, die in de curietherapie werden gezien, waren altijd het gevolg van overdosering en uitte zich in de vorm van dermatitis, mucositis of osteoradionecrose. De filtratie was in de radiumtherapie vóór 1907, het jaar, waarin de Parijse radiumtherapeut Dominici als eerste een 0.5 millimeter dik platinafilter gebruikte, nog onbekend. Het radiumzout werd voor dat jaar toegepast in glasbuisjes, waarvan de wanden alleen een deel van de β -stralen tegenhielden.

Het gevaar van de niet gefilterde radiumstraling lag niet zo zeer in de γ -straling, dan wel in de weinig doordringende β -straling: na een paar minuten durende toepassing van ongefilterde stralen had de huid al een behoorlijke dosis β -stralen ontvangen, terwijl de diepe weefsels nog nauwelijks waren beïnvloed. De eerste ongelukken uit de curietherapie berustten op deze oorzaak. Men diende in de radiumtherapie niet alleen de β -stralen weg te filteren, maar ook de hardste onder de door radium uitgezonden γ -stralen te gebruiken. Om deze reden werd de filtratie al vrij snel equivalent gemaakt aan één millimeter platina. Later werden, met name voor vaginale en rectale applicaties, filters van twee millimeter platina ingevoerd; deze filtratie was ook geschikt voor transcutane applicatie. Vergeten van het filter gaf in de curietherapie soortgelijke gevolgen als in de röntgentherapie. In de oppervlakkige curietherapie gebruikte men, bij de behandeling van bijvoorbeeld angiomen, geëmailleerde platte applicators,

die direct op de huid gelegd werden. De 'plaques' moesten met veel voorzichtigheid worden toegepast en zij mochten zonder filter slechts enkele minuten worden geapliceerd. Deze radiumhouders konden worden gecompleteerd door middel van lood- of aluminiumfilters van toenemende dikte, die de exposie-tijd vijf, tien en zelfs honderd maal langer konden doen zijn, eer eenzelfde huidreactie werd opgewekt. Als dán echter het filter werd vergeten, traden zeer ernstige ongevallen op.

In de interne curietherapie werd radium meestal intra-uterien geapliceerd, bijvoorbeeld voor de behandeling van cervixcarcinoom. In het begin van onze eeuw werd deze methode toegepast door middel van straling, die weinig werd gefilterd (0,2 - 0,3 millimeter platina), zodat ook zachte gamma-stralen en een deel der bèta-stralen werden doorgelaten. Niet zelden werden dan ook ongevallen gezien in de vorm van recto-vaginale of vesico-vaginale fistels. In de jaren dertig ging men ook in de inwendige radiumtherapie filters van één tot twee millimeter platina gebruiken. Om fouten te vermijden, kregen radiumtubes in gespecialiseerde centra in deze periode veelal wanden aangemeten van één millimeter platina, in plaats van de eerder gebruikte glaswanden. Deze tubes werden bij vaginale applicatie in een buisje van platina of goud geplaatst, waardoor de totale filtratie equivalent werd aan filtratie met twee millimeter platina. Het vergeten van deze schede veroorzaakte niet meteen een ernstig ongeval, omdat het verschil in dosis tussen filtratie met één of twee millimeter platina daarvoor niet groot genoeg was. Ook in 1938 waren echter nog ondeugdelijke tubes met te weinig filtratievermogen (0,2 - 0,3 millimeter platina) in de handel verkrijgbaar: als de behandelend arts er niet aan dacht -en dit overkwam natuurlijk vooral de niet deskundige specialisten- om aanvullend te filteren, kon dit tot ernstige verbrandingen aanleiding geven.

Gamma-stralen konden, net als röntgenstralen, als ze op platina filters vielen, een meervoudige straling doen ontstaan (bestaande uit secundaire elektronen en Compton verstrooide fotonen), die bijzonder schadelijk was voor huid en slijmvliezen. Daarom was het absoluut noodzakelijk om de radiumhoudende tubes bij interne applicatie met een dik stuk zwart rubber te omgeven ('amettallique'), zodat de secundaire straling werd geabsorbeerd en daarnaast een zekere afstand tussen bron en mucosa tot stand werd gebracht, hetgeen de verhouding tussen oppervlakedosis en dieptedosis gunstig beïnvloedde.

Het merendeel van de ernstige ongevallen, die optraden bij inwendige radiumapplicatie, was het gevolg van de afwezigheid van dit secundaire filter. Coliez noemde in 1938 het plaatsen van een radiumbuis in vagina of uterus waarbij het metaal direct tegen de mucosa lag, en waarbij het secundaire filter van rubber was vergeten, een onnodige en ernstige professionele fout. (35)

Ook in de oppervlakkige en inwendige radiumtherapie is de foutieve filtratie na 1907 een belangrijke oorzaak van stralenschade bij patienten geworden. In de inwendige curietherapie werden bovendien twee soorten (primaire en secundaire) filters gebruikt. Beveiligingsmechanismen tegen het vergeten van deze filters waren niet volledig betrouwbaar aan te brengen; de behandelend arts moest er zélf aan denken, dat deze filters werden

aangebracht. Het is om deze reden, dat dit probleem in de radiumtherapie ook na 1930 een rol bleef spelen. In het optreden van het maximum in het aantal optredende radiumbeschadigingen bij patienten rond 1920 heeft de foutieve filtratie uiteraard een rol gespeeld, doch deze factor was niet de belangrijkste oorzaak van dit maximum (de belangrijkste oorzaken van dit maximum komen in de hoofdstukken VII en IX aan de orde).

V.5 Ampèremeter, voltmeter, klok en netspanning.

In de stroomketen van iedere röntgenbuis behoorden een voltmeter en een milliampèremeter te zijn aangebracht. Deze twee meters, die in de jaren 1904-1907 ter beschikking kwamen, konden naast hun functie voor het meten van de stroom ook worden gebruikt om een indruk te krijgen van de hardheid en de hoeveelheid van de geapliceerde straling. Een ampèremeter, die in de primaire stroomketen was geschakeld, gaf alleen informatie over de stroomsterkte in déze keten. Bij de gasbuizen gaf een op deze wijze geschakelde meter geen enkele informatie over de secundaire stroomsterkte. De secundaire stroomsterkte werd geheel bepaald door de aard van inductor en interruptor en door de effectieve spanning over de buis. In tegenstelling tot de secundaire stroomsterkte gaf de primaire stroomsterkte dan ook geen enkele informatie over de per tijdseenheid geproduceerde hoeveelheid röntgenstraling.

De milliampèremeter kon worden gebruikt voor meting van de secundaire stroomsterkte. Voor de gasbuizen gold echter, dat de waarde aangegeven door de milliampèremeter een te grove aanduiding was voor de hoeveelheid geëmitteerde straling en dat deze meter om deze reden voor dit doel niet te gebruiken was. Anders lag dit voor de vanaf 1913 geproduceerde gloeikathodebuizen. Het aantal milliampères van de secundaire stroom stond in directe relatie tot de door de gloeikathode uitgezonden hoeveelheid elektronen en daarmee tot de intensiteit van de opgewekte straling.

Als wisselstroom werd toegepast, gold, dat het aantal kilovolts, dat door de voltmeter voor de primaire stroom werd aangewezen, in relatie stond tot de hardheid van de straling. In de praktijk bleek het voor te komen, dat de apparatuur voor het meten van spanning en stroomsterkte ontoereikend was, of onbetrouwbaar in de aangegeven waarden. De ervaring had nochtans geleerd, dat een stoornis in milliampère- of kilovoltmeter nooit zodanig was, dat zij alléén de oorzaak van een verbranding was. De Duitse stralenschade-expert Otto Strauss betoogde in 1925, dat men in een vakkundig geleide röntgenpraktijk direct diende te zien, dat deze apparaten niet de juiste waarden aangaven. Als de praktikus zich eraan wende, voor iedere bestraling zijn buis te ijken, zouden stoornissen in de meetapparatuur voldoende opvallen. Het nameten van de waarden met een tweede instrument was trouwens volgens Strauss ten zeerste aan te bevelen. (36) In de radiotherapie werd de bestralingsduur vaak gemeten met speciaal voor dit doel geconstrueerde klokken. Ook werd gebruik gemaakt van wekkers, die na een aantal minuten rinkelden en tot doel hadden arts en personeel op de verstreken bestralingstijd attent te maken. Uiteraard

konden ook defecten in deze apparaten overdosering tot gevolg hebben. Om deze reden werd het verstandig geacht van twee klokken of wekkers tegelijk gebruik te maken.

In het begin van deze eeuw vertoonden de stroomvoorzieningen soms zodanige schommelingen in de netspanning, dat zij in het röntgenbedrijf tot complicaties aanleiding konden geven. Steuernagel was in 1919 een van de eerste radiologen, die op dit verschijnsel wees. Hij registreerde in het stadsnet van Würzburg schommelingen in de spanning van 170 tot 250 volt. (37) De fysicus Glocker en de artsen Schempp, Voltz en Wintz toonden in de jaren 1919-1922 aan, dat deze fluctuaties van invloed waren op de gegenereerde röntgenstraling en de geapliceerde dosis. (38) Als de netspanning, waarop de röntgenbuizen waren aangesloten, undulaties vertoonde, werkten deze versterkt door op de secundaire stroom. Een stijging van de netspanning had niet alleen tot gevolg, dat de röntgenbuis hardere straling ging produceren -waardoor meer straling door het filter het lichaam van de patient binnendrong- maar ook, dat de hoeveelheid geproduceerde straling toenam, doordat secundaire stroomsterkte en rendement van de buis stegen. De productie van röntgenstraling neemt niet lineair maar met de vierde macht van de hoogspanning toe! Op deze manier kon gemakkelijk overdosering optreden, ook al doordat een daling van de netspanning de overdosering bij lange na niet kon compenseren. De invoering van de spanningsregelaar, die de spanning over de buis constant hield, maakte aan dit probleem een einde. De schommelingen in de netspanning vormden een oorzaak van onder- en overdosering in het eerste kwart van deze eeuw; in 1925 speelde deze factor nauwelijks nog een rol bij het ontstaan van stralenschade bij patienten. (39) Groedel, Liniger en Lossen vonden in hun studie onder 38 gevallen van huidbeschadiging als gevolg van radiodiagnostiek, twee gevallen, die terug te voeren waren op fluctuaties in de netspanning. Van 69 radiotherapeutische schadegevallen was er één veroorzaakt door foute uitslag van een meter en waren twee het resultaat van netspanningsschommelingen. (40)

De toepassing van ondeugdelijke meters en klokken heeft, evenals de netspanningsschommelingen, voor 1930 in het ontstaan van stralenschade bij patienten weliswaar een rol gespeeld, maar heeft in dit opzicht een veel geringere betekenis gehad dan de incorrecte toepassing van filters en het gebruik van te zachte straling. (41)

V.6 Afscherpende lamellen en kappen.

De eerste onderzoekers realiseerden zich, dat de ter hoogte van de antikathode geproduceerde straling een brede stralenkegel vormde, terwijl de elders in de röntgenbuis gevormde stralen in alle richtingen werden geëmitteerd. Enerzijds veroorzaakte deze diffuse straling sluiering van de fotografische platen, anderzijds was zij natuurlijk nadelig voor de mens. Bernhard Walter, röntgenfysicus te Hamburg en vriend van Albers-Schönberg, raadde in 1897 ter eliminatie van de diffuse stralen het gebruik van een loodscherp aan, waarin een kleine opening was aangebracht,

waardoor alleen de van de antikathode afkomstige straling mocht passeren. Dit scherm diende om deze reden zo dicht mogelijk voor de röntgenbuis te worden geplaatst met de opening ter hoogte van de antikathode. (42) Overigens construeerde Walter dit scherm niet uit overwegingen van stralingsbescherming, zijn doel was enkel het bereiken van scherpere röntgenbeelden. Hij vervaardigde echter op deze wijze wel als eerste een diafragma, korte tijd later reeds een wezenlijk onderdeel van iedere röntgeninstallatie. (43) In 1897 construeerde de Duitse röntgenpionier Max Levy-Dorn een variant op Walters diafragma. Levy-Dorn sprak wél van een 'Vorrichtung zum Schutz des Untersuchers gegen X-Strahlen'. (44) Hoewel deze eerste diafragma's zware, onhandelbare, loodschermen waren, waardoor zij in deze vorm weinig zijn gebruikt, was hun invoering op langere termijn van groot belang voor de radioprotectie van artsen en patiënten.

Door het bekend raken van de eerste gevallen van huidverbrandingen werden reeds in 1896 pogingen ondernomen om de gezonde huid tegen straling te beschermen. In de eerste jaren werd getracht deze bescherming te bereiken door de te bestralen huid in te smeren met vaseline en zinkhoudende zalven, of door het aanbrengen van kartonnen lamellen. Aangezien de praktijk spoedig uitwees, dat deze middelen nauwelijks bescherming boden, werden zij door sommige geneesheren vervangen door zilverpapier, overigens een materiaal, dat de stralen evenmin voldoende absorbeerde. (45)

In de jaren 1896-1898 werd reeds door een aantal schrandere röntgenpioniers gebruik gemaakt van een beschermingsmateriaal, dat tot op de dag van vandaag haar waarde heeft behouden: lood. Emil Grubbé, de röntgendebutant uit Chicago, was waarschijnlijk op 29 januari 1896 de eerste, die lood voor beschermingsdoeleinden bij een patient toepaste. (46) De Bernse röntgenartsen Gassmann en Schenkel bedekten in 1898 de gezonde huid van patienten met loodfolies van 0.5 millimeter dikte, waarmee zij de omgeving van het te bestralen huidgedeelte over een breedte van 20 - 30 centimeter afschermden. (47) De Zweedse röntgenologen Sjögren en Sederholm keerden zich in 1900 tegen de 'bescherming' van de huid door middel van zilverpapier: het gebruik van dit materiaal kon naar hun mening louter aanleiding geven tot het ontstaan van verbrandingen van de gezonde huid. Zij achtten enkel en alleen nog afdekking door middel van loodlamellen verantwoord. Deze opmerking was vooral van belang, omdat men zich in deze periode in de röntgentherapie grotendeels richtte op de behandeling van huidtuberculose, een aandoening, waardoor frequent het gezicht werd aangedaan. Voor de bescherming van de gezonde aangezichtshuid werden speciale maskers gevormd, waarvan alleen de loodhoudende (bij juiste positionering!) voldoende protectie boden. (48)

De toepassing van lood als beschermingsmateriaal raakte vrij snel in zwang. Holz knecht en Grünfeld concludeerden in december 1902 ten aanzien van het gebruik van lood door röntgentherapeuten:

'Die meisten benützen Bleiblech, deren Dicke von ihrer Aengstlichkeit oder davon abhängt, ob sie schon eine schwere Schädigung erlebt haben oder noch nicht.' (49)

Overigens rekenden beide Weense röntgenpioniers en passant af met het misverstand, dat kleding voldoende bescherming zou bieden tegen de schadelijke werking van straling:

'Kleider vermögen natürlich durchaus keinen Schutz zu gewähren. Welchen Sinn hätte es auch gehabt, sich den Kopf über Schutzmittel zu zerbrechen, wenn jeder Lappen Schutz böte.' (50)

Holz knecht en Grünfeld leverden in 1902 het definitieve bewijs voor de beschermende werking van lood. Doordat Holz knecht een eigen dosimeter had ontwikkeld (zie hoofdstuk VI), waren hij en zijn medewerker in de gelegenheid om verschillende materialen op hun beschermende werking te controleren. Uit hun onderzoek bleek, dat zilverpapier de stralen nauwelijks absorbeerde, terwijl lood een uitstekende bescherming tot stand bracht. Aan het gebruik van lood kleefden evenwel enkele nadelen, die door Holz knecht en Grünfeld als volgt werden omschreven:

'Das anfangs glatte und plastische Stück (Blei) ist nach kurzem Gebrauch ganz verknittert, indem die kleinsten Biegungen beim Streichen sich nicht wieder glätten. Die zahllosen dadurch entstandenen Rippen setzen die Plastizität stark herab und die Knickungen solcher starker Fältchen führen zu Brüchen. So zeigt ein gebrauchtes Bleiblech, gegen das Licht besehen, zahlreiche kleinere und grössere Löcher. Inzwischen ist es durch Oxydation grauschwarz geworden und besitzt mit seiner Fältelung ein unappetitliches Aussehen. Aus den Blicken der Patienten merkt man, dass sie zu der Reinheit der bald so verbraucht aussehenden Stücke kein rechtes Zutrauen haben und es wird auch häufig darüber befragt. Und so konnten wir zunächst daran denken, häufig neues Bleiblech zu verwenden, welches noch glatt und leicht zu reinigen ist. Dies aber hat den Nachteil, stark abzufärben, die Hände des Arztes, die Wäsche, alles wird mit Blei beschmutzt, und neben dieser Unannehmlichkeit bringt das fortwährende Hantieren mit solchem Material die Gefahr der Bleiintoxikation mit sich.' (51)

Beide Weense radiologen reikten een eenvoudige oplossing aan, die aan alle nadelen van het gebruik van lood een einde maakte, zonder de gunstige eigenschappen ervan negatief te beïnvloeden. Het was hun gelukt, loodlamellen op zodanige wijze beiderzijds met rubber te bedekken, dat de rubberlaagjes zelfs bij verhitting tot 100 °C niet loslieten. Deze 'Kaut-

schukbleiplatten' konden dan ook zonder problemen worden gewassen en gesteriliseerd. (52)

Reeds rond de eeuwwisseling werd in de stralingsbescherming loodhoudend glas toegepast. Een andere belangrijke stap voorwaarts was de invoering van loodgummi, rubber vermengd met loodpulver. Loodgummi was flexibel en kon in allerlei vormen en groottes worden gemaakt en was mede daardoor zeer geschikt voor verwerking in buiskappen. De röntgenbuis zond in principe straling uit in alle richtingen en werd daarom vanaf de periode 1902-1903 omhuld door een kap van loodgummi of loodglas, die behalve de nuttige bundel geen straling diende door te laten. Dit afschermen van de buis was een fenomeen, dat slechts langzaam op gang kwam, doordat niet iedereen beseftte, dat dit voor de bescherming van werker en patient van cruciaal belang was.

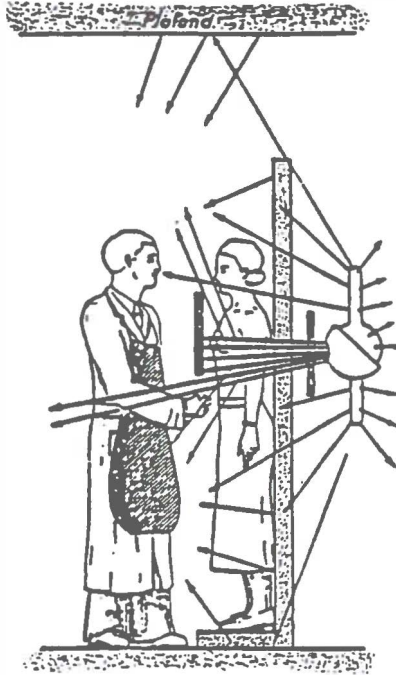
De Amerikaanse 'dentist & X-ray engineer' Herbert Rollins beschermde zichzelf echter reeds in 1898 tegen zachte straling door zijn röntgenbuis in een houten kist te plaatsen, waarvan hij de binnenzijde met loodverf had bestreken. (53) Albers-Schönberg wees in de jaren 1902 en 1903 herhaaldelijk op het belang van goede afscherming van de röntgenbuis. Hij schreef in 1903:

'Am besten wird die zu Untersuchungszwecken benutzte Röhre in einem mit Blei ausgekleideten Kasten untergebracht, welch letzterer ein Diaphragma enthält'. (54)

De waarschuwingen van Albers-Schönberg waren evenwel niet aan iedereen besteed: nog in 1914 kwamen huidverbrandingen voor als gevolg van toepassing van niet afgeschermd röntgenbuizen! (55)

Het kwam trouwens ook voor, dat kappen, die door de fabrikant als volledig stralendicht werden afgegeven, dit in werkelijkheid niet waren, of dat hoezen na verloop van enige tijd barsten gingen vertonen, waardoor ongefilterde straling naar buiten kon treden. Er waren kappen op de markt, die bestonden uit een dubbele houtwand, waartussen zich meniepoeder bevond. Als het hout ging krimpen of rotten, ontsnapte de menie via de ontstane scheuren, of via de gaten van de schroeven, waardoor de afschermende werking van de kap verloren ging. (56)

In 1917 had Coolidge er al op gewezen, dat vanaf de achterzijde en de steel van de antikathode van röntgenbuizen ook stralen werden geëmitteerd. In 1919 hadden de radiologen Schinz en Schwarz ook aandacht aan deze straling besteed. Deze auteurs hadden deze straling echter alleen als een storend effect bij diagnostische opnamen beschouwd. In 1921 viel het de Berlijnse röntgenartsen Halberstädter en Tugendreich op, dat röntgenplaten, die op 22 meter afstand van een Coolidge-therapiebuis in een kast lagen, zwarting vertoonden. Zij schreven dit verschijnsel toe aan straling, die afkomstig was van de achterkant van de antikathode van de röntgenbuis. (57) De achterwaartse straling, die ook bleek op te treden bij diagnostische gloeikathodebuizen en gasbuizen, bleek minder hard te zijn dan de voorwaarts gerichte focale straling. De op dat moment gangbare beschermingskappen lieten niettemin juist de achterkant



Figuur V.8 De röntgenbuis is slechts gedeeltelijk door een kap afgeschermd. Arts en patient worden niet alleen door secundaire straling getroffen, maar ook door ongefilterde primaire straling.

van de röntgenbuizen vrij (zie figuur V.8). (58)

Bovendien had iedere beschermingskap aan de zijkanten een voor linker respectievelijk rechter buishals bestemde spleet. Via deze spleten ontsnapte een deel van de aan achterkant en steel van de antikathode gevormde röntgenstraling. Zowel patienten, artsen als derden werden daardoor aan deze stralen blootgesteld. Het grootste gevaar liep de patient: de afstand van antikathode tot patient was gering, zodat de patient door een aanzienlijke dosis van deze ongefilterde straling kon worden getroffen, met als gevolg kans op zware stralenschade. Halberstädter beschreef in 1921 drie patienten, die op deze wijze ernstige stralenschade hadden opgelopen. (59) Een kap had een ronde opening, waardoor de centrale stralenkegel kon uit treden. Voor deze opening konden tubi worden geplaatst, gemaakt van loodglas (bijvoorbeeld aanzetbuizen voor het bestralen van kleine huidgebiedjes), of van hout, dat met loodgummi was bedekt. Bij niet-intensieve bestraling, bijvoorbeeld bij oppervlaktetherapie, gaven deze aanzetstukken voldoende bescherming van de gezonde lichaamsdelen.

De afscherpende werking van loodglas en met name van loodgummi was echter relatief gering. Alleen de minder penetrerende stralen werden tegengehouden; de harde stralen, die door de Coolidge-buis werden opgewekt, drongen er in niet te onderschatten mate doorheen. Daarbij kwam nog, dat de Coolidge-buis ook via de antikathode-hals stralen uitzond, dus van een plaats, die zich bij de gebruikelijke statieven buiten de afscherpende kap bevond. Daardoor moest, om maximale bescherming te verkrijgen, de gehele lichaamsoppervlakte van de patient worden afgedekt met loodgummiplaten, die minstens equivalent waren aan twee millimeter zuiver lood. (60)

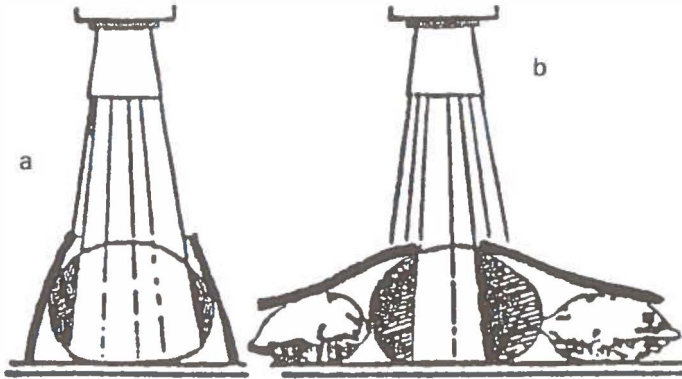
De afdekking van het hoofd werd bij langdurige bestralingen door de patient als zeer onaangenaam ervaren. Om deze reden gebruikte men daarvoor een speciaal beschermingsstatief, dat door Albers-Schönberg was ontworpen.

Dit statief bestond uit een met lood beslagen scherm, dat verstelbaar was aangebracht op een statief; in dit scherm bevond zich een raam van loodglas, zodat een angstige patient de buis tijdens bedrijf kon zien en gerust gesteld werd. Bij bestraling van de oogleden en de naaste omgeving van het oog, kon dit orgaan beschermd worden door middel van loodglas-schillen, die onder de oogleden op de bulbus gelegd konden worden. Als, zoals in de dermatologie vaak voorkwam, alleen kleine plekje van het lichaamsoppervlak bestraald dienden te worden, kon men de gezonde delen afdekken met stukjes loodgummi, of met leucoplastloodfolie, waaruit met een schaar kleine stukjes geknipt waren, die overeenkwamen met het te bestralen gebied. Ook kon men de niet te bestralen delen met bariumpasta besmeren; barium werd met watten tot een dikke pasta gemengd en deze pasta werd dan met een spatel enige millimeters dik op de huid aangebracht. (61)

Bij afstandsvelden reikten de aanzetstukken, die hoogstens vijftig centimeter lang waren, niet tot aan de patient; de buis eindigde dan al ver voor het lichaam. In dit geval moest de afdekking van het lichaam van de patient bijzonder zorgvuldig worden uitgevoerd. Dit gebeurde door middel van loodgummi-stukken, die, om universeel bruikbaar te zijn, in stukken van verschillende vorm en grootte gesneden werden. Deze stukken werden door middel van eenvoudige houten klemmen in de gewenste positie aan elkaar vastgezet, zodat de veldgrenzen tijdens bestraling niet konden verschuiven. (62)

Een vaak gemaakte fout bij de afdekking van de patient was, dat de loodgummi-afdekking parallel aan de af te dekken delen werd neergelegd (fig. V.9a). Daardoor konden de röntgenstralen onder de afdekking komen, waardoor zij een veel groter lichaamsvolume penetreerden dan de bedoeling was. Om effectieve afscherping te bereiken, moest de loodgummi-afdekking loodrecht op de stralenbundel en evenwijdig aan het te bestralen vlak lopen, niet aan het af te dekken vlak. Dit kon vaak alleen worden bereikt door ondersteuning van de loodgummi-stukken door bijvoorbeeld zandzakjes (fig. V.9b).

Daarnaast was het van belang om een tubus van de juiste grootte te kiezen en bijvoorbeeld niet een tubus met een grote diameter te nemen voor een



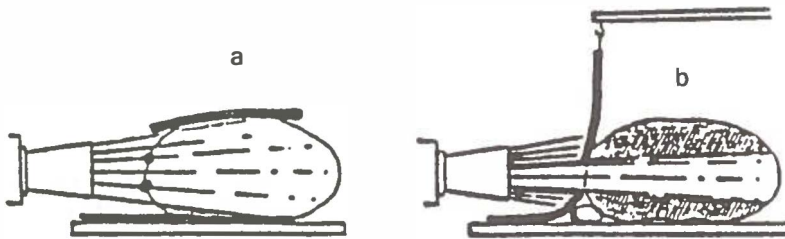
Figuur V.9. Foute (a) en correcte (b) afdekking van de patient.

relatief klein bestralingsveld.

Een andere vaak gemaakte fout was, dat men dacht voldoende afdekking te hebben bereikt, als de patient zodanig met loodgummi was bedekt, dat alleen het te bestralen veld nog te zien was. Dit kon tot noodlottige fouten leiden. Om dit te voorkomen, diende men in gedachten in het brandpunt van de röntgenbuis plaats te nemen en van hieruit na te gaan, of de patient vanuit de focus nog door ongewenste stralen kon worden getroffen. Op deze wijze kon per patient de juiste afdekking worden bepaald. Voor een goede afdekking was keuze uit een ruime voorraad kaf- en zandzakken een voordeel (figuur V. 10 dient als voorbeeld). (63)

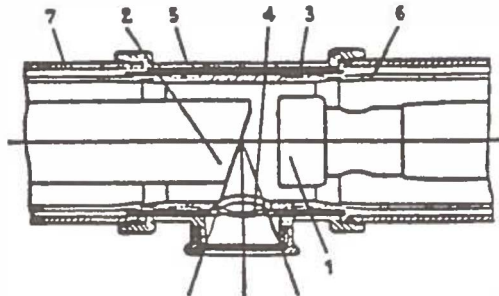
Het kwam meer dan eens voor, dat een op zichzelf deugdelijke buiskap verkeerd werd toegepast: in een bepaalde kliniek in Frankrijk werd volgens Coliez een aantal jaren een hemisferische kap gebruikt, waarin de röntgenbuis zodanig verkeerd was geplaatst, dat de antikathode een behoorlijke hoeveelheid ongefilterde straling op hoofd en voeten van de patienten uitzond. (64)

Bij röntgentoestellen, die 'onnutte' stralen doorlieten, bleek het in de praktijk bijzonder moeilijk te zijn om de afscherming afdoende te maken. Dit bracht de Nederlandse natuurkundige Albert Bouwers er toe om in 1924 een röntgenbuis te construeren, die aan deze bezwaren een einde maakte. Bouwers, die hoofd was van het Röntgen Laboratorium van Philips Eindhoven, waar men zich, mede dankzij de inspanningen van Wertheim Salomonson, vanaf 1916 intensief met het ontwerpen van röntgenbuizen bezig hield, had een materiaal gevonden, dat gemakkelijk aan glas gesmolten kon worden en vacuümdicht was. Het betrof een legering van chroom en ijzer, die zeer geschikt bleek voor de vervaardiging van een nieuwe röntgenbuis. De glazen omhulling, die bij alle bestaande buizen werd toegepast, had als nadeel, dat straling er gemakkelijk door heen ging. Dit glas nu, bleek te kunnen worden vervangen door het nieuwe materiaal. Een ruimte, waarin zich de gloeidraadkathode bevond, was rondom met chroomijzer afgesloten, zij het, dat in de onderwand een opening was



Figuur V.10

- a). Foute afdekking van de patiënt. Het te bestralen veld ligt tussen de twee stippen; een veel groter gebied wordt echter bestraald.
 b). De patiënt is correct afgedekt. Alleen het te bestralen veld wordt nog door de stralen getroffen.



Figuur V.11 Het principe van de 'metalixbuis': 1- gloeidraad-kathode 2- antikathode 3- chroomijzeren wand 4- opening waardoor de röntgenbundel uittreedt 5- wand van lood en koper 6- glazen buis 7- wand van bakelit

aangebracht. Tegenover de opening bevond zich de antikathode, die door middel van een glazen buis was geïsoleerd van de genoemde chroomijzeren cylinder. De antikathode bestond uit een wolframspiegel. De röntgenstraling, die ontstond aan de antikathode, trad via de opening in het chroomijzer naar buiten. De uittredende stralen vormden een kegelvormige bundel, die begrensd werd door de metalen randen van de opening. Buiten deze bundel traden geen stralen uit, doordat de chroomijzeren wand was

omgeven door een laag lood en deze weer door een laag koper. Deze drie lagen metaal waren zo dik, dat zelfs de hardste stralen van de vigerende buizen tot op minder dan een tienmiljoenste deel werden verzwakt: de buis was geheel afgeschermd tegen lekstraling (zie figuur V.11)

Deze röntgenbuis, die ook wel 'metalixbuis' werd genoemd, kon worden toegepast in zowel therapie als diagnostiek en bracht uit oogpunt van stralingsbescherming twee belangrijke voordelen met zich mee:

- de stralenbelasting van arts en patient werd door de invoering van deze buis gereduceerd.
- het was mogelijk om het kathodedeel van de buis aan aarde te leggen, zodat men lichaamsdelen -bijvoorbeeld de tanden- tot op zeer kleine afstand kon naderen, zonder gevaar voor overspringende vonken. Deze kleine afstanden maakten het mogelijk, dat het doorstraalde gebied sterk werd verkleind, waardoor de patienten veel kleinere stralendoses opliepen. (65)

In de jaren dertig werden kappen geconstrueerd, die ook bij röntgenbuizen, die met voltages tot 300 kilovolt werkten, zeer goed tegen primaire en secundaire straling bescherming boden.

Een belangrijke stap in de radioprotectie was in de periode 1902-1903 de invoering van buiskappen, ook al was de bescherming, die deze kappen boden, tot aan 1924 niet volledig. (66) Bovendien waren niet alle artsen meteen bereid de zware loden kappen toe te passen, omdat dit het gebruik van de röntgenbuis ernstig bemoeilijkte.

Het weglaten van buiskappen en het gebruik van ondeugdelijke omhullingen hebben, net als de defecte ampère- en voltmeters en de fluctuaties in de netspanning, voor 1930 in het ontstaan van stralenschade bij patienten weliswaar een rol gespeeld en daardoor bijgedragen aan het derde maximum in de incidentie van röntgenstralenschade bij patienten in de röntgentherapie en in de röntgendiagnostiek, maar hebben in dit opzicht een veel geringere betekenis gehad dan de incorrecte toepassing van filters en de toepassing van te zachte straling. (67)

V.7 Versterkingsschermen en films.

Al in 1896 was de gedachte ontstaan om fluorescerende stoffen te gebruiken ter versterking van de fotografische werking van röntgenstraling, om op deze wijze de belichtingstijden aanzienlijk te kunnen verkorten. Steeds meer scheikundige verbindingen werden voor dit doel uitgetest, zodat stoffen met steeds groter fluorescerend vermogen in de röntgenologie konden worden toegepast, zowel voor doorlichting als voor radiografie. Werd er eerst nog met gewone fotografische platen gewerkt, eind 1896 werd de versterkingsfolie reeds ingevoerd, waardoor de belichtingstijden bij fotografische opnamen tot een tiende konden worden gereduceerd. Met name folies van calciumwolframaat werden veel gebruikt.

Vanaf 1896 werd de zuiverheid van de samenstellende elementen van de calciumwolframaat folies voortdurend verbeterd, waardoor de afbeeldingen van steeds betere kwaliteit werden. Het in 1895 door Röntgen gebruikte barium-platinacyaanur werd al spoedig obsoleet, omdat het te weinig fluorescerend was. In de periode 1911-1914 werd in de fabricage van lichtschermen zinksilicaat ingevoerd en in 1919 voor dit doel ook cadmiumwolframaat; de introductie van deze beide stoffen betekende een belangrijke stap voorwaarts in de verbetering van de kwaliteit van de versterkingsschermen.

Levy en West voerden in 1933 de zilveractivering van zinkcadmiumsulfide in voor toepassing in versterkingsschermen; de emissiekleur van dit proces strookte goed met de kleurengevoeligheid van het menselijk oog, zodat optimale scherpste werd verkregen. (68)

In het begin van deze eeuw werd echter van de versterkingsschermen nog niet algemeen gebruik gemaakt, omdat de eerste schermen de scherpste van de röntgenafbeeldingen eerder verminderden dan verbeterden. (69) In de periode 1910-1920 werd dit euvel evenwel definitief overwonnen. (70)

Nederlandse radiologen, zoals Voorhoeve, Wertheim Salomonson en Heilbron, gebruikten de versterkingsschermen in deze periode reeds volop en wisten hiermee voor die tijd uitstekende beelden te verkrijgen. (71)

In de eerste jaren van deze eeuw waren de belichtingstijden in de röntgendiagnostiek door de technische vooruitgang van de röntgenbuizen en de verbeterde kwaliteit van de versterkingsschermen reeds aanmerkelijk korter geworden. Enkele ontwikkelingen tijdens de Eerste Wereldoorlog zouden echter nóg kortere belichtingstijden mogelijk maken.

Voor de oorlog importeerden de Amerikanen vrijwel al de voor fotografie benodigde glasplaten uit België. Na de Duitse invasie van dit land stakte echter de aanvoer van Belgisch glas, terwijl de Duitse aanvallen op geallieerde schepen import van glas uit andere landen sterk bemoeilijkte. Het Amerikaanse leger had evenwel steeds grotere aantallen van deze glasplaten nodig voor de militaire röntgeneenheden, die, anticiperend op de komende oorlog, in deze periode werden samengesteld. Glasplaten bleken echter, vanwege hun fragiliteit en grote formaat, ongeschikt voor gebruik in mobiele röntgeneenheden. Om deze redenen werd door het Amerikaanse leger een dringend beroep gedaan op de Kodak Company: deze firma zou voor de onpraktische glasplaten een bruikbaar alternatief moeten ontwikkelen. Het was de onderzoekers van Kodak al snel duidelijk, dat de oplossing van dit probleem lag in het gebruik van film in plaats van glas. Toen de Amerikaanse troepen eenmaal deelnamen aan de oorlog in Europa werd bovendien duidelijk, dat de 'urgency of war' snelle en efficiënte ontwikkeling van röntgenfoto's vereiste. In 1918 bracht de Kodak Company een nieuw type röntgenfilm, de 'duplitzed film', een flexibele celluloid film, die aan beide zijden met een zeer gevoelige emulsie was overgoten. Deze zeer sensitieve films maakten veel kortere belichtingstijden mogelijk. In de jaren na de oorlog werden zij nog meer geperfectioneerd en daardoor liep het gebruik van glasplaten snel terug. (72)

Een andere ontwikkeling, die van groot belang was voor de röntgendiagnostiek, was de invoering van het Potter-Bucky rooster in de jaren 1917 -

1920. De Berlijnse röntgenoloog Gustav Bucky had in 1913 aangetoond, dat de 'plaag' van menig röntgenoloog, namelijk het frequent voorkomen van mistige röntgenbeelden, werd veroorzaakt door strooistraling. Bucky construeerde een rooster, dat geplaatst werd tussen patient en fotografische plaat en dat bestond uit metalen strips, die de stroostralen absorbeerden eer zij de fotografische plaat konden bereiken. Het nadeel van het Bucky-rooster was, dat het zelf een schaduw veroorzaakte op de röntgenfoto. Bovendien nam de belichtingstijd erdoor weer enigszins toe. Het was om deze redenen, dat Bucky's uitvinding in eerste instantie weinig toepassing vond. Bucky realiseerde zich, dat de afbeelding van het rooster kon worden voorkomen door het tijdens de doorlichting te bewegen, maar hij slaagde er niet in om een praktisch bruikbare methode te ontwikkelen. Dit laatste gelukte de Amerikaanse röntgenoloog Hollis Potter (Chicago, Illinois) daarentegen wel. In 1917 construeerde deze arts een rooster, dat uit parallel verloopende gebogen strips bestond. Door het rooster tijdens belichting volledig gelijkmatig te bewegen, werd de storende schaduw volledig uitgewist. Het Potter-Bucky-rooster vormde na 1920 een onmisbaar onderdeel van iedere diagnostische röntgeninstallatie. De toepassing van deze 'grid' zorgde, samen met het gebruik van duplitzed films en van versterkingsschermen, voor een enorme toename van de beeldkwaliteit, waardoor het bijvoorbeeld mogelijk werd urinewegstenen veel duidelijker af te beelden dan voordien mogelijk was geweest. (73) De ontwikkelingen in de toepassing van versterkingsschermen en films maakten het volgens Levy en Baker in 1921, technisch gezien, mogelijk om röntgenfoto's te nemen zonder risico op een huidverbranding of op enig ander ongewenst effect. (74) Gezien de problemen, die op dat moment nog heersten ten aanzien van de andere technische factoren, die in dit hoofdstuk zijn genoemd, kan deze stelling als te optimistisch worden beschouwd, maar het is duidelijk, dat de verbeterde versterkingsschermen en films de stralingsbescherming van de patient hebben bevorderd.

V.8 Samenvatting en conclusies.

Een belangrijke technische oorzaak van stralenschade was de toepassing van te zachte röntgenstraling door het gebruik van gasbuizen. Deze oorzaak werd na 1913 uitgeschakeld door de invoering van de Coolidge-buis. De incorrecte toepassing van stralenfilters is in de periode 1904-1930 uitgegroeid tot een andere belangrijke oorzaak van stralenschade; de ontwikkeling van methoden om het incorrect gebruik van filters in de röntgenologie te voorkomen, zorgde reeds voor 1930 voor de eliminatie van deze factor. Alleen in de radiumtherapie speelde deze oorzaak langer een rol. Het risico op stralenschade in de röntgendiagnostiek werd, technisch gezien, na 1920 steeds kleiner door het gebruik van versterkingsschermen, roosters en films, waardoor de belichtingstijden sterk werden ingekort.

Het gebruik van ondeugdelijke buiskappen, van defecte ampère- en voltmeters en van kapotte wekkers en klokken heeft voor 1930 een relatief

ondergeschikte rol gespeeld in het veroorzaken van stralenschade. Ditzelfde geldt ook voor de netspanningsschommelingen.

In het ontstaan van het eerste maximum in het aantal gevallen van röntgenstralenschade bij patienten, waren de onbekendheid van de werkers met het fenomeen straling en de eigenschappen van de gasbuizen belangrijke factoren.

De incorrecte toepassing van stralenfilters en de relatief grote verspreiding van de Coolidge-buis onder allerlei medici, waren van beslissende invloed op het optreden van het derde röntgenschade maximum bij patienten.

HOOFDSTUK VI. DOSIMETRIE VAN RÖNTGENSTRALING.

Inhoud:

- VI.1 Inleiding.*
- VI.2 Röntgendosimetrie voor 1902.*
- VI.3 Röntgenquantimetrie.*
- VI.4 De eenheid 'Röntgen'.*
- VI.5 Röntgenqualimetrie.*
- VI.6 Samenvatting en conclusies.*

VI.1 Inleiding.

Het is in de huidige tijd niet meer denkbaar, dat er in ziekenhuizen en klinieken radiotherapie wordt bedreven zonder nauwkeurige methoden voor het meten van de aan de patienten toe te dienen doses. De methoden voor het meten van de geapliceerde doses bij patienten, of voor het meten van de cumulatieve doses bij het personeel, zijn een essentieel onderdeel in de methodiek van de medische toepassing van ioniserende straling. In dit hoofdstuk zal aandacht worden besteed aan de historische ontwikkeling van de dosimetrie in de röntgenologie. De belangrijkste dosimetrische methoden en apparaten uit de geschiedenis van de dosimetrie zullen worden besproken en hun relatie tot het ontstaan van de pieken in het optreden van röntgenstralenschade bij patienten zal worden uiteengezet. Bovendien zal de nauw met de ontwikkeling van de dosimetrie samenhangende definitie van dosimetrische eenheden aan de orde worden gesteld.

VI.2 Röntgendosimetrie voor 1902.

In de beginjaren van de radiologie werd de hoeveelheid geapliceerde straling beoordeeld op grond van de effecten van straling op de huid: erytheem en epilatie. Iedere arts moest rekening houden met de tijd, die zijn röntgenapparaat nodig had om epilatie c.q. erytheem, blaarvorming of ulceratie te veroorzaken en moest daar zijn bestralingsduur op afstemmen bij de behandeling van patienten. De ervaring, die een radioloog op deze wijze opbouwde met zijn röntgenapparaat, was moeilijk uitwisselbaar met andere radiologen, die ieder hun eigen apparaat hadden met de daarbij horende eigenschappen. De beoordeling van de 'erytheemdosis' hing

bovendien af van het beoordelingsvermogen van de radioloog en de gevoeligheid van de huid van de patient.

In deze begintijd was dan ook geen betrouwbare dosimetrie mogelijk. De enige bekende factor was tijd. De duur van een bestraling werd uitsluitend bepaald door de persoonlijke ervaring van de betreffende röntgenoloog. In de vroege röntgenologische publikaties werden dan ook alleen gegevens vermeld over de duur van een bepaalde bestraling. (1)

Deze situatie werkte echter het veroorzaken van stralenschade bij patienten in de hand en heeft op deze wijze bijgedragen aan het ontstaan van het tweede maximum in de incidentie van röntgenstralenschade bij patienten. Sträter (2) en Kienböck (3) wezen er in 1900 op, dat aard en intensiteit van de werking van straling afhankelijk zijn van de kwaliteit en de kwantiteit van de door de weefsels geabsorbeerde stralen. In de tijd, waarin zij hun opmerkingen plaatsten, had men echter nog geen mogelijkheden om straling naar kwaliteit of kwantiteit te meten en bleven de artsen, die straling appliceerden, nog geheel aangewezen op het subjectieve en voor velerlei uitleg vatbare begrip 'erytheemdosis'. Een eerste poging tot ontwikkeling van een methode voor kwantificering van de hoeveelheid geapliceerde röntgenstraling werd gedaan in 1902, zodat in dat jaar een begin werd gemaakt met de ontwikkeling van de 'röntgenquantimetrie'.

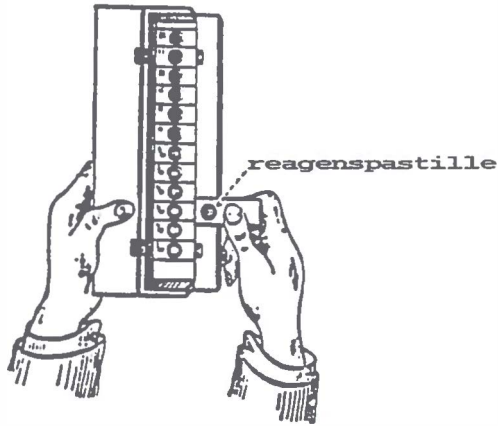
VI.3 Röntgenquantimetrie.

In de ontwikkeling van de röntgenquantimetrie zijn een aantal soorten dosimetrie te onderscheiden: de chemische, elektrische, biologische en rekenkundige dosimetrie, de fluorometrie en de dosimetrie met behulp van ionisatiekamers.

Chemische dosimeters.

Een belangrijke stap in de preventie van stralenschade door overdosering was de invoering van de chemische dosimeters.

In 1902 werd het eerste meetinstrument ter bepaling van de hoeveelheid geapliceerde straling gebracht door Guido Holzknecht en wel in de vorm van de 'chromoradiometer'. Holzknecht was zich met de röntgentherapie van dermatosen gaan bezig houden en was daardoor geconfronteerd met het probleem van het ontbreken van dosimetrische methoden. (4) De chromoradiometer was bedoeld om de hoeveelheid straling, die het huidoppervlak bereikte, te meten. Het principe van de chromoradiometer was, dat een napje, gevuld met een gele massa, die met lak bedekt was (ter bescherming tegen stof en vocht), dicht bij het te bestralen lichaamsdeel werd gelegd en op deze manier werd meebestraald. Afhankelijk van de hoeveelheid geapliceerde straling verkleurde de gele massa in het napje progressief van okergeel tot olijfgroen. Door de op deze wijze ontstane groengele kleur te vergelijken met een standaard kleurenreeks, waarvan iedere kleur met een bepaalde dosis correspondeerde, werd de toegepaste dosis bepaald (zie figuur VI.1).



Figur VI.1 De chromoradiometer van Holzknacht.

Holzknacht had voor dit doel voor röntgenstralen een dosiseenheid opgesteld, de 'H' (de benaming H was niet afgeleid van zijn achternaam, maar van 'horometer'), die hij als volgt had gedefinieerd:

'1 H is die hoeveelheid röntgenstralen, die bij driemaal zo grote hoeveelheid geapliceerd op de normale huid van het gezicht van een volwassene, n t een zichtbare reactie oproept.'

De standaard kleurenreeks liep van 3 H tot 24 H. Hoe intensiever de straling, die werd geapliceerd en hoe dichter de buis bij de patient werd gehouden, hoe sneller een bepaalde verkleuring en daarmee een bepaalde dosis werd bereikt. De gele massa in de napjes bestond uit kaliumsulfaat, dat met 0,7 % natriumcarbonaat versmolten was. Een dosis van 5 H kwam overeen met een lichte dermatitis (licht erytheem, ongecompliceerde haaruitval) en werd ook wel de 'erytheemdosis' genoemd. (5)

De chromoradiometer had als nadeel, dat de kleurverandering in het gebied van doses van 3-5 H nog slechts zo gering was, dat hiertussen geen goed onderscheid kon worden gemaakt, terwijl juist deze doses vaak toegepast moesten worden.

Nadat de eerste serie chromoradiometers uitverkocht was en Holzknacht nieuwe meters moest maken, gelukte het hem niet meer een geel reagens van dezelfde oorspronkelijke kwaliteit te maken. Holzknacht zag zich dan ook genoodzaakt om zijn chromoradiometer van de markt terug te trekken. (6) Toch had zijn uitvinding grote betekenis voor de medische toepassing

van röntgenstralen, met name voor de radiotherapie. De Duitse radiotherapeut Wetterer beschreef dit in 1919 als volgt:

“Wir können uns heute nur schwer in jene Epoche der Unklarheit, der “Gefühlsdosierung” zurückversetzen, die vor der Erfindung des ersten Dosimeters herrschte. Die Röntgentherapie war damals eine reine Zufallsmethode. Man bestrahlte, ohne zu wissen, was man getan, was man angerichtet hatte. Der eine applizierte die Bestrahlung in kurzen Sitzungen, die sich in grosser Anzahl folgten. Der andere gab längere Sitzungen in grösseren Zeitabständen; ein dritter bestrahlte in Serien von täglich mehreren, ganz kurzen Applikationen. Oft blieb jede Wirkung aus, nicht selten gerade da, wo man geglaubt hatte, eine grosse Menge Röntgenstrahlen verabreicht zu haben. Manchmal traten dagegen plötzlich sehr heftige Wirkungen ein, die unberechenbare Folgen nach sich zogen. Furcht vor der Röntgenverbrennung einerseits, das Bestreben andererseits genügende Wirkung zu erzielen, führten zu einem Zustande ewigen Schwankens und unruhigen Hin- und Hertastens, der geeignet war, die junge Methode der Radiotherapie zu diskreditieren, noch ehe sie Zeit gefunden hatte zu zeigen, was sie war und was sie unter Umständen zu leisten vermochte. Da erschien im Jahre 1902 ein Messinstrument, das Chromoradiometer von Holzknacht, das zum ersten Male eine für die Praxis genügend exakte Dosierung der Röntgenstrahlenenergie erlaubte. Durch die Erfindung Holzknachts wurde nun mit einem Schlage die Radiotherapie aus dem Zustande der reinen Glücks- und Zufallsmethode zu einer wissenschaftlichen Disziplin erhoben und auf sichere Basis gestellt. Wir können das Verdienst Holzknachts nicht hoch genug bewerten. Ohne seine Erfindung hatte sich die Röntgentherapie niemals zu dem entwickeln können, was sie heute geworden ist. Wenn nach Holzknacht auch andere Forscher brauchbare und sogar gute Messinstrumente gebracht haben, so ist doch Holzknacht der Pfadfinder auf dem Gebiete der instrumentellen Messmethode der Röntgenstrahlentherapie gewesen. ” (7)

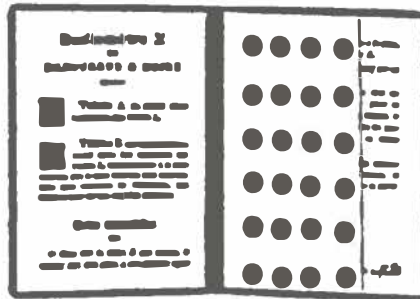
Hoewel Wetterer in dit commentaar de nauwkeurigheid van de metingen met de chromoradiometer overdreef, betoogde hij terecht, dat door de invoering van het eerste meetinstrument voor röntgenstraling een einde werd gemaakt aan de periode van het enkel en alleen op goed geluk appliceren van röntgenstraling, zonder enige weet van de hoeveelheid geapliceerde straling te hebben.

In 1904 gaf Holzknacht een overzicht van door hem behandelde patienten in de jaren 1900-1904. Sinds de invoering van de chromoradiometer had hij steeds schadelijke gevolgen kunnen vermijden, terwijl meestal de gewenste reactie werd bereikt. (8)

Holzknachts chromoradiometer was de voorloper van een aantal andere chemische dosimeters. In 1904 presenteerde de Parijse dermatoloog Raymond Sabouraud de ‘radiometer X’. In de eerste jaren van deze eeuw heerste in Parijs, net zoals overigens in Londen, onder kinderen een

epidemie van ringworm, een besmettelijke schimmelaandoening van het behaarde hoofd. In Parijs nam deze situatie zodanig ernstige vormen aan, dat ingrijpende hygiënische maatregelen nodig waren en voor de zieke kinderen afzonderlijke scholen en behandelingsinstituten moesten worden ingericht. Er bleek al gauw, dat de beste behandelingsmethode voor deze ziekte bestond uit totale epilatie van het hoofd door middel van röntgenbestraling. Sabouraud, die was gespecialiseerd in de behandeling van parasitaire huidziekten van de schedel, werkte koortsachtig aan perfectie van deze vorm van röntgenbehandeling, om op deze wijze de zich steeds verder verspreidende ringwormepidemie een halt toe te kunnen roepen. Dit onderzoek confronteerde hem met het feit, dat nauwkeurig doseren vrijwel niet mogelijk was. Hij gebruikte weliswaar eerst de chromoradiometer van Holzknacht, maar dit instrument bleek in het geheel niet te voldoen. Sabouraud besloot daarom een dosimeter te construeren, die alleen de epilatie-dosis hoefde aan te geven. Samen met zijn medewerker Noiré ontwikkelde hij daarop, naar eigen zeggen 'onder dwang der omstandigheden', de radiometer X.

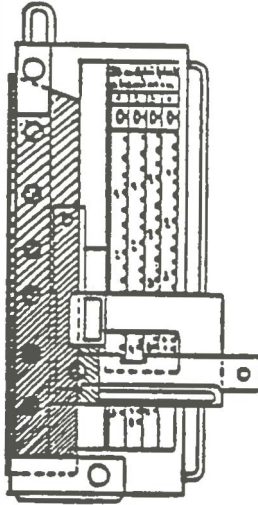
Het instrument beruiste op het principe, dat barium-platinacyaanur door de inwerking van röntgenstralen verkleurde. Deze verkleuring werd ver-



Figuur VI.2 De radiometer X van Sabouraud en Noiré.

orzaakt door een proces van ontwatering, dat de barium-platinacyaanurkristallen door de werking van de röntgenstralen ondergingen, waardoor hun vermogen tot fluorescentie verminderde en hun oorspronkelijke groene kleur overging in een geel-bruine tint. Hoe groter de hoeveelheid geapliceerde straling, des te bruiner werd de tint. De mate van verkleuring was een maat voor de hoeveelheid door de kristallen geabsorbeerde straling. De radiometer X had de vorm van een zakboekje (zie figuur VI.2) en bevatte twee testkleuren, Teinte A en Teinte B, en een aantal reagenspastilles. (9)

Teinte A stelde de oorspronkelijke groene kleur van de reagenspastilles voor, Teinte B toonde een okergele kleur, die de maximaal toelaatbare dosis voorstelde en overeenkwam met ongeveer 5 H, de epilatie dosis. De reagenstablet moest halverwege het te bestralen lichaamsdeel en de röntgenbuis worden gehouden. Eigenlijk betekende Teinte B dan ook een dosis van 20 H, maar aangezien het lichaamsdeel tweemaal verder van de buis was verwijderd dan de tablet, ontving het huidoppervlak van het



Figuur VI.3 De door Holzknacht gemodificeerde dosimeter van Sabouraud en Noiré.

betreffende lichaamsdeel een kwart maal de dosis van de tablet, ofwel 5 H (de stralingsintensiteit neemt immers af met het kwadraat van de afstand). Grotere of kleinere doses dan 5 H waren met deze meter niet te meten, alleen te schatten. Een zachtgele kleur van de reagenspastille zou overeenkomen met ongeveer 2 H, een felle gele kleur met ongeveer 3 H en een oranje kleur met ongeveer 6-7 H. De pastille diende altijd op een metalen ondergrond te rusten en tijdens de exposie moest de tablet in zwart papier, dat geen licht doorliet, zijn gewikkeld.

Als de pastille in het daglicht werd gehouden, ging zij ontkleuren; men moest in dat geval een hogere dosis geven om Teinte B te verkrijgen en daardoor kon overdosering worden veroorzaakt. De kleur van de reagenspastille was na de exposie alleen bij daglicht te beoordelen. Bij kunstlicht leek de pastille veel donkerder gekleurd en de testkleur veel te licht. De beoordeling bij daglicht moest zeer snel geschieden, daar de reagenspastille

anders ging ontkleuren. Teinte B was echter zo verschillend van Teinte A, dat het onderscheid in één oogopslag te zien was. Een gebruikte pastille nam in het daglicht snel weer de groene kleur aan, maar werd minder groen dan voorheen. Bij hernieuwd gebruik werd Teinte B daardoor sneller bereikt dan de eerste keer, zodat onderdosering op kon treden.

Al spoedig bleek, dat de dehydratie van barium-platinacyanuurtabletten, dat wil zeggen de gele verkleuring, niet alleen door röntgenstralen, doch ook door warmte veroorzaakt kon worden, zodat de warmte, afgegeven door de röntgenbuis, een aandeel in de totstandkoming van Teinte B kon hebben. Bovendien hadden wisselingen in de vochtigheid van de lucht invloed op de kleur van de tabletten. Ook in een droge omgeving ging de reagenspastille verkleuren, met als mogelijk gevolg onderdosering. (10) De radiometer X van Sabouraud en Noiré was dan ook in de meting van de geapliceerde hoeveelheid straling niet volledig betrouwbaar.

Dit meetinstrument werd in 1910 door Holz knecht geperfectioneerd. Onder een doorzichtig stuk celluloid werd op een beweglijke slede een niet bestraalde helft van een Sabouraud-Noiré tablet gelegd. Door de slede te bewegen, schoof de halve tablet op en neer en wisselde daarbij continu van kleur, in kleuren variërend van groen tot geel, doordat het doorzichtige celluloid naar een kant steeds meer bruingeel van kleur was gemaakt. Door nu de bestraalde helft van de tablet tegen de onbestraalde helft te leggen (zodanig dat de eerste niet onder het celluloid was gelegen) en de slede te bewegen, kon die stand van de slede worden opgezocht, waarbij beide tablethelften dezelfde kleur hadden; een wijzer, die met de houder van de bestraalde tablethelft was verbonden, wees nu op een schaal in H-eenheden de geapliceerde dosis aan (zie figuur VI.3). (11) Het aflezen van deze dosismeter diende bij kunstlicht te geschieden, waarmee Holz knecht het volgende wilde bereiken:

- eliminatie van de fluorescentie, die de pastilles bij daglicht vertoonden en die hun kleur en daarmee de aflezing beïnvloedde.
- beoordeling van de pastilles onder (nagenoeg) dezelfde belichting.
- toename van de contrasten en geringer ontkleurend effect. Het voordeel van de modificatie van Holz knecht lag hierin, dat de schaal voor de doses, die er op afgelezen konden worden, een continuüm was: iedere geapliceerde dosis kon aldus worden bepaald, terwijl de radiometer X alleen geschikt was voor de applicatie van één dosis, namelijk 5 H. (12)

In de jaren 1903-1906 werd nog een aantal chemische dosimeters geconstrueerd, die hier kort zullen worden besproken.

Zoals eerder werd vermeld (pg. 23), had de Weense arts Leopold Freund in 1903 een dosismeter ontwikkeld, die was gebaseerd op de kleurverandering, die onder invloed van straling optrad in een oplossing van jodoform-chloroform. In datzelfde jaar hadden de chemici Hardy en Willcock medegedeeld, dat radium- en röntgenstralen een jodoform-chloroform oplossing van kleur deden veranderen en Freund bracht deze kennis als eerste in praktijk. Freund, die dermatoloog en röntgenoloog was, had bekendheid verkregen, omdat hij als een van de eerste artsen röntgenstralen therapeutisch had toegepast. De contacten met Holz knecht, wiens Röntgen-Instituut onder de jurisdictie van de dermatologische kliniek van

Freund viel, hebben ongetwijfeld bijgedragen aan de totstandkoming van Freunds dosismeter.

De oorspronkelijk heldere kleurloze oplossing van jodo-chloroform veranderde onder invloed van een toenemende hoeveelheid geapliceerde straling via roodviolet naar een donkere rode kleur; dit was het gevolg van toenemende afscheiding van jood in de oplossing. De mate van roodheid was aldus een maat voor de toegepaste hoeveelheid stralingsenergie. (13) In 1905 verscheen een andere chemische dosismeter, de quantimeter van Kienböck, die gebaseerd was op de werking van röntgenstralen op de fotografische plaat. Ook Robert Kienböck behoorde tot de Weense röntgenpioniers; hij was een goede vriend van Holzknecht. Kienböck had chloorbroom-zilvergelatine aangebracht op een stuk papier, dat onder invloed van röntgenstralen zwarting vertoonde. De quantimeter bevatte een vergelijkingschaal en reagensstrepen. De vergelijkingschaal bestond uit een serie met emulsie bedekte papierstrepen, die aan steeds hogere doses straling waren blootgesteld en daardoor in toenemende mate gekleurd waren, variërend van lichtgrijs tot pikzwart. Op deze wijze waren graden van zwarting te onderscheiden, die door middel van cijfers waren aangeduid. Kienböck voerde speciaal voor dit meetinstrument de eenheid 'X' in, waarbij 1 X overeenkwam met de zwarting van graad 1. (14)

In 1905 werd door de aan de faculteit der geneeskunde te Lyon verbonden electrotherapeut, radioloog en fysicus H. Bordier een chromoradiometer geconstrueerd, die net als de radiometer X was gebaseerd op de toepassing van platina-bariumcyanuur tabletten. Ook deze meter was een geperfectioneerde versie van de dosismeter van Sabouraud en Noiré. (15) Een andere chemische dosismeter, die in 1906 verscheen, was de 'kalomelradiometer' van Schwarz. Gottwalt Schwarz had reeds tijdens zijn medische studie te Wenen onderzoek gedaan naar de werking van röntgenstralen op planten en van radiumstralen op kippeëieren. Hij werd door Holzknecht opgeleid tot radioloog, zodat het geen verbazing gewekt zal hebben, dat hij onder diens hoede een chemische dosismeter ontwikkelde. Deze quantimeter berustte op het principe, dat bij doorstralen van een heldere oplossing van ammonium-oxalaat een witte nevel van kalomel (= Hg_2Cl_2) ontstond. De graad van troebeling van de bestraalde oplossing was een maat voor de hoeveelheid toegediende straling. Schwarz voerde de eenheid 'kalom' in. Eén kalom was die hoeveelheid röntgenstralen, die op halve focus-huid-afstand gemeten, de eerste duidelijke troebeling van de oplossing teweegbracht. (16)

Bij de dosimeters, die op halve focus-huid-afstand moesten worden gehouden (en die hierop geijkt waren), was het van belang, dat ze ook inderdaad op de juiste plaats werden gepositioneerd. Als zij te dicht bij het lichaam van de patient werden gehouden, zouden ze een lagere dosis aangeven dan de patient had ontvangen, met als gevolg kans op overdosering. Werden deze meters daarentegen te dicht bij de röntgenbuis gehouden, dan zouden ze een hogere dosis aangeven.

De 'Weense School' had zich aan het begin van deze eeuw ontwikkeld tot hét centrum van de radiologie; nergens ter wereld was een groep radio-

logen zo productief en zo invloedrijk. Holz knecht werd omgeven door een aantal bekwame leerlingen en collegae, die onder zijn invloed varianten op de chromoradiometer uitwerkten. Uit het voorgaande bleek, dat ook Sabouraud en Bordier door de chromoradiometer werden geïnspireerd. Voor Sabouraud was de ontwikkeling van de radiometer X slechts een onderdeel van de door hem ontwikkelde röntgentherapie van huidziekten, die op haar beurt een onderdeel van zijn veelomvattende dermatologische werkzaamheden was. Zijn onderzoek stond ook nadien in het teken van de dermatologie, niet van de radiologie. Ook voor Bordier was de ontwikkeling van een chemische dosimeter in 1906 een tijdelijk zijspoor. Zijn werkzaamheden en publikaties betroffen in deze tijd vooral de electrotherapie. Opvallend is, dat alle bovengenoemde onderzoekers artsen waren; alleen Bordier was bovendien fysisch. Waarom waren de eerste dosimeters, die zij construeerden, *chemische* dosimeters? Het antwoord op deze vraag ligt ten dele bij Holz knecht, onder wiens invloed de chemische dosimetrie ontstond. Holz knecht ontleende zijn idee om een chemische dosimeter te ontwikkelen aan de vaststelling, dat bepaalde chemische stoffen als gevolg van de inwerking van röntgenstralen verkleurden: in 1900 had de Franse fysisch Villard aangetoond, dat barium-platinacyaan haar oorspronkelijke kleur onder invloed van de werking van röntgenstralen verloor, terwijl na de bestraling deze kleur langzaam weer terug kwam. (17) Van de alternatieven, de biologische en fysische dosimetrie, had men van de eerste, in de vorm van de 'erytheemdosimeter', ervaren, dat deze niet nauwkeurig was. De tweede lag in feite ver buiten het bereik van de meeste artsen, die fysisch onvoldoende geschoold waren. Dit laatste is trouwens niet de belangrijkste reden van het feit, dat rond 1905 nog geen fysische dosimeter werd geconstrueerd. De fysica van elektromagnetische straling stond immers aan het begin van deze eeuw nog in de kinderschoenen, zodat de benodigde kennis voor de vervaardiging van betrouwbare fysische dosimeters op dat moment eenvoudig niet aanwezig was. (18)

De boven beschreven dosimeters, die in het eerste decennium van deze eeuw werden ingevoerd, betroffen alle chemische dosimeters, die als doel hadden de huidoppervlaktedosis aan te geven. De vraag was natuurlijk of de doses, die deze meters aangaven, overeen kwamen met de werkelijke huiddoses. De meters waren vaak geijkt voor middelharde straling. Bij applicatie van harde straling verkleurden de meters sneller, doordat dan meer straling de kleurstof bereikte, waardoor het gevolg onderdosering was. Alleen bij toepassing van zeer zachte straling gingen de verkleuringen langzamer, zodat dan overdosering op kon treden. Deze laatste vorm van straling werd in 1919 vrijwel niet meer therapeutisch toegepast, zodat dit gevaar daarmee grotendeels geëlimineerd was. Bij toepassing van chemische dosimeters diende echter wel altijd met dit fenomeen rekening te worden gehouden, om eventuele onaangename verrassingen te voorkomen. (19)

De resultaten, die bij meting van de huiddosis met een bepaald type chemische dosimeter werden verkregen, konden, ook voor een bepaalde constante hardheid van de röntgenbuis, niet rechtstreeks vertaald worden

naar de meetresultaten van een ander type chemische dosimeter. Adler onderzocht in 1915 de stralenkwaliteit, waarvoor diende te gelden: $2X = 1H$. Er bleek, dat deze verhouding in de praktijk in het geheel niet constant was; bij applicatie van 50 H op een bepaald huidveld, gemeten met de gemodificeerde Holz knecht-dosimeter, werd niet 100 X toegediend, maar ongeveer 200 X, zonder dat de behandelend arts hier notie van zou hebben. Dit soort verschillen kon volgens Adler zonder meer aanleiding geven tot het ontstaan van huidverbrandingen. Bovendien bleek er soms verschil te zijn tussen de gemeten waarden van twee verschillende chemische dosimeters van hetzelfde type. Artsen konden dan ook niet zonder meer de door hen toegepaste doses onderling vergelijken. (20) Ondanks deze onvolkomenheden werden tabellen opgesteld, waarin de röntgendoses met elkaar konden worden vergeleken (zie tabel VI.1).

De Amerikaanse radioloog Pfahler, die aan het begin van zijn loopbaan zelf met chemische dosimeters had gewerkt, beweerde in 1945:

'...none of these methods for dosage measurement was satisfactory, they were inaccurate, difficult to employ and gave no information regarding the depth value, but concerned only skin effects.' (21)

Ook de Duits-Amerikaanse fysicus Otto Glasser noemde in 1941 de chemische dosimeters uit de begintijd 'not fully reliable'. Hoewel de dosis volgens hem onder bepaalde omstandigheden redelijk nauwkeurig kon worden gemeten, was de gevoeligheid van de methode beperkt en kwamen de huidreacties niet altijd overeen met de voor verschillende graden van hardheid van de röntgenstralen bepaalde doses. (22) Ondanks deze tekortkomingen had de opkomst van de chemische dosimeters grote betekenis voor de radiologie en voor de preventie van stralenschade. Holz knecht schreef in 1922, dat in de jaren 1904-1905 een maximum in het aantal optredende röntgenbeschadigingen bij patiënten was ontstaan als gevolg van het ontbreken van een methode voor dosimetrie. (23) Dit is het tweede maximum in de incidentie van röntgenstralenschade bij patiënten, dat in hoofdstuk I is genoemd. De hoofdoorzaak daarvan betrof het ontbreken van dosimetrische methoden voor 1904-1905. Uiteraard speelde het ontbreken van dosimetrische methoden vanaf 1896 al een rol, zodat dit ook in het optreden van het eerste maximum (1896-1897) betekenis heeft gehad. De therapeutische toepassing van röntgenstraling was echter, na het bekend worden van therapeutische effecten op huidkanker (1899) en op inwendige ziekten (1903), sterk toegenomen, hetgeen het optreden van het tweede maximum kan verklaren. Na 1905 vonden de chemische dosimeters in steeds bredere kring toepassing en daalde het aantal optredende röntgenbeschadigingen. Niet iedereen nam echter de moeite om deze dosimeters te gebruiken. Een aantal artsen meende in 1908 op het Internationale Congres voor Medische Electrologie en Radiologie te Amsterdam, dat huidverbrandingen sinds de invoering van chemische dosimeters hoogst zelden meer voorkwamen. Dit was evenwel een veel te optimistische voorstelling van zaken. (24)

Tabel VI.1 Vergelijkingstabel uit 1919 voor röntgenstralendoses gemeten met verschillende chemische dosimeters. Deze tabel gold voor ongefilterde straling van een hardheid overeenkomstig een halveringsdikte van 0.8-1 centimeter water.

| Radiometer von Holzknacht Einheit 'H' | Radiometer X von Sabouraud- Noiré | Chromo- radiometer von Bordier | Quantimeter von Kienböck Einheit 'X' |
|--|---|--------------------------------------|--|
| - | - | - | 0.25 |
| 0.25 | - | - | 0.50 |
| 0.50 | - | - | 1 |
| 0.75 | - | - | 1.50 |
| 1 | - | - | 2 |
| 1.25 | - | - | 2.50 |
| 1.50 | - | - | 3 |
| 1.75 | - | - | 3.50 |
| 2 | - | - | 4 |
| 2.25 | - | - | 4.50 |
| 2.50 | - | Teinte O | 5 |
| 2.75 | - | - | 5.50 |
| 3 | - | - | 6 |
| 3.25 | - | - | 6.50 |
| 3.50 | - | - | 7 |
| 3.75 | - | - | 7.50 |
| 4 | - | - | 8 |
| 4.25 | - | - | 8.50 |
| 4.50 | - | - | 9 |
| 4.75 | - | - | 9.50 |
| 5 | Teinte B | - | 10 |
| 5.25 | - | - | - |
| 5.50 | - | Teinte I | - |
| 5.75 | - | - | - |
| 6 | - | - | - |
| 7 | - | - | - |
| 8 | - | Teinte II | - |
| 9 | - | (8.75H) | - |
| 10 | - | - | - |
| 11 | - | - | - |
| 12 | - | - | - |
| - | - | Teinte III | - |
| - | - | (15H) | - |
| - | - | Teinte IV | - |
| - | - | (22.5H) | - |

Electrische dosimeters.

De enige electrische dosimeter, die niet op het verschijnsel van ionisatie was gebaseerd en een rol van betekenis heeft gespeeld, is de 'intensimeter van Fürstenau'. Dit toestel was in 1915 voor commerciële doeleinden ontwikkeld door de Berlijnse fysicus Robert Fürstenau, die een bedrijf voor de productie van medische instrumenten exploiteerde (Fürstenau, Eppens & Co., Berlijn) (25) De werking van de intensimeter was gebaseerd op het gegeven, dat röntgenstralen de elektrische weerstand van het element seleen konden veranderen in die zin, dat het element onder invloed van straling stroom beter ging geleiden. De toepassing van deze kennis was overigens niet nieuw. Een aantal jaren hiervoor had Luraschi een weinig succesvolle poging gedaan om een soortgelijke intensimeter te vervaardigen. De constructie van de intensimeter van Fürstenau was als volgt: tussen twee van elkaar geïsoleerde stroomdraden zat een laag seleen, de zogenaamde 'seleencil'; dit geheel was omhuld door een doosje en werd 'opvangdoos' genoemd. De opvangdoos stond via een flexibel stroomsnoer in verbinding met het eigenlijke meetinstrument, dat de weerstandsverandering van de seleencil aangaf. Dit meetinstrument was een galvanometer, die met wijzeruitslag reageerde op een weerstandsverandering van de seleencil. De mate van uitslag van de wijzer was een maat voor de weerstandsverandering van het seleen en daarmee voor de intensiteit van de röntgenstralen waardoor de seleencil werd getroffen. De wijzeruitslag bewoog langs een schaal in F-eenheden, waarbij de 'F' stond voor 'Flächenenergie pro Minute'.

De intensimeter van Fürstenau vertoonde een aantal onvolkomenheden:

- de werking van de meter werd beïnvloed door de temperatuur en de vochtigheidsgraad van de omgeving.
- als de meter tien seconden in werking was, had de wijzer een bepaalde stand aangenomen (deze tijdsduur werd de 'traagheid' van de meter genoemd); daarna ging de wijzer -ook bij constante intensiteit van de straling- langzaam weer achteruit zakken; dit verschijnsel berustte op het langzaam minder worden van de gevoeligheid van het seleen en werd 'vermoeidheid' genoemd. Dit hield in, dat het apparaat na tien seconden uitgeschakeld moest worden. In de praktijk werd de meter alleen aan het begin en het eind van de bestraling ingeschakeld. Wat de tussenliggende tijd betrof, moest men er maar op vertrouwen, dat kwaliteit en kwantiteit van de straling constant bleef.
- ook de seleencil vertoonde een 'Härtefehler', dat wil zeggen, het seleen vertoonde bij zeer zachte straling een daling van de weerstand, waardoor de wijzer een hogere uitslag vertoonde, dan overeenkwam met de werkelijke geapliceerde oppervlaktedosis, met als gevolg onderdosering. Deze fout trad alleen op bij gebruik van een zeer zachte röntgenbuis zonder filtering. In 1919 werd dit soort buizen echter vrijwel alleen nog diagnostisch gebruikt. (26)

De intensimeter van Fürstenau uit 1915 was in de weergave van de geapliceerde dosis dan ook niet betrouwbaar. De inherente onnauwkeurigheid van het apparaat kon zelfs aanleiding geven tot stralenbeschadiging van patienten. Uit de groep van 69 patienten, die door röntgentherapie stralenschade hadden opgelopen, wezen Groedel, Liniger en Lossen negen maal ondeugdelijke meetresultaten van de intensimeter van Fürstenau als oorzaak aan. (27) De intensimeter heeft op deze wijze bijgedragen aan het optreden van het derde maximum in de incidentie van röntgenstralenschade bij patienten. Zijn oorzakelijke rol was echter bescheiden in vergelijking met de andere oorzaken van dit maximum, die in het vervolg nog zullen worden besproken. De intensimeter werd overigens na 1930 niet meer gebruikt. (28)

Biologische dosimetrie.

Zoals al eerder werd gesteld, werden in de eerste jaren van de radiologie huidreacties gebruikt als indicatoren van de geapliceerde doses. Als voor een bepaalde kwaliteit röntgenstraling bijvoorbeeld gold, dat een dosis van 3 H een licht huiderytheem veroorzaakte, dan werd deze dosis de Huid Erytheem Dosis (HED) genoemd. Het was echter moeilijk om de huiddoses, die verschillende dosimeters aangaven (in bijvoorbeeld de eenheden H, X en F), met elkaar te vergelijken, omdat deze instrumenten in hun gevoeligheid voor straling van verschillende hardheid verschilden.

In de periode rond 1920 trad nog een andere biologische meetmethode op de voorgrond: bij deze methode werd het effect van straling op biologisch materiaal gebruikt als indikator voor de geapliceerde dosis. Friedrich en Krönig gebruikten voor dit doel als biologisch materiaal kikkervisjes, Russ en Wood bedienden zich van getransplanteerde tumortjes, Holthusen gebruikte *Ascaris*-eitjes en Packard *Drosophila*-eitjes. (29)

Het was geen toeval, dat op dit moment deze vorm van biologische dosimetrie werd onderzocht. Dit hing samen met de opkomst van de röntgen-dieptetherapie in de jaren na 1910 (zie hoofdstuk VIII) en de ontwikkeling van ionisatiekamers, waarmee doses in diepe weefsels en fantomen konden worden gemeten. Deze laatste methode betrof echter een geheel fysische methode, zodat men zich afvroeg, of de op deze manier gemeten doses wel een juiste maat waren voor de biologische reactie van de bestraalde weefsels. Friedrich en Krönig hielden zich in 1918 als eersten met dit probleem bezig. Door kikkervisjes te bestralen onderzochten zij, of door applicatie van een bepaalde constante hoeveelheid stralingsenergie door middel van röntgenstraling van wisselende hardheid, de intensiteit van de biologische werking wel of niet dezelfde bleef: het bleek, dat deze constant was. Hun onderzoek was voor vele andere onderzoekers aanleiding om ook experimenten op dit gebied uit te gaan voeren. (30) Deze opleving van de biologische dosimetrie bracht het werken aan de oplossing van de dosimetrische problematiek weer binnen het bereik van medici; na de ontwikkeling van de chemische dosimeters hadden artsen nauwelijks kunnen bijdragen aan het ontwikkelen van dosimeters, omdat de creatie hiervan een zuiver fysische aangelegenheid was geworden. Dit

betekende echter niet, dat alleen geneesheren zich met de biologische dosimetrie gingen bezighouden; ook sommige fysici werkten op dit terrein. De biologische dosimetrie is echter in de praktische radiologie nooit van groot belang geworden en wel om de volgende redenen:

- de in de methode gelijk veronderstelde biologische objecten vertoonden natuurlijke variatie. Om deze reden hoefden de biologische objecten van een soort, onder invloed van een bepaalde hoeveelheid straling, niet steeds dezelfde reactie te vertonen.
- er was altijd een latente periode eer de biologische reactie optrad, zodat de dosimetriscie informatie niet direct beschikbaar was.
- er bleek geen lineaire relatie te bestaan tussen dosis en graad van reactie in het biologische materiaal. (31)

Deze factoren maakten de biologische methode minder geschikt voor de praktische dosimetrie. (32) Zij heeft dan ook geen rol gespeeld in het ontstaan van de maxima in het optreden van stralenschade bij patienten en evenmin in de preventie van stralenschade.

Naast de biologische dosimetrie, waren er nog een aantal andere vormen van dosimetrie, die slechts een kort leven was beschoren.

De rekenkundige benadering van de huiddosis, die in 1915 door de Amerikaanse fysisch Shearer werd voorgesteld (33) en de röntgenfotometer van Wintz en Rump uit 1926 (34), zijn nooit op grote schaal in de radiologie toegepast. Evenals de biologische dosimetrie, werden deze methoden al snel obsoleet door de komst van de dosimetrie met ionisatiekamers.

Ionisatiekamers.

In tegenstelling tot de voorgaande meetmethoden zou de invoering van ionisatiekamers in de dosimetrie een doorbraak betekenen in de preventie van röntgenstralenschade bij patienten. Mede dankzij deze instrumenten werd, nadat het derde maximum in de incidentie van röntgenstralenschade bij patienten was opgetreden, een sterke daling in het aantal optredende gevallen van röntgenstralenschade tot stand gebracht. Bovendien werd het mogelijk om röntgenstralenschade bij patienten, wat de dosimetrie betrof, met voldoende zekerheid te vermijden.

Röntgen had reeds in 1896 gewezen op het ioniserend effect van x-stralen. (35) Het zou echter een aantal jaren duren, voor men dit verschijnsel ging gebruiken in de dosimetrie. Dit was niet alleen een gevolg van het feit, dat de aandacht binnen de medisch-radiologische wereld grotendeels gericht was op de chemische dosimetrie, maar ook van het feit, dat de ontwikkelingen op het gebied van de stralingsfysica zo interessant waren, dat de meeste fysici zich liever bezig hielden met zuiver fysisch onderzoek op dit gebied en geen directe belangstelling hadden voor de medische toepassing ervan.

De Franse fysisch P. Villard was in 1908 de eerste, die een eenheid voor kwantificering van röntgenstraling voorstelde, die was gebaseerd op het ioniserende effect. Hij definieerde zijn eenheid als 'die hoeveelheid straling, die door ionisatie één elektrostatische eenheid van elektriciteit per kubieke centimeter lucht opwekt, onder normale omstandigheden van druk en

temperatuur'. Hij had voor de meting van deze eenheid een ionisatiekamer geconstrueerd, die in verbinding stond met een electrometer. (36) Villard had op deze wijze al vroeg de grondslagen gelegd voor een nauwkeurige vorm van dosimetrie, die voor de preventie van stralenschade bij patienten en voor de radiologie in het algemeen van essentiële betekenis zou worden. Dat de belangstelling van de fysici voor deze problematiek gering was, blijkt wel uit het feit, dat pas zes jaar na het voorstel van Villard een andere Franse fysicus, B. Szilard, als eerste weer een ionisatiekamer vervaardigde, die hij 'iontoquantimeter' noemde. (37) In datzelfde jaar presenteerde de Amerikaanse fysicus William Duane zijn 'E' als eenheid van intensiteit van röntgenstraling. Duane nam als eenheid van intensiteit een bundel röntgenstralen, die in iedere kubieke centimeter lucht een ionisatiestroom opwekte van één elektrostatische eenheid per tijdseenheid, bij normale druk en temperatuur en hij wist deze eenheid met een door hem zelf gemaakte ionisatiekamer experimenteel te bepalen. (38) Duane wees bovendien herhaaldelijk op het 'wandeffect' van ionisatiekamers, dat inhield, dat secundaire electronen, afkomstig van de wanden van de ionisatiekamer, met de meting interfereerden, hetgeen de nauwkeurigheid ervan in de weg stond. (39) De bovengenoemde ionisatiekamers waren gemaakt voor fysische metingen en waren niet geschikt voor medisch gebruik. In 1918 verscheen evenwel de eerste ionisatiekamer, die speciaal voor medische doeleinden was geconstrueerd.

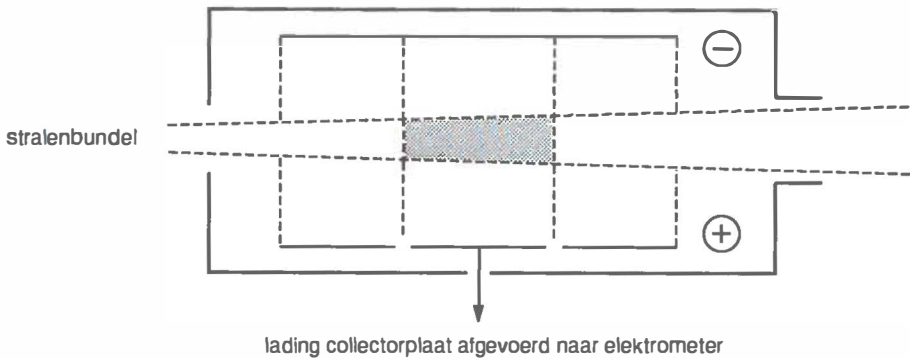
In dat jaar ontwikkelde de Duitse fysicus Walter Friedrich zijn 'iontoquantimeter'. Friedrich verrichtte in Freiburg onderzoek naar het bepalen van een fysische meetmethode voor straling, die proportioneel was aan het biologisch effect ervan. Aangezien het menselijk lichaam grotendeels uit water bestaat, bepaalde hij eerst de absorptie van röntgenstralen in water. Hij ontdekte, dat de afhankelijkheid van de golflengte daarvan overeen kwam met die in lucht. Hij trachtte daarop een ionisatiekamer te maken, die uit een zodanig groot volume lucht bestond, dat van een wandeffect geen sprake meer zou zijn. Het resultaat van dit onderzoek was een ionisatiekamer, die bekend werd onder de naam 'Fasskammer'. Daarna vervaardigde Friedrich een ionisatiekamer, die in de medische praktijk bruikbaar zou zijn: de iontoquantimeter. (40)

Het principe van de iontoquantimeter was als volgt: een ionisatiekamer, met een luchtinhoud van één cubieke centimeter, werd in het stralingsveld op de huid geplaatst, of werd in rectum of vagina gebracht. Deze ionisatiekamer bestond uit een afgesloten metalen vat, bijvoorbeeld van aluminium, waarbinnen zich een draad bevond, die geïsoleerd door de wand van het vat naar buiten liep. Tussen wand en draad bevond zich een potentiaalverschil. De geïsoleerde draad maakte contact met een electroscop, waardoor de bladen van dit toestel uitslag vertoonden. Als straling de ionisatiekamer binnen trad, werd lucht geïoniseerd en werd de draad en daardoor ook de electroscop, ontladen, waardoor de uitslag van de bladen van de electroscop verminderde. De vermindering van de uitslag van de bladen was een directe maat voor de hoeveelheid geapliceerde straling. Een nadeel van dit systeem was, dat de isolatie geen garantie bood tegen spontane ontlading van de electroscop, met als gevolg, dat de uitslag van

de meter niet geheel betrouwbaar was: de meetfout kon aanleiding geven tot onderdosering. (41) De betekenis van de iontoquantimeter lag zowel in het feit, dat hij de voorloper was van de latere ionisatiekamers, als in het feit, dat hij de belangstelling van andere fysici opwekte voor de 'ionisatie-dosimetrie'.

De eerste ionisatiekamers voor medisch gebruik waren echter nog niet nauwkeurig genoeg. Holthusen (in 1918) en Glasser (in 1923) ontdekten, dat de door Duane en Friedrich gebruikte ionisatiekamers te klein waren om betrouwbaar te kunnen zijn. (42) Gaandeweg raakte men er van overtuigd, dat er een bruikbare en correcte eenheid voor de hoeveelheid gemeten röntgenstraling moest komen en dat deze eenheid nauwkeurig moest kunnen worden gemeten. Om deze reden werden in de jaren twintig de 'standaard vrije lucht ionisatiekamers' gebouwd, die groot genoeg waren voor een accurate meting van de luchtionisatie en die niet behept waren met een storend effect van de wanden. (43) De eerste standaard vrije lucht ionisatiekamer werd in 1924 gebouwd door de Duitse fysicus Hermann Behnken. Behnken was hoofd van het Röntgenlaboratorium van de Physikalisch-Technische Reichsanstalt te Berlijn en had een deel van zijn experimenten in het laboratorium van de Firma Siemens & Halske verricht. Het principe van zijn ionisatiekamer laat zich als volgt beschrijven: een nauwe bundel röntgenstralen passeerde via een diafragma een metalen kamer. Op enige afstand boven de stralenbundel bevond zich een platte metalen elektrode, parallel aan de richting van de stralen, die een constante negatieve potentiaal had. Deze negatieve elektrode kon de door ionisatie gevormde positieve ionen aantrekken. Op dezelfde afstand onder de stralenbundel bevond zich een ionen-collectorplaat, parallel aan de bovenste elektrode, die via een elektrometer was geaard. De collectorplaat was positief geladen ten opzichte van de bovenste elektrode en was daardoor in staat elektronen en negatief geladen ionen aan te trekken. De lading, die via de collectorplaat werd afgevoerd, werd gemeten door de elektrometer. Links zowel als rechts van de collectorplaat was een elektrode aangebracht, die geaard was. Als deze beide elektroden en de collectorplaat dezelfde potentiaal hadden, stond de aantrekkende kracht loodrecht op de plaauelektroden, zodat alleen ionen en elektronen, die zich in het gearceerde gebied bevonden (zie figuur VI.4) door de collectorplaat werden aangetrokken.

Negatieve ionen en elektronen, die buiten het gearceerde gebied werden gevormd, werden door de beide zijdelingse elektroden aangetrokken en vielen buiten de meting. Kinetische energie van secundaire elektronen kon ook rechts buiten het meetvolume worden omgezet in ionparen. Dit verlies werd echter gecompenseerd door de secundaire elektronen, die vanaf de linker kant het meetvolume binnen kwamen; als deze compensatie volledig was, sprak men van een toestand van 'elektronenevenwicht'. De afstand tussen het meetvolume en de plaauelektroden diende groter te zijn dan de maximale dracht van de secundaire elektronen. Op deze manier werd verzekerd, dat alle energie in de vorm van ionisaties in lucht werd afgegeven. In de vrije lucht ionisatiekamer werd de toestand van elektronenevenwicht bereikt, doordat een groot volume lucht het eigenlijke meet-



Figuur VI.4 Het principe van de vrije lucht ionisatiekamer.

volume omgaf.

De vrije lucht ionisatiekamer maakte het voor het eerst mogelijk, dat ionisatie als gevolg van straling accuraat werd gemeten in een goed gedefinieerd volume lucht. Het zogenaamde 'wall effect' speelde bij deze ionisatiekamer geen rol.

Behnken verhoogde bovendien, om de afmetingen van de ionisatiekamer te beperken en toch betrouwbare metingen te kunnen doen, de luchtdruk in de kamer: deze ionisatiekamer werd daarom 'Druckluftkammer' genoemd.

(44) In vele nationale ijklaboratoria zou later de vrije lucht ionisatiekamer worden geïnstalleerd om te worden gebruikt als primaire standaard, waarop ionisatiekamers van radiologische instituten konden worden geïjkt. (45)

Voordat dit zover was, moest echter eerst in internationale kring overeenstemming worden bereikt over de te gebruiken eenheid voor de hoeveelheid röntgenstraling (zie hiervoor de volgende paragraaf).

Op het moment, dat Szilard in 1914 de dosimetrische ionisatiekamer construeerde, meende hij, dat de huiddoses, die de patiënten ontvingen, op deze wijze nauwkeurig konden worden gemeten. De ionisatiekamer van Szilard was een kleine kubus met vijf loden wanden en een aluminium

'raam', waardoor de stralen binnenvielen. (46) De meeste ionisatie in dit kamertje werd echter opgewekt door secundaire straling uit de metalen wanden ervan. Het was om deze reden, dat de theoretische eenheden van stralendosis van Villard en Szilard niet experimenteel bepaald konden worden. Om dezelfde reden werd getracht ionisatiekamers te maken met wanden van materiaal gelijkwaardig aan lucht of weefsel. De oplossing voor dit probleem werd aangedragen door een aantal fysici: in 1925 door

Fricke en Glasser, in 1926 door Glocker en Kaupp en later in 1931 door Mayneord. Zij concludeerden allemaal, dat de dosis met ionisatiekamers ter grootte van een vingerhoed, met wanden van materiaal met een effectief atoomgewicht gelijk aan dat van lucht, nauwkeurig kon worden bepaald.

(47) Met name de Fricke-Glasser 'vingerhoedionisatiekamer' was geschikt om de dosis nauwkeurig te meten over een grote breedte van stralenkwaliteiten en dit instrument werd daarom klinisch veel gebruikt. De vingerhoedionisatiekamers, waarvan de wanden bestonden uit bijvoorbeeld hoorn of carbon, dienden uiteraard voor gebruik te worden geijkt aan een grote standaard vrije lucht ionisatiekamer. (48)

Naast vingerhoedionisatiekamers en standaard vrije lucht ionisatiekamers werden in dezelfde tijd nog twee typen ionisatiekamer ontworpen, die in de dosimetrie van betekenis zijn geworden, namelijk het mekapion en de extraplatiekamer (49).

In 1918 had Friedrich reeds gewezen op de invloed van strooistraling op de oppervlakte- en dieptedoses. Hij stelde voor om waterfantomen als remplaçant voor het menselijk lichaam te gebruiken, om op deze wijze de distributie van straling te bepalen. (50) De verdeling van de straling in het fantoom werd voor bepaalde technische condities weergegeven op zogenaamde isodosis-kaarten. De eerste serie van deze kaarten voor röntgenstraling werd in 1921 gepubliceerd door Dessauer en Vierheller. Later publiceerden ook Bachem, Erskine, Glasser, Stenström en Weatherwax en Leddy dergelijke kaarten. (51) Isodosis-kaarten worden soms ook thans nog gebruikt, naast de gangbare computerberekening van de dosisverdeling met behulp van bundel modellen.

De invoering van de ionisatiekamers met lucht-equivalente wanden maakte na 1924 -bij gegeven kwaliteit- accurate meting van de hoeveelheid geapliceerde röntgenstraling mogelijk, waardoor het veroorzaken van röntgenstralenschade bij patiënten bijna volledig te vermijden was. Dit had tot gevolg, dat er na de jaren 1923-1926 een daling in het aantal optredende röntgenbeschadigingen bij patiënten optrad. Deze daling kon echter geen definitief karakter krijgen, voordat in de dosimetrie nog een aantal andere moeilijkheden was opgelost. Een van deze problemen betrof het definiëren van een uniforme eenheid van dosis. Op de oplossing van dit vraagstuk waren niet alleen fysische en technische factoren van invloed, ook de internationale politieke verhoudingen zouden hierop hun stempel drukken.

VI.4 De eenheid 'Röntgen'.

Een probleem bij de meting van de stralendosis -ook bij de methode met ionisatiekamers- was, dat de gemeten dosis varieerde met de hardheid van de straling. Al vanaf de introductie van de eerste dosimeters heerste dan ook de wens om tot een eenheid van dosis te komen, die door dit euvel niet werd beïnvloed. (52)

De Parijse radioloog Iser Solomon, die hoofd was van de radiologische afdeling van l'Hôpital Saint Antoine, construeerde een ionometer, die hij met behulp van een bepaalde hoeveelheid radium ijkte. Hij koos als eenheid die intensiteit van röntgenstraling, die per seconde dezelfde ionisatie veroorzaakte als één gram radium, dat twee centimeter van de ionisatiekamer verwijderd was en door een filter van 0,5 millimeter platina ervan was gescheiden.

Solomon noemde deze eenheid in 1921 de 'Röntgen' ('R'). Zijn Service d'Étallonnage de l'Hôpital Saint Antoine zou uitgroeien tot Frankrijks nationale ijklaboratorium. (53)

Ook in Duitsland werd onderzoek verricht naar een nieuwe eenheid van dosis. In 1923 werd door de Deutsche Röntgen-Gesellschaft een 'Kommission zwecks Schaffung eines Standard-Instrumentes für die Röntgenstrahlenmessung' in het leven geroepen, die de invoering van een ionometrische standaard eenheid mogelijk zou moeten maken. (54)

Uitgaande van de elektrostatische eenheid van Villard stelde deze commissie in 1925 een definitie voor een nieuwe eenheid op, die als volgt luidde:

'Die absolute Einheit der Röntgenstrahlendosis wird von der Röntgenstrahlenenergiemenge geliefert, die bei der Bestrahlung von 1 ccm Luft von 18 °C Temperatur und 760 mm Quecksilberdruck bei voller Ausnutzung der in der Luft gebildeten Elektronen und bei Ausschaltung von Wandwirkung eine so starke Leitfähigkeit erzeugt, dass die bei Sättigungsstrom gemessene Elektrizitätsmenge eine elektrostatische Einheit beträgt. Die Einheit wird 1 'Röntgen' genannt und mit 'R' bezeichnet.' (55)

De benaming 'R' was bedacht door Behnken, die ook de meting van de eenheid mogelijk had gemaakt door de 'Druckluftkammer' te bouwen. (56) Na de invoering van de Behnken-R werden in de Physikalisch-Technische Reichsanstalt en de Duitse universitaire laboratoria ionisatiekamers geplaatst, die voldeden aan de eisen van deze nieuwe eenheid.

In de internationale radiologie ontstond daardoor de verwarrende situatie, dat voor twee verschillende eenheden van dosis, namelijk die van Solomon en die van Behnken, hetzelfde teken ('R') werd gebruikt. Vandaar, dat de eenheid van Solomon vaak werd aangeduid als de 'Franse R' en de eenheid van Behnken als de 'Duitse R'.

Na 1924 zijn volgens de Franse radioloog Coliez bij een aantal patiënten radiodermatiden opgetreden, die het gevolg waren van verwarring rond de betekenis van de Duitse R en de Franse R. Meestal waren het onervaren artsen, die deze twee eenheden met elkaar verwarden; als een dosis in een leerboek in Franse R was aangegeven, maar werd opgevat als zijnde aangegeven in Duitse R, kon een twee- tot vierdubbele dosis worden geapliceerd, met als gevolg ernstige huidverbrandingen. (57)

In Duitsland werden de meeste klinische ionometers geijkt in de Physikalische Reichsanstalt te Berlijn met behulp van de drukluchtkamer van Behnken. In Frankrijk werden de ionometers in de jaren twintig geijkt

volgens de methode van Solomon. Het voordeel van deze laatste methode was, dat het meetinstrument voor de ijking niet naar een centrale plaats hoefde te worden gestuurd; iedere röntgenoloog, die radium ter beschikking had, kon zelf zijn ionometer ijken en dit later op dezelfde wijze weer herhalen. Het was wel van belang, om bij deze ijkingen rekening te houden met de gebruikte hoeveelheid radium en de ouderdom daarvan, omdat anders in de metingen afwijkingen optraden. (58)

Er bleek echter, dat de verhouding tussen de Duitse R en de Franse R niet constant was, maar werd beïnvloed door de gebruikte buisspanning en filters. Caplan vond de volgende relatie tussen beide eenheden:

1 Duitse R = 3 Franse R.

Murdoch en Stahel daarentegen zagen de verhouding tussen de Duitse en de Franse eenheid variëren van 2.4 tot 4.55, afhankelijk van buisspanning en filters en gemeten in lucht. (59)

Het onbehagen over de verwarrende naamgeving van de bestaande eenheden en over de afhankelijkheid van deze eenheden van de stralenkwaliteit, leidde in de loop van de jaren twintig tot initiatieven om in deze situatie verbetering aan te brengen. De oplossing voor deze problemen werd echter niet alleen bepaald door fysische en technische factoren. In de internationale wetenschap was na de Eerste Wereldoorlog een diepe controverser ontstaan, die ook in de radiologie haar sporen trok en die van invloed was op de politiek-sociale verhouding tussen de Duitse en Franse R.

In 1919 was door vertegenwoordigers van de Academies van Wetenschappen uit de landen, die in de Eerste Wereldoorlog tot de geallieerden behoorden (Frankrijk, België, Engeland, Italië en de Verenigde Staten), de 'International Research Council' (IRC) opgericht. Het doel van deze organisatie was het bevorderen van internationale wetenschappelijke samenwerking door de oprichting van een aantal internationale verenigingen, die elk een afzonderlijke tak der wetenschap omvatten. In de statuten van de IRC was echter vastgelegd, dat de centrale mogendheden uit de Eerste Wereldoorlog (Duitsland, Oostenrijk, Hongarije en Bulgarije) niet in deze organisatie of haar verenigingen mochten participeren. Voor deze uitsluiting hadden met name Frankrijk en België zich sterk gemaakt. De International Research Council was dan ook een onderdeel van de algemene naoorlogse politiek van isolatie van de centrale mogendheden, een politiek die overigens werd gesteund door de publieke opinie in de geallieerde landen. Duitsland mocht niet weer zijn vooroorlogse dominante positie in industrie, economie, wetenschap of militaire zaken innemen. 'Neutrale landen', zoals Nederland, mochten wél aan de IRC deelnemen, zij het op voorwaarde, dat zij door een tweederde meerderheid binnen de IRC werden geaccepteerd. In de eerste jaren na de Eerste Wereldoorlog ontstond daardoor een effectieve 'boycot' van de Duitse wetenschap. Niet alleen werden Duitse onderzoekers niet meer uitgenodigd voor door de IRC gecoördineerde internationale congressen, ook dienden congressen, waaraan Duitsers deelnamen, naar de mening van de IRC niet te worden bezocht, terwijl in radicale kringen zelfs werd gesuggereerd Duitse wetenschappelijke publikaties niet langer te kopen, te lezen of te citeren.

Bovendien mocht de Duitse taal niet meer op internationale wetenschappelijke bijeenkomsten worden gebezigd.

Deze splijting van de internationale wetenschap werkte ook in de geneeskunde door. Op de Internationale Tuberculose Conferentie, die in 1924 in Lausanne werd gehouden, waren de centrale mogendheden niet welkom, terwijl bovendien aan de aanwezige Duitstalige Zwitsers werd gevraagd, of zij hun lezingen in het Frans of Engels wilden houden. (60) Schroeder-Gudehus concludeerde in haar studie van de naoorlogse internationale wetenschappelijke verhoudingen, over het effect van de 'boycot' op het Duitse wetenschappelijk onderzoek:

'There is no doubt, that like other contacts, information and publications from abroad became scarce and fragmentary.' (61)

Dit zou kunnen verklaren waarom Behnken voor zijn eenheid het symbool 'R' koos; hij wist misschien van het bestaan van de Franse R niets af. Toch is dit onwaarschijnlijk, aangezien een blik in de Franse en Duitse radiologische tijdschriften uit de periode 1920-1925 (zoals *Journal de Radiologie et d'Électrologie*, *Strahlentherapie* en *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen*) leert, dat in deze tijdschriften Duitse én Franse artikelen werden besproken en ook werden geplaatst.

In de loop van de jaren twintig begon echter de steun voor de boycot langzamerhand af te nemen. Dit werd versterkt door het feit, dat de Duitse en Franse regeringen een politiek van toenadering gingen voeren, waarin de boycot niet meer paste, terwijl daarnaast de anti-Duitse stemming onder het publiek in de geallieerde landen afzwakte. De 'neutrale landen' binnen de International Research Council (met name Nederland, Denemarken, Zweden en Noorwegen) trachtten in 1925 een einde aan de boycot te maken, omdat zij er van overtuigd waren geraakt, dat deze de internationale wetenschappelijke samenwerking ernstig belemmerde. Deze poging mislukte evenwel door het felle verzet van met name Franse en Belgische onderzoekers. Een jaar later gelukte het daarentegen wel een wijziging in de statuten aan te brengen, die er toe leidde, dat de boycot werd opgeheven. De centrale mogendheden werden daarop, geheel in de geest van de verdragen van Locarno en Rappollo uit 1925, uitgenodigd om deel te nemen aan de IRC. De onderzoekers in deze landen, met name in Duitsland, voelden zich echter door de aan de IRC deelnemende landen zodanig onheus bejegend, dat zij hun medewerking weigerden. (62)

De bovengenoemde internationale controverse had haar weerslag op alle takken van wetenschap. Welnu, welke invloed heeft deze controverse gehad op de verhoudingen in de internationale radiologie?

Van een volledige boycot van de Duitse radiologie na de oorlog lijkt geen sprake te zijn geweest. Wel duurde het een aantal jaren, voor de traditie van voor de oorlog, om internationale radiologische congressen te houden, kon worden voortgezet. In 1924 ontvingen de leden van de Deutsche Röntgen-Gesellschaft een uitnodiging voor het Eerste Internationale Congres voor Radiologie, dat in juli 1925 in Londen zou worden gehouden. De uitnodigingen waren verstuurd door een voorbereidende commissie van

Britse radiologen. (63) Aan het congres zouden 40 Duitse radiologen deelnemen (op een totaal van 600 deelnemers uit alle 'ontwikkelde landen'). Het commentaar van de redactie van het Duitse tijdschrift *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen* op het verloop van dit congres is veelzeggend:

'Vom 30. Juni bis 4. Juli 1925 tagte in London der erste Radiologen-Kongress. Die Röntgenologen aller Länder können stolz darauf sein, dass sie sich mit als erste unter den Medizinern nach den Wirren des Weltkrieges wieder zu wirklich internationaler sachlicher Arbeit zusammengefunden haben. Der Kongress zeigte eine ausserordentlich starke Beteiligung, über 600 Teilnehmer aus allen Ländern waren erschienen. Wir können mit Befriedigung feststellen, dass die zirka 40 deutschen Röntgenologen, welche nach London gekommen waren, nicht nur in sehr herzlicher Weise von den Engländern mit ausserordentlicher Gastfreiheit aufgenommen worden sind, sondern dass auch alle übrigen Nationen in voller Anerkennung für die auf dem Gebiete der Röntgenologie geleistete deutsche Arbeit den deutschen Fachgenossen in durchaus freundschaftlicher Weise entgegneten.' (64)

Reeds op de eerste dag van dit congres kwam het probleem van de instelling van een internationale eenheid ter bepaling en meting van een hoeveelheid röntgenstralen aan de orde. De Fransen en de Duitsers stelden elk hun eigen eenheid ter acceptatie voor. De deelnemers uit de andere landen meenden echter, dat een beslissing op dat moment niet mogelijk was. Aangezien voor de bespreking van dit onderwerp slechts een dag ter beschikking stond, werden de aanwezigen (waaronder Solomon en Behnken) het erover eens, dat naar de *beste* wetenschappelijke oplossing gezocht moest worden en niet ter plekke een snel, maar wetenschappelijk gezien slecht compromis gesloten mocht worden (wellicht wilde men ook een confrontatie tussen de Duitsers en de Fransen voorkomen). Er werd besloten een speciale internationale commissie in het leven te roepen onder voorzitterschap van de Britse fysicus Sir William Bragg, die zich met het probleem zou gaan bezig houden. Deze commissie werd de voorloper van de International Commission on Radiological Units (ICRU) (65). Het commentaar van de *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen* op deze ontwikkeling luidde als volgt:

'Die sachliche Zusammenarbeit gerade an diesem ersten Tage zeigte ein besonders schönes Beispiel einer internationalen Verständigung geistig hochstehender Männer, das wir wohl mit recht als Symptom dafür auswerten dürfen, dass wenigstens in Radiologenkreisen keine Spur von nationalistischer Kriegspsychose zurückgeblieben ist.' (66)

Bovendien haalde de redacteur van bovengenoemd tijdschrift de woorden van de Zweedse radioloog Forssell aan, die aan het slot van het congres had geconcludeerd:

'Dieser Kongress war nicht nur ein Kongress von Wissenschaftlern, nein, es war eine Versammlung der Nationen!' (67)

Mogelijk is de *Fortschritte* toch iets te optimistisch geweest. Op het Tweede Internationale Congres voor Radiologie te Stockholm in juli 1928 werd de grootste delegatie gevormd door de Duitse deelnemers (de Duitse delegatie was ruim vijf maal zo groot als in Londen in 1925), terwijl een opvallend klein aantal deelnemers uit Frankrijk kwam; Frankrijk was op dat moment een van de toonaangevende landen in de internationale radiologie, maar dit was zeker niet aan de grootte van haar delegatie af te lezen. (68) In de jaren na het Eerste Internationale Congres voor Radiologie kwam de Duitse R steeds sterker te staan, onder meer doordat de Amerikanen (waaronder Duane van de Harvard University en de fysici van de Cleveland Clinic Foundation, waar de geëmigreerde Duitse fysicus Glasser inmiddels werkte) met een eenheid volgens dezelfde definitie waren gaan werken. Uit een onderzoek van Glasser en Meyer in Cleveland, waarin de Duitse R met de Amerikaanse eenheid werd vergeleken, bleek in 1926, tegen de verwachting in, dat deze beide eenheden niet gelijk waren; dit dreigde de geloofwaardigheid van de Duitse R danig aan te tasten. Behnken bouwde daarop twee ionisatiekamers, die hij in de Reichsanstalt ijkte en persoonlijk naar Amerika bracht, zodat hij er zeker van kon zijn, dat de instrumenten tijdens de reis geen schade hadden opgelopen. Daar vergeleek hij zijn ijking met die van Glasser en Duane. De overeenkomst bleek nu verrassend goed te zijn. De Amerikanen en de Duitsers werkten blijkbaar met dezelfde 'R', waarvan nu bewezen was, dat zij op verschillende plaatsen op de wereld nauwkeurig te reproduceren was. (69) Had de Duitse R na 1925 aan invloed gewonnen, de Franse R had tegelijkertijd aan geloofwaardigheid ingeboet. De Belgen Murdoch en Stahel toonden in 1927 namelijk aan, dat de Franse R niet onafhankelijk van de kwaliteit van röntgenstraling was en niet als absolute eenheid van dosis kon worden gebruikt (hun onderzoek en conclusies werden trouwens ondersteund door Behnken). (70) Op het Tweede Internationale Congres voor Radiologie in Stockholm in 1928 werd dan ook door de International Commission on Radiological Units een internationale eenheid van dosis voorgesteld, die de definitie van de Duitse R volgde en die als volgt was gedefinieerd:

'The unit of dose is that quantity of roentgen radiation which, when the secondary electrons are fully utilized and the wall effect of the chamber is avoided, produces in 1 c.c. of atmospheric air at 0 degrees Celsius and 760 millimeters mercury pressure such a degree of conductivity that one electrostatic unit of charge is measured under saturation conditions. This unit shall be called the 'roentgen' and designated by 'r.' (71)

In deze definitie vielen twee dingen op:

- er werd weliswaar een eenheid gedefinieerd, maar de grootte waarvoor deze eenheid was bedoeld, werd niet genoemd.

- het woord 'quantity' in de definitie werd gebruikt in de betekenis van 'hoeveelheid'. De originele definitie sprak niet van 'dosis', maar desondanks werd de röntgen meteen gezien als de eenheid van röntgenstraling *dosis*. De invoering van de röntgen, die gemeten kon worden met een standaard vrije lucht ionisatiekamer, had tot gevolg, dat vingerhoedionisatiekamers geijkt dienden te worden aan een standaard vrije lucht ionisatiekamer en dat de in de diverse landen in gebruik zijnde standaard vrije lucht ionisatiekamers ook aan elkáár geijkt moesten worden. (72)

De technologische vooruitgang in de mogelijkheden tot productie van straling, de steeds hogere potentiaalverschillen, waarmee röntgenstraling kon worden opgewekt, de verbeteringen in de meettechnieken van straling, de uitbreiding van het gebruik van radium in de geneeskunde en de toegenomen toegepassing van fantomen in de dosimetrie, leidden er toe, dat in de loop van de jaren dertig een revisie van de definitie van de röntgen nodig werd geacht. Op het Vijfde Internationale Congres voor Radiologie te Chicago in 1937 werd de definitie van de röntgen opnieuw vastgesteld.

De röntgen werd toen als volgt gedefinieerd:

'the quantity of x- or gamma-radiation such that the associated corpuscular emission per 0.001293 gram of air produces, in air, ions carrying 1 electrostatic unit of quantity of electricity of either sign.' (73)

Een belangrijke verandering was, dat deze definitie nu gold voor zowel röntgen- als gammastraling. De woorden 'one cubic centimeter of atmospheric air at 0 degrees Celsius and 76 centimeters mercury pressure', uit de definitie van 1928, waren vervangen door de eenvoudige en equivalente term '0.001293 gram of air'. De woorden 'quantity' en 'dose' werden in de nieuwe definitie gebruikt als synoniemen, in de betekenis van 'hoeveelheid'.

In 1938 voegde de ICRU, om verwarring te voorkomen, de volgende opmerking aan de definitie toe:

'the dose is not to be confused with the energy actually absorbed by the tissue'. (74)

De invoering van de van de stralenkwaliteit onafhankelijke eenheid 'röntgen' maakte de röntgendosimetrie na 1928 volledig betrouwbaar. Röntgenstralenschade bij patienten, als gevolg van zuiver dosimetrische fouten, kon vanaf dat moment met grote zekerheid worden vermeden, uiteraard op voorwaarde, dat de dosimetrische technieken correct werden gehanteerd.

VI.5 Röntgenqualimetrie.

De opmerkingen van Sträter en Kienböck uit 1900, dat aard en intensiteit van de werking van straling op het lichaam afhankelijk zijn van zowel kwantiteit als kwaliteit van de geapliceerde stralen, stimuleerden ook de ontwikkeling van meetmethoden voor het doordringend vermogen van straling, de qualimetrie. De kwaliteit van de geapliceerde röntgenstraling kon bepalend zijn voor het wel of niet ontstaan van stralenschade bij patiënten, zodat correcte qualimetrie vereist was voor veiligheid in het röntgenbedrijf. In deze paragraaf zal daarom de ontwikkeling van de röntgenqualimetrie nader worden belicht.

De hand als qualimeter.

In de eerste jaren van de röntgenologie maakte men een schatting van de hardheid van straling aan de hand van het beeld van de menselijke hand op het lichtscherf. Het was natuurlijk voor de arts gemakkelijk om zijn eigen hand in de stralenbundel te houden en de afbeelding hiervan te beoordelen. Het laat zich raden, dat deze methode voor het bepalen van de hardheid der stralen zeer onnauwkeurig was en sterk werd beïnvloed door ervaring en interpretatievermogen van de betreffende geneesheer.

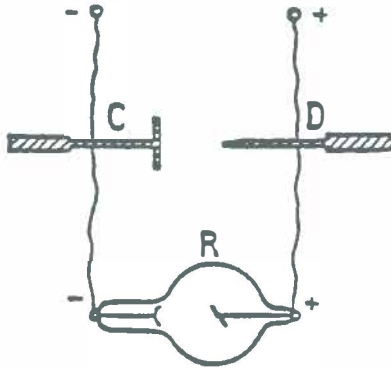
In hoofdstuk V is al gebleken, dat de destijds gebruikte gasbuizen straling van steeds veranderende hardheid uitzonden. Het was dan ook niet voldoende, dat de onderzoeker alleen aan het begin van de bestraling de hardheid van de buis schatte. Bovendien liep een arts, die ter beoordeling van de hardheid van de straling steeds weer zijn eigen hand gebruikte, risico op stralenbeschadiging van hand, gezicht en ogen. (75) In 1897 stelde de Duits-Amerikaanse chirurg Carl Beck voor, om in plaats van de eigen hand een skelethand in de röntgenbundel te houden. Op deze wijze kon volgens hem even goed een idee van de hardheid van röntgenstraling worden verkregen. In 1902 en 1903 raadden ook Kohl en Albers-Schönberg deze methode van qualimetrie sterk aan. (76) De skelethand, ook wel 'osteoscoop' genoemd, was het eerste, evenwel volledig onnauwkeurige, instrument voor de bepaling van de hardheid van röntgenstraling.

Fluorometrie.

De Belgische röntgenpionier Contremoulins bracht in 1902 een geheel andere methode voor qualimetrie: de fluorometrie. Hij vergeleek de intensiteit van de fluorescentie van het bestraalde lichtscherf met het licht van een standaard gloeilamp. Op deze wijze meende hij een schatting van de hardheid van straling te kunnen maken. (77) De Franse radioloog Guilleminot, die werkzaam was in het Laboratorium voor Biofysica te Parijs, verving in 1907 de lamp van Contremoulins door een radioactief zout, dat het scherm deed oplichten en dat op die manier als standaard voor de beoordeling van de hardheid van straling kon dienen. (78) De fluorometrie is echter, vanwege haar onnauwkeurigheid, nooit een populaire methode geworden.

De parallelle vonkenbaan.

Een eenvoudige methode om informatie te krijgen over de hardheid van röntgenstralen was de toepassing van de parallelle vonkenbaan. Antoine Béclère trachtte in 1900 aan de hand van de vonk Lengte inzicht te krijgen in de kwaliteit van röntgenstraling; hij ontwikkelde voor dit doel de 'spintermeter', de eerste parallelle vonkenbaan. (79) In het algemeen bestond een vonkenbaan uit een messing plaat en een messing pen:



Figuur VI.5 Het principe van de vonkenbaan. C = messing plaat, D = messing pen, R = röntgenbuis

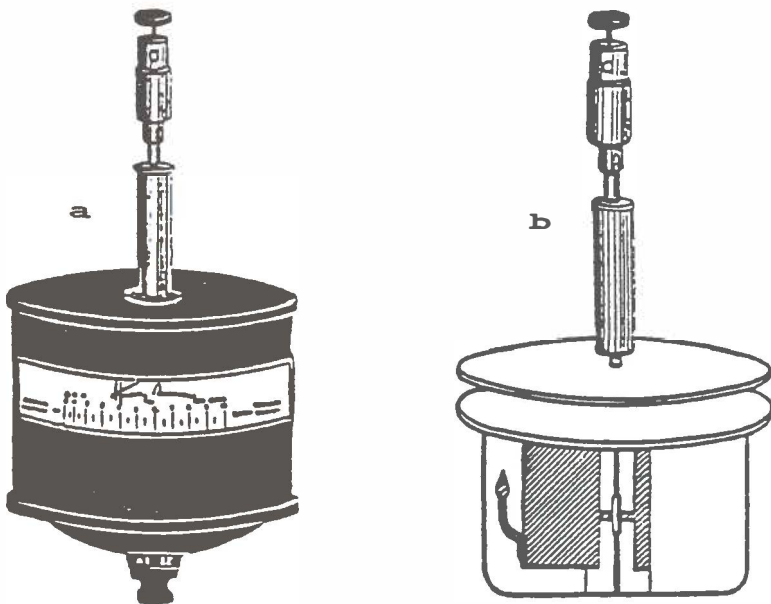
deze 'elektroden' werden door harde gummistaven geïsoleerd gedragen (zie figuur VI.5). De plaat was met de negatieve pool en de pen met de positieve pool van de spanningsbron verbonden. Na het inschakelen van de stroom werden plaat en pen zo dicht tot elkaar gebracht, dat de eerste vonken oversprongen. De afstand, die plaat en pen op dat moment tot elkaar hadden, werd gemeten en werd 'vonk lengte' genoemd. De grootte van de vonk lengte stond in relatie tot de spanning over de röntgenbuis en daarmee in relatie tot de hardheid van de uitgezonden straling. Deze methode was echter om een aantal redenen onbetrouwbaar:

- de vonk lengte gaf alleen de 'piek spanning' aan, die weliswaar verantwoordelijk was voor een groot deel van de opgewekte röntgenstraling, maar niet voor de gehele röntgenbundel.
- de vonk lengte wisselde met vorm en ouderdom van de röntgenbuis zelf.
- de vonk lengte wisselde met de vochtigheid van de lucht.
- de vonk lengte wisselde met aard en wijze van schakeling van de hoogspanningsbron. (80)

Het gevolg van dit alles was, dat twee metingen bij één en dezelfde röntgenbuis twee verschillende waarden van de vonklengthe op konden leveren, terwijl de hardheid van de stralen beide keren wel gelijk was geweest. Een betrouwbare bepaling van het doordringingsvermogen van de straling was met behulp van deze methode dan ook niet mogelijk. Andere instrumenten voor indirecte kwaliteitsmeting waren bijvoorbeeld de qualimeters van Bergonié en Bauer en de in het vorige hoofdstuk genoemde voltmeters. (81)

De qualimeter van Bauer.

De 'qualimeter van Bauer' was een product van een Berlijnse fabriek voor röntgenapparatuur, die werd geleid door de technicus en fysicus Heinz Bauer. Het instrument bestond uit een klem, die met de stroomleiding, die van de kathode van de röntgenbuis naar de hoogspanningsbron liep, kon



Figuur VI.6 De buitenkant (a) en het inwendige (b) van de qualimeter van Bauer.

worden verbonden. De hoogspanning van deze stroomleiding werd via de klem naar twee rechtopstaande metalen vlakken geleid, die zich binnen in de qualimeter bevonden. Op deze wijze werden beide vlakken negatief geladen, waardoor ze elkaar gingen afstoten. Aangezien het ene vlak vast was bevestigd en het andere om zijn eigen verticale as kon draaien, ging dit laatste vlak, als gevolg van de elektrostatische afstoting, een uitslag vertonen, analoog aan de uitslag van de bladen van een geladen electroscop: hoe hoger de hoogspanning, des te groter de uitslag van het beweegbare vlak (zie fig. VI.6).

De uitslag gaf de hardheid van de straling weer en deze grootte werd via een wijzer op een schaal aangegeven. Ook de qualimeter van Bauer gaf echter waarden aan, die wisselden met de gekozen schakeling van de stroomleidingen en de aard van de spanningsbron; de meter was dan ook ongeschikt voor het opstellen van vaste normen, die als richtlijn konden dienen voor de applicatie van bepaalde stralendoses. (82)

De hardheidsschalen.

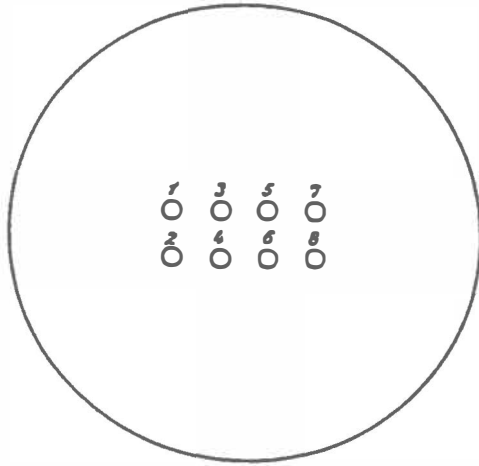
In de eerste jaren van deze eeuw werden enkele qualimeters vervaardigd, die bekendheid kregen onder de naam 'hardheidsschalen'. De eerste hardheidsschaal werd in 1902 geconstrueerd door de Duitse fysicus Bernhard Walter, die een goede vriend was van Albers-Schönberg en die werkzaam was in het Physikalische Staatslaboratorium te Hamburg.

De Walter-schaal was een instrument, dat de hardheid van röntgenstraling kon meten, doordat in een loden schijf van twintig centimeter diameter en twee millimeter dikte, acht ronde gaten waren aangebracht en op deze gaten platina schijfjes waren gelegd van respectievelijk 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.08, 0.16, 0.32, en 0.64 millimeter dikte (zie figuur VI.7). (83)

Op de achterkant van de loden schijf was een klein barium-platinacyanuerscherm aangebracht, met daar weer achter een stuk loodglas in een messing houder. Aan de messing houder was een messing buis bevestigd (zie figuur VI.8).

Om de hardheid van de röntgenstraling te bepalen, kon de arts het instrument bij de messing buis vastpakken en de loden schijf met de voorkant -loodrecht op de richting van de stralen- in de stralenbundel houden, dicht bij de glaswand van de buis. De arts kon hierna in de messing buis kijken en waarnemen achter hoeveel platinaschijfjes het barium-platinacyanuerscherm oplichtte. Daar waar de straling dóór een platinaschijfje was gedrongen, was een oplichtend cirkeltje te zien: des te harder de straling, des te meer oplichtende cirkeltjes te zien waren. Het aantal oplichtende ronde veldjes was op deze manier een maat voor de hardheid van de röntgenstraling. Als zeven veldjes oplichtten, sprak men van een hardheid van 7 W, bij oplichten van drie veldjes van een hardheid van 3 W, etc. De Walter-schaal gaf aldus waarden aan van 0-8 W. Het oog van de arts werd beschermd door de loden schijf en door het daarachter liggende loodglas. (84)

De Walter-schaal had, wat de nauwkeurigheid van de meting betrof, twee nadelen:

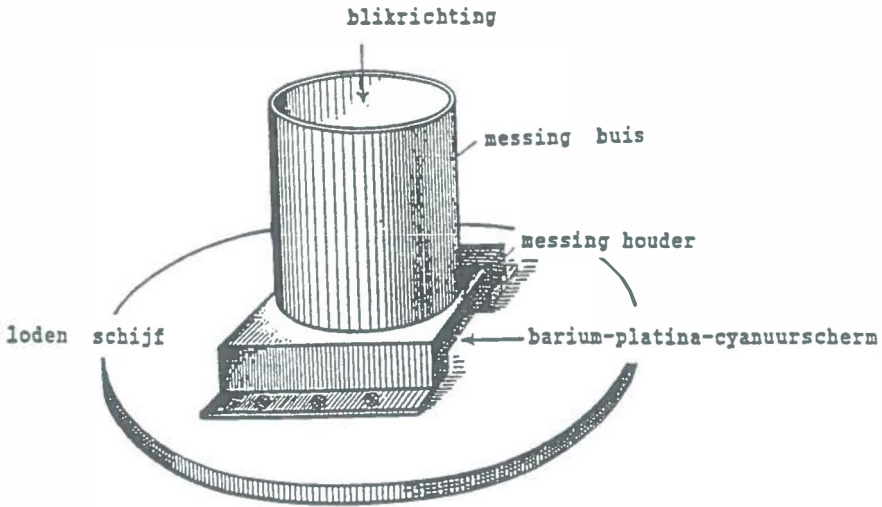


Figuur VI.7 De voorzijde van een Walter-schaal.

- het aantal velden, dat de arts zag oplichten, was niet alleen afhankelijk van het doordringend vermogen van de stralen, maar ook van de adaptatie van zijn ogen aan de duisternis; iemand die juist uit het volle licht kwam, liep kans minder veldjes te zien oplichten, dan iemand wiens ogen volledig aan de duisternis waren aangepast.
- bij sterkere belasting van de buis (grotere stroomsterkte) nam de stralenintensiteit toe, waardoor een veldje door meer fotonen (van dezelfde energie) werd getroffen, zodat het meer oplichtte: dit kon juist het verschil uitmaken tussen wel en niet gezien worden van dat veldje door het menselijk oog.

De röntgenoloog diende dan ook goed uitgeruste en geadapteerde ogen te hebben, zijn laboratorium niet te hel te verlichten en het aflezen van de schaal in het donker te verrichten. In de praktijk bleek het verschil in dikte tussen de platinaschijfjes groot genoeg om een hoger genummerd veld alleen dan te doen oplichten, als de straling ook werkelijk harder was. (85) De varianten op de Walter-schaal, zoals de Benoist-schaal, de Benoist-Walter-schaal en de Wehnelt-schaal, werkten grotendeels volgens dezelfde principes.

De hardheidsschalen gaven meer informatie over de werkelijke kwaliteit van de straling dan de daarvoor genoemde qualimeters, maar ook zij waren verre van nauwkeurig. De Walter-schaal maakte echter wél herkenning van zachte straling mogelijk en heeft daardoor een relatief belangrijke bijdrage geleverd aan de preventie van huidverbrandingen bij patienten.



Figuur VI.8 De achterzijde van een Walter-schaal.

Absorptiecurves.

In de eerste jaren na 1912 werd volop onderzoek verricht naar de bruikbaarheid van de halveringsdikte als maat voor de kwaliteit van röntgenstraling, maar dit onderzoek leverde geen betrouwbare meetmethode op. (86) De aandacht werd daardoor verplaatst naar de toepassing van absorptiecurves.

Voor de praktische radiologie was het belangrijk om de gemiddelde kwaliteit van een bundel röntgenstralen te kennen. De meetmethoden gebaseerd op ionisatie maakten het mogelijk, dat voor ieder gewenst medium absorptiecurves konden worden gemaakt.

Door het werk van onder anderen Hull in 1915 wist men, dat het voltage, waarmee röntgenstraling werd opgewekt, op zichzelf onvoldoende het penetratievermogen van röntgenstralen specificieerde, omdat er in de hoogspanning over de buis grote variaties optraden en omdat de mate van absorptie van de straling in de wand van de röntgenbuis wisselde al naargelang de constructie van de buis en de gebruikte filters. (87)

De Amerikaanse fysici Taylor, Singer en Stoneburner, die werkzaam waren bij het National Bureau of Standards te Washington D.C., werkten in de jaren 1933 en 1934 aan de ontwikkeling van standaard absorptiecurves,

die, ondanks variaties in de hoogspanning, in de praktijk gebruikt konden worden om de kwaliteit van röntgenstraling te bepalen. Als basis dienden de absorptiecurves van de röntgenbundels in een bepaald materiaal, bijvoorbeeld koper of aluminium. In een absorptiecurve was de dikte van het metaal uitgezet tegen het percentage transmissie. Een bepaalde röntgenbundel, met zekere spectrale distributie, deed in een bepaald metaal een specifieke absorptiecurve ontstaan. Omgekeerd kon uit een opgestelde absorptiecurve de spectrale distributie van de energie (kwaliteit) van een röntgenbundel worden bepaald en dit met voor praktische doeleinden voldoende nauwkeurigheid. (88) Binnen zekere grenzen gold, dat een absorptiecurve van straling, die was opgewekt bij een variabele spanning, vergelijkbaar was met een absorptiecurve van straling, die bij een bepaalde constante spanning was opgewekt. Een serie complete absorptiecurves van 'constant voltage radiation' kon dan ook als standaard dienen om van straling, die was opgewekt met een fluctuerende spanning (en waarvan de absorptiecurve was bepaald), de equivalente constante spanning te bepalen. De equivalente constante spanning was de constante potentiaal, die nodig was om met een gegeven röntgenbuis een absorptiecurve van dezelfde vorm te doen ontstaan als die van de onderzochte straling. De equivalente constante spanning van een röntgenbundel was dan ook een maat voor de kwaliteit van deze bundel. In de jaren dertig was hiermee, voor praktische toepassing in de kliniek, een betrouwbare methode van qualimetrie gecreëerd, zodat de tekortkomingen van de klinische dosimetrie vanaf dat moment geen oorzaak van stralenschade meer hoefden te zijn.

VI.6 Samenvatting en conclusies.

In zowel het eerste als het tweede maximum in het optreden van röntgenstralenschade bij patienten heeft het ontbreken van nauwkeurige methoden voor quantimetrie en qualimetrie een belangrijke rol gespeeld. De invoering van de chemische dosimeters heeft geleid tot afvlakking van het tweede maximum. De introductie van ionisatiekamers in de röntgenquantimetrie (1924), de bereikte consensus over de eenheid 'röntgen' (1928) en de totstandkoming van absorptiecurves in de röntgenqualimetrie (1934), maakten de röntgendosimetrie betrouwbaar genoeg om stralenschade door doseringsfouten theoretisch te kunnen uitsluiten. Deze factoren veroorzaakten een definitieve daling van het aantal optredende röntgenbeschadigingen en hebben belangrijk bijgedragen aan de neutralisatie van het derde maximum in het optreden van röntgenstralenschade bij patienten.

HOOFDSTUK VII. RADIUMDOSIMETRIE.

Inhoud:

VII.1 Inleiding.

VII.2 De eerste pogingen tot radiumdosimetrie.

VII.3 De methode van Quimby.

VII.4 Het doseringssysteem voor uitwendige en intracavitare radiumtherapie van Paterson en Parker.

VII.5 Interstitiële radiumdosimetrie.

VII.6 Het gebruik van de eenheid röntgen in de radiumdosimetrie.

VII.7 Samenvatting en conclusies.

VII.1 Inleiding.

De eerste radiumtherapeuten moesten de effecten van de nieuwe behandelingsmethode leren inschatten aan de hand van hun eigen klinische ervaringen. Door klinische observatie en het vergelijken van de uitwerkingen van verschillende filters, afstanden en applicatietijden, bouwden zij met vallen en opstaan de nodige expertise op om radium therapeutisch te kunnen toepassen. (1) Het werd al vrijwel meteen gewoonte om bij publikaties over curietherapie te vermelden, hoeveel milligrammen radiumbromide over welke tijdsduur waren toegepast. (2) Het bleek echter moeilijk om dosimetrische methoden in de radiumtherapie zodanig te standaardiseren, dat bij herhaling van eerder door anderen uitgevoerde experimenten, dezelfde resultaten werden verkregen. (3) Terwijl in het begin van deze eeuw de röntgendosimetrie volop in ontwikkeling was, toonde de ontwikkeling van de radiumdosimetrie daarentegen lange tijd geen enkele vooruitgang. (4) In de jaren na 1907 werden evenwel ook in de radiumtherapie filters ingevoerd om de zachte component van de straling te elimineren en om de huid van stralenschade te vrijwaren. De Belg Sluijs beweerde in 1914, dat er dankzij de toepassing van filters in de radiumtherapie enorme vooruitgang was geboekt in de vermindering van schadelijke gevolgen, waarbij hij er overigens van uit ging, dat de filters correct werden gebruikt. (5) Nauwkeurige en betrouwbare radiumdosimetrie was een eerste vereiste om bij patienten schadelijke reacties ('radiumzweren') met zekerheid te kunnen uitsluiten. In dit hoofdstuk zullen de verschillende stappen, die leidden tot het ontstaan van wetenschappelijk onderbouwde radiumdosimetrie, worden behandeld.

VII.2 De eerste pogingen tot radiumdosimetrie.

De specificatie van de radiumdosis in milligram-uur of millicurie-uur gaf, in combinatie met een beschrijving van het gebruikte filter en vorm en grootte van de applicator, informatie over de energie, die van de radiumbron uitging. Op deze wijze werd echter alleen de geëmitteerde dosis beschreven en niet de dosis, die de weefselcellen ontvingen. (6) In de radiumtherapie was het niettemin, net als in de röntgentherapie, van groot belang om de dosis te kennen, die de patient daadwerkelijk had ontvangen, omdat daardoor het weefseleffect werd bepaald. (7) Om deze reden deden artsen en fysici in het begin van de jaren twintig in tal van wetenschappelijke centra experimenten om een eenheid voor geapliceerde radiumdosis te ontwikkelen. Het meten van radiumdoses bleek evenwel veel moeilijker te zijn dan het meten van röntgendoses, en wel om de volgende redenen:

- men had meestal louter geringe hoeveelheden van het zeer dure radium ter beschikking. (8)
- de door radium en radon uitgezonden γ -straling had een hoog doordringend vermogen.
- de radiumbron diende altijd in de directe nabijheid van het te bestralen weefsel te zijn, of zelfs *in* dit weefsel te zijn geplaatst. De meting van de hoeveelheid straling met behulp van ionisatiekamers, zo succesvol bij röntgenstraling, was onder deze omstandigheden nutteloos. Als namelijk een ionisatiekamer van één centimeter diameter zodanig werd geplaatst, dat haar centrum één centimeter van een radiumbron was verwijderd, was de intensiteit van de straling in het dicht bij de bron gelegen gedeelte van de ionisatiekamer negen maal groter dan de stralensintensiteit in het verst verwijderde deel ervan, waardoor de geregistreerde ionisatie slechts een zeer onnauwkeurige maat was voor de dosis. (9)

Ook in de radiumdosimetrie trachtte men daarom biologische reacties te gebruiken als maat voor de geapliceerde dosis. In 1918 stelde Russ voor, de experimenteel bepaalde hoeveelheid straling, die nodig was om kanker bij muizen te elimineren, als eenheid van radiumdosis te nemen. (10) Andere onderzoekers bestraalden eieren van *Ascaris* en *Drosophila*, in de hoop om op basis van deze proeven een praktisch bruikbare biologische methode van radiumdosimetrie te kunnen ontwikkelen. (11) Van praktische betekenis werd echter alleen de biologische radiumdosimetrie, die was gebaseerd op de reactie van de menselijke huid. (12) Een voordeel van de biologische dosimetrie in de radiumtherapie was, dat een bepaalde standaarddosis kon worden bepaald. Een lineair verband tussen radiumdosis en biologisch effect was echter niet aanwezig. Om in de praktijk gebruik van een biologische eenheid te kunnen maken, was het nodig om een calibratiecurve op te stellen, waarin effect en dosis tegen elkaar werden uitgezet. Aangezien de dosis evenwel varieerde met elk van de betrokken fysische factoren (hoeveelheid radium, filter, afstand tot de huid, vorm van de applicator en duur van de bestraling), moest het effect op de standaardreactie van iedere verandering in een of meer van deze factoren

worden bepaald. Er moest daarom voor de creatie van een klinisch-biologisch doseringssysteem een zeer groot aantal combinaties van fysische factoren worden uitgegetest. Voor een dergelijke studie waren echter om statistische redenen zoveel patienten nodig, dat zij in de praktijk moeilijk uitvoerbaar was. (13)

Naast de biologische dosimetrie kreeg ook de ontwikkeling van de fotografische radiumdosimetrie in de periode 1924-1932 in diverse onderzoeksinstituten aandacht. Pogingen om fotografische methodes in de radiumdosimetrie toe te passen, waarbij de zwarting van een bestraald filmpje in vaste verhouding moest staan tot de hoeveelheid radiumstraling die erop was gevallen, bleken echter om fysische redenen geen betrouwbare dosimetrie op te leveren. (14)

Toen dan ook rond 1920 een maximum optrad in het aantal optredende gevallen van radiumschade bij patienten (een van de drie componenten van het derde maximum uit hoofdstuk I), ontbrak nog steeds een deugdelijke methode voor radiumdosimetrie. Deze omstandigheid vormde een belangrijke oorzaak van het optreden van dit maximum, maar daarmee is nog niet verklaard, waarom deze piek juist op dat moment optrad. Deze vraag zal in hoofdstuk IX worden beantwoord. In het vervolg van dit hoofdstuk zullen de ontwikkeling van de radiumdosimetrie na 1920 en de daarmee samenhangende preventie van radiumschade ter sprake komen.

VII.3 De methode van Quimby.

Het was rond 1920 bekend, dat een bepaalde hoeveelheid radium, die was verdeeld in een applicator van relatief grote omtrek, niet hetzelfde effect gaf als eenzelfde hoeveelheid radium, die in een klein buisje of een kleine applicator was gebracht en gedurende dezelfde tijd werd geapliceerd. In het eerste geval was immers de afstand van -een deel van- het radium tot ieder punt op de huid veel groter dan in het laatste geval. Bovendien moest een deel van de radiumstralen, met name de stralen uit de verst van de huid verwijderde punten, in het eerste geval een veel grotere hoeveelheid materiaal van de applicator passeren, waardoor meer filtratie optrad. (15) Friedrich en Glasser vergeleken in 1920 de intensiteiten van radiumstraling uit verschillende applicators. Met behulp van een kleine ionisatiekamer bepaalden zij punten van gelijke stralenintensiteit rond radiumcapsules, zodat isodosisvlakken konden worden bepaald. (16)

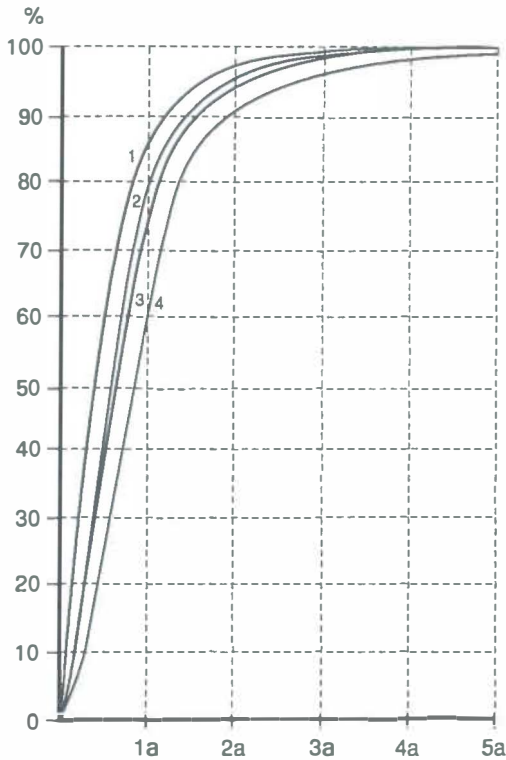
Andere onderzoekers volgden al snel hun voorbeeld (17), maar deze methode om experimenteel applicators van veelsoortige vorm en grootte, op verschillende afstanden van de huid, in hun uitwerkingen op de ruimtelijke verdeling van de intensiteit van de radiumstraling uit te testen, was, gezien de vele metingen, die voor statistisch betrouwbare resultaten nodig waren, niet praktisch. (18)

Het was om deze reden, dat werd getracht een algemene methode te vinden voor het berekenen van de intensiteit van radiumstralen; door middel van een aantal gerichte experimenten kon dan ter controle een deel van de verkregen resultaten worden getoetst.

In 1922 publiceerde de Amerikaanse natuurkundige Edith Quimby een aantal tabellen, met daarin de relatieve hoeveelheden radiumstraling, die onder bepaalde applicators op het centrum van een huidveld vielen. Quimby, die haar onderzoek had verricht in het Memorial Hospital te New York, ging uit van een bepaalde constante hoeveelheid radium, die was aangebracht in buisjes van verschillende lengte, of in circulaire, vierkante en rechthoekige applicators (die verschilden in grootte van oppervlakte). Dit onderzoek leverde resultaten op voor 200 vigerende radiumapplicators van verschillende vorm, voor verschillende filters en voor verschillende afstanden tot de huid. Deze gegevens waren volgens wiskundige methoden berekend en als standaardreactie was een licht erytheem van de huid gebruikt, namelijk het erytheem, dat werd veroorzaakt op de huid van een 'average patient', als gevolg van een dosis van 7.5 millicurie-uur ongefilterde radiumstraling, toegepast vanaf een afstand van twee centimeter van de huid. Door het aantal milligram-uur te kennen, dat met een bepaalde applicator nodig was om de standaardreactie te veroorzaken, kon het aantal milligram-uur, nodig voor het veroorzaken van een andere huidreactie met dezelfde hoeveelheid radium, of het aantal millicurie-uur, dat de standaardreactie veroorzaakte bij toepassing van een ander filter of een andere afstand tot de huid, worden bepaald. Quimby stelde curves op voor applicators met een grootte 'a', waarvoor gold:

- voor een buisvormige applicator: lengte = a.
- voor een cirkelvormige applicator: diameter = a.
- voor een vierkante applicator: lengte van de zijde = a.
- voor een rechthoekige applicator: zijden a bij 1.5 a.

Via een speciale wijze van berekening bepaalde Quimby de intensiteit van de straling uit een applicator van bepaalde vorm en grootte op verschillende afstanden tot de huid. Bovendien berekende zij de intensiteit voor dezelfde hoeveelheid radium voor dezelfde afstanden tot de huid als het radium geconcentreerd zou zijn geweest in een punt (waarbij de regel kon worden toegepast, dat de intensiteit van de straling omgekeerd evenredig was met het kwadraat van de afstand tot de puntbron). Door de eerstgenoemde intensiteit te delen door de laatste, werd voor een bepaalde afstand tot de huid de intensiteit van de applicator uitgedrukt in die van de puntbron en aangegeven door een bepaald percentage. De op deze wijze verkregen percentages werden in een grafiek uitgezet tegen de afstand tot de huid, waarbij deze laatste werd uitgedrukt in 'a'. Voor iedere applicator kon een curve worden opgesteld en voor een en dezelfde applicator konden verschillende curves worden bepaald al naargelang het gebruikte filter (zie figuur VII.1). Een dergelijke curve kon als volgt worden gebruikt: stel, dat een vierkante applicator van bekende kwantiteit radium en met zijde 'a' op afstand 3a van de huid werd gehouden. Uit de berekening volgens de kwadratenwet, waarbij de applicator als een puntbron werd opgevat, volgt, dat deze applicator op deze afstand van de huid een intensiteit van q millicurie-uur had. Door de juiste curve van Quimby op te zoeken, dat wil zeggen de curve, die paste bij de gegeven filtratie en vorm van de



Figuur VII.1 Grafieken volgens Quimby uit 1922. Langs de horizontale as is de afstand van de applicator tot de huid uitgezet, uitgedrukt in 'a'. Langs de verticale as is in procenten aangegeven het quotiënt van de intensiteit van een applicator en de intensiteit van een puntbron van dezelfde sterkte voor een bepaalde afstand tot de huid. Grafiek 1 gold voor buisvormige (lengte 'a'), 2 voor circulaire (diameter 'a'), 3 voor vierkante (zijde 'a') en 4 voor rechthoekige ('a x 1,5a') applicators

applicator en deze af te lezen bij huidafstand 3a, werd een percentage verkregen, bijvoorbeeld 73. Dit betekende, dat de werkelijke intensiteit van de applicator als gevolg van de vierkante vorm op deze afstand 73% was van die van een puntbron van dezelfde hoeveelheid radium, met andere woorden deze intensiteit was 0.73q millicurie-uur.

Deze methode maakte het radiologen mogelijk om huiddoses, als gevolg van diverse radiumapplicators, met elkaar te vergelijken.

Door bij een gegeven mate van filtratie met een bepaalde applicator op een bepaalde afstand van de huid klinisch te bepalen hoeveel millicurie-uur deze

applicator moest worden toegepast om de standaard erytheemreactie op te wekken, kon voor iedere andere applicator en voor elke andere afstand tot de huid door berekening de dosis worden bepaald, die dezelfde standaardreactie op zou wekken. Quimby stelde langs deze weg tabellen op, waarin in een oogopslag kon worden afgelezen hoeveel millicurie-uur een bepaalde applicator moest worden toegepast om de standaard erytheemreactie te doen ontstaan; de daarvoor vereiste doses (in millicurie-uur) voor de diverse applicators konden zonder meer met elkaar worden vergeleken (zie de tabellen VII.1 tot en met VII.4).

Tabel VII.1. Tabel uit 1922 volgens Quimby voor buisvormige radiumapplicators. De standaard radiumbron is een puntbron van 1 millicurie-uur; op 1 centimeter afstand van de huid wordt een intensiteit van 100% gedefinieerd. Alle andere waarden in de tabel zijn hieraan gerelateerd. De tabel gold voor ongefilterde straling.

| Distance (cm) | Point (%) | Tube length 1 cm (%) | Tube length 1.5 cm (%) |
|---------------|-----------|----------------------|------------------------|
| 0.25 | 1600.0 | 890.0 | 672.0 |
| 0.50 | 400.0 | 314.0 | 262.0 |
| 0.75 | 178.0 | 157.0 | 140.0 |
| 1.0 | 100.0 | 92.8 | 89.3 |
| 1.5 | 44.4 | 43.2 | 41.2 |
| 2.0 | 25.0 | 24.5 | 23.9 |
| 3.0 | 11.1 | 11.0 | 10.9 |

Deze methode hield alleen rekening met de afstand van de radiumbron tot de huid, zodat zij alleen toepasbaar was op huiddoses en niet op dieptedoses. In 1922, toen Quimby deze methode ontwikkelde, waren weefseldoses evenwel nog niet nauwkeurig te bepalen, zodat zij haar methode enkel op huiddoses kon baseren. (19)

Quimby's doseringssysteem voor regelmatig gevormde uitwendige radiumapplicators was een eerste poging tot standaardisering van de radiumdosimetrie en haar methode was in die zin van groot belang voor de preventie van radiumbeschadigingen van de huid.

Tabel VII.2. Tabel uit 1922 volgens Quimby voor cirkelvormige radiumapplicators. De standaard radiumbron is een puntbron van 1 millicurie-uur; op 1 centimeter afstand van de huid wordt een intensiteit van 100% gedefinieerd. Alle andere waarden in de tabel zijn hieraan gerelateerd. De tabel gold voor ongefilterde straling.

| Distance (cm) | Point (%) | Circle diameter 1 cm (%) | Circle diameter 4 cm (%) |
|---------------|-----------|--------------------------|--------------------------|
| 0.25 | 1600.0 | 656.0 | 106.0 |
| 0.50 | 400.0 | 279.0 | 70.8 |
| 0.75 | 178.0 | 148.0 | 52.8 |
| 1.0 | 100.0 | 89.6 | 41.0 |
| 1.5 | 44.4 | 42.4 | 25.7 |
| 2.0 | 25.0 | 24.3 | 17.4 |
| 3.0 | 11.1 | 10.9 | 9.27 |

In de jaren dertig werden, met behulp van nauwkeuriger wiskundige methoden, voor diverse radiumapplicators perifere dosisdistributies bepaald en in tabellen uitgedrukt. (20) Deze tabellen waren echter niet toepasbaar voor onregelmatig gevormde applicators, zoals moulages of applicators met gebogen oppervlakken. Onregelmatig gevormde houders werden nochtans in de praktijk veelvuldig toegepast, zodat ook hiervoor een betrouwbaar dosimetrisch systeem moest worden ontworpen.

VII.4 Het doseringssysteem voor uitwendige en intracavitaire radiumtherapie van Paterson en Parker.

De Britten Ralston Paterson en Herbert Parker, die werkzaam waren in het Holt Radium Instituut te Manchester, beschreven in 1934 een methode voor radiumdosimetrie, die voor applicators van velerhande vorm te gebruiken was.

Als een clinicus had bepaald, welke dosis radium bij een patient moest worden toegediend, kon hij met behulp van het door Paterson en Parker ontwikkelde doseringssysteem de behandeling uitvoeren. De methode

Tabel VII.3. Tabel volgens Quimby uit 1922 voor buisvormige radiumapplicators. Deze tabel gold voor filtratie met 2 millimeter koper en 2.4 millimeter rubber. De waarden zijn de doses in millicurie-uur nodig voor het opwekken van de standaard erythemreactie.

| Distance, cm | Tube length 1 cm | Tube length 2 cm | Tube length 4 cm |
|--------------|------------------|------------------|------------------|
| 1.0 | 173 | 206 | 294 |
| 1.5 | 374 | 409 | 526 |
| 2.0 | 654 | 692 | 824 |
| 3.0 | 1455 | 1500 | 1640 |
| 4.0 | 2570 | 2620 | 2770 |
| 5.0 | | 4000 | 4240 |
| 6.0 | | | 6000 |
| 7.5 | | | 9000 |
| 10.0 | | | 16000 |

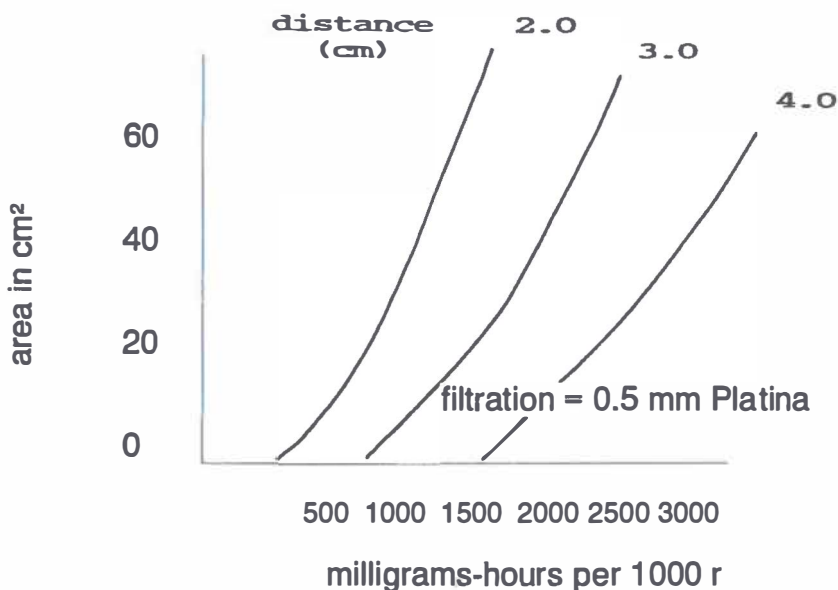
zorgde voor een homogene bestraling en was geschikt voor alle vormen van externe radiumtherapie. In plaats van uit te gaan van 'millicurie-uur' of 'milligram-uur' kozen Paterson en Parker voor de 'r' als eenheid van radiumdosis, waarbij zij er van uitgingen, dat een puntbron van één milligram radium, gefilterd door 0.5 millimeter platina, op een centimeter afstand een stralenintensiteit leverde van 8.4 r per uur. De werkeenheid, waarin zij hun grafieken hadden opgesteld, bedroeg 1000 r. Figuur VII.2 demonstreert een van de door Paterson en Parker gemaakte grafieken: langs de verticale as was de oppervlakte (in vierkante centimeters) van het te bestralen gebied uitgezet; langs de horizontale as de hoeveelheden milligram-uur radium, die vereist waren (voor de gegeven afstand tot de huid of tot het te bestralen vlak in het lichaam) om 1000 r te appliceren. Iedere lijn, die in de figuur te zien is, gold voor een bepaalde afstand tussen applicator en doelvlak. Op deze wijze werden grafieken opgesteld voor allerlei grootten van oppervlak, voor verschillende afstanden tot het doelvlak en voor diverse filters. Bovendien werden grafieken bepaald, waarin de actieve lengte van radiumbuisjes (dat wil zeggen alleen de lengte van dat deel, waarin zich het radium bevond) voor diverse radii werd uitgezet tegen de hoeveelheid

Tabel VII.4. Tabel volgens Quimby uit 1922 voor circulaire radiumapplicators. Deze tabel gold voor filtratie met 2 millimeter koper en 2.4 millimeter rubber. De waarden zijn de doses in millicurie-uur nodig voor het opwekken van de standaard erytheemreactie.

| Distance, cm | Circle diameter 2 cm | Circle diameter 4 cm | Circle diameter 6 cm |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1.0 | 234 | 406 | 640 |
| 1.5 | 437 | 640 | 918 |
| 2.0 | 728 | 936 | 1250 |
| 3.0 | 1530 | 1760 | 2120 |
| 4.0 | 2670 | 2880 | 3270 |
| 5.0 | 4120 | 4370 | 4650 |
| 6.0 | 5760 | 6000 | 6550 |
| 7.5 | 9000 | 9000 | 9600 |
| 10.0 | 16000 | 16000 | 16000 |

radium in milligram-uur, die nodig was langs de centrale as van de tubes om aan de oppervlakte van de buisjes een dosis van 1000 r te leveren (zie figuur VII.3). Als de dosis in '1000 r' bekend was, kon de arts in de grafieken opzoeken hoeveel milligram-uur radium nodig was om voor gegeven afstand en filtratie op het doelvlak 1000 r te appliceren. Als de vereiste dosis bijvoorbeeld 5000 r was, werd de in de grafiek opgezochte hoeveelheid milligram-uur radium met vijf vermenigvuldigd; de geneesheer wist dan hoeveel milligram-uur radium geapliceerd diende te worden om de dosis van 5000 r op het gewenste vlak te geven. Voor eventuele filtraties, waarvoor geen grafieken waren gemaakt, werden correctiefactoren vermeld, die op de waarden, die voor een andere filtratie waren afgelezen, konden worden toegepast. Om de dosis homogeen te kunnen appliceren, hield het doseringssysteem een groot aantal 'distributieregels' in. De manier waarop de radiumbronnen waren gerangschikt was namelijk van grote invloed op de dosis in ieder punt van het doelvlak (zie figuur VII.4).

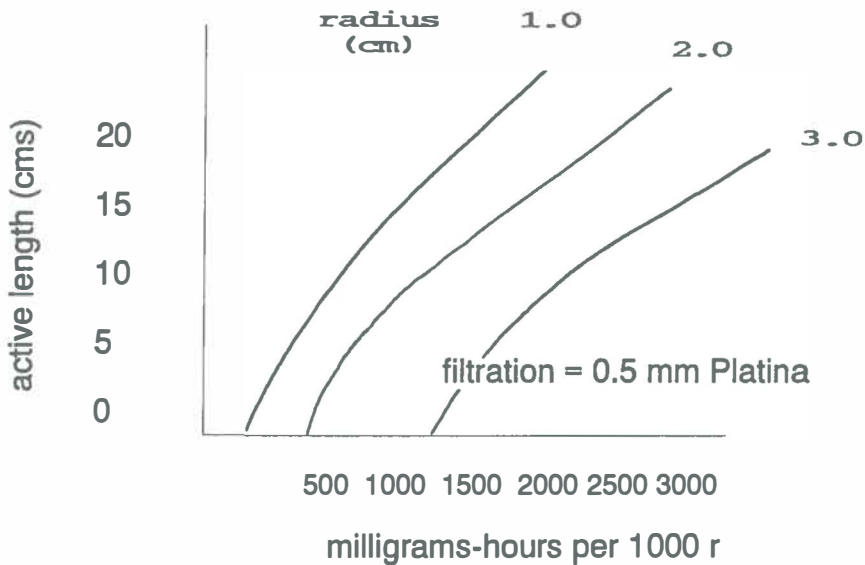
De hoeveelheid radium die gebruikt moest worden, diende nauwkeurig volgens de distributievoorschriften over het vlak van de applicator te worden verdeeld. Er waren regels opgesteld voor distributie van radium over egale applicatorvlakken en over concave en convexe oppervlakken en



Figuur VII.2 Dosisgrafiek voor kleine oppervlakken volgens Paterson en Parker.

er waren voorschriften voor de toepassing van radiumbuisjes in lichaamsholten, zoals oesophagus, rectum, vagina en baarmoederholte. Absolute homogeniteit van de straling was met deze methode niet te bereiken. De afwijking hierin was volgens Paterson en Parker zelden meer dan 5% en nooit groter dan 10% (figuur VII.5 dient ter illustratie). In het doseringssysteem van Paterson en Parker werd trouwens geen rekening gehouden met absorptie van radiumstraling door normale weefsels en ook niet met het optreden van stroostraling: het gehele systeem was gebaseerd op berekeningen in lucht. Dit doseringssysteem betekende voor de radiumtherapie een grote stap voorwaarts:

- het systeem was toepasbaar voor allerlei vormen van applicators, zowel in de externe radiumtherapie als in de radiumtherapie in lichaamsholten.
- de methode bleek voldoende nauwkeurig om -bij correcte toepassing- het optreden van ongewenste schadelijke effecten van radium met zekerheid uit te kunnen sluiten.
- het systeem was toepasbaar op platte oppervlakken, maar ook op onregelmatig gevormde oppervlakken.
- in het systeem werd gebruik gemaakt van de dosiseenheid 'röntgen' en niet alleen meer van millicurie-uur of milligram-uur radium; deze laatste eenheden gaven geen werkelijke informatie over de geapliceerde hoeveelheid radiumstraling, terwijl de 'r' dit wel deed, zij het in lucht. Het gebruik van deze eenheid maakte vergelijking met andere toegediende doses radiumstraling of röntgenstraling mogelijk.

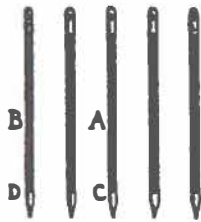


Figuur VII.3 Dosisgrafiek voor radiumbuizen van diverse radii volgens Paterson en Parker.

- het systeem gaf in feite een handleiding voor radiumdosimetrie, die in de klinische praktijk door iedere goed onderlegde radiumtherapeut zonder problemen kon worden gevolgd, ook door 'those not mathematically minded'. (21)

VII.5 Interstitiële radiumdosimetrie.

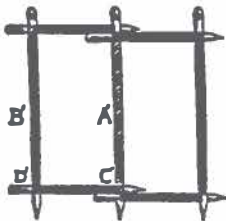
In de interstitiële radiumtherapie werd gewerkt met kleine radiumbronnen en was met name het effect op geringe afstand van de bron van belang. Het was van klinisch nut om te weten, op welke wijze de intensiteit van straling afnam in weefsels op steeds grotere afstand van de radiumbron. In de jaren dertig leidden experimenteel onderzoek en fysische berekeningen tot het ontstaan van curves, waarin de relatieve dosis radiumstraling van een interstitiële applicator was uitgezet tegen de afstand tot de bron, voor verschillende dimensies van de houder en voor verschillende filterdiktes. De betrouwbaarheid van deze curves werd bevestigd door het feit, dat de experimentele en theoretische bepalingen met elkaar overeen kwamen. (22) Ook voor bronnen, afstanden en filters, die niet experimenteel onderzocht waren, gold daarom, dat de berekende waarden als maat mochten worden genomen. De curves gaven relatieve doses aan, dat wil zeggen doses, uitgedrukt in een bepaalde standaarddosis en werden 'erytheemdosiscurves' genoemd. Tevens werden rond interstitiële radiumbronnen isodosislijnen of -oppervlakken berekend. (23)



INTENSITY

I. PER HOUR

| | |
|-----|------|
| A = | 42.5 |
| B = | 30.5 |
| C = | 30.5 |
| D = | 23.0 |



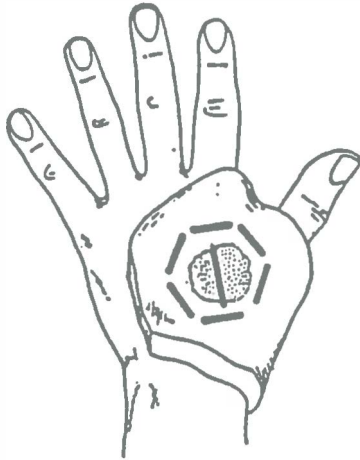
I PER HOUR

| | |
|-----|------|
| A = | 20.0 |
| B = | 18.5 |
| C = | 20.0 |
| D = | 19.2 |

Figuur VII.4 Illustratie van de invloed van de rangschikking van radiumbronnen op de intensiteit van de straling op punten die liggen op 1 centimeter afstand.

Het was vanuit klinisch oogpunt niet nodig om de dosis in ieder punt van het bestraalde weefsel te kennen. Bij de behandeling van tumoren was het wél van belang te weten, wat bij een bepaalde opstelling de laagste ontvangen dosis in een bepaald weefselgebied was. Als deze minimale dosis groot genoeg was om de tumorcellen te vernietigen, dan werden de tumorcellen in alle andere punten van het bestraalde gebied ook geëlimineerd.

In de jaren 1928-1931 werkte Quimby in het Memorial Hospital te New York een dosimetrisch systeem uit voor interstitiële radiumtherapie, dat culmineerde in een reeks tabellen, waaruit kon worden afgelezen hoeveel milligram-uur of millicurie-uur van bepaalde kleine bronnen radium of radon nodig waren om in een weefselbol (die model stond voor de te behandelen tumor) van zekere grootte een minimaal vereiste dosis te appliceren, waarbij als biologische standaardreactie weer de erytheemdosis gold. Deze tabellen werden in de jaren daarna aangepast aan naaldvormige bronnen van een groot aantal verschillende lengten. (24) Aangezien in werkelijkheid de exacte grootte van de tumor niet bekend was en de applicator nooit precies in de juiste positie kon worden geplaatst, waren de berekeningen van de gegeven doses langs deze wijze niet volledig accuraat, maar dit was



Figuur VII.5 Behandeling van een epithelioom van de dorsale zijde van de hand met een radiumapplicator volgens de regels van Paterson en Parker uit 1934.

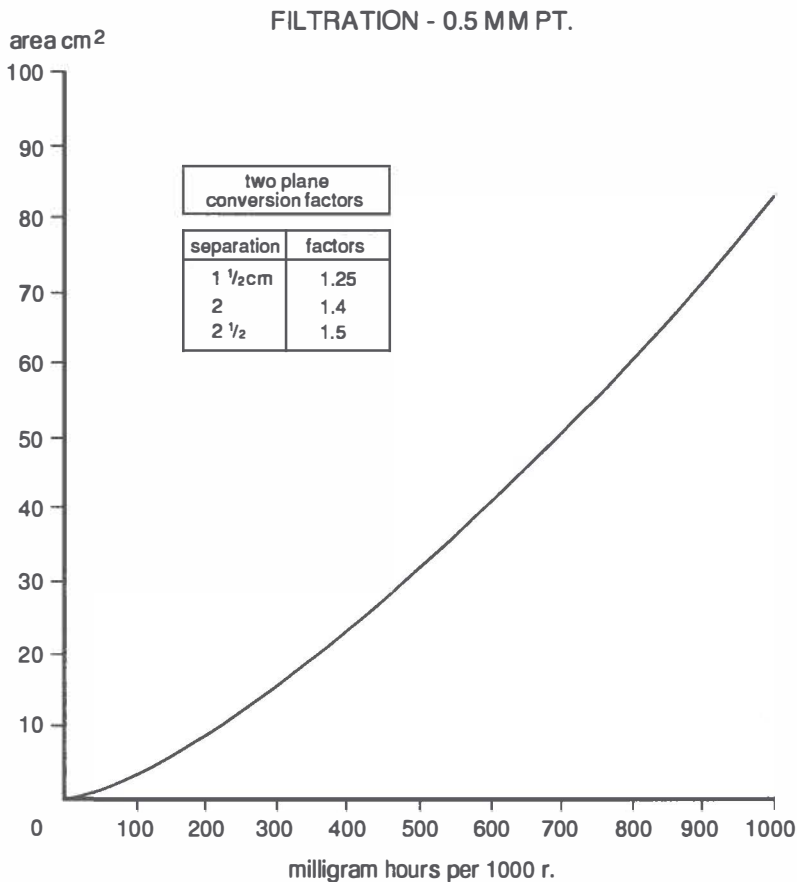
vanuit klinisch oogpunt geen bezwaar. (25)

Paterson en Parker publiceerden in 1938 een doseringssysteem voor interstitiële radiumtherapie, waarin opnieuw de 'röntgen' als eenheid van dosis werd gebruikt. Zij gingen er andermaal van uit, dat een puntbron van één milligram radium, gefilterd door 0.5 millimeter platina, op een centimeter afstand een dosistempo had van 8.4 r per uur en gebruikten als werkeenheden weer 1000 r. Zij achtten homogeniteit bereikt als de theoretische variatie in de intensiteit van de radiumstraling niet groter was dan 10%. Het systeem was toepasbaar op radiumnaalden en radonhouders en aangezien er fysisch gezien rond dergelijke applicators geen homogeniteit kon heersen (in de directe nabijheid van de naald of de houder was een gebied van zeer hoge stralingsintensiteit, 'hot spots'), werd een zone homogeen genoemd, als daarin de intensiteit van de straling constant was, met uitzondering van de 'hot spots'.

De beide Britten ontwikkelden twee typen van implantatie:

- planaire implantatie: de naalden of houders werden in één vlak aangebracht of in meerdere parallelle vlakken.
- volume implantatie: de radioactieve bronnen werden zodanig geïmplantieerd, dat een heel blok weefsel homogeen werd bestraald.

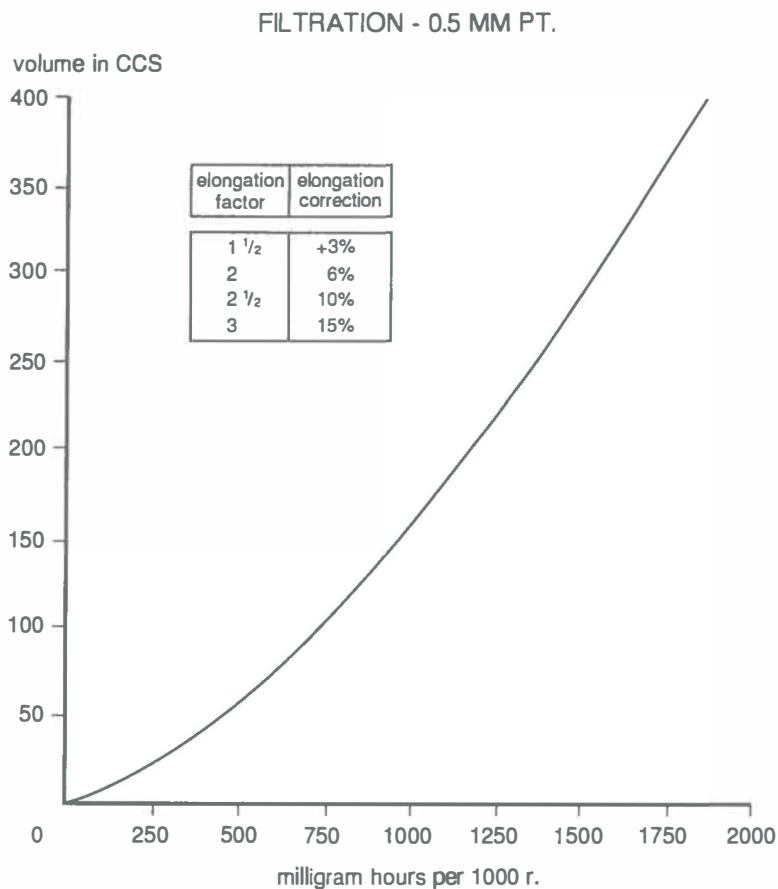
De *planaire implantatie-techniek* kon worden toegepast bij tumoren, die langs een oppervlak groeiden, zoals huidtumoren, of bij laesies die het beste konden worden behandeld door ze als een sandwich tussen twee



Figuur VII.6 Dosisgrafiek voor planaire implantatie van radiumnaalden of radonhouders volgens Paterson en Parker uit 1938.

parallele radiumvlakken te brengen, zoals vulvatumoren, waarbij de afstand tussen de radiumvlakken relatief klein moest zijn ten opzichte van de oppervlakte van elk vlak. In de dosisgrafiek werd de oppervlakte van het te bestralen gebied (niet van de tumor!) uitgezet tegen de hoeveelheid radium in milligram-uur, die vereist was om 1000 r te appliceren in een vlak, dat in het midden lag van een laag weefsel van één centimeter dikte óf in een volume weefsel tussen twee vlakken. In het laatste geval diende de afgelezen hoeveelheid in milligram-uur vermenigvuldigd te worden met een conversiefactor, die afhankelijk was van de afstand tussen de twee radiumvlakken (zie figuur VII.6). Voor de planaire implantatie-techniek waren enkele distributieregels opgesteld, die strikt gehanteerd dienden te worden om homogene bestraling te bereiken.

De *volume implantatie-techniek* werd toegepast bij tumoren, die volledig door weefsel werden omgeven, zoals tumoren van de tong of van de weke delen. De drie dimensies van het weefselvolume (lengte, breedte en hoogte) dienden ongeveer dezelfde grootte te hebben. Getracht werd het



Figuur VII.7 Dosisgrafiek voor de volume implantatie techniek van radiumnaalden en radonhouders volgens Paterson en Parker uit 1938.

weefselvolume, waarin de tumor groeide, als een eenvoudige geometrische vorm te benaderen, bijvoorbeeld als cylinder, bol of blok. In de dosisgrafiek werd de grootte van het te bestralen weefselvolume in cubieke centimeters uitgezet tegen de hoeveelheid radium in milligram-uur, die nodig was om in dat volume 1000 r te appliceren. De afgelezen waarden waren correct, als de dimensies van het weefselvolume alle even groot waren, of als de langste zijde of diameter minder dan twee maal zo groot was als de

kortste. Als deze ratio overschreden werd, diende op de in de grafiek afgelezen waarde een correctie te worden toegepast aan de hand van de grootte van deze ratio, die in de figuur 'elongatie factor' is genoemd (zie figuur VII.7).

Ook in de volume implantatie-techniek werden, om homogene bestraling van het weefselvolume mogelijk te maken, strikte distributieregels gehanteerd voor het aanbrengen van radonhouders in de weefsels. Als een andere filtratie werd gebruikt dan de in de grafiek vermelde 0.5 millimeter platina, kon uit een door Paterson en Parker voor dit doel opgestelde tabel een correctiefactor worden afgelezen, die op de uit de grafiek afgelezen waarde toegepast kon worden.

Dit doseringssysteem voor interstitiële radiumtherapie ging uit van een effectief minimum dosistempo op ieder punt in het te bestralen weefselvolume. Immers, alleen dan kon men er zeker van zijn, dat als men met behulp van dit systeem een voorgeschreven minimaal vereiste dosis wilde toepassen, dit ook inderdaad op ieder punt in het weefselvolume het geval zou zijn. Een belangrijk verschil met het doseringssysteem voor uitwendige radiumtherapie lag in het feit, dat het bij interstitiële radiumtherapie onmogelijk was om radium exact op de voorgeschreven plaatsen aan te brengen. Het was per-operatief namelijk niet eenvoudig om de dimensies van een weefselvolume, de oppervlakte van een bepaald vlak, of de afstand tussen twee parallelle vlakken, nauwkeurig te bepalen.

Onnauwkeurigheden in deze per-operatieve metingen konden tot ernstige misrekeningen in de dosis leiden. Paterson en Parker raadden daarom aan om van de ingebrachte implantaten in twee loodrecht op elkaar staande richtingen röntgenfoto's te maken.

Op deze films konden de dimensies worden gemeten, waarna de juiste dosering kon worden bepaald. Daarbij moest rekening gehouden worden met een eventueel vergrotend effect als gevolg van de vorm van de röntgenstralenbundel; deze kon worden opgespoord door de werkelijke lengte van de naalden te vergelijken met de lengten ervan op de foto's. (26)

Dit doseringssysteem uit 1938 bleek in die mate nauwkeurig, dat het bij correcte toepassing brachytherapie met radium of radon mogelijk maakte zonder enige kans op ongewenste schadelijke effecten.

VII.6 Het gebruik van de eenheid röntgen in de radiumdosimetrie.

In de jaren dertig werden verscheidene pogingen gedaan om de radiumdosis nauwkeurig uit te drukken in de eenheid van röntgenstraling, de 'röntgen'. Dit stuitte echter op aanzienlijke fysische bezwaren. (27) Walter Friedrich, die in 1923 hoogleraar medische fysica en 'Strahlenkunde' was geworden aan de Universiteit van Berlijn en daar een 'Institut für Strahlenforschung' had opgericht, was in 1938 de eerste, die, althans gedeeltelijk, deze fysische problemen in zijn proefopstelling wist op te lossen. Hij bepaalde experimenteel en door middel van berekeningen, dat één milligram-uur

radium overeen kwam met 7,8 r op één centimeter afstand van een puntbron met een filter van 0.5 millimeter platina. (28)

White, Marinelli en Failla, die werkzaam waren in het Memorial Hospital te New York, vonden in 1940, dat één milligram-uur radium overeen kwam met 8,56 r op één centimeter afstand van een puntbron met een filter van eveneens 0.5 millimeter platina. (29)

Hoewel deze laatste berekening als de meest juiste werd beschouwd, was deze nog steeds niet helemaal correct. Quimby schatte in 1941, dat de werkelijke waarde slechts een paar procent van de experimenteel bepaalde waarde verschilde: een verschil zonder klinische betekenis. (30) Bovendien was deze waarde alleen geldig voor weefselpunten, die door tenminste vier millimeter organisch materiaal waren omgeven (omdat alleen dan elektro-nenevenwicht werd bereikt) en niet voor de onbedekte huid. De waarde kon worden gebruikt in de interstitiële radiumtherapie en voor huid en weefsels onder oppervlakte-applicators. De waarde van 8.4 r per milligram-uur radium op een afstand van één centimeter en met een filter van 0.5 mm platina, die Paterson en Parker hadden gebruikt in hun dosimetrische systemen, bleek voldoende nauwkeurig om ook na de Tweede Wereldoorlog te kunnen worden gehandhaafd. (31) Er gold echter, dat een bepaald aantal r gamma-straling wel hetzelfde aantal ionisaties in een eenheid lucht teweegbracht als eenzelfde aantal r röntgenstraling, maar dat de effecten op de levende weefsels niet precies gelijk waren.

Ondanks deze beperkingen was de radiumdosimetrie rond 1940 een praktisch toepasbare methode geworden. De doses konden direct worden uitgedrukt in r, maar ook kon voor een bepaalde combinatie van fysische factoren het aantal r worden bepaald, dat de standaard erytheemreactie veroorzaakte, zodat de dosistabellen van Quimby bruikbaar bleven. In deze tabellen was voor een bepaalde applicator, bij bepaalde afstand en filtratie, immers het aantal milligram-uur c.q. millicurie-uur af te lezen, dat de standaard erytheemreactie gaf. Door het toepassen van een conversiefactor was dit aantal millicurie-uur c.q. milligram-uur om te rekenen in een bepaald aantal r. Deze conversie gold alleen voor gamma-stralendoses en voor weefselpunten omgeven door minstens vier millimeter organisch materiaal. Een hoeveelheid röntgenstralen uitgedrukt in r en een hoeveelheid radiumstralen uitgedrukt in r, mochten niet zonder meer bij elkaar worden opgeteld om het effect op de weefsels weer te geven. (32) In 1940 werd dit systeem voor radiumdosimetrie door de Standardization Committee van de American Radium Society formeel aanvaard en vanaf dat moment werd het gebruik ervan officieel aangeraden. (33)

De door Paterson, Parker en Quimby ontwikkelde dosimetrische systemen voor radiumtherapie zouden tot in de jaren zestig, toen de rol van het radium in de geneeskunde terug begon te lopen, worden toegepast. (34)

VII.7 Samenvatting en conclusies.

In dit hoofdstuk bleek, dat voor 1922 nog geen wetenschappelijk onderbouwde methode voor radiumdosimetrie beschikbaar was. Deze situatie maakte het ontstaan van het maximum rond 1920 in het optreden van radiumbeschadigingen bij patiënten mogelijk. Alleen in curietherapie gespecialiseerde artsen waren in staat radium verantwoord toe te passen. Het doseringssysteem van Quimby maakte -bij correct gebruik- na 1922 uitwendige radiumtherapie met behulp van regelmatig gevormde applicators veilig. Onregelmatig gevormde radium- of radonapplicators konden na 1934 bij correct gebruik van de methode van Paterson en Parker zonder enig risico op beschadigingen worden toegepast; ditzelfde gold na 1938 ook voor de interstitiële radiumtherapie. De Franse radioloog Coliez was er in 1938 van overtuigd, dat het merendeel van de schadegevallen in de curietherapie werd veroorzaakt door doseringsfouten. Deze doseringsfouten waren niet het gevolg van ondeugdelijkheid van de beschikbare doseringssystemen, maar van het feit, dat niet alle radiumtherapeuten en chirurgen voldoende fysieke kennis bezaten om op verantwoorde wijze de nieuwe methoden voor radiumdosimetrie toe te kunnen passen. Bovendien waren aan lang niet alle afdelingen, waar radium therapeutisch werd toegepast, fysici verbonden. (35)

Na de Tweede Wereldoorlog kwam schade door foutieve radiumdosimetrie echter nauwelijks meer voor, met name doordat radiumtherapie vrijwel alleen nog in gespecialiseerde klinieken werd verricht.

HOOFDSTUK VIII. METHODEN IN DE RÖNTGENOLOGIE.

Inhoud:

- VIII.1 Inleiding.*
- VIII.2 Radiografie en radioscopie.*
- VIII.3 Röntgentherapie voor 1910.*
- VIII.4 Röntgen-dieptetherapie na 1910.*
- VIII.5 Fractionering in de röntgentherapie.*
- VIII.6 Combinatie- en cumulatiebeschadigingen.*
- VIII.7 Samenvatting en conclusies.*

VIII.1 Inleiding.

Het optreden van de in hoofdstuk I genoemde fluctuaties in de incidentie van röntgenstralenschade bij patienten is in de voorgaande hoofdstukken reeds gedeeltelijk verklaard.

In dit hoofdstuk zal duidelijk worden, dat de manier, waarop röntgenstraling door medici werd toegepast, van grote invloed was op het ontstaan van stralenbeschadigingen bij patienten en een belangrijke rol heeft gespeeld in het optreden van alle drie maxima door röntgenstraling. Eerst zal aandacht worden besteed aan de röntgendiagnostiek, daarna zal de röntgentherapie ter sprake worden gebracht.

VIII.2 Radiografie en radioscopie.

In de röntgendiagnostiek ligt het derde maximum in het optreden van stralenschade bij patienten in de jaren 1923-1926 en deze piek werd voornamelijk veroorzaakt door doorlichtingen. In de radiodiagnostiek is het doel niet het appliceren van straling, maar juist het maken van duidelijke afbeeldingen met behulp van de kleinst mogelijke hoeveelheid straling. In deze tak van de röntgenologie speelden dan ook voor een deel andere factoren een rol bij het ontstaan van stralenschade bij patienten dan in de röntgentherapie. In deze paragraaf zullen de oorzaken van stralenschade bij patienten in de röntgendiagnostiek worden besproken en zal het optreden van het genoemde maximum verder worden verklaard.

In de röntgendiagnostiek bleef in de periode 1896-1926 een aantal oorzaken van röntgenverbrandingen bij patienten hardnekkig een rol spelen.

De zachte röntgenstraling, die werd uitgezonden door de gasbuizen, had lange belichtingstijden tot gevolg (zie hoofdstuk V). Vaak werd getracht te grote lichaamsdelen, zoals schouder, hoofd of romp, af te beelden, hetgeen tot langdurige belichtingen leidde. (1) Om bij het maken van radiografieën de belichtingstijden te reduceren, probeerden veel artsen de röntgenbuizen zo dicht mogelijk bij het te fotograferen lichaamsdeel te houden. Ook werd getracht de secundaire stroomsterkte op te voeren om de intensiteit van de straling te laten stijgen. (2) Aangezien dit het doordringend vermogen van de straling niet vergrootte, was het gevolg een grotere stralenbelasting van de huid van de patienten. Niet zelden leverde een uur durende belichting een röntgenfoto op, die geheel mistig was en waarop nauwelijks contouren te onderscheiden waren. (3) Het mislukken van röntgenfoto's had vaak tot gevolg, dat de opnamen steeds weer werden herhaald, waardoor de huid van de patient nog meer werd belast. De Duitse orthopedisch chirurg en röntgenoloog Hermann Gocht, die een orthopedische 'Privatklinik' leidde in Jena en die reeds in 1898 zijn bekende *Lehrbuch der Röntgenuntersuchungen* had geschreven, poneerde in 1909, dat de patient voor iedere opname zorgvuldig in de juiste positie diende te worden gebracht en daarin moest worden gefixeerd om veelvuldige herhaling van röntgenopnames te voorkomen. (4) De Britse radioloog Thurstan Holland meende in 1917, dat de vele herhalingen bij het maken van röntgenfoto's aanleiding hebben gegeven tot het ontstaan van talrijke huidverbrandingen bij patienten, waarbij volgens hem

'...the wonder is that they were not much more numerous.' (5)

Het ontstaan van röntgenbeschadigingen door radiografie nam na de invoering van de Coolidge-buis in 1913 af. De technische verbeteringen maakten in 1917 voor veel lichaamsdelen opnametijden mogelijk van een fractie van een seconde, waarbij scherpe beelden werden verkregen (zie ook hoofdstuk V). Ook in de jaren 1910-1920 kon echter, als een lichaamsdeel moeilijk was af te beelden (zoals bijvoorbeeld schedel of wervelkolom), bij het maken van foto's de belichting een aantal minuten duren, of moest de opname soms vele malen worden herhaald. Na de invoering van de duplitized films en het Potter-Bucky rooster in de jaren na 1918 speelde dit probleem geen rol van betekenis meer. Met de verkorting van de benodigde belichtingstijden nam het aantal röntgenverbrandingen door radiografieën na 1920 sterk af.

In 1909 constateerde Gocht, dat bij de uitvoering van radioscopieën vaak meermalen achter elkaar, of veel te lang, werd doorlicht. Dit was vooral het geval, wanneer de arts de röntgenanatomie niet goed kende, of daarop niet alert was. Bovendien hadden veel geneesheren de neiging interessante bevindingen steeds weer aan collega's te demonstreren. (6) De Duitse arts Jakobsthal beschreef in 1909 twee patienten, die diverse malen tien tot vijftien minuten werden doorlicht, waarbij een focus-huid-afstand van vijftien centimeter was aangehouden. Korte tijd na de doorlichtingen traden bij beide patienten röntgenulcera op, die zeer pijnlijk waren. Maandenlange conservatieve behandeling baatte niet. Ten lange leste werd bij beide

patiënten tot chirurgische extirpatie van de huiddefecten overgegaan, hetgeen genezing tot gevolg had. (7)

In de bestrijding van de oorzaken van het optreden van huidverbrandingen door radioscopieën werd in de jaren 1910-1920 weinig vooruitgang geboekt. In 1919 beschreef Lexer een röntgenulcus van een grootte van vijftien bij twintig centimeter, die was ontstaan op de rug van een soldaat, die wegens maagpijn verscheidene malen was doorlicht; binnen een tijdsbestek van tien uur was de militair tien maal doorstraald! (8)

De Coolidge-buis had de technische uitvoering van een doorlichting voor de arts een stuk eenvoudiger gemaakt. Halberstaedter en Tugendreich stelden in 1920, dat over huidbeschadigingen na röntgendoorlichtingen en na röntgenopnamen nog steeds veelvuldig werd bericht. In de röntgen-diagnostiek werd volgens hen nog relatief vaak van ongefilterde straling gebruik gemaakt en werden vaak te kleine focus-huid-afstanden ingesteld. Een veel voorkomende oorzaak van huidverbrandingen was naar hun mening het gebruik van een te grote stroomsterkte. Uit een door hen uitgevoerd onderzoek was gebleken, dat een lichte stijging van de stroomsterkte een grote toename van de huiddoses tot gevolg had, zowel bij het maken van röntgenfoto's als bij doorlichtingen; in de donkere doorlichtingsruimte werden de milliampèremeters meestal niet afgelezen, zodat controle van de stroomsterkte tijdens doorlichting niet plaatsvond. Lang niet alle artsen gebruikten volgens hen bij radioscopie en radiografie de beschikbare dosimetrische methoden, terwijl dit absoluut noodzakelijk was om huidverbrandingen uit te kunnen sluiten. Als nieuwe oorzaak van schade aan de huid noemden zij het bij röntgenopnamen niet gebruiken van versterkingsschermen, waardoor de belichting veel langer duurde en de gemaakte foto's van mindere kwaliteit waren. (9)

Artsen waren niet altijd alert op defecten in de door hen gebruikte apparatuur. De arts Schmitt besprak op de zitting van de Medizinische Gesellschaft Göttingen van 29 juni 1922 een patient met een ernstige röntgenverbranding. Een eenendertigjarige 'Eisenbahnerfrau' was door een dokter in een klein ziekenhuis ten zuiden van Hannover op verdenking van galsteenlijden twee tot drie minuten lang doorlicht. Enkele dagen later ontstond in het bestraalde huidgebied een rode brandende en jeukende plek, die blauwrood verkleurde en via blaarvorming na vier weken overging in een zeer pijnlijke röntgenzweer, die twee centimeter diep en 'zo groot als twee handen' was. Conservatieve behandeling had geen effect; de zweer reikte steeds dieper en was uiteindelijk vier centimeter diep. Er werd daarop operatieve excisie van de gehele laesie verricht, waarna een wondvlak van twintig centimeter diameter overbleef, dat langzaam begon te helen. Bij vijf andere patienten, die rond dezelfde tijd met hetzelfde röntgentoestel -maar niet door dezelfde arts- waren doorlicht, traden eveneens zware huidverbrandingen op. Het apparaat was al lange tijd zonder problemen in gebruik. De oorzaak van de verbrandingen moest volgens Schmitt worden gezocht in een fout in de röntgenapparatuur, die door geen der betrokken artsen was opgemerkt. (10) De hoogleraar geneeskunde Krause uit Bonn, die als gerechtelijk stralenschade-expert optrad in röntgenshadeprocessen, constateerde in 1923 'wederom een

ongewoon hoog aantal röntgenverbrandingen na doorlichtingen', veroorzaakt door artsen in Rijnland-Palts. Eén arts had binnen twee dagen bij drie patiënten huidverbrandingen teweeg gebracht. Een andere medicus had binnen korte tijd zeven röntgenverbrandingen veroorzaakt; weer andere hadden zulke ernstige fouten gemaakt, dat het niet eens mogelijk was hen voor het gerecht te verdedigen. En dit, terwijl volgens Krause röntgenbeschadigingen door doorlichtingen in 1923 best te vermijden waren. Alle in deze paragraaf genoemde oorzaken van röntgenstralenschade -met uitzondering van het gebruik van te zachte straling- speelden volgens hem in 1923 nog een rol. Er waren geneeskundigen, die zelfs vergaten de röntgenbundel te diaframeren! Om de duur van een doorlichting te beperken, diende volgens de hoogleraar uit Bonn een signaalklok te worden gebruikt, die aangezet werd bij het begin van de doorlichting en om de minuut een signaal gaf. Zijn ervaring was, dat veel artsen de tijdsduur van een doorlichting sterk onderschatten, met name als de waarnemingen moeilijk te beoordelen waren. De röntgenlaborant zou de geneesheer daarom twee minuten na het begin van een doorlichting op de verstreken tijd attent moeten maken. (11)

Bij een groep van 38 patiënten met schade door röntgendiagnostiek vonden Groedel, Lossen en Liniger vijf maal als oorzaak instelling van een te geringe focus-huid-afstand en veertien maal als oorzaak te vaak en te lang belichten, of het niet in acht nemen van een voldoende lang interval tussen de belichtingen. (12) Daarnaast bleek, dat van de röntgenschadegevallen, die waren ontstaan door radiodiagnostiek, 53% ontstond bij radioscopie van het maagdkanaal. De Duitse stralenschade-expert Otto Strauss beweerde in 1925, dat het bij het uitvoeren van doorlichtingen nog steeds relatief vaak tot verbrandingen kwam en dit vrijwel altijd door fouten van de kant van de uitvoerend geneeskundige. Veel artsen bedreven radiodiagnostiek zonder dat zij enige kennis van zaken op dit gebied bezaten, waarbij zij het röntgenapparaat soms door hulppersoneel volledig zelfstandig lieten bedienen. Vaak werd de patient niet gevraagd, of deze al eens eerder was doorlicht en zo ja, wanneer dit was geweest. Ook namen veel niet ter zake kundige artsen geen tijd om hun ogen voldoende aan de duisternis te laten adapteren, alvorens met de doorlichting te beginnen, met als gevolg, dat deze veel te lang duurde. (13)

Om een oplossing voor dit laatste probleem te vinden had Wilhelm Trendelenburg (hoogleraar fysiologie in Giessen en zoon van de beroemde chirurg) in 1916 een adaptatiebril ontworpen, die in het volle licht kon worden gebruikt. (14) In 1926 stelde de Duitse arts Ganter zelfs het gebruik van een ondoorzichtige monocle voor; het bedekte oog was aan het donker gewend en kon tijdens doorlichting meteen worden gebruikt! (15) Dit soort brillen is echter nooit in brede kring in gebruik geraakt. Een andere reden van een veel te lang durende doorlichting kon zijn, dat de arts door gebrek aan radiopathologische kennis niet goed begreep, wat hij zag en daardoor problemen had met het stellen van een diagnose. (16) In 1926 stelde de Marburgse dermatoloog Schubert vast, dat 'de laatste jaren' een toename van het aantal röntgenverbrandingen door röntgendiagnostiek was opgetreden. Afgezien van de reeds genoemde oorzaken

meende hij, dat de toename mede veroorzaakt was door het feit, dat in het algemeen het risico op huidverbrandingen, als gevolg van de in de radiodiagnostiek relatief korte belichtingstijden, sterk werd onderschat, of doordat men met dit risico niet voldoende bekend was. (17)

De belangrijkste verklaring van het maximum in het aantal optredende stralenschadegevallen bij patienten door röntgendiagnostiek in de periode 1923-1926 is evenwel daarin gelegen, dat na de Eerste Wereldoorlog, waarin de röntgenologie van enorme waarde was gebleken voor de oorlogschirurgie, steeds meer röntgenologisch onervaren en ongetrainde artsen dit vak gingen uitoefenen. Daarnaast gingen na de oorlog veel militaire röntgenologen, die meestal enkel voor oorlogsröntgenologie waren opgeleid, zich in de civiele maatschappij als algemeen röntgenoloog vestigen (zie hoofdstuk IV). De verklaring van het genoemde maximum ligt dan ook grotendeels in het gebrek aan röntgenologische deskundigheid bij de uitvoerend geneeskundigen.

De stand der techniek liet na 1925, toen de röntgenbuizen geheel stralenbeveiligd waren, in principe radiografie en radioscopie toe zonder risico op het veroorzaken van röntgenbeschadigingen bij de onderzochte patienten. De Parijse radioloog Coliez zag in de periode 1923-1938 slechts één geval van röntgendermatitis, dat was ontstaan als gevolg van radiodiagnostiek. Het betrof een patient, die door een jonge koloniale arts, op de dag nadat deze zijn nieuwe röntgeninstallatie had ontvangen, zeer lang in de maagstreek was doorlicht. Enige tijd later was in het bestraalde gebied een huidulcus ontstaan. (18)

Na 1926 werden tabellen opgesteld, waarin de geapliceerde doses (in 'röntgen') voor verschillende radiodiagnostische onderzoeken en voor verschillende lichaamsdelen, röntgenbuizen, focus-huid-afstanden, filters, stroomsterktes en spanningen, konden worden afgelezen. Bovendien werd in tabellen aangegeven hoe vaak röntgenopnames en doorlichtingen konden worden herhaald, zonder schade te veroorzaken. (19)

Voor de periode na 1925 geldt, dat als niet met verouderde radiodiagnostische apparatuur werd gewerkt en toch deterministische stralenschade bij patienten werd veroorzaakt, dit in het merendeel der gevallen was te wijten aan ondeskundigheid van de uitvoerende medici. In de jaren dertig waren deterministische stralenbeschadigingen bij patienten in de röntgendiagnostiek reeds zeldzaam; na de Tweede Wereldoorlog kwamen zij praktisch niet meer voor.

VIII.3 Röntgentherapie voor 1910.

In de eerste jaren van de therapeutische toepassing van röntgenstralen werden vrijwel alleen huidziekten behandeld. Meestal werden dagelijks korte belichtingen van vijf tot tien minuten duur toegepast. Het was niet ongewoon om patienten binnen korte tijd dertig maal te bestralen!

Deze eerste bestralingsmethode werd later wel de '*primitieve methode*' genoemd. (20) De röntgenbuis werd bij deze behandelingswijze op geringe afstand van de huid gehouden en soms zelfs daarmee in contact gebracht.

De dagelijkse sessies werden net zo lang herhaald tot een huidreactie te zien was; dan werd de röntgenbehandeling gestaakt en wachtte men het effect ervan af. (21) Hoeveel behandelingen nodig zouden zijn, kon men van te voren niet nagaan. Of het op den duur optredende huideffect de juiste intensiteit zou hebben en niet te gering of te heftig zou zijn, kon men niet met zekerheid van te voren bepalen. Zoals in de voorgaande hoofdstukken reeds werd gesteld, werkten de röntgenartsen in de periode voor de Eerste Wereldoorlog met gasbuizen, die straling van geringe hardheid produceerden. Deze medici waren bovendien niet in staat de hoeveelheid straling, die hun buizen uitzonden, te meten. Het kwam voor, dat artsen, die meenden met een röntgenbuis van geringe intensiteit te werken en daarom bij een patient een milde huidreactie verwachtten, al na een paar zittingen plotseling werden geconfronteerd met een ernstige dermatitis. In andere gevallen bleef een huidreactie, ondanks vele sessies, geheel uit. Iedere arts, die röntgenstralen therapeutisch toepaste, kon alleen vertrouwen op zijn eigen ervaring en inzichten. Geneesheren, die een ernstige huidverbranding hadden veroorzaakt, voerden -als zij voor het gerecht werden gedaagd- niet zelden ter verdediging aan, dat een groot verschil in gevoeligheid voor straling tussen individuen zou bestaan. De oorzaak van de ontstane schade lag echter voor een groot deel in de röntgenbuizen en de manier waarop deze werden gebruikt. (22)

Volgens de Franse röntgenpionier J. Belot leidde deze situatie er toe, dat de toepassing van röntgentherapie omstreeks de eeuwwisseling in een kwade reuk was komen te staan; zij zou gevaarlijk zijn, huidverbrandingen en accidenten zouden 'aan de orde van de dag' zijn. (23)

De eerste arts, die in 1900 trachtte een methode voor röntgentherapie aan te geven, waarmee in één grote zitting, of in drie tot vier kleinere zittingen, een bepaalde hoeveelheid straling kon worden toegediend, was een lid van de Weense School, namelijk Kienböck. Zijn methode, die ook wel de '*expeditieve methode*' werd genoemd, hield in, dat er gewerkt moest worden met röntgenstraling van zodanige intensiteit, dat de thorax van een volwassene er vanaf één tot twee meter afstand voldoende mee kon worden doorlicht. Ook voor primaire stroomsterkte, vonklengthe en interruptor had Kienböck voorschriften opgesteld. De röntgenbuis diende op twintig centimeter van de huid te worden gebracht en er moest twintig minuten lang worden bestraald. Daarna moest eerst het effect op de huid worden afgewacht, om de behandeling dan eventueel nogmaals op dezelfde wijze te herhalen. Deze methode kon echter door vrijwel niemand exact worden toegepast, ook al doordat de stand der techniek dit niet toeliet, zodat talrijke mislukkingen niet uitbleven. De expeditieve methode raakte daardoor in eerste instantie slechts moeizaam in zwang. (24)

Dit veranderde evenwel, toen de eerste dosimeters hun intrede deden (zie hoofdstuk VI). In 1904 werd in de röntgenologie de filtratie geïntroduceerd door Georg Perthes (25), terwijl daarnaast in de jaren 1903 en 1904 duidelijk werd, dat röntgenstraling ook op diepe weefsels een effect had (zie hoofdstuk II). Deze ontwikkelingen gaven de röntgentherapie, die een aantal jaren stilstand had gekend, weer nieuwe impulsen. (26)

In 1906 was de 'primitieve methode' door veel röntgenartsen al vervangen door de 'expeditieve methode'. De aandacht was nu echter niet alleen meer gericht op huidtherapie, maar ook op bestraling van diepere weefsels. In 1905 had Friedrich Dessauer immers zijn ideeën voor homogene applicatie van straling op onder de huid gelegen weefsels gepresenteerd; vanaf 1910 zou de röntgentherapie daardoor grotendeels in het teken staan van de dieptetherapie (27)

Hermann Gocht stelde in 1908, dat bij dosering volgens de vigerende methoden in ieder geval *zware* huidverbrandingen te vermijden waren. In het algemeen waren röntgenverbrandingen echter, ondanks het gebruik van alle voorzorgsmaatregelen, niet met zekerheid uit te sluiten. De werkwijze van de uitvoerend arts was in dit verband van grote invloed. Gocht had dat jaar in vijf röntgenschade-processen als gerechtelijk expert op moeten treden en er was hem gebleken, dat hoewel de moderne röntgentherapeut, om schade te voorkomen, de dosering móest meten, een aantal artsen ook in de röntgentherapie de geapliceerde dosis in het geheel niet controleerde. Hij betoogde, dat iedere patient van te voren door de geneesheer moest worden ingelicht over het feit, dat het risico op stralenschade niet met zekerheid uitgesloten kon worden. Gocht stelde verder vast, dat veel röntgenartsen uit therapeutische overwegingen bewust een dermatitis bij de patient in stand hielden en dat juist in deze gevallen gemakkelijk overdosering en zeer ernstige stralenschade op kon treden. (28)

Een voorbeeld van een in deze tijd door therapeutische bestraling opgetreden verbranding is het volgende geval: een arts behandelde in 1908 een patiente vanwege een snor met röntgenstraling. Na enige tijd trad een ernstige röntgenverbranding op in het bestraalde gebied, die na lange tijd genas, maar ontsierende littekens achterliet. De patiente eiste om deze reden voor het gerecht schadevergoeding van de geneesheer. De radioloog, die als gerechtelijk expert optrad, constateerde, dat de dokter de patiente veel te lang had bestraald; de arts werd daarop schuldig bevonden aan het begaan van een ernstige fout en door de rechter veroordeeld tot het betalen van smartegeld. (29)

Voordat een medicus een therapeutische bestraling begon, diende niet alleen de kwaliteit van de röntgenbundel te worden bepaald, maar moest ook worden nagegaan, welke stralenkwaliteit bij de betreffende patient het beste kon worden toegepast. Bij huidtherapie diende een relatief gasrijke buis te worden gebruikt, terwijl bij dieptetherapie een relatief gasarme buis ter hand moest worden genomen. Ook moesten focus-huid-afstand en bestralingsduur aan de patient en het te behandelen ziekteproces worden aangepast. Deze keuzes konden volgens Gocht beslissend zijn voor het wel of niet optreden van huidverbrandingen. Hij wees er op, dat ook in de röntgentherapie voor het begin van de bestraling altijd aan de patient moest worden gevraagd, of deze al eens eerder aan straling was blootgesteld. (30)

In de behandeling van huidtumoren werden reeds in jaren voor de Eerste Wereldoorlog goede resultaten behaald met behulp van röntgenstraling, die door een licht aluminium filter werd toegediend, of ongefilterd was. Het optreden van ernstige huidverbrandingen wekte echter sterke weerstand op

tegen het toepassen van zachte röntgenstralen en met name tegen ongefiltreerde stralen. Het was bovendien onduidelijk, welke dosis straling bij een bepaalde tumor moest worden toegediend. De patholoog van het Memorial Hospital te New York, James Ewing, schetste in 1934 de situatie rond 1910 als volgt:

'all one could really do was to place the patient under the machine and hope for the best.' (31)

Veel van de schade, die werd toegebracht aan patienten, ontstond, doordat medici in hun enthousiasme grote tumoren trachtten te behandelen met veel te zachte straling. Door schade en schande leerden deze artsen, dat de op dat moment beschikbare röntgenbuizen niet geschikt waren voor dieptetherapie. (32)

Als de diepgelegen tumor niet op de stralenapplicaties reageerde, hadden sommige radiotherapeuten echter de neiging de sessies zeer lang vol te houden. Dit ging niet alleen ten koste van de gezonde huid van de patient, maar ook ten koste van de prognose. Na een niet-effectieve bestraling kon gemakkelijk een recidief optreden, terwijl in het bestraalde gebied fibrose kon ontstaan; chirurgisch ingrijpen was daardoor bij deze patienten vaak aanzienlijk moeilijker geworden. (33)

Het ontbreken van enige controleerbare methodiek, volgens welke artsen konden werken, heeft in de eerste jaren van de röntgentherapie het ontstaan van stralenschade bij patienten bevorderd. De primitieve en expeditieve methoden brachten hier weinig verandering in, omdat men voor de invoering van de eerste dosimeters slechts op goed geluk kon doseren. In de behandeling van huidziekten, zoals bijvoorbeeld lupus vulgaris, was vanaf het begin van de röntgentherapie sprake geweest van toepassing van gróte hoeveelheden straling, die aanleiding gaven tot het optreden van ulceraties, die zich niet altijd beperkten tot het pathologische deel van de huid. De gedachte was, dat de huidziekte radicaal moest worden geëlimineerd. Het optreden van ulceraties werd dan ook beschouwd als een onderdeel van de therapie met straling. Het was om deze reden, dat deze wijze van bestralen door de Fransen de *'méthode destructive'* werd genoemd. (34)

De technische vooruitgang en de afschuw van de neveneffecten van deze methode, hadden echter tot gevolg, dat in de jaren 1905-1910 een andere methode voor de behandeling van ernstige huidziekten werd geïntroduceerd: de *'méthode douce'*. (35) Deze methode was gebaseerd op doseren met de nieuw ontwikkelde dosimeters en op het voorkómen van heftige huidreacties. Meestal werd gewerkt met een filter van één tot twee millimeter aluminium. Het optreden van erytheem en lichte zwelling van de huid werd bij het toepassen van deze methode overigens nog acceptabel geacht.

Het gebruik van de *'méthode destructive'*, die in de röntgentherapie van huidziekten vanaf 1896 werd toegepast en vanaf 1905 langzaam maar zeker door de *'methode douce'* werd verdrongen (maar tot ongeveer 1914-1917 in gebruik bleef), heeft relatief veel röntgenverbrandingen bij

patienten tot gevolg gehad. (36) De bovengenoemde behandelingsmethoden hebben dan ook bijgedragen aan het eerste en tweede maximum in het optreden van röntgenbeschadigingen bij patienten.

In 1909 verscheen de *'Bestralingsmethode van Albers-Schönberg'*. Deze bestralingstechniek, die de Hamburgse röntgenpionier toepaste bij de behandeling van myomen, behelste onder meer voorschriften voor de focus-huid-afstand en de hardheid van de röntgenbundel (uitgedrukt in 'Walter'). Albers-Schönberg schreef het gebruik voor van een filter van 'vierdubbel geitenleer'. Er moest gebruik worden gemaakt van één invalsveld van twintig bij dertig centimeter. Na een bestraling werd een pauze in acht genomen van tien tot dertig dagen, zodat de behandeling van een myoom wel driekwart jaar kon duren. Voor de dosimetrie gebruikte hij de Kienböck-strepen. (37)

De behandelingswijze van Albers-Schönberg was een eerste poging om tot een gestandaardiseerde methode voor behandeling van diepgelegen processen te komen. De beschikbare röntgenstraling was echter niet hard genoeg om veel curatieve successen toe te staan. Zowel deze methode als de 'méthode douce' was gebaseerd op voorzichtigheid. Een behoedzaamheid, die was ingegeven door de opgetreden stralenschadegevallen. De medische wereld moest zich daardoor immers steeds meer rekenschap geven van de gevaren van de toepassing van röntgenstralen.

VIII.4 Röntgen-dieptetherapie na 1910.

De multiportale methode (Eerste Freiburgse Bestralingstechniek).

Om de dosis in de diepte te vergroten en toch de huid te sparen, ging men gebruik maken van meerdere invalsvelden, de 'multiportale methode', waarbij meestal van aluminiumfilters van drie millimeter dikte gebruik werd gemaakt. Het aantal invalsvelden varieerde, evenals de grootte van de afzonderlijke velden. Meestal gebruikte men 26 invalsvelden van een grootte van vier bij vier, of zes bij zes centimeter. Om de instelling van de röntgenbuis op de talrijke kleine velden overbodig te maken, voerde de Duitse röntgentherapeut Hans Meyer in 1913 de 'pendelmethode' in, waarbij de röntgenbuis in een beweegbare statieffkast was geplaatst en over het lichaam heen en weer pendelde, maar deze methode werd in de praktijk weinig toegepast. (38) Sommige artsen bestraalden ieder veld tot er erytheem optrad, andere wensten daarentegen onder deze grens te blijven.

De multiportale methode was in 1912 ontwikkeld door Gauss en Lembcke uit Freiburg en werd bekend onder de namen 'Eerste Freiburgse Techniek' en 'Kruisvuurmethode van Gauss en Lembcke'. Carl Gauss werkte als gynaecoloog in de Freiburger Frauenklinik onder Bernhard Krönig (de gynaecoloog die samenwerkte met Walter Friedrich); in dit wetenschappelijk klimaat was het geen wonder, dat Gauss zich samen met zijn medewerker Lembcke meer en meer ging toeleggen op de stralenbehandeling van gynaecologische ziekten.

De kruisvuurmethode werd met name in de gynaecologie toegepast, onder andere voor de behandeling van myomen, metropathieën en diepgelegen carcinomen. Met de röntgenapparaten, die in de jaren 1912 en 1913 ter beschikking stonden, werd in de uterus een procentuele dieptedosis bereikt van ongeveer 6-7 % van de huiddosis. Deze dosis was veel te laag om curatief te kunnen werken, zodat de kruisvuurmethode van Gauss en Lembcke maar weinig successen heeft gekend. (39) De Eerste Freiburgse Techniek bracht, met name als ze werd uitgevoerd door onervaren artsen, grote gevaren met zich mee voor de behandelde patienten. Door de talrijke nauw aansluitende invalsveldjes kon gemakkelijk, door onvoldoende afgrenzing, of door verschuivingen tijdens de bestraling, een huiddeel meermaals worden bestraald, met als gevolg overdosering.

Uit de groep van 69 gevallen van huidverbrandingen door röntgentherapie van Groedel, Liniger en Lossen bleek het volgende:

- bij vijf patienten was de oorzaak van de stralenschade het overlappen van de bestralingsvelden.
- bij twee patienten was de oorzaak van de schade het abusievelijk tweemaal bestralen van hetzelfde veld. (40)

De Duitse arts Bardachzi had vijf patienten gezien, die zware huidverbrandingen hadden opgelopen door overlapping van cirkelvormige bestralingsveldjes. Bovendien werd de stralenkegel door het gebruik van zeer kleine veldjes zo klein, dat het doelgebied gemakkelijk gemist kon worden. Door het ongunstige dosisquotiënt (de verhouding tussen de geapliceerde huiddosis en de dieptedosis) werd de bestralingstijd bovendien onnodig lang. Bardachzi wees er op, dat de multiportale methode reeds tot vele zware huidverbrandingen aanleiding had gegeven, maar dat zij desondanks in 1926 nog steeds hier en daar werd toegepast! (41)

De Eerste Freiburgse Techniek heeft weliswaar een rol gespeeld in het optreden van het derde maximum in de incidentie van stralenbeschadigingen bij patienten in de röntgentherapie, maar was daarvan zeker niet de belangrijkste oorzaak. De techniek zou spoedig worden vervangen door een aantal behandelingsmethoden, die later de 'intensieve dosis methoden' genoemd zouden worden, namelijk de Tweede Freiburgse en Erlangse Bestralingstechnieken, die de belangrijkste oorzaken zouden worden van het derde maximum in het aantal optredende stralenbeschadigingen in de röntgentherapie.

De Tweede Freiburgse Bestralingstechniek.

Het was evenwel niet vanwege het feit, dat de Eerste Freiburgse Bestralingstechniek zo gevaarlijk was, dat de Freiburgse School zelf reeds in 1915 deze methode door een andere bestralingswijze verving. Uit biologisch onderzoek was de inmiddels in Freiburg benoemde Walter Friedrich gebleken, dat het biologisch effect van een bepaalde dosis op de menselijke huid gunstiger was, als de dosis in één keer werd toegediend. Het principe van de intervalbestraling diende volgens Friedrich dan ook door het principe van

de eenmalige bestraling te worden vervangen. Bovendien meende hij, dat bij toepassing van bestraling vanuit meerdere velden, zoals bij de multi-portale methode, de straling de doelorganen helemaal niet bereikte. Beter was het volgens hem om van één enkel invalsveld gebruik te maken. Een groot invalsveld zou tot gevolg hebben, dat een groot lichaamsvolume zou worden doorstraald, waardoor veel meer secundaire straling zou ontstaan, zodat het effect op het doelgebied groter zou worden. Deze overwegingen leidden er toe, dat Friedrich in 1915 samen met de gynaecoloog Bernhard Krönig de 'Tweede Freiburgse Bestralingstechniek' ontwikkelde, die met name in de gynaecologie gebruikt zou worden: in een eenmalige zitting werd, op een focus-huid-afstand van ongeveer 40-50 centimeter en met een filter van één millimeter koper, drie uren lang continu bestraald op één buikveld van 20 x 20 centimeter. Bij gezette individuen werd daarna nog eenzelfde bestraling van drie uren op een rugveld gegeven. Het koperen filter van één millimeter dikte werd trouwens gebruikt, omdat Friedrich en Krönig hadden vastgesteld, dat de opvatting, dat straling door sterkere filtratie dan drie millimeter aluminium niet wezenlijk harder werd, niet juist was. (42)

De Erlangse Bestralingstechniek.

De gynaecologen Ludwig Seitz en Hermann Wintz ontwikkelden in 1916 de 'Erlangse Bestralingstechniek', die eveneens was gebaseerd op zwaardere filtratie en bestraling in een eenmalige zitting. Aan het begin van de Eerste Wereldoorlog, toen de Duitse overheid een politiek van centralisering voerde, werd in de Erlangse vrouwenkliniek een modern geoutilleerd 'Zentralröntgeninstitut' ingericht, waar patienten, die radiotherapie moesten ondergaan (ook voor niet-gynaecologische ziekten), uit de wijde omgeving naar verwezen moesten worden. Daartoe kregen Seitz en Wintz beschikking over een ruim arsenaal moderne röntgenapparatuur en dit stelde hen in staat nieuwe bestralingsmethoden te onderzoeken. Het resultaat hiervan was de creatie van de Erlangse Bestralingstechniek voor de behandeling van diepgelegen tumoren. (43)

Bij een focus-huid-afstand van 23 centimeter en filtratie met 0.5 millimeter zink werden vier of vijf velden achterelkaar bestraald: twee of drie buikvelden en twee rugvelden van ongeveer zes bij acht centimeter grootte. De bestraling duurde vier tot vijf uur en ook deze methode werd met name in de gynaecologie toegepast. (44)

De Erlangse Techniek hield evenals de Eerste Freiburgse Techniek het risico in, dat bij inachtneming van een te geringe afstand tussen de invalsvelden, stralenoverlap op kon treden, met als gevolg stralenschade. Bovendien konden darmlijzen door positieverandering verscheidene malen bestraald worden en daardoor schade oplopen. Zowel de Tweede Freiburgse Techniek als de Erlangse Techniek berustte op de opvatting, dat in een zo kort mogelijke tijd een zo groot mogelijke dosis diende te worden geapliceerd, een opvatting, die al snel de 'massive dose philosophy' werd genoemd.

Het merkwaardige feit deed zich dan ook voor, dat terwijl in de oppervlakkige röntgentherapie rond 1914 bijna consensus was bereikt over de verwerpelijkheid van de 'méthode destructive', kort daarna in de röntgen-dieptetherapie de 'massive dose philosophy' haar intrede deed, een filosofie, die leidde tot toepassing van bestralingsmethoden, die tot doel hadden een pathologisch weefsel in zo kort mogelijke tijd met een zo groot mogelijke dosis te vernietigen en die dan ook als 'méthodes destructives' te beschouwen waren.

De achtergronden van deze ontwikkeling waren velerlei. Sinds vele jaren was de operatieve ingreep vrijwel het enige wapen, dat kon worden gebruikt in de strijd tegen kanker. De op deze wijze verkregen curatieve resultaten stemden echter, ondanks vervolmaking van de operatieve methoden, niet tot tevredenheid, zodat bij velen een gevoel van ontmoediging was ontstaan. Er werd voortdurend gezocht naar nieuwe behandelingsmethoden en toen de technische ontwikkeling in de röntgentechniek dosering in diepgelegen weefsels leek toe te staan, werd deze methode gretig in het tegen kanker gebruikte armamentarium opgenomen. (45) Het ligt dan ook voor de hand, dat de intensieve bestralingsmethode werd beschouwd als een 'nieuw chirurgisch mes' en dat men, in het verlengde van deze opvatting, een tumoraal proces -zoals bij een operatie- in een eenmalige zitting volledig wilde elimineren.

In 1912 had de Berlijnse arts Bumm getracht een uteruscarcinoom met alleen röntgenstraling te behandelen; het resultaat was echter een uitgebreide huidverbranding bij de betreffende patient geweest. Achteraf gezien lag dit echec natuurlijk geheel in de lijn der verwachting: Bumm kon voor deze experimentele behandeling immers slechts gebruik maken van gasbuizen.

De therapeutische resultaten van de behandeling van uterustumoren met radium of mesothorium waren in deze periode niet veel beter dan die van operatieve behandeling. De kleine hoeveelheden radium, die de clinici in de eerste jaren na 1910 ter beschikking hadden, stonden vergroting van de afstand tussen radiumbron en huid niet toe; dit was echter vereist voor het verkrijgen van een gunstig dosisquotiënt. Wilde men toch voldoende radiumstraling op de diepe tumoren appliceren, dan kon dit alleen als zware huidverbrandingen werden geaccepteerd. Aanschaf van grotere hoeveelheden radium kon dit probleem weliswaar oplossen, maar dit was bijzonder duur. Na de introductie van de gloeikathodebuizen ging de aandacht zich daarom in veel klinieken richten op de therapie met deze nieuwe veelbelovende röntgenbuizen.

Naast de argumenten van Friedrich en Krönig voor het gebruik van de intensieve dosis methode, voerden Seitz en Wintz in 1918 *als hoofd-argument* aan, dat hun methode sociaal-economische voordelen met zich meebracht. Voordien werd een radiologische behandeling vaak gespreid over een periode van drie tot zes maanden (vergelijk de bovengenoemde methode van Albers-Schönberg), hetgeen veel tijd en geld kostte. Een gevolg hiervan was, dat de Duitse ziekenfondsen de stralingsbehandelingen van hun cliënten niet wilden bekostigen. De invoering van een behandelingsmethode, die in één zitting kon worden uitgevoerd, werkte enorm

kostenbesparend en bracht behandeling binnen het bereik van veel meer patiënten, zodat deze methode zowel economisch als sociaal nut had. (46) Dit sociaal-economische argument dient uiteraard in het licht van die tijd te worden beschouwd. Het voeren van oorlog vergde het uiterste van de Duitse economie. Wist de Duitse overheid eerst de oorlog te financieren door leningen af te sluiten en kredieten te scheppen, vanaf 1916 werden de belastingen verhoogd en daarna moesten zelfs enige nieuwe belastingen worden ingevoerd, waaronder de algemene omzetbelasting. Er trad echter sterke inflatie op, terwijl bovendien de koers van de Duitse mark daalde. De geallieerde blokkade van de toevoer van grondstoffen naar Duitsland deed in de jaren 1915-1916 de Duitse industriële en agrarische productie sterk dalen, hetgeen het voor de Duitse overheid noodzakelijk maakte, de economie te gaan 'plannen'. Reeds in januari 1915 kwamen bepaalde levensmiddelen op de bon. De opbrengst van de Duitse economie daalde zo sterk, dat aan het einde van de oorlog de voedselvoorziening niet meer gegarandeerd kon worden. Na de oorlog werd Duitsland door de overwinnaars tot herstelbetalingen gedwongen. Toen de streng geleide oorlogseconomie was ingestort, traden enorme prijsstijgingen op, die in 1923 hun hoogtepunt zouden bereiken. (47)

Deze gebeurtenissen kunnen wellicht verklaren, waarom Seitz en Wintz reeds in 1916 de nadruk legden op het economische voordeel, dat hun behandelingsmethode met zich meebracht. In januari 1918 wezen zij in een speciaal artikel nogmaals op het feit, dat stralingsbehandeling door hun methode goedkoper was geworden dan operatief ingrijpen. Zij schreven:

'Wenn man eine Methode nach ihrem Wert beurteilen will, müssen auch solche Gesichtspunkte mitherangezogen werden.' (48)

De intensieve dosis methoden wonnen na de oorlog snel aan populariteit en werden tegen 1920 zowel in Europa als in de Verenigde Staten toegepast. Niet iedereen juichte overigens deze ontwikkeling toe. De Utrechtse hoogleraar gynaecologie Kouwer liet in 1917 een scherp protest horen tegen de Tweede Freiburgse Methode. Volgens hem waren er veel gevallen aan te wijzen van patiënten, die als gevolg van de nieuwe behandelingsmethoden stralenschade hadden opgelopen. Kouwer sprak niet alleen van 'het ongeoorloofd populariseeren der nieuwe methode onder niet deskundige artsen en al te goed vertrouwende leeken' (49), hij betoogde bovendien:

'De Freiburgsche School, wier statistiek van 1395 gevallen steeds dienst moet doen als verdedigingsmiddel (!), blijft voortschrijden op den weg der allerkrachtigsten bestraling, wijdt aan "röntgen-kater" en dergelijke gevolgen weinig aandacht en blijft zich verheugen in de ongerepte (?) gezondheid harer patienten. Tegen die forsche methode is door verschillende deskundigen gewaarschuwd, onder andere van Berlijn uit. Zonder veel moeite kan men uit verslagen van vergaderingen tal van onheilen bijeengaren die het gevaar van sterke bestraling duidelijk tekenen. Hoe komt het, dat Freiburg daarvoor doof

en blind blijft? Hoe verklaart men, dat nochtans het gezag van Krönig en Gauss voor velen onaantastbaar blijft?’ (50)

Kouwers kritiek bleef niet onopgemerkt; zijn aantijgingen, die in 1917 werden gepubliceerd in het *Nederlandsch Tijdschrift voor Geneeskunde*, werden in 1918 zelfs in het *American Journal of Roentgenology* aangehaald. (51)

Hij stond dan ook in zijn kritiek op de intensieve dosis methoden niet alleen. Professor Heimann uit Breslau, een gynaecoloog die gespecialiseerd was in radiotherapie, durfde in 1917 de Erlangse Techniek niet meer bij goedaardige aandoeningen, zoals myomen en metropathieën, toe te passen, omdat röntgenbeschadigingen volgens hem zelfs bij voorzichtig doseren nog konden optreden.

Heimann paste de behandelingsmethode dat jaar nog wel toe bij patienten met carcinomen. Bij twee patienten met ovariumcarcinoom, die hij volgens de richtlijnen van Seitz en Wintz had bestraald, werd hij geconfronteerd met ernstige huidverbrandingen. Zijn conclusie was, dat het verschil tussen heilzame en schadelijke doses (de therapeutische breedte) zo gering was, dat gemakkelijk stralenschade kon worden veroorzaakt. Om deze reden werd de Erlangse Techniek in zijn kliniek na 1917 niet meer gebruikt. (52)

Er verschenen ondertussen meer en meer negatieve berichten over de nieuwe bestralingsmethoden. De Berlijnse hoogleraar gynaecologie Franz beschreef in 1917 een geval van ernstige darmbeschadiging na toepassing van de Erlangse Techniek. (53) In augustus 1918 publiceerde de Zwitserse arts Steiger over drie patienten, die na toepassing van dezelfde bestralingsmethode ernstige huidverbrandingen hadden opgelopen. (54)

Dit soort publikaties over ernstige schadegevallen ging natuurlijk in Erlangen niet onbemerkt voorbij. Seitz en Wintz peinsden er echter niet over om 'ruiterlijk toe te geven', dat hun behandelingswijze grote risico's met zich meebracht. Zij zochten in 1918 de verklaring voor het optreden van stralenschade in een fout gebruik van hun techniek. Vaak werd volgens hen niet van een 0.5 millimeter zinkfilter gebruik gemaakt, maar van filters van ander materiaal, zoals drie millimeter aluminiumfilters, die veel te licht waren. Soms werd volgens hen het zinkfilter zelfs rechtstreeks op de huid van de patienten gelegd. Ook meenden zij, dat vaak veel langer werd bestraald, dan zij hadden aangegeven. Tot slot wezen zij er op, dat de opgetreden darmbeschadigingen wel eens het gevolg konden zijn van bacteriële infecties, zoals dysenterie. Overigens gaven zij toe, bij de toepassing van hun techniek zelf ook wel eens verbrandingen te hebben meegemaakt, maar deze herstelden vlot. (55) De mening van Franz uit 1917, dat de moderne röntgenapparaten voor dieptetherapie zulke harde straling produceerden, dat de darmen altijd beschadigd zouden raken, betwisten zij ten zeerste, omdat dit 'den Bankrott der Tiefentherapie des Karzinoms' zou betekenen. (56)

Andere geneesheren waren het echter met Franz eens. Zo had de Duitse arts Schmitt, op grond van de in de literatuur beschreven schadegevallen, in 1918 'der Strahlenbehandlung des Karzinoms feierlich die Totenglocke geläutet'. (57)

Seitz en Wintz waren er daarentegen van overtuigd, dat bij juiste dosering darmbeschadigingen konden worden voorkomen. De vereiste 'carcinoom-dosis' was volgens hen 100-110% HED, terwijl *ernstige* darmverbrandingen optraden bij applicatie van 135-140% HED. Dit verschil in doses was naar hun mening groot genoeg om ernstige schade te kunnen vermijden. Bij dit soort doses konden nog wel lichte darmverschijnselen van voorbijgaande aard optreden, maar deze waren volgens Seitz en Wintz acceptabel. (58) De meting van deze doses kon echter nog niet nauwkeurig geschieden (zie hoofdstuk VI); bovendien beschikten (in tegenstelling tot Freiburg en Erlangen) niet alle klinieken, waar röntgen-dieptetherapie werd bedreven, over een fysicus of fysische staf, die deze metingen zou kunnen verrichten. (59)

Rond 1920 kenmerkte de röntgen-dieptetherapie in Europa zich door het gebruik van 200 kilovolt röntgenbuizen, grote focus-huid-afstanden en de toepassing van zware filters. Deze ontwikkeling bleef in de Verenigde Staten niet onopgemerkt en de nieuwe methode won ook daar snel aan populariteit. (60) De Amerikaanse chirurg Greenough verwoordde in 1920 de 'massive dose philosophy', door te stellen, dat bij curatieve behandeling van maligniteit, alle maligne weefsels massaal moesten worden vernietigd. (61) Ook in de Verenigde Staten waren echter de meningen over de intensieve bestralingsmethoden verdeeld. Sommige Amerikaanse artsen vreesden, dat de methode aanleiding zou geven tot het ontstaan van veel meer stralenschade bij de behandelde patiënten, waardoor de gesel van de röntgenschadeprocessen hen in de toekomst nog harder zou treffen. (62) Het floreren van de intensieve dosis filosofie kwam ook in de gebruikte apparatuur tot uiting. In de jaren twintig werden röntgeninstallaties op allerlei manieren aangepast aan de uitvoering van röntgen-dieptetherapie, onder andere door de röntgenbuizen aan een roterend statief te bevestigen. (63)

Na 1920 nam echter de kritiek op de intensieve dosis methoden geleidelijk aan toe, doordat steeds duidelijker werd, dat zij met ernstige stralenbeschadigingen gepaard gingen. (64) De schattingen over het aantal optredende stralenschadegevallen onder de behandelde patiënten liepen uiteen van 'erschreckend gross' door de tegenstanders van de methode (65), tot 'ab und zu' door degenen, die meenden, dat bij correcte toepassing van de methoden in ieder geval huidverbrandingen konden worden vermeden. (66) Overigens werden lang niet alle gevallen van stralenschade door de behandelende artsen bekend gemaakt. Bovendien traden door de nieuwe behandelingsmethoden niet alleen acute vormen van schade op, maar ook ernstige vormen van late stralenschade, zoals huidulcera en darmfistels. (67) De invoering van de intensieve dosis methoden had tot gevolg, dat naast huidbeschadigingen nu ook beschadigingen van diepgelegen organen werden veroorzaakt. Het was dan ook geen toeval, dat stralenbeschadigingen van bijvoorbeeld de larynx rond 1920 in de literatuur ruime aandacht kregen. (68)

De boven beschreven methoden hadden het stralengevaar voor de patiënten aanzienlijk verhoogd. De Duitse verzekeringsmaatschappijen klaagden in 1923 over een ongehoorde toename van het aantal huid-

verbrandingen bij patienten; er zou in 1923 geen enkele röntgentherapeut meer te vinden zijn, die geen ongewenste huidverbranding bij een patient had meegemaakt! (69) Steeds duidelijker kwam uit de opmerkingen van ervaren radiotherapeuten naar voren, dat ook in de röntgentherapie een groot gevaar lag in de *fouten*, die werden gemaakt bij de uitvoering van röntgen-dieptetherapie. (70) Deze fouten waren vaak het gevolg van het feit, dat ook veel röntgentherapeuten niet ter zake kundig waren. Ook echter bij patienten, die door competente artsen behandeld waren, trad soms stralenschade op. Sommige radiotherapeuten bespeurden bij zowel artsen als leken een grote populariteit van de stralenbehandeling (zie ook hoofdstuk IV), met als gevolg, dat deze bij allerlei goedaardige ziekten weinig kritisch werd toegepast. (71) Soms kwam het zelfs voor, dat patienten artsen opzettelijk misleidden, door te verzwijgen, dat zij elders reeds eerder waren bestraald. (72) Holz knecht had waargenomen, dat sinds de invoering van de intensieve dosis methoden het aantal röntgenschadegevallen onder de behandelde patienten sterk was gestegen; dit was vanaf 1896 de tweede stijging in het aantal optredende röntgenschadegevallen, die hij onderscheidde. Het maximum hiervan lag volgens hem ongeveer in 1923 (deze piek is in hoofdstuk I genoemd als derde maximum in het optreden van stralenschade bij patienten in de röntgentherapie). (73) Dit maximum is grotendeels door de toepassing van de intensieve bestralingsmethoden veroorzaakt. Holz knecht zette zich in 1923 fel af tegen deze behandelingstechnieken. Hij zocht het ontstaan van de intensieve dosis filosofie mede in het feit, dat de formule van Arndt-Schulz nooit volledig uit het denken van artsen was geëlimineerd. Deze formule, die de basis vormt van de homeopathie, houdt het volgende in:

'Small quantities of every agent stimulate, medium quantities retard, large quantities destroy.'

Deze 'wet' werd volgens Holz knecht door menig röntgentherapeut gebruikt om het toepassen van krachtige toestellen en grote doses te rechtvaardigen. Als geen genezing werd bereikt, werd de formule opnieuw aangehaald om nog grotere doses te kunnen toepassen. (74) Veel artsen werden, aldus de Weense hoogleraar, in hun pogingen om genezing van kanker te bereiken 'minder voorzichtig'; in 1927 kwamen volgens hem röntgenbeschadigingen in de radiotherapie nog steeds voor. Het grootste gedeelte hiervan ontstond bij de behandeling van maligne tumoren. Ook in gerenommeerde röntgenklinieken werd de röntgenbehandeling op zodanige wijze uitgevoerd, dat stralenbeschadigingen zeker niet uitgesloten waren. Een aantal artsen hechtte volgens hem meer belang aan het behalen van de beste curatieve resultaten, dan aan het 'non nocere'. Volgens de röntgenpionier leed een aantal artsen zelfs aan een

'auf Erfolgsrivalität, nicht auf Schadenvermeidung gerichtete Mentalität.' (75),

en, zo schreef hij,

'Ein weniger wirksames Mittel wäre längst verworfen worden, wenn sich so ernste, ja tödliche Schädigungen so häufig einstellen, wie dies bei der Röntgentherapie vielfach der Fall ist.' (76)

Ondanks alle negatieve waarnemingen rond de röntgen-dieptetherapie met grote doses, liep de toepassing ervan slechts langzaam terug. De Duitse röntgenarts Latzko meende nog in 1923, dat de intensieve bestralingsmethoden niet meer risico voor de patienten inhielden dan andere bestralingsmethoden, aangezien röntgenverbrandingen volgens hem altijd te wijten waren aan grove fouten en niet aan de behandelingsmethode zelf. (77)

Toch lijkt de toepassing van de intensieve dosis methoden in 1923 over haar hoogtepunt heen. De Stuttgarter Oberarzt Schröder bespeurde in 1923 bij veel geneesheren een mentaliteitsverandering ten aanzien van de röntgen-dieptetherapie:

'Nach Zeiten manchmal blinder Begeisterung meldet sich allenthalben die Ernüchterung.' (78)

Het frequent verschijnen van berichten over late stralenschade had volgens Schröder tot gevolg, dat artsen in kleine klinieken en privé-instituten de bestraling van bijvoorbeeld larynxcarcinoom niet meer durfden toe te passen; deze mentaliteitsverandering greep zo snel om zich heen, dat volgens hem het voortbestaan van de röntgen-dieptetherapie er door werd bedreigd. (79)

De toepassing van de methoden voor diepe röntgentherapie nam echter niet alleen af, doordat medici in *kleine* klinieken door vrees bevangen raakten: ook in de universitaire vrouwenkliniek van Berlijn werd in 1923 besloten, vanwege de complicaties en de teleurstellende curatieve resultaten van röntgen-dieptetherapie, alle operabele carcinomen weer te gaan opereren. (80) Het gebruik van de intensieve bestralingsmethoden begon dan ook na 1923 langzaam maar zeker af te nemen, maar het concept van de 'mass destruction' zou toch nog tot aan het begin van de jaren dertig her en der toepassing vinden. (81)

VIII.5 Fractionering in de röntgentherapie.

Het aantal schadegevallen bij patienten in de röntgentherapie nam na het maximum in 1923 af, doordat veel artsen -geschrokken door de vele schadegevallen- voorzigtiger te werk gingen. Een andere belangrijke oorzaak van deze daling was echter, dat een alternatieve bestralingsmethode voorhanden raakte, die betere curatieve resultaten gaf en gepaard ging met veel minder stralenschade bij de behandelde patienten: de bestralingsmethode van Coutard.

In 1914 had Gottwalt Schwarz, de leerling van Holzknecht, die in 1906 de kalomelradiometer had ontworpen, al gesuggereerd, dat toepassing van multi-pele doses in de behandeling van tumoren wellicht effectiever was: naar zijn mening waren cellen gevoeliger voor straling tijdens de celdeling, zodat door verscheidene doses toe te dienen op verschillende tijdstippen, veel meer tumorcellen in de celdelingsfase door de straling konden worden getroffen. (82)

Aan het begin van de jaren twintig werd ook door anderen gewezen op de mogelijkheid, dat fractioneren van de dosis over langere tijd in de behandeling van tumoren betere klinische resultaten zou kunnen geven dan toepassing van grote eenmalige doses. (83)

De ontwikkeling van een methode voor gefractioneerde radiotherapie vond plaats in het Institut du Radium te Parijs door Claudius Regaud en Henri Coutard.

Regaud wees reeds in 1922 op het feit, dat complete destructie van neoplastische cellen door één enkele bestraling doses vereiste, die niet te combineren waren met het behoud van de omgevende gezonde weefsels. (84) In datzelfde jaar stelde hij, dwars tegen de heersende 'massive dose philosophy' in, dat een kleine totale dosis, toegediend over een periode van zes tot vijftien dagen, een beter biologisch effect had dan de eenmalige toediening van een veel grotere dosis. (85) Regaud had zijn stellingen gebaseerd op dierexperimenteel onderzoek. Hij had deze resultaten al in 1919 vastgesteld, hoewel ze pas in 1922 voor het eerst werden gepubliceerd; zijn collega Coutard was daarop begonnen de nieuwe inzichten toe te passen bij de behandeling van kankerpatienten. De beide Fransen toonden aan, dat met een over de tijd gespreide bestraling bij kankerpatienten gemakkelijker lokale genezing kon worden bereikt (86). Regaud had daarmee de basis gelegd voor de gefractioneerde geprotraheerde bestralingsmethode. Deze nieuwe inzichten hadden er toe geleid, dat de intensieve dosis methoden in het Institut du Radium te Parijs reeds in 1920 volledig werden verlaten. (87)

In 1919 was Coutard begonnen hoofd- en nektumoren te bestralen met gefractioneerde röntgenstraling. (88) In de jaren 1923 en 1924 paste hij fractionering toe bij de behandeling van patienten met cervixcarcinoom. Aangezien de röntgenstralen eigenlijk ónvolgende doordringend vermogen hadden om de tumor te kunnen bereiken, liet Coutard de huiddosis oplopen tot er een nattende epidermitis optrad. (89)

Coutard presenteerde in 1928 op het Tweede Internationale Congres voor Radiologie te Stockholm de resultaten, die hij had behaald in de behandeling van tonsilcarcinoom (90) en hij vatte zijn gefractioneerde geprotraheerde bestralingsmethode in 1930 nog eens samen op de 21^e bijeenkomst van de Deutsche Röntgen-Gesellschaft. (91) Vanaf dat moment begon deze behandelingsmethode, die al gauw bekend stond als de 'methode van Coutard', binnen de medische wereld een ware zegetocht. Om een adequate dieptedosis te bereiken, begon Coutard de behandeling van tumoren met grote velden en lage doses; de veldgrootte werd kleiner gemaakt naarmate de tumor en de adenopathieën in regressie gingen, terwijl de dosis dan juist groter werd gemaakt. In 1934 wees Coutard er

op, dat bij de behandeling van diepe tumoren zodanig moest worden gefractioneerd, dat de totale tijdsduur van de behandeling nooit minder werd dan 40 dagen. Te sterke dagelijkse doses tastten naar zijn ervaring te veel de vaat- en bindweefsels aan. Door gebruik te maken van de tijdfactor kon beschadiging van deze gezonde weefsels worden voorkómen. (92)

De inspanningen van Regaud en Coutard leidden er toe, dat de intensieve bestralingsmethoden reeds in de jaren na 1923, en zeker na 1930, steeds minder werden toegepast. Coutard had immers aangetoond, dat radiotherapie een curatieve methode kon zijn in de behandeling van tumoren zonder dat 'crippling damage' hoefde te worden veroorzaakt. De vraag dringt zich echter op, waarom het zo lang (ongeveer tien jaar) heeft geduurd, voor de succesvolle Franse behandelingsmethode, die met veel minder stralenbeschadigingen gepaard ging dan de intensieve bestralingsmethoden, ook in andere landen (met name in Duitsland en in de Verenigde Staten) in brede kring in zwang raakte.

Het antwoord op deze vraag bestaat uit een complex van factoren. De Duitse behandelingsmethoden waren de *eerste* methoden, die in de behandeling van diepgelegen tumoren soelaas leken te bieden; dit alleen al kan hun snelle verspreiding in en buiten Duitsland verklaren. Bovendien waren de methoden afkomstig van twee internationaal gezien toonaangevende Duitse onderzoeksinstituten en dit op een moment, waarop de Duitse exacte wetenschappen in de wereld een 'leading role' speelden, of zoals wetenschapshistoricus Lewis Pyenson in 1982 schreef:

'Over the last twenty years of the German empire and into the Weimar period, the major features of a revolution in physical thought were forged in German speaking Europe: the theories of relativity, light quanta, the electronic atom, and, finally, quantum mechanics.' (93)

Dit aanzien van de Duitse exacte wetenschappen straalde wellicht ook uit naar de Duitse röntgentherapie en voor een deel kan hierdoor mogelijk ook het 'gezag' van Freiburg en Erlangen in de medische wereld worden verklaard. De snelle verspreiding van de intensieve bestralingsmethoden buiten Duitsland lijkt echter in tegenspraak met de 'boycot' van de Duitse wetenschap, die in de jaren na de Eerste Wereldoorlog door de geallieerden werd geïnitieerd en die eigenlijk ook voor isolatie van de Duitse bestralingsmethoden had moeten zorgen. In hoofdstuk VI is evenwel gebleken, dat de boycot nooit volledig is geweest, onder andere omdat 'geallieerde' en 'centrale' radiologen in elkaars tijdschriften bleven publiceren. Bovendien waren het met name de neutrale en Angelsaksische landen, die reeds na korte tijd voor opheffing van de boycot ijverden. In de landen, die zich het sterkst maakten voor een effectieve boycot, Frankrijk en België, kregen de Duitse behandelingsmethoden veel minder navolging.

Het sociaal-economisch argument heeft waarschijnlijk in Groot-Brittannië en de Verenigde Staten een minder grote invloed gehad dan in Duitsland. Groot-Brittannië was, dankzij zijn grote rijkdom en zijn positie als wereldmacht, aan het einde van de oorlog nog steeds een financieel

krachtige natie. Hoewel het Verenigd Koninkrijk na de oorlog te lijden kreeg van afnemende export, was de economie van dit land in de jaren twintig relatief in goede doen. (94)

In de Verenigde Staten, het land dat als sterkste economische macht ter wereld uit de oorlog kwam, tekende zich na een lichte terugval in 1921 een constante economische groei af, die tot aan de beurskrach van 1929 zou voortduren. (95)

Dat de Duitse behandelingsmethoden in de Verenigde Staten toch veel navolging vonden, hing waarschijnlijk ook samen met de sinds lange tijd bestaande wetenschappelijke betrekkingen tussen deze beide landen. Door het aanzien, dat de Duitse geneeskunde in de loop van de negentiende eeuw in de Verenigde Staten had verworven (als gevolg van de kwaliteiten van de naar dat land geëmigreerde Duitse artsen), gingen vanaf 1870 veel Amerikaanse artsen en medisch studenten enige tijd in Duitsland studeren. Alleen al in de periode 1870-1890 studeerden meer dan 5000 Amerikanen (tijdelijk) geneeskunde in Duitsland. Na de ontdekking van de röntgenstralen ondernamen zeer veel Amerikaanse artsen, in de lijn van deze traditie, studiereizen naar Duitse röntgeninstituten, zodat de Duitse röntgenologie grote invloed kreeg op de Amerikaanse; de Deutsche Röntgen-Gesellschaft telde al vanaf haar oprichting in 1900 diverse Amerikaanse leden. (96)

Reeds in 1914 hield de Amerikaanse arts Samuel Stern een rede voor de Philadelphia Roentgen Ray Society over de gynaecologische röntgentherapie van de Universiteit van Freiburg, nadat hij het instituut van Krönig en Gauss eerder dat jaar had bezocht. In 1921 berichtte Stern in het *American Journal of Roentgenology* over de Duitse bestralingsmethoden, nadat hij opnieuw (ondanks de boycot!) een bezoek had gebracht aan het röntgeninstituut van Freiburg en ook aan dat van Erlangen. (97)

Deze intensieve contacten tussen Duitse en Amerikaanse medici hadden tot gevolg, dat de behandelingsmethoden van Erlangen en Freiburg in de Verenigde Staten veel meer voet aan de grond kregen, dan in bijvoorbeeld Frankrijk of België.

Frankrijk kampte na de gewonnen oorlog met grote schulden en de Franse regering moest -mede doordat de Duitse herstelbetalingen uitbleven, aangezien Duitsland deze niet kon betalen- grote leningen afsluiten. Het gevolg hiervan was, dat de inflatie in Frankrijk rond 1924 sterk toenam. Pas in de jaren 1926-1928 herstelde de Franse economie zich enigszins. (98) In Frankrijk maakte de toepassing van de intensieve dosis methoden echter minder kans door de grote invloed, die uitging van het Institut du Radium.

Naast het mogelijk bestaan van chauvinisme, zijn er nog een aantal andere redenen aan te wijzen voor het feit, dat de onderzoekers in Erlangen en Freiburg lang aan hun eigen behandelingsmethoden vasthielden. Om de nadelen van hun methoden te elimineren, werd in deze instituten in eerste instantie gewerkt aan verbeteringen in de nieuwe behandelingsschema's. Men meende immers oprecht, dat met de intensieve bestralingsmethoden kankerpatienten eindelijk geholpen konden worden: het genezen van de patienten (en het behalen van de beste curatieve resultaten) was in het

licht van deze overtuiging belangrijker dan het voorkómen van stralenschade.

Het vasthouden van Erlangen en Freiburg aan de zelf ontwikkelde methoden, kan echter ook verband houden met een verschijnsel, dat in 1982 door wetenschapshistoricus Steven Shapin is beschreven. In zijn verhandeling *History of science and its sociological reconstructions*, concludeerde Shapin ten aanzien van de binnen een onderzoeksgroep ontwikkelde technische vaardigheden en bekwaamheden:

'These technical abilities and competences.....will have represented a considerable investment on the part of the scientist, and he will naturally tend to deploy them, to show their value in scientific work and to extend the possible range of their application. Such skills and technical competences therefore represent a set of vested social interests within the scientific community. If a group of scientists have accomplished a body of publicly available research in which they argue for a given point of view, theory or interpretation, they may well wish to defend that position from attack and display its value and scope over other positions- even if they are technically able to work from another cognitive or practical orientation.' (99)

Zowel in Erlangen als in Freiburg was jaren lang gewerkt aan de ontwikkeling van de intensieve bestralingstechnieken, zodat de opmerking van Shapin waarschijnlijk ook op deze beide onderzoeksgroepen van toepassing is.

Het sociaal-economische argument van Seitz en Wintz heeft in Duitsland ongetwijfeld ook na de oorlog een rol gespeeld. Toen in de jaren 1922-1924 de Fransen hun gefractioneerde behandelingsmethode voor het eerst presenteerden -een methode die veel duurder was dan de intensieve bestralingsmethoden-, kwam de Duitse economie (in 1923) op haar dieptepunt. Dit maakte het alleen al economisch gezien moeilijk voor de Duitsers -als zij dit al gewild hadden- om op de Franse methode over te schakelen. Bovendien betrof deze methode een *Franse* methode, die was ontwikkeld door een groep ex-officieren uit de Eerste Wereldoorlog. In hoofdstuk VI kwam reeds ter sprake, dat Duitsers en Fransen vasthielden aan hun eigen eenheid van dosis en niet zonder meer bereid waren elkaars eenheid over te nemen. Ditzelfde fenomeen speelde waarschijnlijk ook een rol in de verhouding tussen de twee bestralingsmethoden. Toen echter Regaud en Coutard op het Tweede Internationale Congres voor Radiologie in Stockholm (1928) hun methode nogmaals uitlegden en bovendien hoge curatieve percentages presenteerden, kon niemand meer om de Franse behandelingsmethode heen. Het argument, dat de Franse methode geen ernstige stralenbeschadigingen bij de behandelde patiënten veroorzaakte, zal op dit congres in goede aarde zijn gevallen. In de jaren daarvoor was immers net het derde maximum in de incidentie van stralenschade bij patiënten opgetreden. Op het congres kwam het toegenomen besef van het gevaar van straling tot uiting in de vorm van aanbevelingen, die werden opgesteld voor

stralingsbescherming van radiologische werkers. De organisatie van het congres -de International Radiological Committee, die de daadwerkelijke organisatie door haar Zweedse leden liet verrichten- had de deelnemende landen uitgenodigd afgevaardigden te sturen voor een nieuw op te richten internationale commissie voor stralingsbescherming. Dit initiatief was niet alleen een gevolg van het feit, dat in de voorgaande jaren een groot aantal gevallen van stralenschade bij patiënten was opgetreden, maar met name ook van het feit, dat reeds een groot aantal artsen en laboranten aan de gevolgen van chronische stralenschade was overleden. (100) Bovendien had Hermann Muller in 1927 de genetische effecten van straling aangetoond, een ontdekking, die een schok in de medische wereld had veroorzaakt. (101) Op het congres kwam de International Commission on Radiological Protection met diverse aanbevelingen, die de stralingsbescherming moesten bevorderen. (102)

Dat Regaud en Coutard ook op de Duitsers indruk hadden gemaakt, bleek wel uit het feit, dat Coutard voor de 21ste bijeenkomst van de Deutsche Röntgen-Gesellschaft, die in april 1930 in Berlijn zou worden gehouden, werd uitgenodigd om de Franse methode te bespreken. Het congres in Stockholm betekende de definitieve doorbraak van de gefractioneerde bestralingswijze en luidde het einde in van de toepassing van de intensieve bestralingsmethoden. Met het verdwijnen van deze laatste behandelings-technieken daalde ook de incidentie van schade door röntgentherapie. De invoering van de gefractioneerde behandelingsmethoden heeft dan ook in niet geringe mate bijgedragen aan de neutralisatie van de stralenschade-
piek, die rond 1923 in de röntgentherapie was opgetreden.

Toen Coutard in 1937 naar de Verenigde Staten vertrok, werd zijn werk in Parijs voortgezet door François Baclesse. (103) Een groot nadeel van de methode van Coutard was nog steeds, dat bij de meeste patiënten nattende epidermitis of mucositis werd veroorzaakt, die alleen door dagelijkse verzorging weer genas. (104)

Baclesse werkte in de jaren veertig een methode uit, waarmee de ernstige mucositis (die meestal na twee tot drie weken ontstond) en de nattende epidermitis (die meestal na zes weken optrad) konden worden vermeden. Hij toonde aan, dat deze reacties een periodiciteit vertoonden en dat zij konden worden voorkomen door binnen een bepaald tijdsbestek niet boven een bepaalde totale dosis te gaan en door deze dosis meer te fractioneren en over een lange tijd te spreiden. Door op deze manier op het kritische moment epidermitis te vermijden, kon daarna ongestraft worden bestraald, tot opnieuw het volgende kritisch moment bijna werd bereikt. Op deze wijze kon de behandeling over twaalf weken worden verdeeld, een concept, dat ook wel 'superfractionering' werd genoemd. Met deze nieuwe behandelingsmethode konden huid- en mucosabeschadigingen met voldoende zekerheid worden vermeden. (105)

VIII.6 Combinatie- en cumulatievebeschadigingen.

Al rond 1912 was het bekend, dat ter vermindering van acute röntgen-dermatiden nooit gelijktijdig straling en etsende middelen op de huid geapliceerd mochten worden. In de loop van de jaren twintig ondervond men, dat de meermalen met kleine doses bestraalde huid, die ogenschijnlijk geheel intact was gebleven of röntgenatrofie vertoonde, jaren na de laatste bestraling nog zodanig gevoelig was voor etsende stoffen, dat het op de huid appliceren daarvan ernstige beschadigingen kon veroorzaken of tot maligne ontaarding aanleiding kon geven. Uit een schriftelijke rondvraag van de Duitse radioloog Wetterer in 1927 aan een aantal vooraanstaande radiologen (onder andere Béclicère, Bordier, Holzknecht en Perussia) bleek, dat deze inmiddels alle van het additief carcinogeen effect van straling en irriterende stoffen (zoals teer en pyrogallus zalf) overtuigd waren. (106) Ook in de medische literatuur kreeg dit probleem aandacht. In 1927 zag Eisner bij koolzuursneeuw-behandeling van een röntgenatrofische huid ernstige necrose optreden, terwijl Kuznitzky bij kwartsbestraling van een soortgelijke huid heftige en langdurige huidreacties waarnam. (107) Galewsky meende in 1928, dat om röntgenbeschadigingen te voorkomen, bij urticaria, hypertrichosis en lupus erythematodes niet meer tot stralen-behandeling mocht worden overgegaan. (108)

Nahmmacher schreef in datzelfde jaar, dat het met name bij röntgen-dieptetherapie van belang was, de huid zowel voor als na bestraling nooit in contact te brengen met metaalhoudende zalven, jodium, diathermie, hoogtezonlicht, elektrische kussens of vochtige doeken. De patient diende daarom ook jaren na de stralenbehandeling eventueel te consulteren medici van de ondergane bestralingen op de hoogte te stellen. De huid mocht naar zijn mening wel zacht worden gehouden door applicatie van niet-irriterende zalf. (109)

Groedel en Lossen gingen in 1928 dieper op deze problematiek in. Zij onderscheidden *directe acute röntgenstralenschade*, die in 1928 volledig te vermijden was en altijd het gevolg was van fouten van de kant van de behandelend arts en *directe chronische röntgenstralenschade*, die het gevolg was van langdurige applicatie van kleine doses straling en die vele röntgenpioniers ten grave had gesleept.

Daarnaast spraken zij van *indirecte röntgenstralenschade*. Stralen-beschadigingen van de huid traden naar hun mening op als de tolerantiedosis van de normale huid werd overschreden, of als men de 'werkingsdosis' te boven ging. Onder de werkingsdosis verstonen zij de tolerantiedosis van de zieke huid, die vaak lager was dan die van de normale huid. Hoewel Holfelder in 1925 in zijn publikaties aan de overgevoeligheid van de tuberculeuze huid voor röntgenstralendoses, die de normale huid goed zou verdragen, nog geen aandacht besteedde, was het Groedel en Lossen opgevallen, dat ongeveer 13% van de hen bekende gevallen van röntgenbeschadiging patienten betrof met huidtuberculose. (110) In 1928 berichtten zij over achttien gevallen van röntgen-beschadiging, die waren ontstaan door bestraling van tuberculeuze

weefsels. Naar hun mening dienden bij röntgenbehandeling van tuberculose grote doses en kleine intervallen ten strengste te worden verboden. Verder onderzoek bracht hen ertoe de *indirecte röntgenstralenschade* onder te verdelen in cumulatieschade en combinatieschade.

Cumulatiebeschadigingen traden op, als de gevoeligheid van de huid voor röntgenstralen door endogene factoren was verhoogd, terwijl in de dosering hiermee geen rekening werd gehouden. Tot deze endogene factoren rekenden zij onder andere littekenweefsel, marasmus, cachexie, huidziekten (zoals nattend eczeem, psoriasis, hyperhydrosis), ziekten van endocriene klieren (zoals hyperthyreoïdie), infectieziekten (zoals tuberculose, met name lupus vulgaris), vaatziekten en systeemziekten als diabetes en jicht.

Combinatiebeschadigingen traden op als de huid voor of na applicatie van röntgenstraling door exogene factoren werd geïrriteerd. De bestraalde huid was als locus minoris resistentiae te beschouwen. Tot de exogene factoren behoorden onder andere medicamenten, pleisters, traumata (met name chirurgische ingrepen), schuren of druk van kledingstukken en gereedschappen, chemische en thermische inwerkingen en alle vormen van fysische therapie (vocht, laten stuwen van bloed, licht en radioactieve straling).

De 'Röntgenspätschädigungen', die soms jaren na bestraling in een schijnbaar intacte huid konden optreden, berustten volgens hen vrijwel altijd op cumulatie of combinatie, of beide factoren. In de dosering diende dan ook altijd met endogene factoren rekening te worden gehouden, terwijl exogene factoren altijd moesten worden vermeden. (111)

In 1930 betoogden de Zwitserse radiologen Schinz en Zollinger, in overeenstemming met de bevindingen van Groedel en Lossen, dat röntgenbeschadigingen niet alleen te voorkomen waren door nauwkeurige techniek, maar vooral ook door vermijding van chemische, thermische, medicamenteuze en mechanische prikkelingen. (112)

De Duitse gynaecoloog Kleine maande in 1932 tot voorzichtigheid bij de radiumbehandeling van cervixcarcinoom bij vrouwen, die aan lues leden; hij had bij dit soort patienten blaas- en rectumbeschadigingen waargenomen, die veel ernstiger waren dan bij niet-luetische patienten. (113)

In 1936 beweerde Schultze, dat in de periode 1926-1936 stralenbeschadigingen door bestraling van huidtuberculose 'niet zelden' waren voorgekomen. De oorzaak hiervan was volgens hem, dat deze patienten vaak tijdens de behandeling van arts veranderden, zodat niemand meer kijk had op de in totaal toegediende dosis, terwijl bovendien vaak ook nog andere soorten straling (zoals licht) en etsende stoffen op de laesies werden geapliceerd. Alle met röntgenstraling behandelde lupuspatienten hadden volgens hem een verhoogd risico op het ontwikkelen van lupuscarcinoom. De Duitse arts Reisner stond om deze reden in 1936 op het standpunt, dat lupus vulgaris niet meer met röntgenstraling mocht worden behandeld. (114)

In de loop van de jaren dertig werd in de literatuur en op wetenschappelijke vergaderingen steeds meer aandacht besteed aan combinatie- en cumulatievebeschadigingen. Dit was mede het gevolg van het feit, dat veel röntgenbeschadigingen, die in deze tijd optraden, door combinatie en

cumulatie waren ontstaan. De grote aandacht voor deze vormen van stralenschade maakte de radiologen voldoende op het gevaar daarvan attent. In de tweede helft van de jaren dertig nam daardoor het aantal gevallen van combinatie- en cumulatiebeschadigingen sterk af.

VIII.7 Samenvatting en conclusies.

In de röntgendiagnostiek waren in de periode 1896-1926 het vaak herhalen van belichtingen, het toepassen van te geringe focus-huid-afstanden, het niet gebruiken van de beschikbare dosimetrische methoden en het gebruik van te hoge stroomsterktes, belangrijke oorzaken van stralenschade. Doorlichtingen duurden vaak te lang, doordat artsen hun ogen niet aan de duisternis lieten adapteren. Terwijl het aantal röntgenbeschadigingen als gevolg van radiografie door de technische verbeteringen na 1918 gering werd, vertoonde het aantal röntgenbeschadigingen door radioscopieën in de jaren 1923-1926 een maximum. De belangrijkste oorzaak hiervan was het gebrek aan röntgenologische deskundigheid bij de uitvoerende artsen. In de röntgentherapie werd bij de behandeling van huidziekten in het begin van deze eeuw gebruik gemaakt van de 'méthode destructive', waardoor relatief veel schade aan gezonde weefsels werd veroorzaakt. Deze behandelingswijze werd daarom vanaf de jaren 1905-1910 vervangen door de 'méthode douce'. Na 1910 werd röntgen-dieptetherapie mogelijk en dit leidde in de jaren 1915-1916 tot de ontwikkeling van intensieve bestralingsmethoden, die met het ontstaan van veel stralenschade gepaard gingen. Deze methoden veroorzaakten rond 1923 een piek in het aantal optredende röntgenbeschadigingen door röntgentherapie en werden mede om deze reden vervangen door de veel veiliger bestralingsmethode van Coutard. De invoering van deze Franse behandelingswijze heeft substantieel bijgedragen aan de neutralisatie van het laatstgenoemde maximum. De röntgen- en radiumstralenschade, die in de jaren dertig optrad, betrof vooral late schade en schade als gevolg van combinatie en cumulatie.

HOOFDSTUK IX. METHODEN IN DE RADIUMTHERAPIE.

Inhoud:

IX.1 Inleiding.

IX.2 De eerste jaren van de radiumtherapie.

IX.3 Uitwendige radiumtherapie.

IX.4 Interstitiële radiumtherapie.

IX.5 Radiumpakken en teleradiumtherapie.

IX.6 Intracavitair radiumtherapie.

IX.7 Radium en radon in de interne geneeskunde.

IX.8 Het optreden van röntgen- en radiumstralenschade in de jaren dertig.

IX.9 Samenvatting en conclusies.

IX.1 Inleiding.

In dit hoofdstuk zal ter sprake komen, op welke wijze radium therapeutisch werd toegepast en hoe de wijze van applicatie van invloed was op het ontstaan van radiumschade bij de behandelde patienten. Het optreden rond 1920 van het maximum in het aantal optredende gevallen van radiumschade bij patienten zal verder worden verklaard. Bovendien zal aan de orde komen, wat er allemaal aan dit maximum is vooraf gegaan.

IX.2 De eerste jaren van de radiumtherapie.

In de eerste tien jaar van deze eeuw werd een begin gemaakt met de therapeutische toepassing van radium. Radium werd in deze periode geapliceerd in houders van verschillende aard: rubberen zakjes, ebonieten doosjes, glazen buisjes en capsules. Meestal waren het dermatologen, die met het nieuwe agens experimenteerden. Voor de behandeling van huidziekten werd gebruik gemaakt van platte applicators. Daarnaast werden buisjes met radiumzout gebruikt voor plaatsing in tumoren of lichaams-holten. Ook radiumhoudende poeders en zalven (vaak aangebracht op pleisters of stukjes linnen, zogenaamde 'toiles') werden geapliceerd. In 1907 paste Henri Dominici als eerste filtratie van radiumbuisjes toe (1) en deze Brits-Franse arts werd daardoor een van de grondleggers van de curietherapie. (2) Ook in de radiumtherapie werd lange tijd de 'méthode destructive' gebruikt. In de oppervlakkige tumortherapie werden na 1907 steeds langere bestralingstijden toegepast, terwijl de applicaties bovendien

steeds vaker werden herhaald. Pogingen om steeds hogere doses toe te dienen, leidden echter dikwijls tot langdurige en pijnlijke ulcera, waarbij de tumoren bovendien nog recidiveerden ook. (3)

In 1910 waren in de radiumtherapie twee verschillende behandelingsmethoden te onderscheiden:

- herhaalde uitwendige applicaties van licht gefilterd radium over een lange periode.
- insertie van radiumhoudende buisjes in tumoren, soms in combinatie met chirurgische excisie; deze methode liet toediening van grotere doses toe, terwijl bovendien de kans op schade aan de gezonde weefsels er aanzienlijk door werd gereduceerd. Radium werd dan ook al snel gezien als een zeer waardevol middel in de bestrijding van tumoren. (4)

Vanwege de schaarste aan radium bleef het gebruik echter beperkt tot een relatief kleine groep medici en tot een specifiek klinisch gebied, voornamelijk dat van de goed- en kwaadaardige huidaandoeningen. (5) Dit is de belangrijkste verklaring voor het feit, dat radiumbeschadigingen in deze periode niet op relatief grote schaal zijn voorgekomen. Immers, over preventie van radiumschade wist men in deze tijd nog maar weinig.

De Amerikaanse chirurg en radiumtherapeut Curtis Burnam, die in 1911 met het uitvoeren van radiumbehandelingen was begonnen, stelde vijfentwintig jaar later:

'Very little had been told us, and the literature contained less, about injuries and methods of avoiding them either in patients or in operators.' (6)

Door een aantal ontwikkelingen kwam radium na de Eerste Wereldoorlog op steeds grotere schaal voor therapeutisch gebruik beschikbaar. Het is in dit verband interessant te weten, hoe de twee belangrijkste Amerikaanse radiuminstituten, het Memorial Hospital te New York en het Johns Hopkins Hospital te Baltimore, radium wisten te bemachtigen.

In 1908 had Howard Kelly, hoofd van de Gynecological Department van het Johns Hopkins Hospital en een man met een brede wetenschappelijke belangstelling, een glazen buisje met daarin enige milligrammen radiumbromide gekocht, waarmee hij uteruscarcinomen trachtte te behandelen. Zijn medewerker Burnam zou later schrijven:

'However to his associates, Dr. Kelly's radium was regarded as an interesting toy and his activities harmless.' (7)

De houding van Kelly's collegae ten aanzien van de nieuwe stralende substantie veranderde evenwel, toen in 1910 Louis Wickham, een collega van Henri Dominici, Baltimore bezocht en een toespraak hield voor de Johns Hopkins Medical Society over de therapeutische mogelijkheden van radium. Kelly was zodanig onder de indruk van deze voordracht, dat hij onmiddellijk aan Wickham vroeg om in Parijs voor het Johns Hopkins Hospital 100 milligram radium aan te kopen. In 1911 ontving Kelly het door hem bestelde radium. (8) Spoedig bleek echter, dat de nu in Baltimore

beschikbare hoeveelheid radium (ongeveer 130 milligram) voor therapeutische doeleinden veel te gering was. Kelly besloot daarop Curtis Burnam naar Europa te sturen om na te gaan 'what was being done clinically' in enkele Europese radiuminstituten en om meer radium aan te kopen. Burnam bezocht in 1912 de University of Liverpool, St. Bartholomew's Hospital en het Radium Institute te Londen. Bovendien ging hij naar de radiumafdelingen van Dominici en Wickham in Parijs en de gynaecologische afdeling van Krönig en Gauss in Freiburg; in Londen vernam hij, dat er in Wenen 'nog wat radium over was'. Daar kocht hij van de Oostenrijks-Hongaarse regering 200 milligram radium. Burnam bracht het glazen radiumbuisje, waaromheen hij een dun laagje lood had gewikkeld en dat hij in een kartonnen doosje in zijn jaszak had geplaatst, persoonlijk naar Londen, om de verkregen hoeveelheid in het Radium Institute te laten controleren. Kort na aankomst in Londen ontstond evenwel een radiumverbranding van zijn buikhuid, die weken nodig had om te genezen. Nadat hij was hersteld, bracht hij zijn kostbare bezit naar Baltimore. De grotere hoeveelheid radium, die daar nu ter beschikking was, had meteen grote gevolgen. De klinische ervaring ten aanzien van het werken met radium nam snel toe, terwijl bovendien betere therapeutische resultaten werden geboekt. De klinische, microscopische en pathologische afdelingen van het Johns Hopkins Hospital werden uitgebreid en er werden meer personeel, materiaal en ruimte ter beschikking gesteld. De medische staf experimenteerde met radium in de behandeling van tumoren van rectum, mamma, blaas en mond en paste het nieuwe middel zelfs toe in de behandeling van sarcomen, de ziekte van Hodgkin en leukemieën. Deze 'trials' verliepen overigens niet zonder de nodige teleurstellingen. Al spoedig werden Burnam en zijn collegae geconfronteerd met ernstige radiumproctitis bij een patiente, die veel te lang vaginaal was bestraald. Reeds in de zomer van 1912 werd duidelijk, dat voor betere curatieve resultaten nog meer radium vereist was. Om deze reden werd door Dr. Kelly besloten om -als dit mogelijk was- nog eens 1000 milligram radium aan te kopen. Contacten met de Oostenrijks-Hongaarse overheid leidden tot de afspraak, dat deze hoeveelheid radium in januari 1913 zou worden geleverd. Vlak voor de leveringsdatum raakten echter verscheidene Duitse en Oostenrijkse klinieken geïnteresseerd in radium (9); deze klinieken genoten blijkbaar voorrang en de radiumvoorraad van de Oostenrijks-Hongaarse regering bleek te klein om ook Baltimore nog te kunnen voorzien. De teleurstelling in het John Hopkins Hospital was enorm. Gelukkig hoorde men enkele dagen later, dat radium 'sinds kort' ook in Colorado werd gewonnen en wel door de Standard Chemical Company of Pittsburgh. Burnam nam onmiddellijk contact op met deze firma en wist langs deze weg 750 milligram zuiver radium te vergaren. Toen echter de ambtenaren van het in 1912 opgerichte Bureau of Mines of the Department of the Interior of the United States Government hoorden van de export van radium uit Colorado tegen excessieve prijzen, besloten zij onmiddellijk in te grijpen. Naar de mening van het Bureau of Mines diende het schaarse radium niet aan buitenlandse gegadigden te worden verkocht, maar onder Amerikaanse staatsziekenhuizen te worden verdeeld.

Samenwerking tussen het Bureau of Mines, Dr. Kelly van het Johns Hopkins Hospital en twee bedrijven (Phelps-Dodge and Company (10) en Crucible Steel Company) leidde er toe, dat in juni 1914 in Denver een radiumwinningsnijverheid in werking werd gesteld, die tot januari 1917 in bedrijf zou zijn; haar enige doel was een aantal Amerikaanse ziekenhuizen van radium te voorzien. In oktober 1915 had men in Baltimore al 1000 milligram radium uit deze fabriek ontvangen. Zowel het Johns Hopkins Hospital als het Memorial Hospital zou in totaal vier gram radium uit Denver ter beschikking krijgen. (11) De radiumwinning in Colorado had overigens onmiddellijk invloed op de waarde van radium: de prijs van een gram radium daalde op de wereldmarkt in korte tijd van \$160.000 tot \$36.500 (12)

Het bleef desondanks voor de meeste Amerikaanse en Europese ziekenhuizen bijna onmogelijk om zich van een voldoende hoeveelheid van dit therapeutische middel te voorzien.

Zo bleek de aanschaf van radium in het Academisch Ziekenhuis te Groningen jaren te kosten. In 1914 richtten de Groningse hoogleraren geneeskunde zich in een schrijven tot de commissie van beheer van dit hospitaal in verband met 'de noodzakelijkheid van aanschaffing van radium ter behandeling van kanker en andere kwaadaardige gezwellen'. Voor dit doel was een aanzienlijke hoeveelheid radium nodig en de professoren stelden voor om voor een bedrag van fl. 35000- radium aan te schaffen! Het laat zich raden, dat het enthousiasme van de commissie van beheer voor een financiële adering van dergelijke omvang niet groot was. De geneesheer-directeur, Dr. Van Eysselsteijn, meende echter een oplossing te zien en wees er op, dat de overheid bereid zou zijn, voor de verschillende universiteitsklinieken radium aan te kopen. In de maanden, die hier op volgden, bleek evenwel, dat het Rijk in het geheel niet genegen was om de academische ziekenhuizen op deze wijze tegemoet te komen. Inmiddels was de oorlog uitgebroken '....en daar dientengevolge de uiterste zuinigheid moet worden betracht, heeft het dagelijks bestuur deze zaak voorloopig laten rusten'. Het zou tot 1923 duren, voor men in dit Academisch Ziekenhuis daadwerkelijk tot de aanschaf van radium overging. (13)

In 1913 werd in Katanga in Belgisch Kongo een gebied ontdekt, dat mineralen bevatte (pikblende, uraniumsilicaten en uraniumaluminaten), die zeer rijk waren aan radium. Kort daarna brak de Eerste Wereldoorlog uit en dit verhinderde in eerste instantie de exploitatie van de Kongolese radiummijnen. Pas in 1921 kon l'Union Minière du Haut Katanga met de radiumwinning beginnen. Deze Belgische organisatie werd in de jaren daarna een van de belangrijkste leveranciers van radium. (14)

De boven beschreven ontwikkelingen hadden tot gevolg, dat in de periode 1914-1925 steeds grotere hoeveelheden radium voor medisch gebruik beschikbaar kwamen en dit stimuleerde uiteraard de toepassing van curietherapie. Dit is echter niet de enige reden voor het steeds meer in gebruik raken van radiumtherapie. In hoofdstuk IV werd reeds aangeduid, dat het gebruik van radium met name in de behandeling van kanker werd gestimuleerd door de publieke opinie. Veel mensen verkeerden immers in de veronderstelling, dat radium een wondermiddel tegen deze gevreesde

ziekte was. Al deze factoren waren van invloed op het ontstaan van radiumschade: de grotere hoeveelheden radium, die geapliceerd konden worden (zonder dat er betrouwbare radiumdosimetrie bestond) en de toegenomen belangstelling voor radiumtherapie, zowel binnen als buiten de medische wereld, maakten het mede mogelijk, dat rond 1920 een maximum in de incidentie van radiumbeschadigingen bij patiënten optrad.

IX.3 Uitwendige radiumtherapie.

In de radiumtherapie van huidziekten werd veel gewerkt met zogenaamde 'radium plaques'. Een radium plaque was een plat plaatje van rubber of metaal, waarover een radiumzout verspreid was aangebracht. Een radium plaque was meestal twee bij twee centimeter groot en droeg 1.25 tot 25 milligram radium per vierkante centimeter. Onder de plaque kon een loden of zilveren filter worden aangebracht van gewenste dikte. Als het filter was aangebracht, werd de plaque in papier of een ander materiaal gewikkeld om de secundaire straling weg te vangen. Daarna werd het geheel door een laagje rubber omgeven en met tape op een laesie vastgezet, waarbij de huid door de filters van het radium was gescheiden.

Ook in de radiumtherapie van huidziekten is de 'méthode destructive' tot aan de jaren 1914-1917 gebruikt en oorzaak geweest van relatief veel radiumverbrandingen.

Rond 1914 was echter in de curietherapie vrijwel consensus bereikt over de te verkiezen methode in de behandeling van huidziekten. De 'méthode douce' was op dat moment reeds in brede kring als best beschikbare behandelingsmethode aanvaard, terwijl de 'méthode destructive' in het algemeen sterk werd afgeraden. (15) Nu er in de therapie van dermatosen een minder schadelijke behandelingswijze was ontwikkeld, ontstond een golf van optimisme ten aanzien van de mogelijkheden van radium. (16) Albers-Schönberg schreef in augustus 1913 aan de arts en jurist Kirchberg:

'Ihre Ansicht über das kritiklose Verfahren, mit welchem augenblicklich mit radioaktiven Substanzen gearbeitet wird, teile ich vollkommen. Ich bin fest davon überzeugt, dass wir noch schwere Rückschläge erleben werden.' (17)

Dit 'kritiklose Verfahren' bleek ook uit het feit, dat een aantal geneesheren radium appliceerde zonder enige kennis van zaken op dit gebied te bezitten. Bernhard Krönig wees er in 1915 op, dat veel artsen de mening waren toegedaan, dat overdosering kon worden voorkomen door bij applicaties niet boven een bepaalde *hoeveelheid* radium, namelijk 50-70 milligram, te gaan. Deze opvatting bleek op het Duitse Congres voor Chirurgen in 1915 gemeengoed te zijn. De verwarring van de begrippen hoeveelheid en dosis heeft volgens Krönig zelfs bij korte bestralingstijden aanleiding gegeven tot overdosering en radiumschade. (18) Dat de méthode destructive overigens na 1914 nog niet overal door de méthode douce was vervangen, blijkt wel

uit de mededeling van de Nederlandse arts Broers, die in 1917 huidziekten net zo lang met radiumstraling behandelde tot zweervorming was opgetreden. (19) Toch werd de 'méthode destructive' op het moment van het maximum in het aantal gevallen van radiumschade (rond 1920) in de therapie van huidziekten nauwelijks meer gebruikt, zodat deze behandelingswijze niet voor het optreden van dit maximum verantwoordelijk kan worden gesteld.

In de loop van de jaren twintig werden door eminente radiumtherapeuten regels aangereikt voor veiliger uitwendige applicatie van radium. Bij toepassing van een radium plaque voor een oppervlakkige dermatose hoefde naast het rubberen omhulsel geen extra filter te worden gebruikt. Er mocht dan maximaal drie minuten worden bestraald en dit mocht twee tot drie maal per week worden herhaald. Bij dieper reikende dermatosen werden de filters aangepast. Bij goedaardige aandoeningen werd de behandeling altijd gefractioneerd toegepast, waarbij de gebruikte intervallen aan het individuele geval werden aangepast. (20)

IX.4 Interstitiële radiumtherapie.

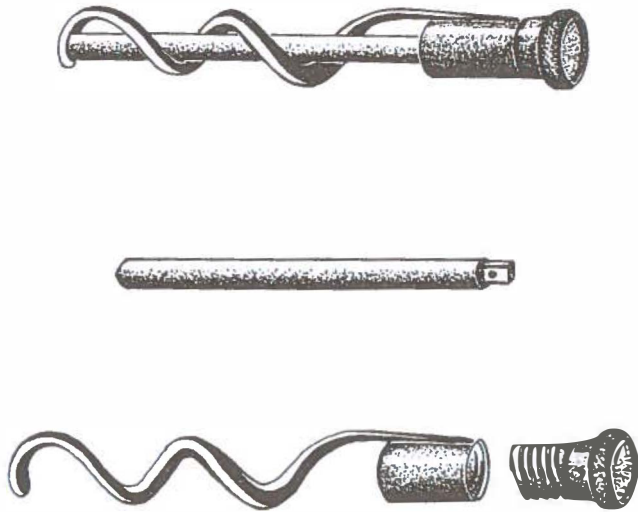
In 1914 beschreef de Dublinse curietherapeut Stevenson een nieuwe methode voor radiumtherapie. Hij bracht glazen houdertjes, gevuld met radon (radiumemanatie), in een serumnaald en paste daarmee als één der eersten interstitiële radontherapie toe. (21)

Ondanks deze hoopvol stemmende ontwikkeling, bleef een aantal artsen kritisch ten aanzien van de toepassing van radiumtherapie. Reeds in de jaren na 1910 verschenen vermaningen tegen een te lange éénmalige zitting met radium (22) en werd er door sommige medici gewezen op de risico's van inadequate filtratie. (23)

Deze waarschuwingen zouden echter spoedig naar de achtergrond worden verdrongen door de intensieve dosis concepten, die na 1915 ook in de radiumtherapie opgeld deden en ook hier in eerste instantie veelbelovend leken te zijn.

Voordat de methode van Stevenson was geïntroduceerd, bestond interstitiële behandeling uit het intratumoraal aanbrengen van één of twee buisjes, die in totaal 25 milligram radium bevatten; dit ging vaak gepaard met het veroorzaken van aanzienlijke verwondingen (zie figuur IX.1). Stevenson daarentegen plaatste zijn serumnaalden, nadat ze met radonampullen waren geladen, in paraffine, waarna ze eenvoudig, zonder ernstige traumata, konden worden aangebracht. Door talrijke gefilterde radonbronnen te gebruiken, ontstond volgens hem door kruisvuur een min of meer homogeen stralenveld. Nadat de naalden waren geplaatst, werd de positie van de radonhoudertjes nogmaals gecontroleerd. Daarna mocht de patient naar huis, om later voor verwijdering van de naalden terug te komen. (24)

De toepassing van radiumemanatie won tegen 1920 steeds meer aan populariteit, omdat radonbuisjes vele malen kleiner konden worden gemaakt dan radiumbuisjes van dezelfde activiteit. Vooral in de interstitiële



Figuur IX.1 Metalen kurketrekker, die rond 1913 werd gebruikt voor het door de huid heen aanbrengen van een radiumbuisje.

radiumtherapie was dit van belang. Radiumbuisjes werden voortdurend opnieuw gebruikt en moesten daarom steeds weer worden gesteriliseerd, met als risico, dat radium door accidenten verloren ging. Bovendien konden barsten in de houders lekkage van radiumemanatie tot gevolg hebben. De kleine radoncellen hadden als voordeel, dat zij veel gemakkelijker in een tumor konden worden gebracht dan de relatief grote radiumbuisjes. Aangezien radongas zich gelijkmatig in een houder verdeelt, konden applicators van iedere gewenste vorm en grootte worden gemaakt. Een nadeel van radon was de korte halveringstijd (3.85 dg), waardoor een behandeling met dezelfde radonhouders slechts enkele dagen kon duren (waarbij trouwens geen rekening werd gehouden met de straling afkomstig van de radondochters). (25)

Gioacchino Failla, de fysicus van de radiumafdeling van het Memorial Hospital te New York, introduceerde in 1916 de toepassing van ongefilterde glazen radoncellen. Deze behandelingsmethode leidde bij de behandelde patienten tot ernstige necrose van gezond weefsel. Ondanks dit nadeel werden deze radoncellen in 1925 nog steeds hier en daar toegepast. De Amerikaanse radiumtherapeut Frank Simpson, hoogleraar dermatologie in Chicago en directeur van het Frank Edward Simpson Radium Institute, betoogde in 1925, dat bij het intratumoraal aanbrengen van ongefilterde

glazen radonampullen, deze op een afstand van minimaal één centimeter van elkaar geplaatst dienden te worden. De ampullen moesten gelijkmatig worden verdeeld en mochten niet naast grote vaten, zenuwen, bot of dunwandige ingewanden liggen; ze mochten bovendien nooit in gezond weefsel worden geplaatst. Een week na plaatsing ontwikkelde zich rond elke ampul een necrotische zone, die soms meer dan twaalf weken nodig had om te herstellen en in het gunstigste geval een zacht litteken achterliet. (26)

Om de perifere necrose te beperken, bracht Failla in de jaren 1924-1925 rond de radoncellen 0.3 millimeter goud filters aan. (27) Op het Eerste Internationale Congres voor Radiologie in Londen in 1925 presenteerde hij deze nieuwe filters; dit gaf zijn 'gold seeds' grote bekendheid, waardoor zij op grote schaal werden toegepast. Ook de 'gold seeds' veroorzaakten echter in hun directe omgeving een kleine necrotische zone en soms zelfs een vrij groot necrotisch gebied. Bovendien trad tegen deze corpora aliena meestal een ontstekingsreactie op, die de perifere weefselbeschadiging nog versterkte. (28)

In de periode 1910-1920 kwamen in de interstitiële therapie zogenaamde 'radiumnaalden' in gebruik. De radiumnaalden, die in deze periode werden gebruikt, waren holle naalden van staal of platina, gevuld met radiumsulfaat of radon. Het gebruik van verscheidene naalden van matige intensiteit verdiende de voorkeur boven toepassing van één sterk actieve naald. In het algemeen werden vijf tot acht naalden (wanddikte 0.4 millimeter staal en gevuld met tien tot twaalf milligram radium) op één centimeter afstand van elkaar in het tumorweefsel geplaatst, waarna ze zes tot acht uren in situ werden gelaten. (29)

Vanaf 1919 werd gewerkt met 'zwakke' naalden, die met maximaal vier milligram radiumzout waren gevuld en meestal werden gefilterd door 0.5 millimeter platina. Een gevaar bij het toepassen van radiumnaalden was, dat de naalden als gevolg van hun scherpe punten steeds verder in het weefsel konden wegzakken en daardoor gezonde weefsels konden beschadigen. De radiumnaalden, die tot aan ongeveer 1940 in de Verenigde Staten werden gebruikt, waren (waarschijnlijk om snellere behandeling mogelijk te maken) met veel grotere hoeveelheden radioactieve substantie uitgerust dan de naalden, die in Engeland en Frankrijk werden gebruikt. De behandelingen met radiumnaalden waren in de Verenigde Staten dan ook kort van duur. Niettemin traden heftige reacties op en de toepassing van naalden werd daarom in de Verenigde Staten veel minder populair dan in Europa. Na 1940 werden in de Verenigde Staten ook 'low intensity needles' toegepast en won de methode ook daar aan populariteit. (30)

IX.5 Radiumpakken en teleradiumtherapie.

In de radiumtherapie werden rond 1912 in de behandeling van kleine oppervlakkige laesies redelijke resultaten behaald. Ditzelfde kon echter niet worden gezegd van de radiumbehandeling van diepgelegen tumoren; daarvoor waren immers grote hoeveelheden radium nodig, die voor de

Eerste Wereldoorlog niet beschikbaar waren. Pogingen tot radiumbestraling van onder de huid gelegen weefsels liepen meestal uit op zware huidverbrandingen. Zo behandelde Exner in 1904 twee vrouwen, die aan borstkanker leden, met radium. In het ene geval werd een half uur, in het andere twee maal 50 minuten bestraald. Bij beide patienten ontstonden gangraeneuze zweren van de huid, die pas na drie maanden weer genezen waren. (31)

In de periode na 1912 werd getracht diepgelegen tumoren met zo groot mogelijke hoeveelheden radium-voorzoover deze beschikbaar waren- te behandelen, terwijl voor dit doel ook van het veel minder zeldzame mesothorium gebruik werd gemaakt. De doses werden steeds meer verhoogd en er werd bovendien van steeds zwaardere filters gebruik gemaakt. (32)

In de herfst van 1913 werd in het Johns Hopkins Hospital te Baltimore begonnen met de applicatie van een 'pak' radium voor de behandeling van diepgelegen tumoren. Curtis Burnam stelde later, terugblikkend op deze periode:

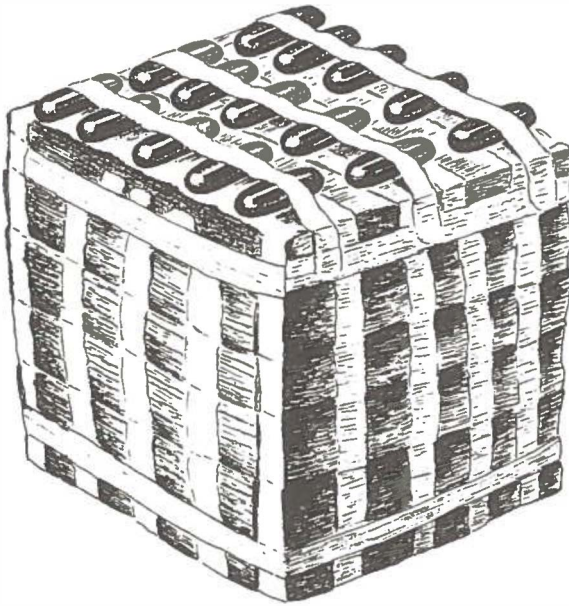
'What impresses me most, in looking them over now, is the number of severe injuries and the number of permanent cures.' (33)

Een van zijn patienten was in een eenmalige zitting behandeld voor larynxcarcinoom, met het radium op één inch afstand van de huid. Dit leidde weliswaar tot volledige genezing van de tumor, maar de patient ontwikkelde een ernstige radiumulcus, die tot in het kraakbeen reikte en die lange tijd nodig had om te genezen. (34)

Volgens de Belgische arts A. Bayet, directeur van de Dermatologische Universiteitskliniek te Brussel, werden in 1915 met name in Duitsland zeer hoge doses geapliceerd, terwijl men in Frankrijk veel minder ver ging. Bij het publiek, maar ook bij veel artsen, was volgens hem de indruk ontstaan, dat radium hét geneesmiddel was tegen diepgelegen tumoren, zoals maag- en darmtumoren. Het appliceren van grote doses raakte ook in de radiumtherapie in zwang. Reeds in 1915 gingen evenwel verschillende stemmen op, die wezen op het gevaar van deze nieuwe methode, terwijl daarnaast in de literatuur diverse gevallen van radiumschade werden beschreven, die als gevolg van toepassing van grote doses waren ontstaan. Bovendien zouden de curatieve resultaten van intensieve radiumbestraling niet aan de verwachtingen voldoen. Een aantal onderzoekers wees er op, dat diepe tumoren niet konden worden vernietigd zonder zware huidnecrose te veroorzaken. Desondanks bleef de methode in gebruik, immers, zo concludeerde Bayet in 1915:

'Das begeisterte Erforschen der heilenden Wirkung des Radiums auf den Krebs entstammt den Misserfolgen der Chirurgie.' (35)

In de jaren 1915-1916 paste Henry Janeway, die op de radiumafdeling van het Memorial Hospital over steeds grotere hoeveelheden radium uit Colorado ging beschikken en daardoor met curietherapie van diepgelegen



Figuur IX.2 Een radiumpak.

tumoren kon gaan experimenteren, speciale mallen toe, die er voor moesten zorgen, dat de radiumbronnen op een vaste afstand van de huid werden gehouden. (36) Er werd bij deze methode gebruik gemaakt van rechtehoekige blokjes (van hout, kurk of rubber) ter grootte van 2 x 2 x 1 centimeter. Deze blokjes werden met plakband aan elkaar geplakt, om pakjes van wisselende grootte te vormen. Op een dergelijk pak werden daarna radiumbuisjes gerangschikt en vastgeplakt (zie figuur IX.2). De rangschikking werd aangepast aan iedere individuele patient. Om het omgevende normale huidweefsel te beschermen, werd dit met twee tot vier millimeter lood bedekt. Dit soort applicators werd 'radiumpak' genoemd. Janeway paste al in 1918 radiumpakken toe voor de behandeling van diepgelegen carcinomen en sarcomen. (37) De grootte van een radiumpak werd aangepast aan aard en omvang de te behandelen laesie; meestal waren ze 6 x 6 x 6 centimeter tot 10 x 10 x 10 centimeter groot. Om de absorptie van de gamma-stralen in het pak tegen te gaan, konden de blokjes van binnen hol worden gemaakt en worden opgevuld met katoen. Door verscheidene radiumpakken tegelijk te gebruiken, kon een vorm van 'kruisvuur' worden toegepast. In dit laatste geval moesten de radiumpakken op voldoende afstand van elkaar worden geplaatst, aangezien de huid anders door overlapping van de γ -bundels een overdosis op kon lopen. Op een radiumpak werd meestal 500-2000 milligram radium aangebracht.

De Belgische radiumtherapeuten Sluijs en Kessler wezen er in 1925 op, dat de huid bij toepassing van radiumpakken onnodig zwaar werd belast, als zonder loodkapsels werd gewerkt. (38) Door in een loodkapsel een venster aan te brengen, konden de stralen alleen in de gewenste richting uitreden. (39) Vanaf 1925 werden de vier zijanten van een radiumpak daarom met een drie tot vier millimeter dikke laag lood bedekt, zodat de omgevende huid, althans voor een deel, werd beschermd. Op het gedeelte van de huid waar het pak werd geplaatst, diende bovendien een verband te worden gelegd, omdat de ervaring had geleerd, dat anders de epidermis werd beschadigd. Soms werd om deze reden eerst een laag gips op de huid aangebracht. Het bovenoppervlak van het radiumpak werd overigens al vrij snel vervangen door een afneembare plaat, waarop de bronnen bevestigd waren. Daardoor werd het mogelijk om het radium op het laatste moment op het pak te plaatsen.

Het radiumpak was de voorloper van de apparaten voor teleradiumtherapie, die in de jaren twintig werden ontwikkeld (zie ook hoofdstuk II). De toepassing van radiumpakken leidde in het merendeel der gevallen overigens niet tot genezing, hoewel meestal in eerste instantie een aanzienlijke regressie van de tumoren optrad.

Terwijl op veel plaatsen werd gewerkt aan verbeteringen in de toepassing van radiumpakken, werd in Frankrijk reeds een volgende stap gezet in de perfectionering van de uitwendige radiumtherapie. De Parijse radiumtherapeut Mallet maakte al vanaf 1919 gebruik van moulages van rubber of cellulose, die voor iedere patient afzonderlijk werden gemaakt en waarop de radiumbronnen in iedere gewenste rangschikking konden worden aangebracht. In totaal werd op een dergelijk afgietsel 200 tot 240 milligram radium geplaatst. Deze techniek werd door Mallet toegepast bij tumoren van hoofd, hals, mamma, thorax en ledematen. De 'moulage methode' was echter ongeschikt voor gebruik bij zeer diepgelegen vormen van kanker, zoals uterustumoren. Voor de behandeling van deze gezwellen werd telecurietherapie gebruikt, waarbij een krachtige radiumbron op een zekere afstand van de huid werd geplaatst. Al vanaf 1918 was in de Verenigde Staten geëxperimenteerd met teleradiumtherapie, maar hiervoor was een grote hoeveelheid radium nodig, die natuurlijk niet iedereen in bezit had. Mallet en Coliez pasten vanaf 1924 in het Hôpital Tenon te Parijs teleradiumtherapie toe door gebruik te maken van een apparaat, dat drie radiumbronnen van elk 100 milligram bevatte. Iedere bron werd op tien centimeter van de huid gehouden en ingebed in een loden trommel. (40) In de behandeling van tumoren heerste rond 1920 in veel klinieken de opvatting (in het kader van de 'massive dose philosophy'), dat een grote dosis in zo kort mogelijke tijd gegeven moest worden. Deze opvatting kwam ook in de radiumtherapie van tumoren tot uiting. Als een bepaalde dosis geen resultaat opleverde, werd een dubbele of soms zelfs vierdubbele dosis toegepast. Dit leidde uiteraard tot veel destructie van gezond weefsel. Bovendien trad in deze gevallen relatief vaak late necrose op. De toepassing van de intensieve dosis concepten in de uitwendige radiumtherapie heeft dan ook belangrijk bijgedragen aan het ontstaan van het

maximum rond 1920 in het optreden van radiumbeschadigingen bij patiënten.

De achtergronden van deze ontwikkeling zijn reeds in hoofdstuk VIII genoemd. In de radiumtherapie waren in de diverse landen vooral de gezaghebbende binnenlandse radiuminstituten van grote invloed. Het Institut du Radium te Parijs en het Radium Institute of London hadden meer invloed op de radiumtherapie in eigen land dan buitenlandse onderzoeksinstituten. Dit verklaart wellicht, waarom vooral in de Duitse literatuur over de radiumbeschadigingen, die het maximum rond 1920 vormden, lijkt te zijn gesproken. De voorzichtiger behandelingswijze van de Fransen en de Britten had immers beduidend minder radiumbeschadigingen tot gevolg. Een andere reden is, dat de Britten (die een deel van het in Cornwall gewonnen radium exporteerden) en de Fransen veel minder radium ter beschikking hadden dan de Duitsers, Oostenrijkers en Amerikanen. De Britse fysicus Frederic Soddy, die verwachtte, dat voor de radiumtherapie van kanker, als dit middel werkelijk werkzaam was, in iedere grote stad grammen radium nodig zouden zijn, beschouwde de situatie in Groot-Brittannië in november 1913 als alarmerend:

'The situation for this country is a sufficiently serious one. Austria and America have the radium, Germany the mesothorium raw material. A future source of supply for this country is a question of national concern.....' (41)

Al hadden de Britten zelf radiummijnen in Cornwall, zij bleven, evenals de Fransen, voor de aanvoer van radium grotendeels afhankelijk van het buitenland. Uiteraard stakte als gevolg van de Eerste Wereldoorlog de toevoer van radium naar deze landen. Pas na de oorlog kwam op de wereldmarkt meer radium (voor een lagere prijs) voor medisch gebruik ter beschikking.

In de loop van de jaren twintig werd gewerkt aan verfijning van de uitwendige radiumtherapie, met als doel het behalen van betere curatieve resultaten, zonder daarbij radiumstralenschade te veroorzaken. In de radiumtherapie was daarom geen plaats meer voor de intensieve bestralingsmethoden, die, door het bijna volledig ontbreken van betrouwbare dosimetrie, niet waren toe te passen zonder groot gevaar voor de patient. In de loop van de jaren twintig werden de intensieve behandelingsmethoden in de radiumtherapie daardoor relatief snel verdrongen door de veel veiliger gefractioneerde bestralingstechnieken.

IX.6 Intracavitaire radiumtherapie.

Intracavitaire radiumtherapie werd voor 1914 niet volgens vaste methoden toegepast. Meestal werd radium in kleine hoeveelheden geapliceerd, waarbij men van meerdere zittingen gebruik maakte. Bij applicatie van een radiumhouder in uterus of vagina werd deze meestal in een laag gazen gewikkeld, waardoor de houder op een bepaalde afstand van de mucosa

werd gehouden. In neus, mond, oesophagus, rectum en blaas werden radiumbuisjes aangebracht via een buigbare zilverdraad, waarbij de zilverdraad aan de huid werd bevestigd.

In 1914 was de Duitse gynaecoloog H. Kupferberg één van de eersten, die radium intra-uterien in een éénmalige zitting van 48 uren toepaste. Vanaf 1918 was het gebruikelijk geworden om bij intra-uteriene of intracervicale radiumtherapie een intensieve behandeling te geven in de vorm van één langdurige zitting, of verscheidene, frequent herhaalde, kortere sessies. De voor dit doel gebruikte radiumpreparaten waren meestal Dominici-buisjes, die achter elkaar, of gebundeld, in uterus of cervicaal kanaal werden gebracht. (42) Patienten, die intracavitaire curietherapie ondergingen, waren als gevolg van deze intensieve vorm van bestraling niet altijd gevrijwaard van radiumbeschadigingen. Carl Gauss, de Freiburgse vrouwen-arts, meende in 1914, dat radiumverbrandingen meestal ontstonden als gezondigd werd tegen reeds bekende regels. Biologische ijking van een radiumpreparaat aan de huid bleek geen garantie te geven tegen het optreden van radiumbeschadigingen van het rectum. Hij concludeerde, dat het rectum radiosensibeler was dan de huid en dat voor de preventie van dergelijke beschadigingen het gebruik van een secundair rubberfilter niet voldoende was; naar zijn mening was vooral het scheppen van afstand tussen radiumpreparaat en rectumwand van belang. (43)

In de jaren na 1913 verschenen in de literatuur steeds meer meldingen van patienten met radiumschade. De Oostenrijkse gynaecoloog W. Weibel, die werkte in de Zweite Universitäts-Frauenklinik te Wenen, berichtte op de bijeenkomst van de Wiener Gynäkologischen Gesellschaft van 11 februari 1919 over elf patienten, die in de periode 1916-1919 postoperatief waren behandeld met radium wegens carcinomen van de genitale organen. Bij deze patienten werd, verdeeld over twee series, 3300-4000 milligram-uur radium geapliceerd. Bij twee patienten trad lichte verbranding van de vaginawand op. Bij vijf andere patienten ontstond ernstige necrose, die in twee gevallen leidde tot het ontstaan van rectovaginale fistels, terwijl bij de drie andere zowel rectovaginale als vesicovaginale fistels optraden. Als gevolg van deze negatieve ervaringen besloot Weibel alleen nog maar nabestraling met röntgenstralen toe te passen. (44)

Professor W. Benthin van de Universitäts-Frauenklinik te Königsberg behandelde in de periode 1915-1920 154 patienten met inoperabele uteruscarcinomen en locale recidieven daarvan; een deel van deze patienten werd postoperatief bestraald ter preventie van het optreden van metastasen ('electieve bestraling'). Het gefilterde radium werd steeds intravaginaal in een serie van drie dagen geapliceerd: drie maal twaalf uren met steeds een tussenpauze van eveneens twaalf uren. Iedere volgende serie werd pas na vier weken uitgevoerd en per serie werd ongeveer 1800 milligram-uur radium toegediend. Afgezien van de algemene verschijnselen, die optraden, ontstonden bij een groot deel van de op deze wijze behandelde patienten ernstige radiumbeschadigingen. In de groep van 62 patienten, die nabestraald waren, trad bij 22 een verbranding van de vaginawand op. Liet Benthin die gevallen buiten beschouwing, waarbij maar een serie was toegepast, dan was het percentage vaginaverbrandingen bij de resterende

55 patienten bijna vijftig. De weefselreacties konden laat optreden; niet zelden constateerde hij bij latere controles een volledig verkleefde vagina. De necroses van de vaginawand konden in de loop der tijd steeds dieper worden, totdat uiteindelijk fistels ontstonden. In op één na alle gevallen had hij kunnen vaststellen, dat het radium voor de beschadigingen verantwoordelijk was en niet het voortschrijden van het carcinoom, of het verval van carcinomateus weefsel. Rectovaginale of vesicovaginale fistels traden in geval van nabestraling op bij 16% van de patienten en in geval van intravaginale behandeling van inoperabele carcinomen bij 6%, waarbij Benthin alleen die patienten meerekende, die meer dan een serie bestralingen hadden ondergaan. (45)

Uit deze gegevens blijkt, dat ook in de intracavitare radiumtherapie, door de toepassing van intensieve bestralingsmethoden, relatief veel radiumbeschadigingen ontstonden. Deze vormden een onderdeel van het maximum rond 1920 in de incidentie van radiumschade bij patienten. Na 1920 ging men -geschrokken van de vele schadegevallen- in veel klinieken in de curietherapie van diepgelegen tumoren weer kleinere doses appliceren, die over verschillende zittingen werden verdeeld, terwijl bovendien de totale dosis werd verlaagd. Na 1920 nam daardoor het aantal bij patienten optredende radiumbeschadigingen af. Op de bijeenkomst van de Berliner Gesellschaft für Geburtshilfe und Gynäkologie van 22 november 1929 werd dit treffend geïllustreerd. Op deze vergadering heerste grote overeenstemming over het feit, dat door het toepassen van kleinere doses over vrij lange tijd, het aantal optredende radiumbeschadigingen na 1920 sterk was afgenomen. De Berlijnse gynaecoloog Wille had voor 1920 bij intracavitare radiumtherapie van 190 patienten zes maal een blaasfistel veroorzaakt, na 1920 echter nooit meer. De beroemde Münchense gynaecoloog Döderlein presenteerde op deze vergadering de volgende resultaten: in de periode 1913-1918 behandelde hij 870 patienten intracavitair met radium; bij 4.9% traden fistels op. In de periode 1919-1922 was dit bij 300 patienten 1.4% en in de periode 1924-1928 bij 315 patienten 0.6%. (46)

De intensieve dosis methode was in de intracavitare radiumtherapie geen lang leven beschoren, niet alleen vanwege de veroorzaakte radiumschade, maar ook doordat de curatieve resultaten teleurstellend waren. Bovendien maakte het gebrek aan een betrouwbare methode voor radiumdosimetrie veel artsen terughoudend. Dit betekent echter niet, dat dit concept in de jaren twintig volledig verdwenen was. Als een methode volgens een eenmalige zitting kon worden uitgevoerd, zonder groot risico op radiumbeschadigingen, werd deze niet zonder meer verlaten. Zo beweerde Kupferberg, die trouwens een voorstander was van de toepassing van gefractioneerde behandeling, dat (in 1929) intracavitare radiumbehandeling in een éénmalige zitting mogelijk was zonder schade te veroorzaken. Bij vaginale applicatie van een radiumpreparaat diende een dergelijke éénmalige zitting niet langer dan 48 uren te duren en moest de dikte van het filter aan de duur van de zitting worden aangepast. Alleen als langere applicatie absoluut nodig was (bijvoorbeeld bij portiocarcinoom of vagina-

carcinoom), mocht na minstens zes weken nog een zitting van dezelfde duur plaatsvinden. (47)

Met de vervanging van de intensieve bestralingsmethoden in de meeste vormen van intracavitare radiumtherapie door gefractioneerde methoden, nam na 1920 het aantal optredende radiumbeschadigingen bij patiënten af. Door de ontwikkeling van aangepaste bestralingsmethoden, zoals de methode van Heyman voor de behandeling van uteruscarcinoom (48), bleef radium in de intracavitare curietherapie nog gedurende vele jaren van groot belang.

IX.7 Radium en radon in de interne geneeskunde.

Radium werd niet alleen uitwendig, interstitieel of intracavitair toegepast. In de inwendige geneeskunde werden enige tijd ook 'radiumkuren' voorgescreven. In de periode 1904-1935 is in Duitsland, Zwitserland, Oostenrijk en de Verenigde Staten en in mindere mate in Frankrijk en Groot-Brittannië, in een aantal klinieken bij patiënten geëxperimenteerd met radon-inhalatietherapie en met radon- en radium drinkkuren. Bovendien werden radiumoplossingen soms intratumoraal, intraveneus of intramusculair geïnjicieerd. (49)

In de jaren 1902 tot 1904 was door diverse fysici aangetoond, dat radium en thorium radioactieve gassen afscheiden. (50) In 1902 toonden de natuurkundigen Sello en Pochettino uit Rome en Thomson uit Cambridge aan, dat leidingwater radiumemanatie bevatte, hetgeen in 1903 nog eens door Himstedt uit Freiburg werd bevestigd. Kort daarop werd in een aantal bronwateren, onder andere te Baden-Baden en Gastein, radiumemanatie aangetoond. Dit leidde in een aantal landen onmiddellijk tot onderzoek van gezondheidsbronnen, hetgeen in 1904 tot het verrassende resultaat leidde, dat vele van oudsher bekende heilbronnen in Engeland, Frankrijk, Duitsland en de Verenigde Staten, zoals Bath, Buxton, Bad Kreuznach en Wildbad, radiumemanatie bevatten! De conclusie lag dan ook voor de hand, dat de genezende werking van deze bronnen wel eens op de aanwezigheid van de emanatie zou kunnen berusten. (51) Een gevolg van deze 'ontdekking' was niet alleen, dat radiumhoudend water in de geneeskunde steeds meer werd voorgeschreven, maar ook, dat commerciële firma's snel inspeelden op het 'geloof' van het publiek in de heilzame werking van radiumhoudende producten.

In 1906 maakte de Braunschweigse zenuwarts en radiumtherapeut Siegfried Löwenthal als één der eersten kunstmatig emanatiewater voor kuurbaden en drinkkuren. Dit opende de weg naar toepassing van emanatiehoudend water in ziekenhuizen en klinieken. (52)

Friedrich Gudzent en Siegfried Löwenthal beschreven in 1909 een methode om via inhalatie radiumemanatie te appliceren. (53) Gudzent gaf in datzelfde jaar samen met zijn medewerker His de toepassing van klinische emanatietherapie een belangrijke impuls, door het belang van radontherapie voor de inwendige geneeskunde aan te tonen. (54) De Russische arts A. Braunstein had reeds in 1904 maligne neoplasieën behandeld door middel

van intratumorale injectie van radonhoudende oplossingen. Bovendien had hij tumoren van de bovenste luchtwegen en van de tractus digestivus trachten te behandelen met radioactief poeder, dat hij had vervaardigd door bismutpoeder drie tot vijf dagen met radiumbromide in contact te laten zijn; het bismutpoeder werd dan tijdelijk radioactief door afzetting van radioactieve vervalproducten van radium. Bij larynxtumoren werd dit poeder -als zij toegankelijk waren- op de tumor gesprekeld met behulp van een kwast of een borstel. Bij ontoegankelijke tumoren, bijvoorbeeld van oesophagus, pharynx of maag, werd het poeder eerst in water opgelost, waarna de patient dit water moest drinken. (55)

In 1911 zetten Gudzent en Mendel de proefondervindingen van Braunstein voort. (56)

Inhalatietherapie met radiumemanatie werd uitgevoerd in een gesloten ruimte, waarin radon door een speciaal voor dit doel geconstrueerd apparaat (het 'emanatorium') in de lucht werd verspreid. De concentratie radon werd meestal op 4 - 60 M.E. per liter lucht gebracht (1 M.E. = 1 Mache Eenheid = 3,64 Eman = 0.000364 micro Curie). Een behandelingsessie duurde twee uren en meestal werden binnen vier tot zes weken 24 tot 40 zittingen gehouden. (57)

Door radon te leiden door water, of door onoplosbaar radiumzout omhuld door een filter in water te leggen, kon men op eenvoudige wijze radon oplossen in water. Dit radonwater werd gemaakt in een speciaal daarvoor vervaardigde ketel, of in een radiumdrinkbeker. Ook in water of fysiologisch zout opgeloste radiumzouten, zoals radiumbromide en radiumchloride, werden voor drinkkuren gebruikt. De hoeveelheid radon, die op deze manier werd toegediend, varieerde van 1000 - 100.000 M.E. per dag, terwijl de applicatie meestal gedurende zes achtereenvolgende weken werd voortgezet! Deze behandelingswijzen werden vooral toegepast bij patienten met jicht of andere reumatische aandoeningen, maar ook bij patienten met bijvoorbeeld diabetes of nefritis.

In het Johns Hopkins Hospital te Baltimore werd in 1911 begonnen met het behandelen van patienten met arthritis en jicht door middel van radon drinkkuren. Als oplosmiddel voor radon werd eerst water gebruikt, maar al snel werd overgegaan op alcohol, omdat dit agens het gas langer vasthield. De resultaten leken veelbelovend, toen een aantal patienten beweerde veel profijt van de kuren te ondervinden; de medische staf merkte echter spoedig, dat het deze patienten alleen om de alcohol te doen was. In 1914 werd in dit ziekenhuis met de toepassing van dit soort kuren, wegens het uitblijven van duidelijke positieve resultaten, definitief gestopt. (58)

Voor de intra-articulaire, intraveneuze of intramusculaire injectie van radium werd in fysiologisch zout opgelost radiumchloride of radiumbromide gebruikt. Bij dergelijke kuren werd om de andere dag 0.001 tot 0.005 milligram radiumelement geïnjecteerd en dit in totaal vaak vijftien tot twintig maal. Lang niet alle artsen durfden echter deze vorm van radiumtherapie toe te passen. Soms werd er in totaal 0.1 milligram radiumelement toegediend door vijf weken lang per week één injectie van 0.02 milligram te geven. Vaak werden de injecties gecombineerd met inhalatie- of drinkkuren. (59) In 1922 werd door de Frankfurtse hoogleraar inwendige

geneeskunde Julius Strasburger zelfs toepassing van radiumkompresen aanbevolen. In radonhoudende vloeistoffen gedompelde doeken konden naar zijn mening met goed gevolg op pijnlijke plekken worden gelegd om de pijn te stillen. (60)

De creatie van deze vormen van radiumtherapie werd gestimuleerd door de mening van 'het grote publiek', dat rotsvast in de heilzame werking van radium en radon leek te geloven, ook in Nederland.

In het 'populair geïllustreerd maandblad' *De Natuur* schreef Dr. A.J.C. Snijders ten aanzien van de geneeskrachtige bronwateren in 1911:

'Dit alles wordt echter volkomen begrijpelijk, nu men voor eenigen tijd gevonden heeft, dat de genezende kracht uitsluitend -of althans hoofdzakelijk- te danken is aan de radio-actieve eigenschappen der bronwateren.' (61),

en over de drink- en badkuren stelde hij:

'Men heeft met deze drink- en badkuurreeds zeer gunstige uitkomsten verkregen, vooral bij chronische gewrichts-rheumatisme, jicht en ischias. Ook bij tabes dorsalis en bij chronische vrouwen-ziekten werken deze baden zeer gunstig. Kliergezwollen ondervinden er een merkwaardige verbetering door, evenzoo vele huidziekten en prof. Czerny heeft zelfs reeds goede gevolgen waargenomen bij kanker-achtige ontappingsen. Waarschijnlijk staan wij dus, door den gezegenden invloed van de radiumproducten, waaraan wij reeds zoovele moderne wonderen te danken hebben, ook aan den vooravond der ontwikkeling van een geheel nieuwen en uiterst heilzamen factor in de geneeskunde.' (62)

De Nederlandse publicist Z.P. Bouman bracht het enthousiasme over de werking van radium in 1913 als volgt onder woorden:

'Maar wie de lijst der ziekten overziet, die nu reeds met radium en emanatie behandeld worden, voelt dankbaarheid tegenover de medici, die in zoo korten tijd reeds dit nieuwe middel zoo bruikbaar wisten te maken, en te hopen is het, dat hier nog menige overwinning zal bevochten worden.' (63)

In 1914 sprak een van de redacteurs van *De Natuur* de volgende wens uit:

'Waar vooral in de laatste jaren het radium een machtig en krachtig geneesmiddel bij kanker en dergelijke kwalen schijnt te worden, zouden grootere vondsten van radium een zegen voor velen kunnen zijn.' (64)

Verblind door dit optimisme hadden velen geen oog meer voor eventuele gevaren van radiumbehandeling. In 1916 verscheen in het blad *Radium* een artikel, waarin een arts schreef:

'Radium heeft absoluut geen giftige werking, het wordt door het lichaam even gelijkmatig opgenomen als zonlicht door een plant.' (65)

In de jaren 1915-1930 namen duizenden mensen in de Verenigde Staten radium in, bijvoorbeeld door radiumhoudend water te drinken. De 'Radium Ore Revicator Company of New York' maakte in deze jaren reclame voor radiumhoudend water door te vermelden, dat 155.400 mensen hun produkten gebruikten. (66) De therapeutische waarde van dit soort kuren werd echter in de loop van jaren twintig in toenemende mate omstreden. Het bekend raken van ernstige radiumbeschadigingen bij radiumwerkers bracht de radiumkuren in 1932 verder in diskrediet. De Amerikaanse arts Martland had 800 arbeidsters uit de radiumindustrie onderzocht, die uit hoofde van hun werk wijzerplaten van klokken met radioactieve verf beschilderden. Na een- of meerjarige arbeid waren bij een deel der onderzochte vrouwen progressieve anemie en kaaknecrose opgetreden; bij vijftien arbeidsters had dit geleid tot de dood. Bij een aantal onderzochte bergarbeiders, die in de Joachimthalse radiumertswinning werkten, was eveneens ernstige anemie ontstaan. De radioactieve stoffen bleken bovendien het lichaam niet te verlaten, maar te worden gestapeld in lever, milt en beenmerg. (67) In 1932 verscheen ook het doodsbericht van een Amerikaanse staalfabrikant, die na overmatig drinken van een radioactieve kuurvloeistof, was overleden. Hoewel sommigen nog meenden, dat bij de gangbare radiumkuren beschadigingen of vergiftigingen niet konden optreden, werden steeds meer artsen uiterst terughoudend in het toedienen van dit soort kuren. (68) De teleurstellende curatieve resultaten en een groeiend besef onder medici van het feit, dat deze methoden vanuit het oogpunt van stralingsbescherming desastreus waren, verminderden hun toepassing steeds meer. (69) In 1933 stelde Gudzent vast, dat zich nog maar weinig artsen met de toediening van radioactieve stoffen in de inwendige geneeskunde bezig hielden; de meeste geneesheren stonden onverschillig of zelfs afwijzend tegenover deze vorm van therapie. Die artsen, die de kuren nog wel toepasten, beperkten zich meestal tot gebruik bij reumatische aandoeningen. (70)

Niet alleen de ongunstige resultaten remden de toepassing van radium- en radonkuren. De kuren waren voor een deel in handen geraakt van niet-medici, die het land door reisden en hun radioactieve middelen voor allerlei ziekten aanbevelen; dit maakte steeds meer artsen wantrouwig ten aanzien van deze vorm van 'therapie'. Geneeskundigen, die op deskundige wijze radioactieve stoffen in de interne geneeskunde wilden toepassen, konden daarin vrijwel nergens onderwijs ontvangen of ervaring opdoen. Daarnaast weigerden de meeste ziekenfondsen om radiumkuren te vergoeden, omdat de heilzame werking ervan niet was bewezen. (71) Deze omstandigheden maakten het voor medici aanzienlijk moeilijker om radium- of radonkuren voor te schrijven en hadden tot gevolg, dat de toepassing van radioactieve

stoffen in de inwendige geneeskunde in de loop van de jaren dertig sterk afnam.

De radiumkuren hebben uiteraard bij langdurig op deze wijze behandelde patiënten aanleiding gegeven tot het ontstaan van ernstige deterministische stralenschade. Daarnaast heeft deze behandelingsmethode mogelijk ook enige stochastische stralenschade veroorzaakt, waardoor bij de betreffende patiënten een wissel werd getrokken op het gehele nageslacht.

IX.8 Het optreden van röntgen- en radiumstralenschade in de jaren dertig.

De belangrijkste vorm van stralenschade, die in de jaren dertig optrad, was late schade, die soms maanden tot jaren na blootstelling aan straling tot uiting kwam. In hoofdstuk VIII is gebleken, dat een deel van deze schade werd geluxeerd door combinatie en cumulatie. Late schade kon echter ook optreden zonder de invloed van additionele factoren. (72)

De medische wereld werd in de jaren na 1930 geconfronteerd met een erfenis uit het verleden, die grote problemen opleverde: late stralenschade was bijzonder moeilijk te behandelen en had voortdurend de neiging te recidiveren. Daardoor kwam het voor, dat bij sommige patiënten ernstige stralenschade, die voor 1930 was veroorzaakt, zich tot ver in de jaren dertig voortsleepte. (73)

Late schade betrof met name röntgenstralenschade, maar er werden ook gevallen van late radiumstralenschade beschreven. (74) In een aantal gevallen was de schade opgetreden door jarenlange applicatie van kleine doses, een fenomeen, dat 'summatie' werd genoemd. (75)

Stralenschade werd in de jaren dertig vrijwel alleen nog veroorzaakt door radiotherapie. Uit dit onderzoek is niet gebleken, dat er in de jaren dertig nog schade door röntgendiagnostiek is opgetreden. (76) Hoewel er van een structureel probleem geen sprake meer was, kwam het na 1930 nog incidenteel voor, dat bij patiënten acute stralenschade werd veroorzaakt. (77)

Ook in Nederland traden in de jaren dertig nog gevallen van ernstige stralenschade op. Twee van dergelijke gevallen werden in 1937 gemeld op een vergadering van de Nederlandsche Vereniging van Dermatologen door de Nederlandse dermatoloog R. Kooij.

Het eerste geval betrof een patiënte van zestig jaar, die 'elders' voor een jeukende dermatose in de bilstreek met röntgenstralen was behandeld. In een jaar tijds werd zij twaalf maal bestraald, de laatste keer in juli 1936. Ruim twee maanden na deze laatste bestraling ontstond er een zwarte korst op de rechter bil, de omgevende huid werd rood en voelde hard aan. Er ontstond een zweer, die langzamerhand groter werd, totdat er een ulcus aanwezig was met een grootte van elf bij acht centimeter. Aanvankelijk was de bodem van de zweer met een geel-groen, riekend beslag bedekt, dat na enige tijd werd afgestoten. De aandoening was enorm pijnlijk, waardoor de patiënte gedwongen was steeds op de buik te liggen. Behandeling met aloësap (uit bladeren van de aloë vera) gedurende vijf weken baatte niet.

Het tweede geval, dat door Kooij werd gepresenteerd, betrof een vrouw van tweeënveertig jaar, die met röntgenstralen was behandeld voor pruritus vulvae, een jeukende aandoening van de uitwendige schaamdelen. Zij kreeg in januari, juli en augustus 1936 in refracta dosi telkens 500 r toegediend. Bovendien werd een plekje in de lies nog afzonderlijk met röntgencaustiek behandeld. Als gevolg van deze behandeling verminderde de jeuk wel iets, maar ze verdween niet geheel. In het voorjaar van 1937 ontstonden rondom de vulva diverse teleangiëctasieën en trad diffuse roodheid op. Bovendien ontstond in de linker liesplooï een zeer pijnlijke zweer, die ongeveer zo groot was als een cent. (78)

Hoe deze gevallen zich verder hebben ontwikkeld, heeft Kooij niet meer vermeld, maar aangenomen mag worden, dat het zeker in het eerste geval uiteindelijk tot chirurgisch ingrijpen is gekomen.

IX.9 Samenvatting en conclusies.

Ook in de radiumtherapie werd tot aan de periode 1914-1917 een 'méthode destructive' gebruikt, die met het ontstaan van relatief veel stralenschade gepaard ging. De toepassing van ongefilterde radonampullen heeft vanaf 1914 veel ernstige radiumbeschadigingen veroorzaakt. Hieraan kwam pas een einde, toen in de jaren na 1924-1925 de 'gold seeds' werden ingevoerd. Het maximum rond 1920 in het optreden van radiumbeschadigingen bij patiënten viel midden in de periode van de toepassing van ongefilterde ampullen en kan mede daardoor zijn veroorzaakt.

In de periode 1910-1920 werd radiumtherapie op steeds grotere schaal toegepast. Dit was het gevolg van de steeds grotere hoeveelheden radium, die ter beschikking kwamen, van de stimulerende werking van de publieke opinie ten aanzien van de curietherapie van kanker en van de hoop van veel geneesheren, dat radiumtherapie kon worden ontwikkeld tot een curatieve methode van kankerbehandeling. Deze omstandigheden hebben allemaal bijgedragen aan het ontstaan van het radiumschademaximum. Een belangrijke oorzaak van het optreden van dit maximum was verder de toepassing van intensieve bestralingsmethoden, die in de jaren na 1920 weer werd verlaten. In de inwendige geneeskunde zijn in de periode 1904-1935 radiumkuren voorgeschreven, die zeer schadelijk waren voor de behandelde patiënten. De stralenschade, die in de jaren dertig optrad, betrof vooral late schade en schade door combinatie en cumulatie. Soms kwam het ook na 1930 nog voor, dat bij patiënten acute stralenschade werd veroorzaakt, maar van een structureel probleem was in deze periode geen sprake meer.

SAMENVATTING EN CONCLUSIES.

In het optreden van röntgen- en radiumstralenschade bij patienten zijn in de periode 1896-1939 een aantal maxima te onderscheiden, die in deze studie nader werden onderzocht aan de hand van de volgende probleemstelling: Hoe zijn de fluctuaties in het optreden van stralenschade bij patienten te verklaren?

Om beantwoording van deze probleemstelling te verkrijgen, werden de volgende vraagstellingen geformuleerd:

- a- hoe zijn de fluctuaties in het optreden van stralenschade bij patienten te plaatsen in de ontwikkeling van het specialisme radiologie?
- b- welke factoren speelden een rol bij het ontstaan van schade door röntgen- en radiumstraling bij patienten?
- c- wat is er door artsen en fysici gedaan om stralenschade bij patienten te beperken en de genoemde maxima weg te werken?

In 1896-1897 ligt het eerste te onderscheiden maximum in het aantal optredende gevallen van röntgenstralenschade en dit betrof vrijwel alleen huidreacties. De verklaring hiervoor is velerlei. De röntgenbuizen, die in deze tijd werden gebruikt, produceerden diffuse zachte straling en werden zonder afschermdende kappen toegepast. Doordat de röntgenstraling zacht was, werd de buis zo dicht mogelijk bij de patient gehouden en werd relatief lang belicht, hetgeen een sterke stralenbelasting van de huid tot gevolg had. Er was in deze jaren bovendien nog geen sprake van toepassing van stralenfilters en er waren geen methoden voor röntgenquantimetrie om de geapliceerde doses te meten. In de röntgentherapie van huidziekten werd de 'méthode destructive' toegepast, hoewel er van een gestandaardiseerde methodiek verder geen sprake was. De röntgenstralen werden in deze eerste jaren door zowel medici als niet-medici gebruikt; voor al deze personen gold, dat zij ondeskundig waren op röntgenologisch gebied, doordat er in de periode 1896-1897 nog maar weinig systematische kennis ter beschikking was omtrent de effecten van röntgenstraling op de mens. De afvlakking van dit eerste maximum kan worden verklaard door het feit, dat men met het bekend worden van vele röntgenbeschadigingen in het algemeen wat voorzichtiger te werk ging. Doordat echter niet iedereen even behoedzaam was en daarnaast de andere oorzaken van stralenschade bleven bestaan, bleef röntgenstralenschade na 1897 een niet te verwaarlozen complicatie vormen.

In de jaren 1904-1905 is opnieuw een maximum in het optreden van röntgenstralenschade bij patienten te onderscheiden. Dat op dit moment wederom een maximum optrad, hangt samen met de toegenomen toepassing van röntgentherapie bij een heel scala goedaardige en kwaadaardige aandoeningen. Dit was het gevolg van publikaties over curatieve effecten

van röntgenstraling op inwendige aandoeningen, waaronder tumoren. In dit maximum speelde met name schade door röntgentherapie een rol, doordat de toepassing van de 'méthode destructive' op dat moment op haar hoogtepunt was. Op het moment van dit maximum verkeerde de chemische dosimetrie nog in een pril stadium en werd deze nog vrijwel nergens toegepast.

Na 1905 trad een daling op van de incidentie van stralenschade bij patiënten door het in bredere kring in gebruik raken van dosimetrische methoden.

Het derde maximum in de incidentie van stralenschade bij patiënten valt uiteen in drie componenten.

- In de röntgendiagnostiek bleef in de periode 1896-1926 een aantal oorzaken van röntgenverbrandingen bij patiënten halstarrig een rol spelen, met name het vaak herhalen van belichtingen, het toepassen van te geringe focus-huid-afstanden, het niet toepassen van de beschikbare dosimetrische methoden en het gebruik van te hoge stroomsterkten. Doorlichtingen duurden vaak veel te lang, doordat medici niet de moeite namen voor het begin van de doorlichting hun ogen aan de duisternis te adapteren, of door gebrek aan radiodiagnostische kennis bij de betreffende artsen. Het aantal röntgenbeschadigingen door radioscopieën nam tot aan de jaren 1923-1926 sterk toe, om daarna definitief af te nemen. Een belangrijke oorzaak van deze stijging was, dat door de invloed van de Eerste Wereldoorlog, waarin het grote belang van de röntgendiagnostiek voor de oorlogsgeneeskunde duidelijk was geworden, veel medici, die geen opleiding in dit vak hadden genoten (en als röntgenologisch ondeskundig te beschouwen waren), röntgendiagnostiek gingen bedrijven. Daarenboven gingen na de oorlog veel militaire röntgenologen, die in het leger slechts in oorlogs-röntgenologie waren getraind, zich in de civiele maatschappij als algemeen röntgenoloog vestigen.

Dit probleem werd evenwel in de jaren twintig door de radiologen zelf onderkend. Het begin van systematische scholing van artsen, die zich als röntgenoloog wilden vestigen, had tot gevolg, dat na 1923-1926 de incidentie van deze röntgenstralenschade definitief ging dalen. Reeds in de jaren dertig waren stralenbeschadigingen bij patiënten door röntgendiagnostiek zeldzaam geworden.

- In de röntgentherapie veroorzaakte de toepassing van intensieve bestralingsmethoden, die in 1915-1916 hun intrede deden en na de Eerste Wereldoorlog in brede kring werden toegepast, rond 1923 een maximum in de incidentie van röntgenstralenschade bij patiënten. Hierin speelden naast huidreacties ook beschadigingen van de inwendige organen een belangrijke rol. Uiteraard was ook in de röntgentherapie het optreden van ondeskundige röntgentherapeuten een belangrijke oorzaak van stralenschade. De afvlakking van dit maximum na 1923 was niet alleen het gevolg van het feit, dat veel artsen, geschrokken door de vele schadegevallen, voorzigtiger te werk gingen. Het aantal beschadigingen door röntgentherapie daalde vooral, doordat een alternatieve bestralingsmethode ter beschikking kwam in de vorm van de methode van Coutard, die gepaard ging met veel minder stralenschade bij de behandelde patiënten en betere curatieve

resultaten gaf. In de jaren dertig werden de intensieve bestralingsmethoden dan ook nauwelijks meer toegepast. Daarnaast maakten de introductie van de dosimetrie met ionisatiekamers (na 1924), de bereikte consensus over de 'röntgen' als eenheid van geapliceerde dosis (in 1928) en de invoering van absorptiecurves voor röntgenqualimetrie (in 1933) een voor klinische doeleinden nauwkeurige dosimetrie mogelijk, waardoor ongewenste stralenschade met voldoende zekerheid kon worden vermeden.

- In de radiumtherapie ontstond rond 1920 een maximum in de incidentie van radiumbeschadigingen bij patiënten.

Radiumtherapie werd tegen 1920 op veel groter schaal toegepast dan daarvoor het geval was geweest. Dit was het gevolg van de toegenomen belangstelling binnen de medische wereld voor de radiumbehandeling van tumoren, van de stimulans, die uitging van het publiek, en van de ruimere beschikbaarheid van radium door de inspanningen van de radiumindustrie. In deze tijd was echter nog steeds geen betrouwbare vorm van radiumdosimetrie voorhanden, terwijl beveiligingsmechanismen tegen foutieve filtratie niet mogelijk waren. Voor 1915 betrof radiumstralenschade met name de huid; na de invoering van de intensieve bestralingsmethoden voor de behandeling van genitale tumoren traden ook radiumbeschadigingen van inwendige organen (zoals blaas, rectum en vagina) op. Dit maximum viel midden in de periode van de toepassing van ongefilterde radonampullen (1914-1925), die eveneens met ernstige weefselbeschadigingen gepaard gingen.

Na 1920 daalde de incidentie van radiumbeschadigingen bij patiënten met name door voorzichtiger doseren, waarbij het gebrek aan betrouwbare methoden voor radiumdosimetrie ongetwijfeld de behoedzaamheid zal hebben vergroot.

In 1922 kwam een betrouwbare methode voor radiumdosimetrie ter beschikking voor uitwendige radiumtherapie met regelmatig gevormde applicators. Na 1934 was een dosimetrisch systeem voor onregelmatig gevormde uitwendige applicators beschikbaar, terwijl na 1938 veilige dosimetrie in de interstitiële radiumtherapie mogelijk werd.

Radiumbeschadigingen zouden tot aan ongeveer 1940 blijven optreden. De redenen hiervan waren het relatief laat ter beschikking komen van methoden voor radiumdosimetrie en het feit, dat ook radiumtherapie, waarvoor veel kennis en ervaring nodig was, voor een deel door daarin niet goed opgeleide artsen werd verricht.

SUMMARY AND CONCLUSIONS.

During the period 1896-1939 a number of maxima could be distinguished in the incidence of X-ray and radium gamma ray injuries in patients. An explanation for these fluctuations is investigated in this study based on the following questions:

- a. How do the fluctuations in the incidence of radiation injuries coincide with the development of radiology as a speciality?
- b. Which factors played a part in the cause of these injuries?
- c. What measures were taken by physicians and physicists to reduce radiation injuries to patients and to eliminate the above mentioned maxima?

The first distinguishable maximum in the number of reported cases of X-ray injuries can be found in the period 1896-1897 and mainly concerns skin lesions. There are many explanations for this. The roentgen tubes that were used in this period, produced low energy X-rays and were used without shielding protection. Due to the softness of the X-rays, the roentgen tube had to be brought as close to the patient as possible with a relatively long exposure time. This often resulted in severe radiation damage to the skin. The use of filters was not mentioned in the literature in this period and there were no means to measure the applied doses. In the X-ray therapy of skin diseases the 'destructive method' was used, but this was not a standardized method. The X-rays were applied by physicians and technicians alike. As there was little systematic knowledge available on the effects of X-rays in humans, everyone working in roentgenology was to be considered ignorant. The decreased occurrence in the number of injuries coincided with the increased awareness of the many cases of radiation injuries. In general, those in this field began to work more carefully. However, after 1897 the occurrence of radiation injuries remained an important complication in roentgenology.

In the period 1904-1905, there was once again an apparent prevalence of radiation injuries to patients. This coincided with the increased use of roentgen therapy in a wide range of benign and malignant lesions which was stimulated by publications on the curative effects of X-rays on internal diseases, such as tumors. During this period the 'destructive method' was also at its peak. Chemical dosimetry was still in its infancy at this time and was rarely used. After 1905, the incidence of radiation injuries decreased due to a wider use of dosimetric methods.

The third phase of increased injuries may be subdivided into three components.

In diagnostic roentgenology from 1896 to 1926, a number of causes of roentgen burns persisted. The most important of these causes were

multiple or long exposures, the use of a short focus-skin-distance and a lack of suitable dosimetric methods. Overexposure was often the result of omitting adaptation of the eyes before performing fluoroscopy. The number of roentgen burns increased sharply after World War I. A contributing factor to this increase was the experience during the war. It was at this time that the great importance of roentgenology for war surgery became prominent. After the war, many physicians who were considered to be untrained as roentgenologists, began to practise diagnostic roentgenology. Additionally, many of the insufficiently trained military roentgenologists began to practise in civilian society as general roentgenologists. This problem, however, was recognized by the radiologists themselves during the 1920's. The beginning of systematic training of physicians who wished to become roentgenologists, resulted in a definite decline in the number of roentgen ray injuries after the period 1923 to 1926. In fact, during the 1930's radiation injuries to patients rarely occurred in diagnostic roentgenology.

Methods of massive radiation from 1915-1916 on found their way into roentgen therapy and became more widely used after World War I. This resulted in a high incidence of radiation injuries in patients by radiotherapy around 1923. This included not only skin damage but also damage to internal organs. Of course, the use of radiotherapy by inexperienced physicians also contributed to the increasing number of radiation injuries. The reduction of complications after 1923 can be attributed to several factors. Doctors worked with greater care after realizing the shocking number of injury-cases, but the burns decreased mainly due to an alternative method of radiotherapy according to Coutard's Method. This gave not only a better curative effect, but significantly reduced the number of injuries in treated patients. As a result, the massive radiation method was hardly used.

In addition, the introduction of dosimetry with ionization chambers (after 1924), the consensus reached over the 'roentgen' as a unit of applied dosage (in 1928) and the introduction of absorption curves for radiation quality (in 1933) made accurate dosimetry possible and consequently unwanted radiation damage could be avoided.

Around 1920, a high complication rate arose as a result of exposure to radiation emitted by radium. After 1920, therapy with radium was used on a far larger scale than ever before. This was the result of the increased interest of the medical world for radium treatment of tumors, the stimulus that came from the public and increased availability of radium through efforts of the radium industry. At this time, there was still no reliable form of radium dosimetry available and there were no protective measures to avoid insufficient filtration.

Before 1915, radium injuries mainly effected the skin. After the introduction of massive radiation methods for the treatment of genital tumors, radium injuries began to appear in internal organs, such as the bladder, rectum and vagina.

The incidence of injuries from radium therapy dropped after 1920 with more careful applications. This caution can be undoubtedly attributed to

the persisting lack of reliable methods for radium dosimetry. In 1922, the first reliable radium dosimetry method became available. This applied to external radium therapy by regular shaped applicators. A dosimetric system for irregular shaped applicators became available after 1934. After 1938, reliable dosimetry was achieved in the field of interstitial radium therapy (brachytherapy). Injuries from radium therapy, however, persisted till about 1940. The reason for this was not only related to the delayed availability of radium dosimetry, but also to the use of radium therapy (for which a great deal of knowledge and experience was required) by poorly trained radium therapists.

NOTEN.

Hoofdstuk I.

- 1- De eenheid van radioactiviteit was lange tijd de Curie (Ci). 1 Curie = 3.7×10^{10} per seconde. Deze eenheid werd in 1977 vervangen door de Bequerel (Bq): 1 Ci = 37 GBq. De behandeling met radium werd vaak curietherapie genoemd en als het radium op een bepaalde afstand van de huid werd gehouden, werd gesproken van tele-radiumtherapie of telecurietherapie. De onderstaande tabel geeft een overzicht van de vervalproducten van radium en de soort straling die zij uitzenden:

| NUCLIDE | UITGEZONDEN STRALING |
|-----------------------------------|----------------------|
| ²²⁶ Ra 88 Radium | alfa, gamma |
| ²²² Rn 86 Radon | alfa |
| ²¹⁸ Po 84 Radium A | alfa |
| ²¹⁴ Pb 82 Radium B | bèta |
| ²¹⁴ Bi 82 Radium C | bèta, gamma |
| ²¹⁴ Po 84 Radium C' | alfa |
| ²¹⁰ Pb 82 Radium D | bèta, gamma |
| ²¹⁰ Bi 83 Radium E | bèta |
| ²¹⁰ Po 84 Radium F | alfa |
| ²⁰⁶ Pb 82 Radium G | stabiel |

- 2- Voor de specifieke aspecten van de vroege tandheelkundige röntgenologie zij verwezen naar het proefschrift van de Zwitserse tandarts Franz Hobi.
Zie: Hobi F. Zahnärztliche Röntgenologie von den Anfängen bis zum Jahre 1914.
Zürich: Juris Druck & Verlag, 1981.
- 3- Zie voor de principes van de huidige stralingsbescherming bijvoorbeeld:
Weber J, Rasmussen CE. Stralingsbescherming. Inleiding tot de Stralingshygiëne.
Delft: Delftse Uitgevers Maatschappij B.V., 1985.

- 4- In het begin van 1897 had de Amerikaanse arts T. C. Gilchrist, die werkzaam was in het Johns Hopkins Hospital te Baltimore, een lijst van 28 gevallen van röntgenstralenschade uit de literatuur samengesteld. Zie: Gilchrist TC. Radiographic dermatitis with ostitis. Bull Johns Hopk Hosp 1897;71:123-4.
Zie ook: Oudin, Barthélemy, Darier. Über Veränderungen an der Haut und den Eingeweiden nach Durchleuchtung mit X-Strahlen. Fortschr Geb Röntgenstr 1897-1898;1:111.
Zie voor de mededeling van Stone Scott: Scott NS. X-Ray Injuries. Am X-Ray J 1897;1:57-8. Zie ook:
Christie AC. The early development of roentgenology. Am J Roentgenol 1928;19:294-7. Pg. 296, 1e kolom, 3e alinea.
- 5- Kuipers A. Twee gevallen van lupus faciei, genezen door behandeling met röntgenstralen. Ned Tijdschr Geneesk 1899;351:869-73.
- 6- Codman EA. A study of accidental x-ray burns hitherto recorded. Phil MJ 1902;9:438-442.
- 7- Brecher R, Brecher E. The Rays. A history of radiology in the United States and Canada. Baltimore: The Williams and Wilkins Company, 1969. Pg. 160.
- 8- Hoop E van der. Opmerkingen over röntgentherapie. Ned Tijdschr Geneesk 1904;40:1219-20.
- 9- De Weense *radioloog* Holz knecht. In dit werk zullen de termen radioloog, röntgenarts en röntgenoloog worden gebruikt om een arts aan te duiden, die met röntgenstralen werkte. Om in een bepaalde context de functie van een dergelijke arts nader te specificeren, worden de benamingen röntgendiagnost, radiodiagnost, röntgentherapeut of radiotherapeut gebruikt. Meestal waren deze medici echter zowel radiotherapeutisch als radiodiagnostisch werkzaam. Artsen, die radium bij patiënten toepasten, worden in deze studie radiumtherapeut of curietherapeut genoemd. Met de term 'werkers' worden personen bedoeld, die uit hoofde van hun beroep met ioniserende straling werkten.
In de internationale literatuur werden in de eerste jaren na Röntgens ontdekking voor de term 'radiology' talrijke synoniemen gebruikt, zoals bijvoorbeeld röntography, shadowgraphy, skiagraphy, ixography, pyknoscopy, electrography, scotography, kathography, fluorography, actinography, diagraphy en radiography. Zie: Pasveer B. Knowledge of shadows: the introduction of x-ray images in medicine. Sociology of Health and Illness 1989;11:360-381. Pg. 377 (zie voetnoot 1).
Zie voor de opmerkingen van Holz knecht:
Holz knecht G. Wien klin Wochenschr 1904;17:318-319. Pg. 319, 2e kolom, 1e alinea.
Holz knecht G. Über die häufigsten Ursachen der Röntgenschädigungen und ihre Vermeidung. Münch med Wochenschr 1922;69:1597-8. Pg. 1597, 1e kolom, 1e alinea.
- 10- In enkele publikaties werd direct naar een stijging in het aantal optredende schadegevallen door röntgendiagnostiek verwezen.
Professor Paul Krause van de medizijnische Universitäts-Poliklinik te Bonn, die als stralenschade-expert optrad in röntgenschadeprocessen, schreef in 1923: 'In den letzten Monaten habe ich wiederum als Begutachter von einer ungewöhnlich grossen Anzahl von Röntgenverbrennungen, welche rheinischen Aerzten Entschädigungsklagen vor Gericht zuzogen, Kenntnis bekommen.'
Zie: Krause P. Wie schützt der Arzt bei Durchleuchtungen seine Kranken und sich selber vor Schädigungen durch Röntgenstrahlen. Münch med Wochenschr 1923;70:985-6. Pg. 985, 1e kolom, 1e alinea.
Dr. Artur Kriser, radioloog in het Zentral-Röntgeninstitut van het Wiener Allgemeine Krankenhaus en medewerker van Holz knecht, stelde in oktober 1925 in een toespraak voor de IV. wissenschaftliche Tagung der Vereinigung deutscher Röntgenologen en Radiologen in der tschechoslowakischen Republik te Praag:

- 'Die noch immer recht häufigen Schädigungen durch Röntgenstrahlen-applikation sind wohl das schwerste Hemmnis bei ihrem Siegeslaufe.'
- Zie: Kriser A. Röntgenshädigungen, deren Verhütung und Behandlung. Strahlentherapie 1926;21:406-415. Pg. 406, 1e alinea.
- Dr. Martin Schubert, Oberarzt in de Dermatologische Universitätsklinik van Marburg, schreef in december 1926:
- 'In den letzten Jahren mehren sich die Beobachtungen von Röntgenshädigungen, die durch diagnostische Anwendung von Röntgenshädigungen hervorgerufen wurden.'
- Zie: Schubert M. Ueber Röntgenshädigungen nach diagnostischer Anwendung von Röntgenstrahlen. Klin Wochenschr 1926;5:2302-4. Pg. 2302, 1e kolom, 3e alinea.
- 11- In een aantal artikelen werd min of meer rechtstreeks naar dit maximum verwezen. Professor Holz knecht schreef in 1922:
- 'Ein zweiter Aufstieg (der Röntgenshädigungen) erfolgte im zweiten Dezennium des Jahrhunderts. Dieser hängt mit der Entwicklung der Tiefentherapie zusammen. Die Häufigkeit der Röntgenshädigungen nimmt gegenwärtig rapid zu, aber wir haben Grund zu hoffen, dass der Höhepunkt der Kurve dank unseren vereinten Bemühungen bald überschritten sein wird.'
- Zie: Holz knecht G. Über die häufigsten Ursachen der Röntgenshädigungen und ihre Vermeidung. Pg. 1597, 1e kolom, 1e alinea.
- Dr. E. Liek uit Danzig concludeerde in 1922:
- 'Auch in geordneten und sachverständig geleiteten Betrieben ist die Zahl der Röntgenshädigungen zur Zeit erschreckend gross, besonders gross bei der Tumorbehandlung durch intensive und härteste Bestrahlung.'
- Zie: Liek E. Nochmals zur Frage der Röntgenshädigungen. Deutsch med Wochenschr 1922;48:192-3. Pg. 193, 1e kolom, 8e alinea.
- Röntgenarts Paul Sippel van de Röntgenafdeling der Universitäts-Frauenklinik Berlin schreef in 1923:
- 'In gleichem Masse wie für das Personal haben die Gefahren auch für die Kranken eine wesentliche Zunahme durch die modernen Bestrahlungsmethoden erfahren. Mit der fortgesetzt angestrebten Erhöhung der Intensitäten haben die Gefahren der Verbrennung eine erhebliche Steigerung erfahren, und die Versicherungsgesellschaften klagen über die ungeheure Zunahme der Röntgenverbrennungen in der letzten Zeit.'
- Zie: Sippel P. Die Gefahren der modernen Röntgenbestrahlung und ihre Verhütung. Münch med Wochenschr 1923;70:455-7. Pg. 456, 1e kolom, 7e alinea.
- De Amerikaanse radioloog William Allen Pusey, die reeds in 1901 met de toepassing van röntgentherapie was begonnen, stelde in 1923:
- 'Burns and roentgen-ray atrophy are, of course, the nightmares in the use of roentgen rays and radium. It seems to me, by the way, that since the intensive therapy has come in I have been asked to see more roentgen-ray burns now than I ever did.'
- Zie: Pusey WA. Roentgen-ray therapy twenty years ago. JAMA 1923;81:1257-60. Pg. 1259, 1e kolom, 4e alinea.
- 12- Zie bijvoorbeeld:
- Hoede. Zur Frage der Entstehung und Verhütung von Röntgenshäden der Haut. Derm Wochenschr 1937;104:590-1.
- 13- In enkele artikelen werd naar het optreden van dit maximum verwezen. Professor Benthin van de Universitäts-Frauenklinik zu Königsberg concludeerde in 1920 aan de hand van een grote reeks met radium behandelde patienten:
- 'Überblickt man die von uns, bei der Radiumtherapie beobachteten Schäden, so ist zugegeben, dass die Summe doch eine recht grosse ist.'
- Zie: Benthin W. Bestrahlungsschäden. Strahlentherapie 1920;11:501-16. Pg. 513, 2e alinea.
- Zie bijvoorbeeld ook: Ottow. Radiumschädigungen an Blase und Mastdarm.

- Klin Wochenschr 1929;8:2356.
- 14- Holzknacht G. Über die häufigsten Ursachen der Röntgenschädigungen und ihre Vermeidung. Münch med Wochenschr 1922;69:1597-8.
 - 15- Ibidem. Pg. 1597, 1e kolom, 1e alinea.
 - 16- Strauss O. Schädigungen durch Röntgen- und Radiumstrahlen.
In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Erster Band. Wissenschaftliche Grundlagen. Berlin & Wien: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 979-1060.
 - 17- Ibidem, Pg. 980, 2e alinea.
 - 18- Lossen H. Über Ergebnisse unserer Materialiensammlung der Unfälle und Schäden in reichsdeutschen Röntgenbetrieben (Groedel, Liniger und Lossen). Acta Radiol 1927;8:345-62.
 - 19- Flaskamp W. Über Röntgenschäden und Schäden durch radioaktive Substanzen. Berlin & Wien: Urban & Schwarzenberg, 1930.
 - 20- Wylick WAH van. Röntgen en Nederland. Utrecht: Drukkerij J. Hoeijenbos N.V., 1966.
 - 21- Ibidem. Pgs. 167 en 194-6.
 - 22- Brecher R, Brecher E. The rays. A history of radiology in the United States and Canada. Baltimore: The Williams and Wilkins Company, 1969.
 - 23- Ibidem. Pgs. 81-90.
 - 24- Ibidem. Pgs. 161-2.
 - 25- Ibidem. Pgs. 81-90.
 - 26- Ibidem. Pgs. 161-73.
 - 27- Ibidem. Pgs. 155-8.
 - 28- Ibidem. Pgs. 272-6.
 - 29- Ibidem. Pgs. 273-4.

Hoofdstuk II.

- 1- Uit de algemene literatuur over de geschiedenis van de radiologie kunnen de volgende werken worden genoemd:
Schinz HR. 60 Jahre medizinische Radiologie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1959.
Glasser O. Wilhelm Conrad Röntgen und die Geschichte der Röntgenstrahlen. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer Verlag, 1959.
Bleich AR. The story of x-rays from Röntgen to isotopes. New York: Dover Publications, Inc., 1960.
Dewing SB. Modern radiology in historical perspective. Springfield: Charles C. Thomas Publisher, 1962.
Grigg ERN. The trail of the invisible light. Springfield: Charles C Thomas Publisher, 1965.
Brecher R, Brecher E. The Rays. A history of radiology in the United States and Canada. Baltimore: The Williams and Wilkins Company, 1969.
Körbler J. Strahlen, Heilmittel und Gefahr. Eine Geschichte der Strahlen in der Medizin. Wien: Verlag Dr. Herta Ranner, 1977.
Burrows EH. Pioneers and early years. A history of British radiology. Channel Islands: Colophon Ltd., 1986.
Pallardy G, Pallardy MJ, Wackenheim A. Histoire illustrée de la radiologie. Paris: Les Éditions Roger Dacosta, 1989.
Brucer M. A chronology of nuclear medicine. St. Louis: Heritage Publications, 1990.
Eisenberg RL. Radiology. An illustrated history. St. Louis: Mosby-Year Book, Inc., 1992.

- 2- Röntgen WC. Über eine neue Art von Strahlen. Erste Mitteilung. Sitzgsber Physikal-med Gesellschaft (Würzburg), 28-12-1895:132-141. Pg. 133, 1e alinea.
- 3- Ibidem. Pg. 135, 5e alinea.
Zie bijvoorbeeld ook: Becker J. 75 Jahre Röntgenstrahlen. Strahlentherapie 1970;140:465-467.
- 4- De volgende publikaties geven een beeld van de snelle opmars van de röntgendiagnostiek binnen de geneeskunde:
Anonymus. Manchester. The Manchester Medical Society: Professor Schuster on the Roentgen Rays. Lancet 1896;74I:891-2.
Smith N. Congenital Dislocation of the Hip. Lancet 1896;74II:1340.
Raw N. The value of X-rays in medicine and surgery. Lancet 1896;74II:1416.
Anonymus. Medical News. British Orthopaedic Society. Lancet 1896;74II:1276-7.
MacIntyre J. Roentgen Rays. Photography of renal calculus; description of an adjustable modification in the focus tube. Lancet 1896;74I:118.
Anonymus. Roentgen's radiography. Lancet 1896;74I:928.
Rowland S. Report on the application of the new photography to Medicine and Surgery. BMJ 1897;I:1486.
Anonymus. Special Correspondence. Paris. Skiagraphy of the Foreign Body in the Throat. BMJ 1897;I:1193.
Anonymus. Special Correspondence. Paris. The Roentgen Rays in Medical Diagnosis. BMJ 1897;I:171.
Anonymus. Skiagraphic diagnosis applied to soft parts. BMJ 1897;I:99.
Anonymus. Special Correspondence. Paris. Radiography in Diseases of the Chest. BMJ 1897;I:1381-2.
Anonymus. Special Correspondence. Berlin. The Roentgen Rays in the Diagnosis of Internal Diseases. BMJ 1897;I:1520.
Wertheim Salomonson JKA. Röntgens X-stralen. Ned Tijdschr Geneesk 1896;32I:241-9.
Bruin J de. XV.Congress für innere Medicin te Berlijn 9-12 juni 1897. Ned Tijdschr Geneesk 1897;33II:167-83.
Burger H. De Röntgenstralen in de rhino-laryngologie. Ned Tijdschr Geneesk 1897;33I:593-5.
Wertheim Salomonson J. Röntgenstralen. Ned Tijdschr Geneesk 1897;33I:257-9.
Hartevelt. Röntgenstralen en diagnostiek van inwendige ziekten. Ned Tijdschr Geneesk 1897;33I:259-61.
Timmer H. Het opsporen van kleine niersteen door middel van de röntgenstralen. Ned Tijdschr Geneesk 1899;35I:976.
Rutgers M. XXVIII. Congres van het Duitse Gezelschap voor Chirurgie te Berlijn. Ned Tijdschr Geneesk 1899;35I:702-5.
Stumpff JEd. Radioscopie en Radiographie van de longen. Ned Tijdschr Geneesk 1899;35I:954-63.
De ontwikkeling van de radiodiagnostiek is in 1945 tot in detail beschreven door de Amerikaanse radioloog Leo Rigler. Zie: Rigler LG. The development of roentgen diagnosis. Radiology 1945;45:467-502.
- 5- Zie: Prevot R. Die Entwicklung der Strahlentherapie seit Rieder's Zeiten. Münch med Wochenschr 1959;101:471-4.
- 6- Rieder H. Radiologische Untersuchungen des Magens und Darmes beim lebenden Menschen. Münch med Wochenschr 1904;51:1548-51.
Zie ook: Tauer R. Die Entwicklung der Strahlentherapie im Rieder-Institut. München: Institut und Poliklinik für physikalische Therapie und Röntgenologie der Universität München, 1972. Pg. 10, 2e alinea.
Dr. C. J. P. Thijn heeft in 1964 een overzicht gegeven van de historische ontwikkeling van het röntgenonderzoek van het colon.

- Zie: Thijn C.J.P. De waarde van het dubbelcontrastonderzoek bij de diagnostiek van kleine colon- en rectumtumoren. Assen: Van Gorcum & Comp. N.V. - Dr. H. J. Prakke & H.M.G. Prakke, 1964. Pgs. 3-6.
- 7- De Britse arts MacIntyre had in 1897, twee jaren na Röntgens ontdekking, gepubliceerd over zijn pogingen om cineradiografie te bedrijven. Cineradiografie hield in, dat van een bewegend orgaan, bijvoorbeeld het hart, zeer snel achterelkaar een aantal röntgenfoto's werd genomen, met als bedoeling, dat de in chronologische volgorde gerangschikte foto's de beweging van het orgaan zouden weergeven. Zie: MacIntyre J. X-ray records for the cinematograph. Archives of Skiagraphy 1897;1:37.
Zie voor de geschiedenis van de ontwikkeling van de cineradiologie: Ardran GM. Cineradiography. Brit J Radiol 1973;46:885-8.
- 8- Zie bijvoorbeeld:
Isherwood I. Current diagnostic uses of X-rays. Brit J Radiol 1986;59:719-21.
Cochrane Shanks S. Radiology in the twenties. Brit J Radiol 1973;46:766-7.
Reynolds R.J. Radiology. Brit J Radiol 1956;29:238-45.
- 9- De geschiedenis van de cardiovasculaire röntgenologie is beschreven in de volgende artikelen:
Fulton H. 60 Years of cardiovascular roentgenology. Am J Roentgenol 1956;76:657-63.
Case JT. Radiology. Brit J Radiol 1956;29:253-5.
- 10- Grigg ERN. The Trail of the Invisible Light.
Springfield: Charles C Thomas Publisher, 1965. Pg. 602.
- 11- Zie bijvoorbeeld:
Regato JA del. Albert Soiland and the early development of therapeutic radiology in the United States. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1983;9:243-53.
- 12- Op 30 januari 1896 behandelde Grubbé reeds zijn tweede patient, Mr. A. Carr, die leed aan lupus vulgaris (tuberculose van de huid). Ook Mr. Carr overleed echter binnen een maand na het begin van de behandeling (en wel aan de gevolgen van een straatongeval), zodat ook in dit geval evaluatie van het effect van de behandeling niet mogelijk was. Zie: Grubbé EH. Priority in the therapeutic use of x-rays. Radiology 1933;21:156-62.
- 13- Glover Lyon T. Roentgen's rays as a cure for disease. Lancet 1896;1:326.
- 14- In de Berliner klinische Wochenschrift werd dit in 1896 als volgt weergegeven:
'Die X-Strahlen sind nun glücklich auch in die Therapie eingedrungen! Despeignes in Lyon hat auf ein Magencarcinom zwei Mal täglich eine halbe Stunde lang das Röntgen'sche Licht strahlen lassen und nach acht Tagen waren die Schmerzen gelinder, die Abmagerung machte keine Fortschritte mehr, die gelbe Hautfarbe war fast verschwunden und der Tumor hatte sich erheblich verkleinert.'
Zie: Anonymus. Praktische Notizen. Berlin klin Wochenschr 1896;33:772.
Hoewel in dit bericht werd gesuggereerd, dat de behandeling van Despeignes succesvol was, bleek dit niet het geval te zijn. Zie: Wetterer J. Die Entwicklung der Röntgentherapie vom Beginn der Röntgenära bis zur Begründung der "Internationale Radiotherapie". In: Wetterer J. Internationale Radiotherapie. Band II. 1926-1927. Darmstadt: L. C. Wittich Verlag, 1927. Pgs. 964-990. Pg. 964, 2e alinea.
- 15- Freund L. Ein mit Röntgen-Strahlen behandelter Fall von Naevus pigmentosus piliferus. Wien med Wochenschr 1897;47:428-434.
Zie bijvoorbeeld ook:
Wyklicky H. Zur Geschichte der Strahlentherapie in Österreich.
Wien klin Wochenschr 1980;92:165-71.
Scholte PJL, Weber J. Straling en stralingsgevaar. Amsterdam: E.M.Querido's Uitgeversmaatschappij N.V., 1960. Pg. 12.
- 16- Stevens LG. Injurious effects on the skin. BMJ 1896;1:998. Zie ook bijvoorbeeld:
Anonymus. De X-stralen. Ned Tijdschr Geneeskd 1896;32:782.

- 17- Zie bijvoorbeeld:
 Levy-Dorn. Die englische Journallitteratur des Jahres 1897. Fortschr Geb Röntgenstr 1897-1898;1:199-203.
 Crocker H Radcliffe. A case of dermatitis from roentgen rays. BMJ 1897;1:8-9.
- 18- Wetterer J. Pg. 965, 3e alinea.
- 19- Schinz HR. 60 Jahre medizinische Radiologie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1959. Pgs. 157-9.
- 20- Albers-Schönberg HE. Über eine bisher unbekannte Wirkung der Röntgenstrahlen auf das Organismus der Tiere. Münch med Wochenschr 1903;50:1859-60.
- 21- Heineke beschreef zijn bevindingen in de volgende artikelen:
 Heineke H. Experimentelle Untersuchungen über die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf innere Organe. Mitteilungen aus den Grenzgebieten der Medizin und Chirurgie 1904;14:91-94.
 Heineke H. Über die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf innere Organe. Münch med Wochenschr 1904;51:785-6.
 Zie voor de levensbeschrijving van deze beroemde onderzoeker:
 Regato JA del. Hermann Heineke. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1986;12:997-1001.
- 22- Bergonié J, Tribondeau L. Action des rayons X sur le testicule du rat blanc. Compt Rend Soc Biol 1904;57:400.
- 23- Dessauer F. Beiträge zur Bestrahlung tiefliegender Prozesse. Med Klin 1905;1:526-29;549-52.
- 24- Zie: Huet WG. Vierde Internationaal Congres voor Geneeskundige Electrologie en Radiologie te Amsterdam 2-5 september 1908. Ned Tijdschr Geneesk 1908;52II:977-81.
 Dessauer besprak zijn 'Homogenstrahlenlehre' in diverse artikelen:
 Dessauer F. Probleme und Methode der Tiefenbestrahlung mit Röntgenstrahlen. Ther Rundsch 1908;2:647-49.
 Dessauer F. Eine neue Anwendung der Röntgenstrahlen. Münch med Wochenschr 1908;55:1285-87.
 Dessauer F. Die physikalischen und technischen Grundlagen der Tiefenbestrahlung. Strahlentherapie 1912;1:310-24.
 Dessauer F. Homogenität und Absorption. Fortschr Geb Röntgenstr 1914;21:562-66.
 Dessauer F. Homogenstrahlenlehre. Strahlentherapie 1914;5:148-60.
- 25- Zie voor de levensbeschrijving van deze beroemde natuurkundige:
 Regato JA del. Friedrich Dessauer. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1978;4:325-32.
- 26- Rajewski B. Friedrich Dessauer 1881-1963. Strahlentherapie 1963;121:1-4.
 Zie voor een korte geschiedenis van de vroege radiotherapie bijvoorbeeld:
 Holzknacht G. Die geschichtliche Entwicklung der Strahlenbehandlung und ihre Bedeutung für die Heilkunde. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Erster Band. Wissenschaftliche Grundlagen. Berlin: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 1-28.
- 27- Zie bijvoorbeeld:
 Buschke F. Radiation Therapy: the past, the present, the future. Janeway Lecture 1969. Am J Roentgenol 1970;108:236-46.
 Buschke F. Radiation Therapy. Historical Perspectives. Radiol Clin Biol 1971;40:217-20.
- 28- Regaud C, Coutard H, Hautant A. Contribution au traitement des cancers endolarynges par les rayons-X. X. Internat Congr d'Otol 1922: 19-22.
- 29- Lacassagne A. Results of treatment of cancer of cervix uteri. BMJ 1932;2:912-13.
- 30- Zie voor de geschiedenis van de radiotherapie van larynxcarcinoom:

- Cantril ST. Radiation Therapy of Cancer of Larynx; Review. Am J Roentgenol 1959;81:456-74.
- 31- Muller H.J. Artificial transmutation of the gene. Science 1927;66:84-7.
- 32- Zie bijvoorbeeld:
Jaeger RG. Die historische Entwicklung der Erkenntnisse über Strahlengefährdung und Strahlenschutz in medizinischen Röntgeninstituten in 75 Jahren. Röntgenpraxis 1970;23:298-305.
- 33- Zie onder andere:
Lauritsen C, Bennett RD. New high potential X-ray tube. Physical Rev 1928;32:850-57.
Lauritsen C, Cassen B. High potential X-ray tube. Physical Rev 1930;36:988-92.
Lauritsen CC. Development of high voltage X-ray tubes at California Institute of Technology. Radiology 1938;31:354-61.
Soiland A. Experimental clinical research work with X-ray voltages above 500 000 kilovolts. Radiology 1933;20:99-102.
- 34- Zie onder andere:
Brasch A, Lange F. Experimentell-technische Vorbereitungen zur Atomzertrümmerung mittels hoher elektrische Spannungen. Zeitschr Phys 1931;70:10-37.
Brasch A, Lange F. Aussichten und Möglichkeiten einer Therapie mit schnellen Kathodenstrahlen. Strahlentherapie 1934;51:119-28.
- 35- Zie voor de ontwikkeling van de therapie met hoogenergetische straling:
Schulz MD. The Supervoltage Story. Janeway Lecture 1974. Am J Roentgenol 1975;124:541-59.
- 36- Zie voor de ontwikkeling van de elektrontherapie:
Vogel KH. Historische Entwicklung der Therapie mit energiereichen Elektronen. Röntgenpraxis 1970;23:141-7.
- 37- Zie onder andere:
Grund K, Berger H. Die 15-MeV-Elektronenschleuder für medizinische Anwendung der Siemens-Reiniger-Werke. Strahlentherapie 1953;92:489-505.
Grund K, Schittenhelm R. Die physikalischen Eigenschaften der Strahlenbündel der 15-MeV-Elektronenschleuder der Siemens-Reiniger-Werke. Strahlentherapie 1953;92:506-31.
- 38- Rutherford E. Bakerian Lecture: nuclear constitution of atoms. Proc R Soc 1920;A97:374-400.
- 39- Stone RS, Lawrence JH, Aebershold PC. A preliminary report on the use of fast neutrons in the treatment of malignant disease. Radiology 1940;35:322-27.
Zie ook: Hall EJ. Particles in radiation therapy. Part III. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1982;8:2041-44.
- 40- Stone RS. Neutron therapy and specific ionisation. Janeway Memorial Lecture 1948. Am J Roentgenol 1948;59:771-85.
- 41- Zie voor de geschiedenis van de neutrontherapie:
Brennan JT. History of the use of neutrons in radiation therapy. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1977;3:143-48.
- 42- Zie onder andere:
Miller CW. Travelling-wave linear accelerators for X-ray therapy. Nature 1953;171:297-8.
Newbery GH, Bewley DK. The Performance of the Medical Research Council 8 MeV linear accelerator. Brit J Radiol 1955;28:241-51.
Wood CAP, Newbery GR. The Medical Research Council linear accelerator and cyclotron. Nature 1954;173:233-35.
- 43- Zie voor de geschiedenis van de ontwikkeling van de lineaire versneller:
Ginzton EL, Nunan CS. History of microwave elektron linear accelerator for radiotherapy. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1985;11:205 16.

- 44- Becquerel A. Emission of the new radiations by metallic uranium. *Compt Rend Acad Sci* 1896;122:1086-88.
- 45- Curie P, Curie MS. Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende. *Compt Rend Acad Sci* 1898;127:175-8.
- 46- Zie bijvoorbeeld: Case JT. The early history of radium therapy and the American Radium Society. Janeway Lecture 1959. *Am J Roentgenol* 1959;82:574-85.
- 47- Zie ook: Brucer M. Brachytherapy. *Am J Roentgenol* 1958;79:1080-90.
- 48- Deze brief werd op 6 augustus 1903 gepubliceerd in de rubriek 'Letters to the editor' van het blad *Nature*. Zie: *Nature* 1903;68:320.
- 49- Zie bijvoorbeeld:
Posthumus Meijjes W. Het effect der radium-bestraling. *Ned Tijdschr Geneesk* 1904;40II:319-21.
Burger H, Muntendam P. Nederlandsche Vereeniging voor Electrotherapie en Radiologie. *Ned Tijdschr Geneesk* 1904;40II:449-56.
Dugteren Van. Radiumbehandeling. *Ned Tijdschr Geneesk* 1904;40II:578-9.
Dugteren Van. Rapport omtrent radium-behandeling. *Ned Tijdschr Geneesk* 1906;50I:741-53.
- 50- Zie voor de levensbeschrijving van Gosta Forssell:
Regato JA del. Gosta Forssell. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1977;2:783-90.
- 51- Zie hiervoor bijvoorbeeld: Lacassagne A. C. Regaud (1870-1940). *Ann Inst Pasteur* 1941;66:181-5.
- 52- Dominici H. Du traitement des tumeurs malignes par le rayonnement ultrapénétrant du radium. *Bull du Cander* 1908;1:124-56.
- 53- Stevenson WC. Preliminary clinical report on a new and economical method of radiumtherapy by means of emanation seeds. *BMJ* 1914;II:9-10.
- 54- Lysholm E. Apparatus for the production of a narrow beam of rays in treatment by radium at a distance. *Acta Radiol* 1923;2:516-19.
- 55- Zie voor deze ontwikkeling: Case JT. The early history of radium therapy and the American Radium Society. Janeway Lecture 1959. *Am J Roentgenol* 1959;82:574-85.
- 56- Het onderzoek naar radium vervangende isotopen is uitgebreid beschreven door de Franse radiotherapeut Bernard Pierquin. Zie: Pierquin BL. Past, present and future of interstitial radiation therapy. Breur Medal Acceptance Speech. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1983;9:1237-42.
- 57- Regato JA del. Guido Holzknacht. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1977;2:1201-8.
- 58- Ibidem. Pg. 1205, 2e alinea.
- 59- Na Holzknachts dood zijn er talloze necrologieën aan hem gewijd. Zie bijvoorbeeld:
Forssell G. Guido Holzknacht. In memoriam. *Acta Radiol* 1931;12:516-21.
Josephs I. Professor Guido Holzknacht. *Radiology* 1931;17:1315-18.
Case JT. The passing of a pioneer in radiology. Guido Holzknacht. *Am J Surg* 1932;15:379-80.
Béclère A. Guido Holzknacht (1872-1931). *J Radiol* 1932;16:3-4.
Glasser O. Guido Holzknacht (1872-1931). *Am J Roentgenol* 1932;27:114-17.
Lenk R. Guido Holzknacht. *Strahlentherapie* 1932;43:1-8.
Schwarz G. Guido Holzknachts wissenschaftliche Arbeiten. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1932;45:247-51.
Zie ook:
Mayer EG. Ein Denkmal für Guido Holzknacht. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1933;47:475-7.
Kienböck R. Holzknacht semper vivus. *Strahlentherapie* 1937;58:597-8.
Psenner L. Zum 100. Geburtstag von Prof.Dr.G.Holzknacht. *Fortschr Geb Röntgenstr Nuklearmed* 1973;118:108-9.
Walther KM. Guido Holzknacht. Der grosse Wiener Röntgenarzt. Leer-Vienna: Walther-Kaltschmid, 1975.

- Dr. H. Wyklicky van het Institut für Geschichte der Medizin der Universität Wien heeft in 1980 een beknopt overzicht gegeven van het werk van Holzknecht en de andere leden van de Weense School rond de eeuwwisseling.
- Zie: Wyklicky H. Zur Geschichte der Strahlentherapie in Österreich. Wien klin Wochenschr 1980;92:165-71.
- 60- Fischer I. Biographisches Lexikon der hervorragenden Ärzte der letzten fünfzig Jahre. München-Berlin: Urban & Schwarzenberg, 1962. Pg. 447.
- 61- Ibidem. Pg. 758.
- 62- Ibidem. Pgs. 1426-7.
- 63- Zie:
Fischer I. Pgs. 1348-9.
Anonymus. Raymond Sabouraud (1864-1938) French dermatologist. JAMA 1970;214:363-4.
Rost GA. Dermatologie und Röntgenstrahlen. Strahlentherapie 1933;47:93-99. Pg. 95, 2e alinea.
- 64- Regato JA del. Antoine Béclère. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1978;3:1069-79.
Zie ook het boek, dat Antoinette Béclère over haar vader heeft geschreven: Béclère A. Antoine Béclère. Paris: J.-B. Baillière et fils, 1972.
- 65- Regato JA del. Claudius Regaud. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1976;1:993-1001.
- 66- Regato JA del. Henri Coutard. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1987;13:433-43.
- 67- Zie:
Fischer I. Pg. 15.
Lossen H. Heinrich Albers-Schönberg zum 100. Geburtstag. Fortschr Geb Röntgenstr 1965;102:109-112.
Gauwerky F. Heinrich Albers-Schönberg zum 100. Geburtstag am 21.1.1965. Strahlentherapie 1965;126:476-479.
- 68- Zie:
Flaskamp W. Hermann Wintz. Strahlentherapie 1949;79:3-10.
Anderlohr M. Hermann Wintz. Strahlentherapie 1949;79:11-12.
- 69- Coolidge WD. Experiences with the roentgen ray tube. Am J Roentgenol 1945;54:583-9.
- 70- Langendorff H, Schulze R. Walter Friedrich (1883-1968). Strahlentherapie 1968;136:765-6.
Schreiber H. Walter Friedrich zum 80. Geburtstag. Strahlentherapie 1964;123:161-163.
- 71- Brecher R, Brecher E. The rays. A history of radiology in the United States and Canada. Baltimore: The Williams and Wilkins Company, 1969. Pgs. 276-9.
- 72- Regato JA del. Radiological Physicists. New York: American Institute of Physics, Inc., 1985. Pgs. 177-8.
- 73- Regato JA del. Ralston Paterson. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1987;13:1081-91.
- 74- Kathren RL. In memoriam Herbert M. Parker (1910-1984). Med Phys 1984;11:567.
- 75- Hoch PK. Institutional versus intellectual migrations in the nucleation of new scientific specialties. Stud Hist Phil Sci 1987;18:481-500. Zie: Pg. 493, 2e alinea.
- 76- Zie:
Fischer I. Pg. 1671.
Goot DH van der. In memoriam. Johannes Karel August Wertheim Salomonson. Ned Tijdschr Geneesk 1922;66II:2424-8.
Winkler C. In memoriam. Johannes Karel August Wertheim Salomonson. Ned Tijdschr Geneesk 1922;66II:1374-6.

- Cobben J. Nederlandse pioniers in de radiologie. *Journal Belge de Radiologie* 1959;42:738-745. Pgs. 738-741.
- Zie voor de benoeming van Wertheim Salomonson tot buitengewoon hoogleraar neurologie en röntgenologie in 1899: Gemeentebld van Amsterdam 1899;II:1031. (Gemeentearchief van Amsterdam)
- In Berlijn was reeds in 1897 Emile Grunmach (1848-1919) benoemd tot hoofd van het 'Universitätsinstitut für Untersuchungen mit Röntgenstrahlen'. Als zodanig heeft hij in het wintersemester 1897-1898 het eerste college over röntgenologie te Berlijn gegeven. In 1900 werd Grunmach tot buitengewoon hoogleraar in de interne geneeskunde -en niet in de röntgenologie- benoemd. Wertheim Salomonson was dan ook werkelijk de eerste hoogleraar röntgenologie ter wereld (zie: Wylick WAH van. Röntgen en Nederland. Utrecht: Drukkerij J. Hoeijenbos N.V., 1966. Pg. 170).
- 77- Goot DH van der. Pg. 2425, 7e alinea.
- 78- Winkler C. Pg. 1376, 1e alinea.
- 79- Zie: Gemeentebld van Amsterdam 1915;I:2373. (Gemeentearchief van Amsterdam)
- 80- Zie: Gemeentebld van Amsterdam 1915;II:1086. (Gemeentearchief van Amsterdam)
- 81- Zie: Gemeentebld van Amsterdam 1915;II:1155. (Gemeentearchief van Amsterdam)
- 82- Zie: Gemeentebld van Amsterdam 1915;II:2288. (Gemeentearchief van Amsterdam)
- 83- Wylick WAH van. Pg. 224.
- 84- Goot DH van der. Pg. 2425, 5e alinea.
- 85- Zie bijvoorbeeld de volgende voordrachten die Wertheim Salomonson op de vergaderingen van de Nederlandsche Vereeniging voor Elektrotherapie en Radiologie heeft gehouden:
 Wertheim Salomonson JKA. Een gewijzigde hardheidsmeter. *Ned Tijdschr Geneesk* 1911;55II:1041-2.
 Wertheim Salomonson JKA. De Coolidge-buis. *Ned Tijdschr Geneesk* 1915;59I:476-8.
 Wertheim Salomonson JKA. Een nieuw röntgenologisch hulpstatief. *Ned Tijdschr Geneesk* 1915;59II:781.
 Wertheim Salomonson JKA. Iets overe Eastman's duplitzed films. *Ned Tijdschr Geneesk* 1921;65II:116-17.
- 86- Goot DH van der. Pg. 2426, 2e alinea.
- 87- Ibidem. Pg. 2425, 1e alinea, Pg.2427, 8e alinea en Pg. 2428, 2e alinea.
- 88- Zie bijvoorbeeld: Wertheim Salomonson JKA. Röntgens X-Stralen. *Ned Tijdschr Geneesk* 1896;32I:241-9.
- 89- Zie bijvoorbeeld: Ruland MHJ. Klinische demonstratie. *Ned Tijdschr geneesk* 1898;34I:261-9.
- 90- Zie bijvoorbeeld:
 Stumpff JEd. Radioscopie en radiografie van de longen. *Ned Tijdschr Geneesk* 1899;35I:954-63.
 Huet WG. Radioskopische demonstratie van beginnende longtuberculose. *Ned Tijdschr Geneesk* 1908;52II:586-91.
 Schouwen G van. Röntgenologische maagdiagnostiek. *Ned Tijdschr Geneesk* 1908;52II:604-6.
- 91- Deze behandelingen verliepen overigens niet zonder enige stralenschade. Een meisje van 19 jaar onderging maar liefst 72 bestralingssessies van 10 à 20 minuten. Hoewel haar bovenlip gezwollen raakte en er een zweer ter plaatse van haar linker mondhoek ontstond, wist Kuipers 'volledige genezing' te bereiken.

Een student van 27 jaar genas in 27 zittingen. Bij hem ontstond 'door een minder doelmatige positie van den looden helm' een tijdelijk effluvium (haaruitval) van de knevell

Zie: Kuipers A. Twee gevallen van lupus faciei genezen door behandeling met röntgen-stralen. Ned Tijdschr Geneesk 1899;35I:869-73.

92- Zie: Goot DH van der. In memoriam Johannes Karel August Wertheim Salomonson. Ned Tijdschr Geneesk 1922;66II:2424-8.

93- Zie: Van Wylick WAH. Pgs. 183-4.

94- Ibidem. Pgs. 171-82 en Pgs. 188-225.

95- Zie bijvoorbeeld:

Posthumus Meijjes W. Het effect der radiumbestraling. Ned Tijdschr Geneesk 1904;40II:319-21.

Dugteren Van. Radiumbehandeling. Ned Tijdschr Geneesk 1906;50I:741-53.

96- Anonymus. Radiotherapie te Leiden. Ned Tijdschr Geneesk 1914;58I:505.

97- Anonymus. Radiumbehandeling. Ned Tijdschr Geneesk 1914;58I:522.

98- Zie onder andere:

Anonymus. Rotterdamsch radio-therapeutisch instituut. Ned Tijdschr Geneesk 1914;58II:1989-90.

Löwenberg B, Haije WG. 75 Jaar Rotterdamsch Radio-Therapeutisch Instituut en Dr. Daniel den Hoed Kliniek. IKR-bulletin 1989, 13e jaargang, Nr. 2. Pg. 3.

Hoofdstuk III.

1 - Anonymus. Kleine Mittheilungen. Deutsch med Wochenschr 1896;22:454.

2 - Marcuse W. Nachtrag zu dem Fall von Dermatitis und Alopecie nach Durchleuchtungsversuchen mit Röntgenstrahlen. Deutsch med Wochenschr 1896;22:681-2.

3 - Fuchs J. Ueber den Einfluss von Kathodenstrahlen auf die Haut. Deutsch med Wochenschr 1896;22:569.

4 - Stevens LG. Injurious effects on the skin. BMJ 1896;I:998.

Aan de opmerkingen van Stevens werd ook in het Nederlandsch Tijdschrift voor Geneeskunde aandacht besteed. Zie:

Anonymus. De X-stralen. Ned Tijdschr Geneesk 1896;32I:782.

5 - Sehrwaldt E. Dermatitis nach Durchleuchtung mit Röntgenstrahlen. Deutsch med Wochenschr 1896;22:665-7.

6 - Zie bijvoorbeeld:

Levy-Dorn. Die englische Journallitteratur des Jahres 1897.

Fortschr Geb Röntgenstr 1897-1898;1:199-203.

Crocker H Radcliffe. A case of dermatitis from roentgen rays. BMJ 1897;1:8-9.

Werner. Cowl: kritisches Referat zur Diagnostik und Therapie mittels Röntgen-strahlen. Fortschr Geb Röntgenstr 1898-1899;2:118-119.

Hahn. Zarnbin: Die neuesten Thatsachen betreffend die Frage über den Einfluss der X-strahlen auf die gesunde und kranke Haut. Fortschr Geb Röntgenstr 1899-1900;3:84.

7- Hahn. Vereine und Kongresse. Fortschr Geb Röntgenstr 1898-1899;2:190-191.

8- Gassmann A. Zur Histologie der Röntgenulcera. Fortschr Geb Röntgenstr 1898-1899;2:199-207.

9- Codman EA. A study of the cases of accidental X-ray burns hitherto recorded. Phil MJ 1902; 8: 438-42.

10- Zie: Anonymus. Ärztli. Verein Hamburg 21.X.1902. Fortschr Geb Röntgenstr 1902-1903;6:106.

11- Hesse O. Das Röntgenkarzinom. Deutsch med Wochenschr 1911;37:1410.

- 12- Strauss O. Schädigungen durch Röntgen- und Radiumstrahlen.
In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Erster Band. Wissenschaftliche Grundlagen. Berlin: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 979-1060.
Zie: Pgs. 1045-6.
- 13- Zie voor een gedetailleerde beschrijving van de radiogene huidreacties:
Berdj's CC. Pathology of Irradiation. Baltimore: The Williams & Wilkins Company, 1971. Pgs. 146-60.
Rubin Ph, Casarett GW. Clinical Radiation Pathology. Philadelphia, London & Toronto: W.B.Saunders Company, 1968. Pgs. 62-79.
- 14- Zie bijvoorbeeld: Dollinger F. Zweiter Bericht über die Arbeiten auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen in Frankreich. (1 juli 1897- 1 april 1898).
Fortschr Geb Röntgenstr 1898-1899;2:36-43.
- 15- Strauss O. Pgs. 993-4.
- 16- Kienböck. Zur Pathologie der Hautveränderungen durch Röntgenbestrahlung bei Mensch und Tier. Fortschr Geb Röntgenstr 1901-1902;5:269.
- 17- Strauss O. Pgs. 995-6.
- 18- Perthes. Über den Einfluss der Röntgenstrahlen auf epitheliale Gewebe, insbesondere auf das Carcinom. Arch klin Chir 1903;71:955-1000.
- 19- Récamier D, Tribondeau L. A-propos de l'action des rayons X sur l'ostéogénese. Compt Rend Soc Biol 1905;59:621-2.
- 20- Zie:
Försterling K. Ueber allgemeine und partielle Wachstumsstörungen nach kurz dauernden Röntgenbestrahlungen von Säugethieren. Arch klin Chir 1906;81II:505-30.
Flaskamp W. Ueber Röntgenshäden und Schäden durch radioaktive Substanzen. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1930. Pgs. 136-43.
- 21- Iselin. Ueber Wachstumsschädigungen junger Tiere durch Röntgenstrahlen. Fortschr Geb Röntgenstr 1912-1913;19:473-4.
- 22- Hueck H, Spiess W. Zur Frage der Wachstumsstörungen bei röntgenbestrahlten Knochen- und Gelenktuberkulosen. Strahlentherapie 1929;32:322-42.
- 23- Zie:
Kurtzahn F. Spätschädigung nach Röntgenbestrahlung wegen Tuberkulose, insbesondere solche des Handgelenkes. Zeitschr Röntgenologie 1924;20:172-87.
Perthes. Über Visierlappenplastik und über Spätnekrose des Knochengewebes infolge von Röntgenbestrahlung. Arch klin Chir 1923;127:165-77.
- 24- Blum T. Malposed teeth: their classification, pathology and treatment. Int J Orthodont 1923;9:122-37.
- 25- Baensch W. Knochenschädigung nach Röntgenbestrahlung. Fortschr Geb Röntgenstr 1927;36:1245-47.
- 26- Philipp E. Knochenerkrankungen bei wegen Uteruskarzinoms mit Röntgenstrahlen bestrahlten Frauen. Strahlentherapie 1932;44:363-78.
- 27- Watson WL, Scarborough JE. Osteoradionecrosis in intra-oral cancer. Am J Roentgenol 1938;40:524-34.
- 28- Albers-Schönberg HE. Über eine bisher unbekannte Wirkung der Röntgenstrahlen auf das Organismus der Tiere. Münch med Wochenschr 1903;50:1859-60.
- 29- Philipp. Die Röntgenbestrahlung der Hoden des Mannes. Fortschr Geb Röntgenstr 1904-1905;8:114-19.
- 30- Zie: Faber A. Einwirkung der Röntgenstrahlen auf die Sexualorgane von Tier und Mensch. Fortschr Geb Röntgenstr 1910-1911;16:435-59. Pgs. 435-6.
- 31- Zie bijvoorbeeld: Warren S. Effects of radiation on normal tissues. VIII. Effects on the gonads. Arch Path 1943;35:121-7. Pg. 122, 2e alinea.
- 32- Thies A. Wirkung der Radiumstrahlen auf verschiedene Gewebe und Organe. Mitt Grenzgeb Med Chir 1905;14:694-5. Pg. 694.
- 33- Halberstaedter L. Die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf Ovarien. Berlin klin Wochenschr 1905;42:64-6.

- 34- Reifferscheid K. Histologische Studien über die Beeinflussung menschlicher und tierischer Ovarien durch Röntgenstrahlen. Zentralbl Gynäk 1910;34:593-7.
- 35- Warren S. Effects on the gonads. Pg. 125, 1e alinea.
- 36- Reifferscheid K. Die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf tierische und menschliche Eierstöcke. Strahlentherapie 1915;5:407-26.
- 37- Thies A. Pg. 695.
- 38- Zie onder andere:
 Dobrovol'skaia-Zavadskaia N. Modifications des fibres striées sous l'influence d'irradiations prolongées au moyen de foyers radifères introduits dans les muscles. J Radiol Électrol 1924;8:49-61.
 Lazarus-Barlow WS. An attempt at the experimental production of carcinoma by means of radium. Proc Roy Soc Med 1918;11:Path 1-17.
 Warren S. Effects of radiation on normal tissues. XIV. Effects on striated muscle. Arch Path 1943;35:347-349.
- 39- Schmidt H. Kehlkopfgangraen als Röntgenspätschädigung. Virchows Arch 1921;231:557-69.
- 40- Jüngling O. Über Röntgenspätschädigungen des Kehlkopfs und Vorschläge zu deren Verhütung. Strahlentherapie 1923;15:18-47.
- 41- Haendly P. Pathologisch-anatomische Ergebnisse der Strahlenbehandlung. Strahlentherapie 1921;12:1-87. Zie: Pgs. 64-87.
- 42- Hirschberg M. Dauerheilung eines Tibiasarkoms mit Röntgenstrahlen und atrophische Vorgänge in der bestrahlten Muskulatur. Spätatrophie in der Halsmuskulatur nach einer einmaligen, vor 15 Jahren ausgeführten Oberflächenröntgenbestrahlung. Strahlentherapie 1929;34:421-4.
- 43- Freudenthal W. The effect of the rays of radium upon the mucous membrane of the larynx. Arch Electrol Radiol 1904;4:318-20.
- 44- Freudenthal W. Experiences with radium in diseases of the throat and nose. J Advanc Therap 1906;24:279-87.
- 45- Hahn O. Über Heiserkeit nach Röntgenbestrahlung am Halse. Zentralbl Chir 1919;46:722-3.
- 46- Holfelder H. Die Tiefenbestrahlungstechnik an der Schmiedenschen Klinik. Strahlentherapie 1921;12:161-77.
- 47- Marchik H. Röntgenschädigung des Kehlkopfes. Monatschr Ohrenh 1921;55:1445-66.
- 48- Wetzel E. Röntgenschädigungen mit und ohne Beteiligung der Haut. Strahlentherapie 1921;12:585-94.
- 49- Hering. Kehlkopfnekrose nach Röntgenbestrahlung. Zentralbl Chir 1922;49:990.
- 50- Hofmeister F von. Über tödlich verlaufende Röntgenschädigungen des Kehlkopfes. Münch med Wochenschr 1922;69:1687-90.
- 51- Zie bijvoorbeeld: Jüngling O. Über Röntgenspätschädigungen des Kehlkopfs und Vorschläge zu deren Verhütung. Strahlentherapie 1923;15:18-47.
- 52- Seguy G, Quenisset F. Action des rayons X sur le coeur. Compt Rend Acad Sci 1897;124:790-1.
- 53- Schweizer E. Über spezifische röntgenschädigungen des Herzmuskels. Strahlentherapie 1924;18:812-28.
- 54- Renfer E. Über zwei Fälle von Radiumnekrosen des Myokardes. Cancer 1927;4:431-41.
- 55- Gassmann A. Pgs. 203-205.
- 56- Linser P. Beitrag zur Histologie der Röntgenwirkung auf die normale menschliche Haut. Fortschr Geb Röntgenstr 1904-1905;8:97-100.
- 57- Dunlap heeft in 1942 een uitgebreid overzichtsartikel geschreven over de tot dan toe bekende effecten van straling op het bloed en de bloedvormende organen. Zie: Dunlap CE. Effects of radiation on the blood and the hemopoietic tissues, including the spleen, the thymus and the lymph nodes. Arch Path 1942;34:562-608. Zie: Pg. 593, 2e alinea.

- 58- Warthin AS. An experimental study of the effects of roentgen rays upon the blood forming organs, with special reference to the treatment of leukemia. Internat Clin 1906;4:243-9.
- 59- Heineke H. Über die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf innere Organe. Münch med Wochenschr 1904;51:785-6.
- 60- Zie bijvoorbeeld: Mayneord WV, Piney A. Some effects of X-radiation on blood. Brit J Radiol 1928;1:257-82.
- 61- Zie bijvoorbeeld:
Hoed D den, Levie B, Straub M. Serious injuring of the blood in consequence of teleröntgen-therapy of the whole body. Acta Radiol 1938;19:151-63.
Levitt WM. Treatment of lymphadenoma and certain malignant growths with X-ray baths. Lancet 1940;1:212-15.
- 62- Zie: Ducuing J, Marquès P, Milesky Mlle. L'action de la Roentgentherapie totale sur quelques constantes biologiques. J Radiol Électrol 1935;20:177-81.
- 63- Gettler AO, Norris C. Poisoning from drinking radium water. JAMA 1933;100:400-402.
- 64- Gavazzeni S, Minelli S. Die Autopsie eines Röntgenologen. Strahlentherapie 1915;5:309-320.
- 65- Dunlap CE. Pg. 596, 3e ainea.
- 66- Den Hoed, Levie en Straub. Pg. 159.
- 67- Strauss O. Pgs. 1036-8.
- 68- Regaud C, Nogier T, Lacassagne A. Sur les effets redoutables des irradiations étendues de l'abdomen et sur les lésions du tube digestif déterminées par les rayons de roentgen. Arch Élect Méd 1912;21:321.
- 69- Franz K. Fall einer Röntgenschädigung. Berlin klin Wochenschr 1917;54:662-3.
- 70- Franqué O von. Schwere Darm- und Hautschädigung bei Röntgentiefentherapie mit Schwerfilter. Zentralbl Gynäk 1918;42:1-4.
- 71- Heck W. Schwere Darm- und Hautschädigung bei Röntgentiefentherapie mit Schwerfilter. Strahlentherapie 1920;11:796-802.
- 72- Fischer B. Über Bestrahlungsnekrosen des Darmes. Strahlentherapie 1922;13:333-58.
- 73- Bergonié J, Speder E. Sur quelques formes des réactions précoces après des irradiations Röntgen. Arch Élect Méd 1911;19:241-51.
- 74- Ceresole G. Contribution à la connaissance des réactions précoces après des irradiations Röntgen. Arch Élect Méd 1912;20:304-8.
- 75- Marquès H. Réaction précoce profonde après irradiation Röntgen. Arch Élect Méd 1912;21:204-6.
- 76- Zie:
Pfahler GE. Sudden swelling of the parotid gland following shortly after X-ray treatment: its probable cause and means of prevention. J Cutan Dis 1913;31:396-7.
Schmidt HE. Zur Wirkung der Röntgenstrahlen auf die Speicheldrüsen des Menschen. Verhandl deutsch Röntgen-Gesellsch 1914;10:117-8.
Mühlmann E. Ein Beitrag zum Kapitel der Röntgenschädigungen. Fortschr Geb Röntgenstr 1918-1919;26:14-16.
Salis H von. Zu den Röntgenveränderungen nach Bestrahlung der Gland-Submaxillaris. Strahlentherapie 1924;17:395-400.
Pordes F. Die Röntgeneffekte der einzelnen Organe. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Band III. Berlin: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 18-21.
- 77- Desjardins AU. Action of roentgen-rays and radium on the gastrointestinal tract. Am J Roentgenol 1931;26:145-190;335-370;493-510. Zie: Pg. 163.
- 78- Schultz OE, Hoffmann RS. Zur Wirkungsweise der Röntgenstrahlen. Deutsch Zeitschr Chir 1905;79:350-63.
- 79- Warthin AS. The changes produced in the kidneys by roentgen irradiation. Am J Med Sci 1907;133:736-46.

- 80- Hartman FW, Bolliger A, Doub HP. Experimental nephritis produced by irradiation. *Am J Med Sci* 1926;172:487-500. Zie ook:
Doub HP, Bolliger A, Hartman FW. The relative sensitivity of the kidney to irradiation. *Radiology* 1927;8:142-8.
- 81- Zie:
Scholtz W. Über die physiologische Wirkung der Radiumstrahlen und ihre therapeutische Verwendung. *Deutsch med Wochenschr* 1904;1:94-7.
Seldin M. Über die Wirkung der Röntgen- und Radiumstrahlen auf innere Organe und den Gesamtorganismus der Tiere. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1903-1904;7:322-339.
Hudelett G. Action des rayons X sur le foie. *Arch Élect Méd* 1907;15:7-21.
Mills GP. The effects of radium on healthy tissue cells. *Lancet* 1910;2:462-71.
- 82- Hall CC, Whipple GN. Roentgen ray intoxication: disturbance in metabolism produced by deep massive doses of hard roentgen rays. *Am J Med Sci* 1919;157:543-61.
- 83- Wetzel E. Röntgenschädigungen mit und ohne Beteiligung der Haut. *Strahlentherapie* 1921;12:585-94.
- 84- Case JT, Warthin AS. The occurrence of hepatic lesions in patients treated by intensive deep roentgen irradiation. *Am J Roentgenol* 1924;12:27-46.
- 85- Schmitz H. The classification of uterine carcinoma for the study of the efficacy of radiumtherapy. *Am J Roentgenol* 1920;7:383-95.
- 86- Dean AL. Ulceration of the urinary bladder as a late effect of radiumapplication to the uterus. *JAMA* 1927;89:1121-24.
- 87- Schugt P. Über einen bemerkungswerten Fall von Blasenblutungen nach Röntgen-Radium-bestrahlung. *Zentralbl Gynäk* 1923;47:1862-68.
- 88- Matusovszky A. Über einen Fall sechstägiger Anurie infolge Radiumbestrahlung. *Monatschr Geburtsh Gynäk* 1923-1924;65:299-306.
- 89- Zie:
Ottow B. Blasen-Bauchdeckfistel mit Nekrose des Schambeins infolge einer Röntgenverbrennung. *Zentralbl Gynäk* 1927;51:2936-43.
Heidler H. Cystitis dissecans gangraenescens (Stoeckel) actinogenetica. *Zeitschr Geburtsh Gynäk* 1927;92:1-13.
Handorn. Ulcus incrustatum der Harnblase als Spätschädigung nach Strahlentherapie. *Zentralbl Gynäk* 1928;52:507-10.
Stacey LJ. Complications following the application of radium to pelvic lesions. *Am J Roentgenol* 1928;19:323-7.
- 90- Schmitz H. Complications in the urinary tract due to carcinoma of the uterine cervix irradiation treatment. *Am J Roentgenol* 1930;24:47-53.
- 91- Rubin Ph, Casarett GW. *Clinical Radiation Pathology*. Philadelphia, London & Toronto: W.B.Saunders Company, 1968. Pgs. 286-8.
- 92- Zie:
Friedman NB. Effects of radiation on normal tissues. IV. Effects of radiation on the gastrointestinal tract, including the salivary glands, the liver and the pancreas. *Arch Path* 1942;34:749-87.
Rubin & Casarett. Pg. 288.
- 93- Jessen F, Rzewuski A. Zur Technik der Behandlung intrathorakaler Leiden mit Röntgenstrahlen. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1909-1910;14:422-24.
- 94- Strasser A. Pleuritis nach Röntgenbehandlung eines Mediastinal Tumors. *Zeitschr phys diätet Therap* 1912;16:65-70.
- 95- Groover T, Christie AC, Merritt EA. Intrathoracic changes following roentgen treatment of breast carcinoma. *Am J Roentgenol* 1923;10:471-76.
- 96- Tyler AF, Blackman JR. Effect of heavy radiation on the pleura and lungs. *J Radiol* 1922;3:469-475.
- 97- Zie:

- Desjardins AU. Certain unusual features noted in a case of inoperable cancer of the breast treated by roentgen rays. *Med Clin N Am* 1923;7:163-71.
- Davis KS. Intrathoracic changes following X-ray treatment: a clinical and experimental study. *Radiology* 1924;3:301-22.
- 98- Zie:
 Rose CB. Breastcarcinoma treated surgically and by roentgen ray. *JAMA* 1923;80:1750-54.
 Case JT. The new short wave length roentgen-ray therapy. *JAMA* 1922;79:699-704.
 Wintz H. Injuries from roentgen-rays in deep therapy. *Am J Roentgenol* 1923;10:140-147.
 Mühlmann E. Zur Kasuistik der Röntgenschädigung von Brustdrüse und Lunge. *Strahlentherapie* 1924;18:451-456.
- 99- Desjardins AU. Action of roentgen-rays and radium on the gastrointestinal tract. Pg. 166, 6e alinea.
- 100- Zie:
 Chaluppecky H. Über die Wirkung der Röntgenstrahlen auf das Auge und die Haut. *Zentralbl prak Augenh* 1897;21:234-9;267-71.
 Tribondeau L, Récamier D. Altérations des yeux et du squelette facial d'un chat nouveau-né par roentgénisation. *Compt Rend Soc Biol* 1905;58:1031-2.
 Tribondeau L, Belley G. Microphthalmie et modifications concomitantes de la rétine par roentgénisation de l'oeil d'animaux nouveaux-nés. *Compt Rend Soc Biol* 1907;63:128-30.
 Tribondeau L, Belley G. Cataracte expérimentale obtenue par roentgénisation de l'oeil d'animaux nouveaux-nés. *Compt Rend Soc Biol* 1907;63:126-28.
 Tribondeau L, Lafargue P. Action différente des rayons X sur le cristallin des animaux jeunes et des animaux adultes. *Compt Rend Soc Biol* 1907;63:716-17.
 Bossuet A. Experimentelle Untersuchungen über die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf die Linse. *Arch Augenh* 1909;64:277-85.
 Desjardins AU. Action of roentgen rays and radium on the eye and ear. *Am J Roentgenol* 1931;26:639-79;787-819;921-942.
- 101- Zie:
 Milroy TH. The response of the developing retina to light and to radiumemanations. *J Physiol* 1905;33:69-76.
 London ES. Action physiologique de la radio-activité très faible. *Arch Élect Méd* 1906;14:94-101.
 Chaluppecky H. Die Wirkung des Radiums und der Radiumemanation auf den Sehapparat. *Wien klin Rundschau* 1911;25:821-4.
- 102- Sherer JW. Conjunctivitis from X-rays; incipient retinitis apparently due to the same cause; report of a case. *N York M J* 1901;74:543-5.
- 103- Birch-Hirschfeld A. Die Wirkung der Röntgen- und Radiumstrahlen auf das Auge. *Arch Ophth* 1904;59: 229-310.
- 104- Zie:
 Birch-Hirschfeld A. Weiterer Beitrag zur Wirkung der Röntgenstrahlen auf das menschliche Auge. *Arch Ophth* 1907;66:104-119.
 Birch-Hirschfeld A. Zur Wirkung der Röntgenstrahlen auf das menschliche Auge. *Klin Monatsbl Augenh* 1908;46:129-37.
- 105- Wilkinson O. Cataract probably due to X-ray exposure. *Am J Ophth* 1920;3:435-6.
- 106- Zeeman WPC. Demonstraties. *Ned Tijdschr Geneesk* 1932;76II:2047-50.
- 107- Bailey H, Bagg H.J. Effects of irradiation on fetal development. *Am J Obst Gynec* 1923;5:461-73.
- 108- Driessen LF. Kunstmatige vruchtafdrijving door middel van röntgenbestraling. *Ned Tijdschr Geneesk* 1926;70II:1788-89. Zie: Pg. 1789, 1e alinea.

- 109- Seynsche K. Keimdrüsenbestrahlung und Nachkommenschaft. *Strahlentherapie* 1926;21:600-607.
- 110- Zie:
Wetterer J. *Internationale Radiotherapie*. Band III. 1927-1928. Darmstadt: L. C. Wittich Verlag, 1928. Pg. 181.
Feldweg P. Ein ungewöhnlicher Fall von Fruchtschädigung durch Röntgenstrahlen. *Strahlentherapie* 1927;26:799-801.
- 111- Goldstein L, Murphy DP. Etiology of the ill-health in children born after maternal pelvic irradiation. *Am J Roentgenol* 1929;22:322-31.
- 112- Zie voor een uitgebreid overzicht van de ontwikkeling van de kennis over radiogene vruchtschade: Warren S. Effects of radiation on normal tissues. XV. Effects on the germplasm and the embryo. *Arch Path* 1943;35:349-53.
- 113- Zie: Warren S. Effects of radiation on normal tissues. XI. Effects on endocrine glands. *Arch Path* 1943;35:313-23.
- 114- Mc Combs RK. Proton Irradiation of pituitary and its metabolic effects. *Radiology* 1957;68:797-811.
- 115- Groover TA, Christie AC, Merritt EA, Coe FO, McPeak EM. Roentgen Irradiation in the treatment of hyperthyroidism: A statistical evaluation based on 305 cases. *JAMA* 1929;92:1730-4.
- 116- Zie:
Walters OM, Anson BJ, Ivy AC. The effect of X-rays on the thyroid and parathyroid glands. *Radiology* 1931;16:52-8.
Overigens waren Bower en Clark reeds in 1923 tot de conclusie gekomen, dat het normale schildklierweefsel van honden relatief radioresistent is.
Zie: Bower JO, Clark JH. The resistance of the thyroid gland to the action of radium-rays: The results of experimental implantation of radium needles in the thyroid of dogs. *Am J Roentgenol* 1923;10:632-43.
- 117- Zie: Pfahler GE. Roentgen-ray treatment of hyperthyroidism. *Am J Roentgenol* 1940;34:43-52.
- 118- Warren gaf in 1943 in een overzichtsartikel een opsomming van de tot dan toe opgedane kennis over de stralengevoeligheid van het zenuwstelsel.
Zie: Warren S. Effects of radiation on normal tissues. IX. Effects on the nervous system. *Arch Path* 1943;35:127-139.
- 119- Smithers DW, Clarkson JR, Strong JA. The roentgen treatment of cancer of the esophagus. *Am J Roentgenol* 1943;49:606-12.
- 120- Stevenson LD, Eckhardt RE. Myelomalacia of the cervical portion of the spinal cord, probably the result of roentgentherapy. *Arch Path* 1945;39:109-112.
- 121- Wachowski TJ, Chenault H. Degenerative effects of large doses of roentgen-rays on the human brain. *Radiology* 1945;45:227-46.
- 122- Boden G. Radiation myelitis of the cervical spinal cord. *Brit J Radiol* 1948;21:464-69.
- 123- Underwood GB, Gaul LE. Disfiguring sequelae from radiumtherapy: results of treatment of a birthmark adjacent to the breast in a female infant. *Arch Dermat Syph* 1948;57:918-19.
- 124- Zie: Rubin & Casarett. Pgs. 417-20.
- 125- Ibidem. Pgs. 392-3.
- 126- Muller HJ. Artificial transmutation of the gene. *Science* 1927;66:84-7.
- 127- Ratkóczy N. Geschichtliches über Strahlenschädigung und Strahlenschutz. *Strahlentherapie* 1971;141:311-20;425-38. Zie: Pg. 319, 2e kolom, 3e alinea.
- 128- Jaeger RG. Die historische Entwicklung der Erkenntnisse über Strahlengefährdung und Strahlenschutz in medizinischen Röntgeninstituten in 75 Jahren. *Röntgenpraxis* 1970;23:298-305. Zie: Pg. 301, 3e alinea.
- 129- Zie: Hagedoorn-Vorstheudel la Brand AC. De Duitse resoluties inzake het gevaar van bestraling met het oog op de mogelijkheid van kiembeschadiging.

Ned Tijdschr Geneeskd 1934;78II:4261-5. Zie: Pg. 4262, 10e alinea en Pg. 4263, 1e en 2e alinea.

Hoofdstuk IV.

- 1- Zie bijvoorbeeld:
Weyde AJ van der. De inwendige geneeskunde in ons vaderland gedurende de afgelopen 75 jaren. Ned Tijdschr Geneeskd 1924;68II:6-20.
Koch CFA. De heilkunde na 1849. Ned Tijdschr Geneeskd 1924;68II:21-4.
Nijhoff GC. Het onderwijs in de verloskunde en de uitoefening der verloskunst in Nederland gedurende de laatste 75 jaren. Ned Tijdschr Geneeskd 1924;68II:25-32.
- 2- Zie: Brieger GH. The development of surgery. In: Sabiston DC. Textbook of surgery. 12th edition. Philadelphia, London, Toronto: WB Saunders Company, 1981. Pgs. 1-21.
Zie bijvoorbeeld ook: Ravitch MM. A century of surgery. The history of the American Surgical Association. Philadelphia, Toronto: J. B. Lippincott Company, 1982. Pgs. 362-4.
- 3- Zie: Hoeve J van der. De ontwikkeling der oogheilkunde gedurende het tijdperk 1849-1924. Ned Tijdschr Geneeskd 1924;68II:33-42.
- 4- Zie: Burger H. De keel-neus-oorheilkunde in de laatste vijf-en-zeventig jaren. Ned Tijdschr Geneeskd 1924;68II:43-7.
- 5- Zie bijvoorbeeld:
Buley HM. German schools of dermatology in the past century. Arch Derm Syph 1952;66:440-57.
Ormsby OS. History of dermatology, 1847 to 1947. Arch Derm Syph 1949;59:374-95.
Rook A. Dermatological journals in Britain. Br J Derm 1970;83:109-18.
Alexander JO'D. The origins and developments of dermatology in Glasgow. Br J Derm 1971;84:470-86.
Hall R. History of dermatology in Northern Ireland. Br J Derm 1970;83:690-7.
- 6- Lindeboom GA. Inleiding tot de geschiedenis der geneeskunde. Amsterdam: Rodopi B.V., 1985. Pg. 285.
- 7- Davis AB. Historical studies of medical instruments. Hist Sci 1978;16:107-33. Pg. 126, 7e alinea.
- 8- Zie: Dietlen. Zur Frage des Hochschulunterrichtes in Röntgenologie. Röntgenspezialisten oder Spezial-röntgenologen. Münch med Wochenschr 1919;66:104-7. Pg. 104, 2e kolom, 5e alinea.
De Amerikaanse internist Joel Howell beschreef in 1986 de ontwikkeling van de röntgenafdeling van het Pennsylvania Hospital. Uit zijn relaas blijkt, dat voor 1912 in dit ziekenhuis een röntgenapparaat in gebruik was, dat werd bediend door de hoofdassistent, een van de vele taken, die deze arts vervulde. Ieder jaar nam de nieuwe hoofdassistent deze taak over. In 1912 kwam aan deze situatie een einde toen een arts-röntgenoloog in vaste dienst werd benoemd, die zich geheel aan röntgenologie zou wijden.
Zie: Howell JD. Early use of X-ray machines and electrocardiographs at the Pennsylvania Hospital. JAMA 1986;255:2320-3. Pg. 2321, 1e kolom, 2e alinea.
Zie ook: Kirkland LR. Early use of X-ray machines and electrocardiographs at the Pennsylvania Hospital. JAMA 1986;256:1444-5.
- 9- Gritzer G, Arluke A. The Making of Rehabilitation. A Political Economy of Medical Specialization, 1890-1980. Berkeley, Los Angeles, London: University of California Press, 1985. Pg. 8, 2e en 3e alinea.

- 10- Brecher R, Brecher E. The Rays. A history of radiology in the United States and Canada. Baltimore: The Williams and Wilkins Company, 1969. Pg. 301, 3e alinea.
- 11- Holzknacht G, Kienböck R. Die medizinische Radiologie als selbständiger Zweig der medizinischen Wissenschaft. Wien klin Wochenschr 1904;17:1349-54. Pg. 1351, 1e kolom, 4e alinea.
- 12- Regato JA del. Guido Holzknacht. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1977;2:1201-8. Pg. 1202, 2e kolom, 3e alinea.
- 13- Enkele bekende handboeken uit de eerste jaren van de radiologie zijn bijvoorbeeld:
Beck C. Die Röntgenstrahlen im Dienste der Chirurgie. München: Verlagsbuchhandlung Seitz & Schauer, 1902.
Williams FH. The Roentgen Rays in Medicine and Surgery. New York: The MacMillan Company, 1903.
Rollins W. Notes on X-Light. Boston, Massachusetts, 1904.
Béclère A. Les rayons de Röntgen et le Diagnostic des Maladies Internes. Paris: Librairie J.-B.- Baillière et fils, 1904.
Zie ook: Case JT. The contribution of roentgenology to medicine and surgery in the last twenty-five years. Am J Roentgenol 1931;26:511-16.
- 14- Schwarz. Ausgedehnte Röntgenschädigung. Deutsch med Wochenschr 1911;37:994.
- 15- Meyer H. La question des feux croisés en radiothérapie gynécologique. Journal de Radiologie 1914;8:107-25.
- 16- Uit de waarneming van Holland kan de conclusie worden getrokken, dat de houding van medici ten aanzien van de radiologie gedurende twintig jaar nauwelijks was veranderd. Antoine Béclère was namelijk reeds in 1897 geconfronteerd met de opvatting van andere artsen, dat een röntgenoloog een 'fotograaf' was. Sommige van zijn collega's spraken spottend van 'Béclère's speelgoed', andere geneesheren sloegen evenwel een scherpere toon aan door op te merken:
'u maakt, door fotograaf te worden, de geneeskundige staf van dit ziekenhuis te schande!'
(zie: Béclère A. Antoine Béclère. Paris: J.-B.-Baillière, 1972. Pg. 164, 1e alinea.).
Op het moment, dat Holland zijn opmerking maakte (midden in de Eerste Wereldoorlog), was evenwel de houding van veel artsen ten aanzien van de röntgenologie, als gevolg van het belang van dit vak voor de oorlogschirurgie, reeds in positieve zin aan het veranderen. Zie voor het citaat van Holland:
Thurstan Holland C. Radiology in clinical medicine and surgery. BMJ 1917;i:285-8. Pg. 288, 3e alinea.
- 17- Dietlen. Pg. 105, 1e kolom, 5e alinea.
- 18- Gassul R. Über Unterricht und Ausbildung in der Röntgenologie. Acta Radiol 1930;supplV:240-1.
Pg. 240, regels 27-31 en Pg. 241, regels 7-8.
- 19- Zie: Regato JA del. Antoine Béclère. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1978;3:1069-79. Pg. 1071, 3e alinea.
Het 'Programme de ce premier enseignement de radiologie comportant sept conférences' van Béclère uit 1897 bevatte de volgende colleges:
Les 1. De ontdekking van de röntgenstralen. Radioscopie en radiografie. De geschiedenis van de toepassing van x-stralen in Frankrijk.
Les 2. Röntgenlicht.
Les 3. Adaptatie van de retina. De superioriteit van radiografie ten opzichte van radioscopie wat betreft de differentiatie van details.
Les 4. Florescerende schermen. De vorming van schaduwen. De mate van transparantie van verschillende delen van het lichaam.
Les 5. Wetten der schaduwvorming.
Les 6. Complexiteit der schaduwen.

- Les 7. Het gebruik van x-stralen in de chirurgie (corpora aliena, fracturen, gewrichten). Het gebruik van x-stralen in de geneeskunde. Normale en pathologische toestand van hart, aorta en diafragma. Radiologische kenmerken van ziekten van aorta, hart, klieren, longen en pleura. Longtuberculose.
- Zie: Bécclère A. Antoine Bécclère. Paris: J.-B.-Baillière, 1972. Pgs. 162-163.
- 20- Belot J. L'enseignement de la radiologie médicale en France. Acta Radiol 1930;supplV:17-33. Pgs. 18-20.
- 21- Perussia F. L'enseignement de la radiologie médicale dans les universités italiennes. Acta Radiol 1930;supplV:68-72.
- 22- Gray AL, Bisell FS, Hickey PM, Sheaper JS, Manges WF. Report of Committee on Teaching. Am J Roentgenol 1921;8:85-86.
- 23- Dit blijkt onder andere uit de beschrijvingen van de ontwikkeling van het onderwijs in de radiologie in Noorwegen, Denemarken, Nederland en België, zoals die op het Internationale Congres voor Radiologie in Stockholm in 1928 werden gepresenteerd. Zie:
 Heyerdahl SA. The instruction in medical radiology in Norway. Acta Radiol 1930;supplV:119-22.
 Panner HJ. The instruction in medical radiology in Denmark. Acta Radiol 1930;supplV:136-41.
 Steenhuis DJ. Über den Unterricht der medizinischen Radiologie in Holland. Acta Radiol 1930;supplV:99-102.
 Murdoch J. L'enseignement de la radiologie médicale en Belgique. Acta Radiol 1930;supplV:55-60.
- 24- Zie: Anonymus. Berlijn.- Röntgenologie als academisch studievak. Ned Tijdschr Geneeskd 1913;57II:2163-4.
 Zie voor een overzicht van de instelling van cursussen over röntgenologie aan Duitstalige universiteiten en in Duitstalige ziekenhuizen in de eerste jaren van deze eeuw: Eulner HH. Die Entwicklung der medizinischen Spezialfächer an den Universitäten des deutschen Sprachgebietes. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1970. Pgs. 421-426.
- 25- Zie: D'Abreu M. Radiology in France during the War. Am J Roentgenol 1918;5:443. Pg. 443, 1e kolom, 4e alinea.
- 26- Gritzer & Arluke. Pgs. 8-9.
- 27- De orthopedie behelsde voor de Eerste Wereldoorlog grotendeels de correctie van misvormingen, met name bij kinderen. Tijdens de oorlog gingen de militaire orthopeden zich concentreren op de fractuurbehandeling bij gewonde militairen. De historicus Roger Cooter stelde in 1987 in zijn artikel 'The meaning of fractures: orthopaedics and the reform of British hospitals in the inter-war period' (Medical History 1987;31:306-32.):
 '.....in fact, it was only through the First World War that orthopaedists as a professional body brought the treatment of fractures within the scope of their specialism. Indeed, it was largely as a result of wartime work with fractures that professional association re-emerged and was made permanent'. (Cooter, Pg. 307, 2e alinea)
 In 1918 waren in het Britse leger reeds 17 militaire orthopedische centra ingesteld, terwijl in februari van dat jaar door enkele orthopeden de British Orthopaedic Association (BOA) was opgericht. Bovendien, zo stelde Cooter, '.....the specialism had acquired an exalted public image as a result of the rehabilitation of disabled soldiers'. (Cooter, Pg. 308, 2e alinea)
 In de Verenigde Staten had de American Orthopedic Association (AOA), opgericht in 1887 en vanaf 1912 een sectie van de American Medical Association) reeds in mei 1916 een commissie ingesteld 'to represent their interests in the expanding military market'. In 1917 bood de AOA haar diensten aan aan de surgeon general van het Amerikaanse leger. Er werd een adviescollege gevormd, dat de surgeon

general moest assisteren met de organisatie van het militair-orthopedisch werk. In augustus 1917 werd door de surgeon general een Division of Orthopedic Surgery in de medische afdeling van het leger opgericht.

Doordat de Amerikaanse orthopeden in het leger officiële status verkregen en daardoor onafhankelijk werden van de algemeen chirurgen, waren zij onder andere in staat opleidingen te organiseren aan de civiele universiteiten, die door militaire artsen konden worden gevolgd. In de zomer van 1918 waren op deze wijze reeds 700 militaire artsen tot orthopeed opgeleid. (Gritzer & Arluke, Pgs. 40-45) Ook in Duitsland had de orthopedie door haar rol in de oorlogsgeneeskunde aan prestige gewonnen. In het Abgeordnetenhaus in Pruisen werd in maart 1918 door diverse afgevaardigden gewezen op de wenselijkheid om meer leerstoelen in de orthopedie aan de universiteiten te installeren, om op die manier studenten en artsen meer gelegenheid te geven dit vak te leren. (Zie: Assen J van. Zorg voor gebrekkigen en orthopaedie in Pruisen. Ned Tijdschr Geneeskd 1918;62I:1725.) Zie voor de invloed van de Eerste Wereldoorlog op de ontwikkeling van de revalidatie geneeskunde: Gritzer & Arluke, Pgs. 57-60.

- 28- Melville S. Education in radiology. Acta Radiol 1930;supplV:41-7. Pg. 41, 4e alinea.
- 29- Ibidem. Pg. 41, 4e alinea en Pg. 42, 1e alinea.
Bernike Pasveer bracht in haar proefschrift 'Shadows of knowledge. Making a representing practice in medicine: x-ray pictures and pulmonary tuberculosis, 1895-1930' de situatie in Groot-Brittannië in 1914 als volgt onder woorden: 'The first world war brought to the fore and even strengthened these still unruly practices of medical x-ray work in Britain, but it also put a lever in the hands of the men who wanted radiology to become a truly medical specialty. For the war at once demonstrated in Britain the extent to which surgical x-ray work in particular was already indispensable -- and how the organized x-ray workers were yet not powerful, and perhaps not numerous enough to regulate and control this work. In Britain to meet the national emergency, all available x-ray equipment was brought into use, and anyone with a nodding acquaintance of electricity, photography or physics was pressed into service as a radiologist.' (Zie: Pasveer B. Shadows of knowledge. Making a representing practice in medicine: x-ray pictures and pulmonary tuberculosis, 1895-1930. Enschede: Drukkerij Alfa, 1992. Pg. 20, 2e alinea)
- 30- Case JT. War Roentgenology. Am J Roentgenol 1918;5:98-9.
- 31- Dietz PJPh. Het röntgenonderzoek bij de oorlogvoerenden. Ned Tijdschr Geneeskd 1917;61I:340-2. Pg. 341, 2e alinea.
- 32- Zie:
Regato JA del. Antoine Bécclère. Pg. 1073, 2e kolom, 3e alinea.
Pallardy G, Pallardy MJ, Wackenheim A. Histoire illustrée de la radiologie. Paris: Les Éditions Roger Dacosta, 1989. Pgs. 214-215.
- 33- Belot J. L'enseignement de la radiologie médicale en France. Acta Radiol 1930;supplV:17-33. Pg. 20, 4e alinea.
- 34- Christie AC. Our preparation for the X-ray work of the war. Am J Roentgenol 1918;5:1-5.
- 35- Zie: Dessauer F. Röntgentechnik im Heere. In: Sommer E. Röntgen-Taschenbuch. VII. Kriegsband. Leipzig: Otto Nernich Verlag, 1915. Pgs. 1-10.
- 36- In het Röntgen-Taschenbuch van 1915 werd de beschikbare Duitse militaire röntgenapparatuur uitgebreid beschreven. Zie: Sommer E. Röntgen-Taschenbuch. VII. Kriegsband. Leipzig: Otto Nernich Verlag, 1915. Pgs. 251-83.
- 37- Voor de oplossing van de 'crise de verre' gebruikte de Franse overheid zelfs Duitse krijgsgevangenen, die voor de oorlog in de Thüringse glasfabrieken werkzaam waren geweest! Zie: Pallardy, Pallardy & Wackenheim. Pgs. 208-212. Zie ook: Dietz PJPh. Pg. 341, 4e alinea.
- 38- Curie E. Madame Curie. Den Haag: H.P.Leopolds Uitgeversmij N.V., 1948.

- Pg. 329, 3e alinea.
- 39- Zie:
 Orton GH. Necessity for education in radiology and electro-therapeutics.
 BMJ 1917;II:854-5.
 Hall-Edwards J. Roentgenology in warfare. Am J Roentgenol 1918;5:280-7.
- 40- Dietz PJPh. Pg. 342, 1e alinea.
- 41- Dietlen. Pg. 105, 1e kolom, 2e alinea.
- 42- Melville S. Pg. 42, 1e alinea.
- 43- Belot J. Pgs. 21-3.
- 44- Anonymus. University of Cambridge. Examination for the Diploma in Medical
 Radiology and Electrology. April 1923. Arch Radiol Electrol 1922-1923;27:345.
- 45- Zie: Saxton HM. Seventy-six years of British radiology. Brit J Radiol
 1973;46:872-84.
- 46- Schellong O. Die Facharztfrage vom Standpunkt des Allgemeinpraktikers. Deutsch
 med Wochenschr 1924;50:809-11.
- 47- Anonymus. Kleine Mitteilungen. Deutsch med Wochenschr 1926;52:1098.
- 48- Perussia F. Regelung und Kontrolle der Strahlentherapie des Krebses.
 In: Wetterer J. Internationale Radiotherapie. Band II. Darmstadt: L. C. Wittich
 Verlag, 1927. Pgs. 817-27. Zie: Pgs. 821-2.
- 49- Hickey PM. The teaching of roentgenology in America. Acta Radiol
 1930;supplV:34-40.
- 50- Brecher & Brecher. Pgs. 304-20.
- 51- Ibidem. Pgs. 315-16.
- 52- De radiologen werden aangevoerd door de vooraanstaande radiotherapeut Albert
 Soiland uit Los Angeles, die ook een hoofdrol had gespeeld in de oprichting van
 het American College of Radiology en afgevaardigde was van Californië in het
 American Medical Association House of Delegates. In het House of Delegates
 betogde hij in een resolutie in 1923, dat meer dan 1000 AMA leden zich full-time
 of part-time met radiologie bezig hielden en waarschuwde hij, dat in diverse staten
 overheidslichamen 'were attempting to legalize the practice of radiology by
 laymen'. Een AMA Section on Radiology (de AMA had op dat moment 15 secties)
 'would recognize radiology as an integral part of the science of medicine and
 surgery'. Nadat het AMA House of Delegates in 1923 de aanbeveling had gedaan,
 dat in de 15 bestaande secties aandacht diende te worden geschonken aan andere
 specialismen 'such as radiology', diende Soiland in 1924 opnieuw een resolutie in,
 gesteund door de Radiological Society of North America, de American Roentgen
 Ray Society en de American Radium Society, maar verloor opnieuw. In 1925
 echter gelukte de volgende poging wel. Zie: Brecher & Brecher, Pgs. 316-17.
 Zie voor biografische gegevens van Albert Soiland: Regato JA del. Albert Soiland
 and the early development of therapeutic radiology in the United States.
 Int J Radiation Oncology Biol Phys 1983;9:243-53.
- 53- Brecher & Brecher. Pg. 320, 2e alinea.
- 54- Perussia F. Regelung und Kontrolle der Strahlentherapie des Krebses. Pgs. 817-21.
- 55- Ibidem. Pg. 824, 10e alinea en Pg. 825, 1e alinea.
- 56- Ibidem. Pg. 825, 2e alinea.
- 57- Ibidem. Pgs. 825-6.
- 58- Perussia F. L'enseignement de la radiologie médicale dans les universités
 italiennes. Acta Radiol 1930;supplV:68-72.
- 59- Zie: Holzknacht G. Über den Studentenunterricht in der medizinischen Anwendung
 von Röntgenstrahlen. Acta Radiol 1930;supplV:5-16.
- 60- Zie voor de aanstellingen van Johannes Wertheim Salomonson:
 Gemeentebld van Amsterdam 1899;II:1007. (Gemeentearchief van Amsterdam)
 Gemeentebld van Amsterdam 1915;II:2288. (Gemeentearchief van Amsterdam)
 Zie voor enkele biografische gegevens van Nicolaas Voorhoeve:

Heilbron LG. In memoriam. Prof. Nicolaas Voorhoeve. Ned Tijdschr Geneeskd 1927;71II:826-827.

Cobben J. Nederlandse pioniers in de radiologie. Journal Belge de Radiologie 1959;42:738-745. Pgs. 744-5.

Zie voor enkele biografische gegevens van Dirk Jan Steenhuis:

Brevet WK. In memoriam prof. dr. D. J. Steenhuis. Ned Tijdschr Geneeskd 1955;99:86.

Zie voor de benoemingen van Voorhoeve, Steenhuis en Kok:

Steenhuis DJ. Über den Unterricht der medizinischen Radiologie in Holland. Acta Radiol 1930;supplV:99-102. Pgs. 101-2.

Op 19 februari 1918 besloot de Geneeskundige Faculteit van de Rijksuniversiteit Groningen, dat er een lectoraat in de radiologie diende te worden ingesteld. Reeds op 5 maart 1918 werd Sijbrand Keijser in deze functie benoemd. Dit was zo snel mogelijk doordat het tevoren door Dr. K. Kooy bezette lectoraat in de interne geneeskunde was omgezet in een lectoraat in de radiologie. Keijser, die conservator bij psychiatrie was geweest, werd eveneens benoemd tot directeur van het nieuw opgerichte Radiologisch Instituut. Dit instituut was gevestigd in een speciaal voor dit doel aangekocht en verbouwd perceel aan de Oostersingel. Er werden voor de uitrusting van het instituut twee röntgentoestellen besteld bij de firma Siemens & Halske te Berlijn. Tengevolge van de Eerste Wereldoorlog en de onlusten daarna, liet de levering van deze toestellen lang op zich wachten, zodat pas in maart 1920 de eerste foto genomen kon worden, terwijl de opening van het gebouw eerst in juli 1920 plaats vond. Op 3 juli 1920 hield Keijser zijn openbare les als lector in de radiologie. Zie:

Keijser S. Enkele punten uit de ontwikkeling van de radiologie. Openbare les, gehouden bij den aanvang zijner lessen als lector in de radiologie aan de Rijks-Universiteit te Groningen op zaterdag 3 juli 1920. Groningen, Den Haag:

J. B. Wolters' U.M., 1920.

Notulen van de vergadering van de Geneeskundige Faculteit der Rijksuniversiteit Groningen van 19 februari 1918 en 5 maart 1918 (Provinciaal Archief Groningen). Anonymus. Gedenkboek van het Algemeen Provinciaal, Stads en Academisch Ziekenhuis te Groningen, 1903-1953. Groningen: N.V. Erven P. Noordhoff, 1953. Pg. 222, 1e en 2e alinea.

Met dank aan Dr. S. P. Keijser te Groningen en Dr. G. Kok te 's Gravenhage, die mij een aantal persoonlijke gegevens van Sijbrand Keijser en Cornelis Hendrikus Kok verstrekten.

61- Vergelijk bijvoorbeeld de Jaarboeken der Rijksuniversiteit Groningen van 1926 en 1935. Groningen: J.B. Wolters Uitgeversmaatschappij N.V., 1926 en 1935.

62- Zie: Romunde LH van. "Specialist te zijn of niet te zijn, dat is de vraag". Ned Tijdschr Geneeskd 1926;70II:706-8. Pg. 706, regels 39-43.

63- Notulen van de vergadering van de Geneeskundige Faculteit der Rijksuniversiteit Groningen, 8 maart 1923. Provinciaal Archief Groningen.

64- Romunde LH van. Pg. 707.

65- Zie:

Schaly GA, Diehl JC. Jaarverslag der Specialisten- Commissie over 1932. Ned Tijdschr Geneeskd 1933;77I:1074-82.

Schaly GA, Diehl JC. Jaarverslag der Specialisten- Registratie-Commissie over 1932. Ned Tijdschr Geneeskd 1933;77I:1082-4.

Droogleever Fortuyn HJW. Register van erkende specialisten. Ned Tijdschr Geneeskd 1933;77I:117-44.

66- Gritzer & Arluke. Pg. 9, 2e alinea.

67- Fürstenau R, Immelmann M, Schütze J. Leitfaden des Röntgenverfahrens für das röntgenologische Hilfspersonal. Stuttgart: Verlag von Ferd. Enke, 1914.

68- Curie E. Pg. 328.

69- Zie:

- Case JT. War Roentgenology. Pg. 99, 1e kolom, 3e en 4e alinea.
Pallardy, Pallardy & Wackenheim. Pg. 223, 3e en 4e alinea.
- 70- Zie: Christie AC. Our preparation for the X-ray work of the war. Am J Roentgenol 1918;5:1-5.
- 71- Bucky G. Die rechtliche Beurteilung von Röntgen- und Radiumschädigungen. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Band I. Die wissenschaftlichen Grundlagen der Strahlentherapie. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 1061-1100. Zie: Pg. 1095.
- 72- Ibidem. Pg. 1094.
- 73- Zie bijvoorbeeld:
Duckworth D. Rational empirism and scientific medicine: the boundaries dividing them. BMJ 1911;l:1217-18.
Bashford EF. Cancer, credulity, and Quackery. BMJ 1911;l:1221-30.
Anonymus. Unqualified practice in the eye of the law. BMJ 1911;l:1277-81.
- 74- Anonymus. Quackery in France. BMJ 1911;l:1287-8. Pg. 1288, 1e kolom, 2e alinea.
- 75- Zie bijvoorbeeld:
Taylor JH. The practice of medicine and surgery by unqualified persons. BMJ 1911;l:1243-6.
Flemming CES. Quackery in rural districts. BMJ 1911;l:1246-8.
Anonymus. Quackery and the medical profession. BMJ 1911;l:1289-90.
Anonymus. Causes of quackery. BMJ 1911;l:1190-2.
- 76- Zie: Werner. Journalliteratur. Fortschr Geb Röntgenstr 1900-1901;4:96-104.
- 77- Zie:
Béclère A. Antoine Béclère. Paris: J. B. Baillière, 1972. Pgs. 164-6.
Pallardy, Pallardy & Wackenheim. Pgs. 153-6 en 131.
Zie ook: Béclère A. La radiologie médicale aux médecins. Bull méd Paris 1905;19:629-31.
- 78- Zie: Wylick WAH van. Röntgen en Nederland. Utrecht: Drukkerij J. Hoeijenbos N.V., 1966. Pgs. 180-1.
De meeste verenigingen van radiologen waren al vanaf hun oprichting doende om de niet-medische radiologen te isoleren.
In eerste instantie was het lidmaatschap van de Nederlandsche Vereeniging voor Electrologie en Radiologie voorbehouden aan geneesheren. Vanaf 1902 mochten ook niet-medici lid worden, maar dan alleen op grond van 'wetenschappelijke verdiensten' op het terrein van de radiologie. In de praktijk waren echter alleen artsen lid van deze vereniging. De Nederlandse röntgenartsen waren redelijk succesvol wat betreft de bestrijding (en preventie) van 'lekepraktijken'. Bernike Pasveer, die in haar proefschrift 'Shadows of knowledge. Making a representing practice in medicine: x-ray pictures and pulmonary tuberculosis, 1895-1930' de ontwikkelingen op dit gebied in Nederland en Groot-Brittannië met elkaar heeft vergeleken, omschreef dit als volgt:
'In Holland medical men had from the beginning moved to keep quite a lot of the machinery on their own territory -- thereby redefining the boundaries of their profession, and keeping from the outset almost the whole of x-ray work, which attracted men from so many disciplinary backgrounds in England, in their own hands. There was thus considerably less fear and more clarity regarding tasks and skills and boundaries than in Britain. X-ray workers were medically trained men; they owned the society and the apparatus and the educated eyes and had a professor too -- there was little for x-ray assistants left to do but to keep out of that world.' (Zie: Pasveer B. Shadows of knowledge. Making a representing practice in medicine: x-ray pictures and pulmonary tuberculosis, 1895-1930. Enschede: Drukkerij Alfa, 1992. Pg. 23, 4e alinea)

In Groot-Brittannië liet de (British) Röntgen Society, opgericht in 1897, zowel artsen als niet-medici tot het lidmaatschap toe. Dit leidde al spoedig tot groeiende ergernis bij de medici, die van de vereniging deel uit maakten:

'The consequent non-clinical bias of the Society's meetings was a problem for part of its medical members. In 1902 a group of them decided to form their own, exclusively medical, British Electrotherapeutical Society, which from 1907 onwards became a section under the Royal Society of Medicine.' (Zie: Pasveer B. Knowledge of shadows: the introduction of x-ray images in medicine. Sociology of Health and Illness 1989;11:360-381. Pg. 364, 6e alinea.)

- 79- Zie: Anonymus. Geneeskundige röntgenologie door onbevoegden. Ned Tijdschr Geneeskd 1910;54II:973.
- 80- Zie: Meijers FS. Röntgenbehandeling door leeken. Ned Tijdschr Geneeskd 1910;54I:258.
- 81- Zie: Gohl JG. Verslag van het 5de Duitsche Röntgencongres. Ned Tijdschr Geneeskd 1909;53II:977-82.
- 82- Zie: Gohl JG. Mededeelingen betreffende het 6de röntgen-congres te Berlijn. Ned Tijdschr Geneeskd 1910;54II:1568-1577.
- 83- Brecher & Brecher. Pg.104, 2e en 3e alinea.
- 84- Ibidem. Pgs. 107-108.
- 85- Kirchner F. Die rechtliche Beurteilung der Röntgen- und Radiumschädigungen. Hamburg: Lucas Gräfe & Sillem, 1914. Pg. 32, 2e alinea.
- 86- Case JT. The practice of Roentgenology by Laymen. Am J Roentgenol 1918;5:202-3. Pg. 203, 3e alinea.
- 87- Zie bijvoorbeeld:
Electro-therapeutist. Lay radiographers. BMJ 1917;2:673.
Electro-therapeutist. BMJ 1917;2:811.
- 88- Kempster C. Lay radiographers and electrotherapeutics. BMJ 1917;2:778.
- 89- Hall-Edwards J. Lay radiographers and electrotherapeutists. BMJ 1917;2:811.
- 90- Melville S. Pg. 42, 1e alinea.
- 91- Schmitt. Schweren Röntgenverbrennungen. Münch med Wochenschr 1922;69:1200-1.
- 92- Zie: Nemenow MI. Über Ausbildung und Unterricht in der Radiologie in der U.S.S.R. Acta Radiol 1930;supplV:61-7. Pg. 61, 2e alinea.
In dit verband past de opmerking van de redactie van het British Medical Journal uit 1911, die luidde:
'....every form of specialism has at first been denounced as quackery. This was due to ignorance'. Zie: Anonymus. Causes of quackery. BMJ 1911;1:1190-2. Pg. 1291, 1e kolom, 5e alinea.
- 93- Brecher & Brecher. Pg. 103, 4e alinea.
- 94- Ibidem. Pg. 104, 1e alinea.
- 95- Loose G. Die Fortschritte der Röntgentherapie seit meiner Assistentenzeit bei Levy-Dorn. Fortschr Geb Röntgenstr 1923-1924;31:441-50. Pg. 447, regels 17-18.
- 96- Strauss O. Schädigungen durch Röntgen- und Radiumstrahlen.
In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Band I. Wissenschaftliche Grundlagen. Berlin: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pg. 979-1060. Zie: Pg. 981, 1e en 2e alinea.
- 97- Hall-Edwards J. Roentgenology in warfare. Am J Roentgenol 1918;5:280-7. Pg. 281, 1e kolom, 4e alinea.
- 98- Zie: Holfelder H. Über den Nachweis bei Röntgenverbrennungen scheinbar ungeklärter Ursache. Klin Wochenschr 1923;2:1998.
- 99- Lossen H. Über Ergebnisse unserer Materialiensammlung der Unfälle und Schäden in Reichsdeutschen Röntgenbetrieben. Acta Radiol 1927;8:345-62.

- 100- Keijser S. Over de gevaren van röntgenstralen voor het bedienende personeel en voor de behandelde patiënten. Amsterdam: Uitgevers en drukkers maatschappij van F. van Rossen, 1925. Pg. 8, 2e kolom, 2e alinea.
- 101- Zie bijvoorbeeld:
Fahr. Röntgenspätschädigungen der Haut. *Klin Wochenschr* 1926;5:1252.
Levy-Dorn M. Die Röntgenschäden in der Diagnostik (insbesondere des Verdauungstraktus). *Klin Wochenschr* 1926;5:2035.
Levy-Dorn M. Die Röntgenschäden in der Diagnostik (insbesondere des Verdauungstraktus). *Archiv Verdauungs-Krankheiten* 1926;37:206-17.
- 102- Zie: Gabriel G. Röntgenverbrennung - Röntgenschädigung. *Klin Wochenschr* 1926;5:2179.
- 103- Zie: Schubert M. Über Röntgenschädigungen nach diagnostischer Anwendung von Röntgenstrahlen. *Klin Wochenschr* 1926;5:2302-4.
- 104- Reich. Über Schäden und Unfälle in Röntgenbetrieben. *Klin Wochenschr* 1929;8:190.
- 105- Schilling. Eine Röntgenschädigung des Kolons als Todesursache. *Münch med Wochenschr* 1930;77:1465.
- 106- Zie bijvoorbeeld:
Tischendorf W. Tagung der Deutschen Röntgen-Gesellschaft vom 17. - 19. April 1931 in Baden-Baden. *Klin Wochenschr* 1931;10:1049-52.
Holfelder H. Örtliche Neben- und Nachwirkungen der Röntgenstrahlen. *Klin Wochenschr* 1931;10:2186.
- 107- De invloed van de radiumindustrie op de medische toepassing van radium zal in hoofdstuk IX worden besproken.
- 108- Regato JA del. Friedrich Dessauer. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1978;4:325-32. Pg. 325, 2e alinea.
- 109- Grigg ERN. *The trail of the invisible light*. Springfield: Charles C Thomas Publisher, 1965. Pgs. 48-9.
- 110- Ibidem. Pg. 75. Zie voor de ontwikkeling van de 'röntgenindustrie' in de Verenigde Staten: Pgs. 47-76.
- 111- Ibidem. Zie voor de ontwikkeling van de 'röntgenindustrie' in Duitsland: Pgs. 460-84, Groot-Brittannië: Pgs. 488-508 en Frankrijk: Pgs. 522-37.
- 112- Ibidem. Pg. 468.
- 113- Ibidem. Pg. 240.
- 114- Wertheim Salomonson J. Discussie opmerking. *Ned Tijdschr Geneeskd* 1917;61:342.
- 115- Zie:
Wylick WAH van. Pg. 211, 5e alinea.
Wertheim Salomonson J. *Nederlandsche Röntgenbuizen-fabriek*. *Ned Tijdschr Geneeskd* 1918;62:1733.
- 116- Zie bijvoorbeeld:
Imboden HM. Progress in the development of roentgen-ray apparatus. *Am J Roentgenol* 1931;26:517-22.
Stevens RH. Arrangements for the 1910 meeting. *American Quarterly of Roentgenology* 1909;2:67-8.
- 117- Uiteraard speelde voor veel artsen ook de prijs van röntgenapparatuur een rol bij het wel of niet aanschaffen ervan. In 1896 kocht de directie van het Middlesex Hospital in Londen een 'x-ray machine' voor de prijs van BPS 14-. Dit röntgenapparaat werd overigens geïnstalleerd in de kamer van de 'Hospital Administrator', die de additionele taak kreeg het nieuwe apparaat te bedienen! (zie: Berry RJ. The radiologist as guinea pig: radiation hazards to man as demonstrated in early radiologists, and their patients. *Journal of the Royal Society of Medicine* 1986;79:506-509. Pg. 506, 1e kolom, 2e alinea). In 1900 kostte het goedkoopste complete röntgenapparaat \$100- (zie: Grigg ERN. Pg. 52). In 1909 kocht het Diaconessenhuis te Groningen een röntgentoestel voor de som van fl.

- 1500- (zie: Anonymus. Gedenkboek van het Algemeen Provinciaal, Stads, en Academisch Ziekenhuis te Groningen, 1903-1953. Groningen: N.V. Erven P. Noordhoff, 1953. Pg. 221, 1e alinea). Rond 1920 kostte een 'moderate power' Coolidge-buis \$125- (zie: Grigg ERN. Pg. 79). Ter vergelijking: de Groningse radioloog Sijbrand Keijser ontving in de periode 1918-1920 uit hoofde van zijn functie als lector in de radiologie een jaarwedde van fl. 3500- (zie: Tammeling BP. Honderdvijfenzeventig jaar AZG. Geschiedenis en voorgeschiedenis van het academisch ziekenhuis groningen. Groningen: Grafisch Bedrijf Letsch B.V., 1978. Pg. 229, 6e alinea).
- 118- Zie: Grigg ERN. Pg. 501.
- 119- Zie: Codman EA. A study of accidental x-ray burns hitherto recorded. Phil MJ 1902;9:438-442. Pg. 438, 1e alinea.
- 120- Anonymus. Nature 1908-1909;79:465. Pg. 465, 1e kolom, 4e alinea en 2e kolom, 1e alinea.
- 121- Zie bijvoorbeeld de volgende Groningse kranten: Nieuwsblad van het Noorden, 14 januari 1896; 17 januari 1896; 19 januari 1896; 13 maart 1896. Nieuwe Groningse Courant, 4 februari 1896; 14 februari 1896. Provinciale Groninger Courant, 29 december 1896.
- 122- Nieuwe Groninger Courant, 14 februari 1896.
- 123- Provinciale Groninger Courant, 29 december 1896.
- 124- Zie: Anonymus. Nature 1902-1903;67:445.
- 125- Zie bijvoorbeeld:
Anonymus. Geneeskundige werking van de stralen van Röntgen. Album der Natuur. 1896;45:85-6. (wetenschappelijk bijblad)
Rijkens RG. De beteekenis van de Röntgen'sche stralen voor de diagnose van inwendige ziekten. De Natuur 1896;16:308-309.
Valkema Blouw HAJ. Het Haarlemsche Röntgen-instituut. Album der Natuur 1899;48:1-7.
Anonymus. Nature 1909;81:220-2.
Jordan AC. X-Rays in medical science. Nature 1919;104:237-9.
- 126- Zie bijvoorbeeld:
Anonymus. Nature 1910;84:153.
Anonymus. Nature 1914;93:436.
- 127- Anonymus. Radium and cancer. Nature 1909-1910;82:219. Pg. 219, 1e alinea.
- 128- Ibidem. Pg. 219, 3e alinea.
- 129- Ibidem.
- 130- Zie bijvoorbeeld:
Anonymus. Nature 1913-1914;92:172.
Anonymus. Science and the Lay Press. Nature 1913-1914;92:199-200.
- 131- Zie: Anonymus. Nature 1914;93:225.
- 132- Zie: Scholte PJL, Weber J. Straling en stralingsgevaar. Amsterdam: Em. Querido's Uitgeversmaatschappij N.V., 1960. Pgs. 118-19.
- 133- Caufield C. Multiple Exposures. Chronicles of the Radiation Age. Reading: Cox and Wyman Ltd., 1990. Pg. 15, 3e alinea.
- 134- Voltz. Korrespondenz. Münch med Wochenschr 1930;77:1699-1700. Spencer Weart onderzocht in 1988 aan de hand van titels van American magazine articles uit de jaren 1900-1940 eventuele veranderingen in de opinie van 'the literate and attentive part of the (American) public' ten aanzien van radioactiviteit. Weart concludeerde:
'From 1900 until the middle 1920s I found very little negative language; whatever anxieties were mentioned came under neutral or hopeful headings. In the late 1920s the news of radium poisoning brought overt fears, yet positive titles outnumbered the negative titles nearly two to one. By the mid-1930s radium hazards were no longer news, and the proportion of optimism rose to two to one;

- by the end of the thirties there were again almost no anxious titles among the many hopeful ones.'
- Zie: Weart SR. Nuclear Fear. A history of images. Cambridge (Massachusetts): Harvard University Press, 1988. Pg. 53, 3e en 4e alinea.
- 135- Anonymus. The roentgen ray case at Hastings. Lancet 1900;II:1669-70. Pg. 1670, 1e kolom, 1e alinea.
- 136- Ibidem. Pg 1670, 1e kolom, 2e alinea.
- 137- Schürmayer. Röntgenverbrennungen und das theoretische Sachverständigen-Gutachten. Fortschr Geb Röntgenstr 1901-1902;5:48-51.
- 138- Anonymus. Paris. Legal action on account of X-ray burns. Lancet 1901;I:897.
- 139- Anonymus. Parijs - Veroordeling. Ned Tijdschr Geneesk 1902;38I:221.
- 140- Kirchberg F. Die rechtliche Beurteilung der Röntgen- und Radiumschädigungen. Hamburg: Lucas Gräfe & Sillern, 1914. Pgs. 1-2.
- 141- Kirchberg beschreef in maart 1914 een geval waarbij 20 000 DM schadevergoeding werd geëist (Kirchberg, Pg. 66, 1e alinea). In ernstige gevallen, zoals bijvoorbeeld functiebeperking van beide handen als gevolg van stralenschade, kon de eis zelfs oplopen tot 50 000 DM. (Kirchberg, Pg. 81, 1e alinea)
- 142- Zie: Albers-Schönberg, Lorenz. Die Schutzmittel für Aerzte und Personal bei der Arbeit mit Röntgenstrahlen. Deutsch med Wochenschr 1915;41:301-5.
- 143- Pfahler GE. Radiodermatitis. Am J Roentgenol 1921;8:781-2.
- 144- Bucky G. Die rechtliche Beurteilung von Röntgen- und Radiumschädigungen. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Erster Band. Wissenschaftliche Grundlagen. Berlin & Wien: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 1061-1100.
- 145- Ibidem. Pgs. 1085-7.
- 146- Ibidem. Pgs. 1088-9.
- 147- Ibidem. Pg. 1088, 6e alinea.
- 148- Ibidem. Pg. 1089, 3e alinea.
- 149- Ibidem. Pg. 1089, 4e alinea.
- 150- Ibidem. Pg. 1091, 1e alinea.
- 151- Ibidem. Pg. 1091, 5e alinea.
- 152- Zie: Voltz. Pg. 1700.
- 153- NJ 1951. Pgs. 344-8. Zie: Pg. 344, 1e kolom, 8e alinea. (met dank aan prof. mr. W.J. Zwolve, Juridische Faculteit, Rijksuniversiteit Groningen)
- 154- Ibidem. Pg. 344, 2e kolom, 2e alinea.
- 155- Ibidem. Pg. 346, 2e kolom, 2e alinea.

Hoofdstuk V.

- 1- Zie: Coolidge WD, Charlton EE. Roentgen-Ray Tubes. Radiology 1949;45:449-66. Pgs. 450-51.
- 2- Zie bijvoorbeeld: Dollinger F. Bericht über die Arbeiten auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen in Frankreich. Fortschr Geb Röntgenstr 1897-1898;1:146-163.
- 3- Zie bijvoorbeeld: Wetterer J. Handbuch der Röntgen- und Radiumtherapie. Band I. München und Leipzig: Otto Nernich Verlag, 1919. Pgs. 75-76.
- 4- Ibidem. Pg. 76, 2e alinea.
- 5- Swinton ACC. Adjustable X Ray focus tubes. Lancet 1897;I:1295-6.
- 6- Coolidge & Charlton. Pg. 449.
- 7- Wetterer J. Pgs. 76-78.
- 8- Ibidem. Pg. 32, 4e alinea.
- 9- Coolidge WD. Eine mächtige Röntgenrohre mit reiner Elektronenentladung. Strahlentherapie 1915;5:431-52. Zie: Pgs. 431-2.
- 10- Ibidem. Pgs. 433-4.

- 11- Een aantal voorbeelden van gevallen van röntgenshade uit de periode 1896-1897 zijn beschreven in de volgende artikelen:
 Anonymus. Dermatitis caused by the roentgen-rays. *Lancet* 1897;1:195.
 Anonymus. A case of severe dermatitis following two exposures to the X-rays. *Lancet* 1897;1:1759.
 Anonymus. Paris. the Academy of Science. *Lancet* 1897;1:1178.
 Anonymus. Dermatitis caused by the roentgen rays. *Lancet* 1897;1:396.
 Marcuse W. Dermatitis und Alopecie nach Durchleuchtungs-versuchen mit Röntgenstrahlen. *Deutsch med Wochenschr* 1896;22:481-3.
 Zie voor de experimenten van Elihu Thomson: Thomson E. Work in the first decade of roentgenology. *Am J Roentgenol* 1932;28:385-8. Pgs. 386-7.
- 12- Lossen H. Über Ergebnisse unserer Materialiensammlung der Unfälle und Schäden in Reichsdeutschen Röntgenbetrieben. *Acta Radiol* 1927;8:345-62. Zie: Pg. 347.
- 13- Coolidge was goed vertrouwd met de voor- en nadelen van gasbuizen. Hij had tijdens zijn studententijd met een eigen röntgenbuis geëxperimenteerd en had reeds een paar maanden na Röntgens ontdekking een ernstige verbranding van een van zijn handen opgelopen. Zie: Coolidge WD. Experiences with the roentgen ray tube. *Am J Roentgenol* 1945;54:583-9. Zie: Pgs. 583-5.
- 14- Zie:
 Coolidge WD. Eine mächtige Röntgenrohre mit reiner Elektronenentladung. Lichtenbelt JWTh, Jolles WH. Over een nieuwe roentgenbuis. *Ned Tijdschr Geneesk* 1915;59I:815-18.
 Wertheim Salomonson JKA. Demonstratie van twee Coolidge-buizen. *Ned Tijdschr Geneesk* 1915;59II:779-80.
- 15- Zie: Lorey A. Der Röntgenstrahlenschutz. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Band I. Die wissenschaftlichen Grundlagen der Strahlentherapie. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 1101-12.
- 16- Coolidge & Charlton. Pg. 454, 2e kolom, 2e alinea.
- 17- Zie bijvoorbeeld:
 Bienfait. Tube radiogène puissant fonctionnant avec une décharge pure d'électrons. *Journal de Radiologie* 1914;8:85-6.
 Kriser A. Röntgenshädigungen, deren Verhütung und Behandlung. *Strahlentherapie* 1926;21:406-15.
- 18- Artur Kriser, een medewerker van Holzknicht, betoogde in een voordracht gehouden te Praag in oktober 1925 op de 'IV. wissenschaftliche Tagung der Vereinigung deutscher Röntgenologen und Radiologen in der tschechoslowakischen Republik':
 'Seit Einführung der Coolidge-Röhren haben sich die Verbrennungen im diagnostischen Betrieb gehäuft, zum Teil dadurch, dass wir nunmehr während der Durchleuchtung die Möglichkeit haben, die Härte und Spannung zu steigern und gerade in Fällen, in denen wir nicht genügend sehen, von dieser leicht zu handhabenden Verbesserung des Lichtes Gebrauch machen. Andererseits aber durch die enorme Zunahme der Röntgenapparate bei Ärzten, die sich versucht fühlen, die Kürze ihrer röntgenologischen Ausbildung durch um so längere Lichteinwirkung bei der Durchleuchtung zu kompensieren.'
 Zie: Kriser A. Pg. 409, 3e en 4e alinea.
 De Marburgse dermatoloog Martin Schubert schreef in december 1926 over het toegenomen aantal röntgenverbrandingen door diagnostiek:
 'Diese Tatsache findet zu einem gewissen Teil ihre Begründung darin, dass zur Zeit Röntgenapparate, die den notwendigen Sicherheitsbedingungen nicht entsprechen, von Ärzten in zunehmendem Masse angekauft und benutzt werden, die mit dem Material und seiner Bedienung nicht genügend vertraut sind, zum anderen Teil aber auch einfach darin, dass die Gefahr, Hautschädigungen zu setzen, bei den verhältnismässig kurzen Expositionszeiten, wie sie für die Diagnose in Frage kommen, unterschätzt oder nicht genügend bekannt ist.'

- Zie: Schubert M. Ueber Röntgenshädigungen nach diagnostischer Anwendung von Röntgenstrahlen. *Klin Wochenschr* 1926;5:2302-4. Pg. 2302, 2e kolom, 1e alinea.
- 19- Coolidge WD. Experiences with the roentgen ray tube. Pg. 585, 1e kolom, 2e alinea.
- 20- Reynolds L. The history of the use of the roentgen ray in warfare. *Am J Roentgenol* 1945;54:649-72. Pg. 662, 1e kolom, 2e alinea.
- 21- Zie: Holzknecht G. Filteralarm. *Strahlentherapie* 1920;11:460-70. Pg. 461, 2e alinea.
Zie voor biografische gegevens van Georg Perthes (1869-1927):
Fischer I. *Biographisches Lexikon der hervorragenden Ärzte der letzten fünfzig Jahre*. München - Berlin: Verlag von Urban & Schwarzenberg, 1962. Pg. 1193.
- 22- Zie:
Driessen LF. Een verbeterde wijze van inschakeling der röntgenbuis ter voorkoming van huidbeschadiging. *Ned Tijdschr Geneeskd* 1918;62i:1733-5.
Driessen LF. Zur Verhütung filterloser Bestrahlung bei der Tiefentherapie. *Zentralbl Gynäk* 1920;44:1258-60.
- 23- Holzknecht G. Filteralarm. Pg. 464, 2e alinea.
- 24- Driessen LF. Een verbeterde wijze van inschakeling der röntgenbuis ter voorkoming van huidbeschadiging. Pgs. 1734-35.
- 25- Holzknecht G. Filteralarm. Pgs. 463-70.
- 26- Pfahler GE. A simple device to prevent the omission of filters in deep roentgen therapy. *Am J Roentgenol* 1921;8:780.
- 27- Driessen LF. Een verbeterde wijze van inschakeling der röntgenbuis ter voorkoming van huidbeschadiging. Zie: Discussie, Pg. 1735.
- 28- Pfahler GE. Pg. 780.
- 29- Steenhuis DJ. Bescherming van patient en dokter tegen de gevaren der röntgenstralen. *Ned Tijdschr Geneeskd* 1922;66i:472-476.
- 30- Lossen H. Pg. 347.
- 31- Zie:
Strauss O. Schädigungen durch Röntgen- und Radiumstrahlen. In: Meyer H. *Lehrbuch der Strahlentherapie*. Erster Band. Wissenschaftliche Grundlagen. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pg. 979-1060. Pg. 984, 2e alinea en Pg. 985, 2e alinea.
Holzknecht G. Über die häufigsten Ursachen der Röntgenshädigungen. *Münch med Wochenschr* 1922;69:1524.
Holzknecht G. Über die häufigsten Ursachen der Röntgenshädigungen und ihre Vermeidung. *Münch med Wochenschr* 1922;69:1597-8. Pg. 1597, 1e kolom, 6e alinea.
Strauss O. Was muss der praktische Arzt von der Entstehung von Röntgenshädigungen wissen? *Deutsch med Wochenschr* 1922;48:1420-1. Pg. 1421, 2e alinea.
- 32- Flaskamp W. Über Röntgenshäden und Schäden durch radioaktive Substanzen. Berlin - Wien: Urban & Schwarzenberg, 1930. Pg. 312, 2e alinea.
- 33- Strauss O. Schädigungen durch Röntgen- und Radiumstrahlen. Pg. 986, regels 25-26.
- 34- Holzknecht G. Schädigungsprophylaxe. *Strahlentherapie* 1927;24:385-411. Pg. 390, 1e alinea.
Ook Artur Kriser, een medewerker van Holzknecht, was (uiteraard) deze mening toegedaan. Kriser stelde in oktober 1925:
'Die häufigsten Ursachen von Überdosierung sind zu kurze Serienpausen und das Vergessen von Filtern'. Zie: Kriser A. Pg. 408, 2e alinea.
Het vergeten van filters als oorzaak van stralenschade liep echter na 1925 wel degelijk sterk terug. Uit dit onderzoek is gebleken, dat stralenschade door deze oorzaak in de jaren dertig zeer zeldzaam was. In deze periode werd slechts één

- dergelijk geval in de literatuur gevonden: op de vergadering van de Frankfurter Dermatologische Vereinigung van 25 september 1930 beschreef de Duitse dermatoloog Flesch-Thebesius het geval van een zesendertigjarige vrouw, die wegens een tumor in de onderbuik meermalen was bestraald. Tijdens de derde bestralingssessie was het filter vergeten. Enkele dagen later was ter hoogte van de bestraalde huid een 'überhandtellergrösses' ulcus ontstaan, dat door middel van chirurgische excisie moest worden behandeld. Zie: Flesch-Thebesius. Geheilte Röntgenulzera. Derm Wochenschr 1931;92:953.
- 35- Coliez R. Action biologique des rayons X et des corps radioactifs. In: Laquerrière A, Delherm L. Traité d'électro-radiothérapie. Tome premier. Paris: Masson et cie, 1938. Pgs. 329-386. Zie: Pg. 381, 1e alinea.
- 36- Strauss O. Pg. 989, 2e alinea.
- 37- Zie: Steuernagel W. Über die Bedeutung von Netzspannungsschwankungen im Röntgenbetriebe. Münch med Wochenschr 1919;66:1443.
- 38- Zie:
Wintz H, Voltz J. Untersuchungen am Symmetrie-induktorium beim Betriebe verschiedener Röhren. Strahlentherapie 1920;10:123.
Glocker R. Die Bedeutung von Netzspannungsschwankungen für den diagnostischen und therapeutischen Röntgenbetrieb. Münch med Wochenschr 1919;66:1164-5.
Voltz J. Netzspannungsschwankungen und Röntgentiefentherapie. Münch med Wochenschr 1920;67:1125.
Schempp E. Dosierungsfehler in der Tiefentherapie bei Verwendung des "Spannungshärtemessers" an Induktorapparaten und ihre Verhütung. Münch med Wochenschr 1922;69:429-31.
- 39- Zie bijvoorbeeld ook: Dessauer F, Brenzinger M. Röntgenapparate und Röntgenröhren. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Erster Band. Wissenschaftliche Grundlagen. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 369-427. Zie: Pgs. 415-16.
- 40- Lossen H. Pgs. 347-8.
- 41- Zie bijvoorbeeld: Fritsch E. Dosierungsfehler bei Röntgenbestrahlungen infolge Falschzeigens des Milliampèremeters und deren Vermeidung. Strahlentherapie 1927;24:719-21.
- 42- Walter B. Physikalisch-technische Mitteilungen. Fortschr Geb Röntgenstr 1897-1898;1:82-7.
- 43- De 'technische Leiter' van het Röntgeninstituut am Inselspital te Bern , O. Pasche, beweerde in 1903:
'...dass heute jedes grössere radiographische Institut mit der einen oder andern Form von Blenden arbeitet.'
Zie: Pasche O. Ueber eine neue Blendenvorrichtung in der Röntgentechnik. Deutsch med Wochenschr 1903;29:266-7. Pg. 266, 2e kolom, 2e alinea.
De toepassing van het diafragma lijkt dan ook inderdaad zeer snel in brede kring te zijn geaccepteerd. Toch nam niet iedereen de moeite om een 'Blende' te gebruiken. Nog in 1923 schreef stralenschade-expert Paul Krause:
'Es ist fehlerhaft, wenn bei Durchleuchtungen keine Blende angewandt wird, wie es in kaum glaublicher Weise auch jetzt noch vorgekommen ist.'!
Zie: Krause P. Wie schützt der Arzt bei Durchleuchtungen seine Kranken und sich selber vor Schädigungen durch Röntgenstrahlen? Münch med Wochenschr 1923;70:985-6. Pg. 985, 2e kolom, 4e alinea.
- 44- Levy-Dorn M. Eine Vorrichtung zum Schutz des Untersuchers gegen X-Strahlen und zur Erzielung schärfer Bilder. Fortschr Geb Röntgenstr 1897-1898;1:208.
- 45- Ratkóczy N. Geschichtliches über Strahlenschädigung und Strahlenschutz. Teil II. Strahlentherapie 1971;141:425-38. Pgs. 425-6.
- 46- Zie: Grubbé E. Priority in the therapeutic use of x-rays. Radiology 1933;21:156-62. Pg. 160, 2e kolom, 2e en 3e alinea.

- 47- Gassmann A, Schenkel H. Ein Beitrag zur Behandlung der Hautkrankheiten mittelst Röntgenstrahlen. Fortschr Geb Röntgenstr 1898-1899;2:121-132. Pgs. 121-2.
- 48- Sjögren T, Sederholm H. Beitrag zur therapeutischen Verwertung der Röntgenstrahlen. Fortschr Geb Röntgenstr 1900-1901;4:145-170. Pg. 146, 3e en 4e alinea.
- 49- Holzknacht G, Grünfeld R. Ein neues Material zum Schutz der gesunden Haut gegen Röntgenlicht und über radiologische Schutzmassnahmen im Allgemeinen. Münch med Wochenschr 1903;50:1202-5.
- 50- Ibidem. Pg. 1204, 1e kolom, 2e alinea.
- 51- Ibidem. Pg. 1204, 2e kolom, 3e alinea en Pg. 1205, 1e kolom, 1e alinea.
- 52- Ibidem. Pg. 1205.
- 53- Zie: Ratkóczy N. Pg. 429, 1e kolom, 2e alinea.
- 54- Albers-Schönberg. Schutzvorkehrungen für Patienten, Ärzte und Fabrikanten gegen Schädigungen durch Röntgenstrahlen. Fortschr Geb Röntgenstr 1902-1903;6:235-238. Zie: Pg. 237, 7e alinea.
- 55- Ratkóczy N. Pg. 429, 1e kolom, 2e alinea.
- 56- Coliez R. Pgs. 374-5.
- 57- Mogelijk werd dit verschijnsel mede veroorzaakt door de strooistraling van vloer, muren, plafond en patient!
- 58- Halberstädter L, Tugendreich J. Über die von der Rückseite der Antikathode ausgehende Röntgenstrahlung. Fortschr Geb Röntgenstr 1921-1922;28:64-7.
- 59- Halberstädter L. Physikalische Eigenschaften und biologische Wirkung der von der Rückseite der Antikathode ausgehenden Röntgenstrahlung. Fortschr Geb Röntgenstr 1922;29:478-88.
- 60- Lorey A. Pg. 1103, 2e alinea.
- 61- Ibidem. Pgs. 1103-4.
- 62- Holfelder H. Methodische Grundlagen der chirurgischen Röntgentherapie. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Band II. Chirurgie. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 77-138. Zie: Pgs. 121-4.
- 63- Ibidem. Pgs. 122-3.
- 64- Coliez R. Pg. 374, 3e alinea.
- 65- Zie:
Bouwers A. Een nieuwe Röntgenbuis. Physica 1924;4:173-9.
Bouwers A. Nieuwere typen van metalen röntgenbuizen. Ned Tijdschr Geneeskd 1925;69:310.
- 66- Zie bijvoorbeeld: Finzi NS. Radiotherapy. Brit J Radiol 1956;29:245-9.
- 67- Zie bijvoorbeeld: Fritsch E. Pg. 721, 3e alinea.
- 68- Zie: Stürmer W. Zur Geschichte der Röntgen-Leuchtstoffe. Fortschr Geb Röntgenstr 1962;97:514-19.
- 69- Wylick WAH van. Röntgen en Nederland. Utrecht: Drukkerij J. Hoeijenbos N.V., 1966. Pg. 213, 2e alinea.
- 70- Zie: Heilbron LG. Demonstratie van Röntgenogrammen van de nierstreek. Ned Tijdschr Geneeskd 1915;59II:783.
- 71- Zie: Bles Ch. Keuze van Röntgentoestel. Ned Tijdschr Geneeskd 1916;60II:1255-7.
- 72- Zie: Martin FC, Fuchs AW. The historical evolution of roentgen-ray plates and films. Am J Roentgenol 1931;26:540-8. Zie: Pgs. 545-6.
Zie ook:
Wertheim Salomonson JKA. Duplitzed films. Ned Tijdschr Geneeskd 1921;65II:116-17.
Wertheim Salomonson JKA. Momentröntgenographieën met de Coolidge-buis. Ned Tijdschr Geneeskd 1921;65II:117.
De belichtingstijden voor radiografieën werden vrij snel gereduceerd. In februari 1896 duurde de belichting voor een foto van een hand 10 - 20 minuten (Van

Wylick Pg. 162, 2e alinea). In september van ditzelfde jaar was dit 0.5 - 5 minuten (Van Wylick. Pg. 164, 3e alinea) en enkele jaren later was deze belichtingstijd nog slechts een fractie van een seconde. In 1901 was de benodigde belichtingstijd voor een thoraxfoto ongeveer 10 seconden. In 1908 was dit 0.5 - 1 seconde (Van Wylick. Pg. 186, 1e alinea) en in 1921 kon een thoraxfoto worden gemaakt met een belichtingstijd van slechts 0.1 seconde (Van Wylick. Pg. 215, 1e alinea).

73-

Zie:

Potter HE. The Bucky diaphragm adapted to fluoroscopy. Am J Roentgenol 1917;4:47-50.

Potter HE. The Bucky diaphragm principle applied to roentgenography. Am J Roentgenol 1920;7:292-5.

Zie ook:

Potter HE. History of diaphragming roentgen rays by use of the Bucky principle. Am J Roentgenol 1931;35:396-402.

74-

Levy L, Thorne Baker T. The reduction of radiographic exposures to one twenty-fifth of the normal amount by means of the "impex" X-ray plate. Am J Roentgenol 1921;8:528-35.

Hoofdstuk VI.

- 1- Zie bijvoorbeeld:
Pfahler GE. The development of roentgen therapy during fifty years. Radiology 1945;45:503-21.
Anonymus. Röntgenstralen. Ned Tijdschr Geneeskd 1896;321:375.
- 2- Sträter. Welche Rolle spielen die Röhren bei der therapeutischen Anwendung der Röntgenstrahlen? Deutsch med Wochenschr 1900;26:546-7.
- 3- Zie: Wetterer J. Die Entwicklung der Röntgentherapie vom Beginn der Röntgenära bis zur Begründung der 'Internationale Radiotherapie'.
In: Wetterer J. Internationale Radiotherapie. Band II. 1926-1927. Darmstadt: L. C. Wittich Verlag, 1927. Pgs. 964-90. Zie: Pg. 967, 1e alinea.
- 4- Holzknecht G. Ueber das Chromoradiometer. Fortschr Geb Röntgenstr 1902-1903;6:49;102.
- 5- Zie: Wetterer J. Handbuch der Röntgen- und Radiumtherapie. Band I. München und Leipzig: Otto Nemnich Verlag, 1919. Pgs. 207-8.
- 6- Wetterer J. Handbuch der Röntgen- und Radiumtherapie. Band I. Pg. 208, 4e alinea.
- 7- Ibidem. Pg. 207, 5e, 6e en 7e alinea.
- 8- Zie: Huet. Röntgentherapie. Ned Tijdschr Geneeskd 1905;41:1117-19.
- 9- Zie:
Sabouraud R, Noiré H. Traitement des tignes tondantes par les rayons X. Pres Méd 1904;12:825-7.
Wetterer J. Handbuch der Röntgen- und Radiumtherapie. Band I. Pgs. 208-210.
Zie ook: Rost GA. Dermatologie und Röntgenstrahlen. Strahlentherapie 1933;47:93-99. Pg. 95, 2e alinea.
- 10- Zie: Wetterer J. Handbuch der Röntgen- und Radiumtherapie. Band I. Pgs. 208-210.
Zie ook: Mendes da Costa S. Röntgenepilatie. Ned Tijdschr Geneeskd 1908;521:952-3.
- 11- Zie:
Holzknecht G. Weitere Mitteilungen über die Skala zum Sabouraud. Fortschr Geb Röntgenstr 1910;15:372-6.
Holthusen H. Qualitative und Quantitative Messung der Röntgenstrahlen. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Erster Band. Wissenschaftliche Grundlagen. Berlin: Urban & Schwarzenberg, 1925.

- Pgs. 287-360. Zie: Pgs. 315-16.
- 12- Zie: Wetterer J. Handbuch der Röntgen- und Radiumtherapie. Band I. Pgs. 210-212.
- 13- Ibidem. Pgs. 216-217. Zie ook: Anonymus. Gesellschaft der Ärzte in Wien. Sitzung von 8. April 1904. Wien med Wochenschr 1904;54:686.
- 14- Kienböck R. Über Dosimeter und das quantimetrische Verfahren. Fortschr Geb Röntgenstr 1906;9:276-9.
- 15- Bordier H, Galimard J. Action des rayons x sur les platino-cyanures et en particulier sur celui de baryum. Arch Electr Méd 1905;13:323-6. Zie ook: Wetterer J. Handbuch der Röntgen- und Radiumtherapie. Band I. Pgs. 210-212.
- 16- Schwarz G. Über die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf Ammonium-oxalat-Sublimatlösung. Fortschr Geb Röntgenstr 1907;11:114.
- 17- Zie: Colwell HA, Russ S. Radium, X Rays and the Living Cell. London: G. Bell and Sons, Ltd., 1915. Pgs. 99-100.
- 18- De fysica van elektromagnetische straling stond aan het begin van deze eeuw nog in de kinderschoenen, zodat fysische dosimetrie nog niet mogelijk was. Voor de ontwikkeling van fysische dosimetrie was kennis vereist van de interactie van straling met materie. Aan het einde van de vorige eeuw experimenteerden veel fysici met de zogenaamde kathodestralen (elektronenbundels) en bij Röntgen resulteerde dit in de ontdekking van de x-stralen. In 1896 beschreven Thomson en Rutherford het ionisatie fenomeen: röntgenstraling produceert in een gas een gelijk aantal positieve en negatieve dragers van elektrische lading. In 1900 bracht Planck zijn quantum theorie, waarin hij stelde, dat energie niet een continue stroom vormt, maar uit quanta (later fotonen genoemd) bestaat, waarbij de energie van de quanta in directe relatie staat tot de frequentie (en de golflengte) van de elektromagnetische straling. In 1902 beschreef Lenard een verschijnsel, dat in 1905 door Einstein als het 'foto-elektrisch effect' verder werd uitgewerkt. In 1911 ontdekte Rutherford het bestaan van de atoomkern; hij gaf een planigrafisch model van het atoom, dat naar zijn mening bestond uit een positief geladen nucleus en omgevende negatief geladen elektronen. Dit model werd verder uitgewerkt door Bohr, hetgeen in 1913 leidde tot de presentatie van het naar deze Deense fysicus genoemde atoommodel. In dit model bewegen elektronen zich in afzonderlijke banen (schillen) rond de atoomkern; als een elektron naar een meer centraal gelegen schil overspringt, wordt elektromagnetische straling uitgezonden. In 1922 beschreef Compton het zogenaamde 'Compton-effect', waarbij een foton een elektron uit zijn baan kan stoten (en daarbij een deel van zijn energie afgeeft aan het elektron), om daarna als foton van lagere energie in een andere richting verder te gaan. In 1905 had Duane reeds gewezen op het zogenaamde 'wand effect', waardoor kleine ionisatiekamers -zoals die in de fysische dosimetrie nodig zouden zijn- geen betrouwbare metingen konden geven, zodat zij klinisch niet bruikbaar waren. Duane was overigens een van de eerste fysici, die een ionisatiekamer construeerde. De eerste in de medische praktijk bruikbare ionisatiekamer werd pas in 1918 vervaardigd door de Duitse fysicus Walter Friedrich. Zie voor de ontwikkeling van de kernfysica bijvoorbeeld:
Regato JA del. William Duane.
Int J Radiation Oncology Biol Phys 1978;4:717-29.
Regato JA del. Ernest Rutherford.
Int J Radiation Oncology Biol Phys 1979;5:539-52.
Regato JA del. Max Planck.
Int J Radiation Oncology Biol Phys 1979;5:2097-2111.
Regato JA del. Niels Bohr.
Int J Radiation Oncology Biol Phys 1981;7:509-29.
Regato JA del. Arthur Holly Compton.

- Int J Radiation Oncology Biol Phys 1981;7:1569-90.
 Compton AH. Modern physics and the discovery of x-rays.
 Radiology 1945;45:534-8.
 Hall EJ. The contribution of physical sciences to the development of radiation therapy. Journal of Surgical Oncology 1983;24:248-57.
- 19- Zie bijvoorbeeld:
 Ritter H, Rost GA, Krüger R. Experimentelle Studien zur Dosierung der Röntgenstrahlen mit dem Sabouraudschen Dosimeter. Strahlentherapie 1915;5:471-91.
 Wetterer J. Handbuch der Röntgen- und Radiumtherapie. Band I. Pgs. 221-3.
- 20- Adler E. Versuche über das Kienböcksche und das Holzknechtsche dosimetrische Verfahren. Strahlentherapie 1915;5:465-70.
- 21- Pfahler GE. Pg. 513, 1e kolom, 3e alinea en 2e kolom, 1e alinea.
- 22- Glasser O. The evolution of Dosimeters in Roentgen Ray Therapy. Radiology 1941;37:221-7. Zie: Pg. 222, 1e kolom, 5e alinea.
- 23- Holzknecht G. Ueber die häufigsten Ursachen der Röntgenschädigungen und ihre Vermeidung. Münch med Wochenschr 1922;69:1597-8. Pg. 1597, 1e alinea.
- 24- Wylick WAH van. Röntgen en Nederland. Utrecht: Drukkerij J. Hoeijenbos N.V., 1966. Pgs. 186-7.
- 25- Fürstenau hield zich vooral bezig met de vervaardiging van röntgenapparatuur en had reeds in 1910 voor handelsdoeleinden een röntgenbuis ontworpen.
 Zie : Fürstenau R. Über eine neue Röntgenröhre. Fortschr Geb Röntgenstr 1910;15:218-21.
 Zie:
 Fürstenau R. Über die Verwendbarkeit des Selens zu Röntgenstrahlen-energiemessungen. Phys Zeitschr 1915;16:276-9.
 Fürstenau R. Experimentelle Untersuchungen über die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf das Selen. Fortschr Geb Röntgenstr 1916-1917;24:390-408.
 Immelmann M, Schütze J. Absorptionsmessungen mit dem Fürstenauschen Intensimeter. Fortschr Geb Röntgenstr 1914-1915;22:533-41.
 Wetterer J. Handbuch der Röntgen- und Radiumtherapie. Band I. Pgs. 226-9.
- 27- Lossen H. Über Ergebnisse unserer Materialiensammlung der Unfälle und Schäden in Reichsdeutschen Röntgenbetrieben. Acta Radiol 1927;8:345-62. Zie: Pg. 347.
- 28- Glasser O. Pg. 222, 2e kolom, 2e alinea.
- 29- Zie:
 Russ S. The Effect of X-rays on Different Wave-Lengths upon Some Animal Tissues. Lancet 1923;2:637-40.
 Wood FC. Effects on Tumors of Radiation of Different Wave Lengths. Am J Roentgenol 1924;12:474-82.
 Holthusen H. Biologische Dosierung der Röntgenstrahlen mit Ascariseiern. Klin Wochenschr 1924;3:185-6.
 Packard C. Measurement of Quantitative Biological Effects of X-rays. J Cancer Research 1926;10:319-21.
- 30- Zie: Dessauer F. Grundlagen und Messmethoden der Tiefentherapie mit Röntgenstrahlen. Arch Gynäk 1919;11:209-313. Zie: Pg. 269.
- 31- Glasser O. Pg. 223, 2e kolom, 2e alinea.
- 32- Quimby EH, Taylor LS. Measurement of roentgen-ray quantity.
 In: Glasser O, Quimby EH, Taylor LS, Weatherwax MA, Morgan RH. Physical foundations of radiology. Third edition. New York: Paul Hoeber Inc., Medical Division of Harper & Brothers, 1961. Pgs. 225-239. Zie: Pg. 227, 4e alinea.
- 33- Zie: Quimby EH. The history of dosimetry in roentgen therapy. Am J Roentgenol 1945;54:668-703. Pg. 690, 2e kolom, 2e alinea.
- 34- Zie: Wintz H, Rump W. Das Roentgenphotometer. Strahlentherapie 1926;22:444-50.

- 35- Zie: Röntgen WC. Über eine neue Art von Strahlen. Mitteilung II. Sitzgsber Physikal-med Gesellschaft (Würzburg); 1896:11-19.
- 36- Villard P. Instruments de mesure à lecture directe pour les rayons. Substitution de la méthode électrométrique aux autres méthodes de mesure en radiologie. Scleromètre et quantimètre. Arch d'électric méd Bordeaux 1908;16:692.
- 37- Szilard B. Sur un nouvel appareil pour toutes les mesures de radioactivité. Arch d'électric méd Bordeaux 1914;24:28.
- 38- Zie:
Duane W. X-rays and Gamma-rays. Read before the Cleveland meeting of the American Roentgen Ray Society, 1914. The Scientific Basis of Short Wave Length Therapy. Am J Roentgenol 1922;9:781-91.
Duane W. Measurement of roentgenradiation by means of an ionization chamber and galvanometer. Am J Roentgenol 1922;9:467-9.
- 39- Zie: Regato JA del. William Duane. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1978;4:717-29. Pg. 725, 1e kolom, 3e alinea.
- 40- Zie: Langendorff H, Schulze R. Walter Friedrich (1883-1968). Strahlentherapie 1968;136:765-6.
- 41- Zie:
Friedrich W, Glasser OA. Untersuchungen und Betrachtungen über das Problem der Dosimetrie. Strahlentherapie 1923;14:362-88.
Stern S. Intensive X-ray therapy as seen practiced in the clinics in Europe. Am J Roentgenol 1921;8:741-5.
- 42- Zie:
Holthusen H. Über die Bedingungen der Röntgenstrahlenenergiemessungen bei verschiedenen Impulsbreiten auf luftelektrischem Wege. Fortschr Geb Röntgenstr 1918-19;26:211-31.
Glasser O. Newer investigations of the problem of roentgen-ray dosage. Am J Roentgenol 1923;10:1-5.
- 43- Zie:
Glasser O. Pg. 224, 2e kolom, 4e alinea.
Behnken H. Die Eichung von Dosimetersn in absolutem Masse in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Fortschr Geb Röntgenstr 1924;32:92-4.
Failla G. Criteria for the design of a standard ionisation chamber. Am J Roentgenol 1929;21:47-63.
- 44- Zie voor enkele biografische gegevens van Hermann Behnken (1889-1945): Jaeger RG. In memoriam Hermann Behnken, geb. am 30.9.1889 in Hamburg, gefallen Anfang Mai 1945 in Berlin. Strahlentherapie 1970;139:113-115.
Zie voor een gedetailleerde beschrijving van de standaard ionisatiekamer: Glasser O. Radiation-measuring instruments. In: Glasser O, Quimby EH, Weatherwax JL, Morgan RH. Physical foundations of radiology. New York: Paul Hoeber Inc., Medical Division of Harper & Brothers, 1961. Pgs. 187-224. Zie: Pgs. 187-92.
- 45- Nationale laboratoria, waar standaarddosimeters werden geïnstalleerd, waren onder andere: National Bureau of Standards, Washington D.C.; National Physical Laboratory, Londen; Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Berlijn; Service d'Étallonnage de l'Hôpital St. Antoine, Parijs. In Nederland bevond de standaarddosimeter zich na de Tweede Wereldoorlog in het Rotterdamsch Radiotherapeutisch Instituut.
Zie:
Anonymus. Roentgen-Ray Standards and Units. Am J Roentgenol 1934;31:815-18.
Somerswil A. De standaarddosimeter te Rotterdam. Ned Tijdschr Geneesk 1949;93II:1655-6.
- 46- Zie: Szilard B. Pg. 28.
- 47- Zie:

- Fricke H, Glasser O. A theoretical and experimental study of the small ionization chamber. *Am J Roentgenol* 1925;13:453-61.
- Glocker R, Kaupp E. Über eine in Bezug auf die R-Einheit von der Qualität der Strahlung unabhängige Fingerhutkammer und über die Messung der Streu-zusatzdosis im Wasserphantom I. *Strahlentherapie* 1926;23:447-62.
- Glocker R, Kaupp E. Über eine in Bezug auf die R-Einheit von der Qualität unabhängige Fingerhutkammer und über die Messung der Streu-zusatzdosis im Wasserphantom II. *Strahlentherapie* 1927;24:517-23.
- Mayneord WV. The measurement in "r" units of the gamma-rays from radium. *Brit J Radiol* 1931;4:693-710.
- 48- Glasser O. Pg. 225, 1e kolom, 1e alinea.
- 49- Zie voor het Mekapion:
 Strauss S. Das "Mekapion", der integrierende Röntgendosiszähler mit Selbstkontrolle. *Strahlentherapie* 1927;24:348-64.
 Strauss S. Praktische Dosimetrie mit dem Mekapion. *Strahlentherapie* 1927;24:752-6.
 Hirsch H. Das Mekapiondosimeter im praktischen Röntgenbetriebe. *Strahlentherapie* 1927;26:207-210.
 Strauss S. Der Dosiszähler "Mekapion" und seine Messgenauigkeit. *Strahlentherapie* 1927;26:200-206.
 Zie voor de extrapolatiekamer:
 Glasser O. Radiation-measuring instruments.
 In: Glasser O, Quimby EH, Weatherwax JL, Morgan RH. *Physical foundations of radiology*. New York: Paul Hoeber Inc., Medical Division of Harper & Brothers, 1961. Pgs. 187-224. Zie: Pgs. 206-8.
- 50- Glasser O. Pg. 225, 2e kolom, 4e alinea.
- 51- Zie:
 Dessauer F, Vierheller F. Über die Zerstreung von Röntgenstrahlen im Wasser. *Zeitschr Phys* 1921;4:131-45.
 Fricke H, Glasser O. Studies on the physical foundations of roentgen-ray therapy. *Am J Roentgenol* 1924;11:435-42.
 Stenström W, Reinhard M. Intensitätsverteilung von Röntgenstrahlen im Wasserphantom. *Strahlentherapie* 1926;23:88-106.
 Weatherwax JH, Leddy ET. Standardization of ionization measurements of intensity and measurements of scattered and secondary X-rays effective in producing an erythema. *Am J Roentgenol* 1923;10:488-93.
- 52- Zie bijvoorbeeld: Gunsett A. Les unités quantitométriques dans la pratique de la roentgentherapie. État actuel de la question. *J Radiol Électr* 1927;11:353-81.
- 53- Zie: Murdoch J, Stahel E. Étude comparative de deux unités dosimétriques des rayons Roentgen. l'R français (Solomon) et l'R allemand (Behnken). In: Wetterer J. *Internationale Radiotherapie*. Band II. 1926-1927. Darmstadt: L. C. Wittich Verlag, 1927. Pgs. 42-46.
- 54- Zie: Anonymus. Sitzung der von der Deutschen Röntgengesellschaft eingesetzten Kommission zwecks Schaffung eines Standard-Instrumentes für die Röntgenstrahlenmessung am 21. Oktober 1923 in Göttingen. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1923-1924;31:483-7.
- 55- Zie bijvoorbeeld: Holthusen H. Bericht über die achte Sitzung der Standardisierungskommission der Deutschen Röntgengesellschaft in Bonn a. Rh. vom 29. Mai 1925. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1925;33:643-5. Pg. 644.
- 56- Zie: Behnken H. Die Absolutbestimmung der Dosiseneinheit "1 Röntgen" in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. *Strahlentherapie* 1927;26:79-100.
- 57- Coliez R. Action biologique des rayons X et des corps radioactifs. In: Laquerrière A, Delherm L. *Traité d'électro-radiothérapie*. Tome premier. Paris: Masson et cie, 1938. Pgs. 329-86. Zie: Pg. 375, 2e en 3e alinea.
- 58- Gunsett A. Pg. 357.

- 59- Murdoch & Stahel. Pg. 45, 1e alinea.
- 60- Zie: Schroeder-Gudehus B. Challenge to Transnational Loyalties: International Scientific Organizations after the First World War. Science Studies 1973;3:93-118. Zie: Pgs. 94-99.
- 61- Ibidem. Pg. 105, 2e alinea.
- 62- Ibidem. Pg. 104, 2e alinea.
- Hongarije participeerde vanaf 1927 in de International Research Council (IRC), Bulgarije vanaf 1934 in de International Council of Scientific Unions (ICSU), de opvolger van de IRC). Duitsland en Oostenrijk wilden niet meteen aan de IRC deelnemen; nadat in 1933 de nazi's aan de macht waren gekomen, was deelname voor de Duitse onderzoekers onmogelijk geworden. Oostenrijk had steeds de Duitse houding gevolgd. Pas na de Tweede Wereldoorlog zouden deze landen aan de ICSU gaan deelnemen: Oostenrijk in 1949, de BRD in 1952 en de DDR in 1961. Zie: Cock AG. Chauvinism and Internationalism in Science: The International Research Council 1919-1926. Notes Rec Roy Soc Lond 1983;37:248-88. Pg. 268.
- 63- Groot-Brittannië en de Verenigde Staten hadden al spoedig na de oprichting van de International Research Council in 1919 een mildere houding tegenover Duitsland aangenomen en dit gold in zekere zin ook voor de onderzoekers uit deze beide landen; dit in tegenstelling tot de Franse en Belgische onderzoekers. Het initiatief om weer internationale radiologische congressen te organiseren, kwam van een groep Britse radiologen. Dit verklaart waarom het eerste naoorlogse radiologencongres in Londen werd gehouden. Het Britse initiatief werd overigens gesteund door de nestor van de Franse radiologie, Antoine Béclère. Zie: Schroeder-Gudehus B. Pgs. 102-103.
Regato JA del. Antoine Béclère. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1978;3:1069-79. Pg. 1075, 1e kolom, 2e alinea.
- 64- Holthusen H. Erster Internationaler Radiologen-Kongress. Fortschr Geb Röntgenstr 1925;33:797-800. Zie: Pg. 797, 1e alinea.
- 65- De op het congres ingestelde commissie bestond uit zes Britse fysici; haar opdracht was in eerste instantie afgevaardigden uit verschillende landen te kiezen, om daarna met deze personen een oplossing voor het probleem van de dosiseenheden uit te werken. Blijkbaar wilde (of durfde) men op het congres zelf de discussie over wie er in deze commissie zitting moesten nemen niet aan. In deze commissie, die eerst 'International X-Ray Unit Committee' werd genoemd, maar later 'International Commission on Radiological Units' (ICRU), kregen onder anderen de Duitsers Behnken en Holthusen en de Fransman Solomon zitting. Zie: Regato JA del. Antoine Béclère. Pg. 1075, 1e kolom, 2e alinea en Pg. 1077, 2e kolom, 3e en 4e alinea.
- 66- Holthusen H. Erster Internationaler Radiologen-Kongress. Pg. 797, 2e alinea.
- 67- Ibidem. Pg. 800, 8e alinea.
- 68- Aan dit congres namen 964 personen deel uit 42 landen. De grootte van een aantal nationale delegaties was als volgt: Duitsland 218, Groot-Brittannië 77, Frankrijk 27, Verenigde Staten 113, België 14, Italië 35, Nederland 23, Denemarken 21, Oostenrijk 16, Polen 28, Tsjecho-Slowakije 24 en Noorwegen 13 personen. De Franse delegatie was opvallend klein en qua grootte vergelijkbaar met delegaties uit veel kleinere landen, zoals Nederland en Denemarken, die in vergelijking met Frankrijk in de internationale radiologie geen rol van betekenis speelden. De grote Duitse delegatie zou onder andere verklaard kunnen worden uit het feit, dat Zweden gastland was: dit land had zich al vanaf 1922 binnen de International Research Council ingezet voor opheffing van de 'boycot' en had in 1928 gedreigd uit deze organisatie te stappen, als niet meer werd gedaan om Duitsland en Oostenrijk in de IRC te betrekken. De kleine Franse delegatie zou misschien kunnen samenhangen met de reeds op voorhand verwachte over-

- duidelijke aanwezigheid van de Duitsers. Op het congres was overigens geen sprake van anomisiteit tussen beide delegaties. Zie:
Renander M. Catalogue des Portraits des Membres du Deuxième Congrès International de Radiologie, Stockholm 23-27 Juillet 1928. Stockholm: A.-B. Hasse W. Tullbergs Boktryckeri, 1928.
- Zie voor het 'dreigement' van Zweden: Cock AG. Pg. 270, 1e alinea.
- 69- Zie: Behnken H. Zur Frage der Röntgendosisseinheit. Strahlentherapie 1928;29:192-8.
- 70- Zie: Behnken H. Bemerkung zu der vorstehenden Mitteilung von Dr. I. Solomon. Strahlentherapie 1928;29:198-9.
- 71- Zie: Siegbahn M, Owen EA, Holthusen H. Report from International X-ray Unit Committee. Am J Roentgenol 1928;20:470-71.
- 72- Zie:
Attix FH, Roesch WC. Radiation dosimetry. Volume I. New York and London: Academic Press, 1968. Pgs. 6-18.
Parker HM, Roesch WC. Units, Radiation: Historical development.
In: Clark GL. The encyclopedia of x-rays and gamma rays. New York: Rienhold Publishing Corporation, 1963. Pgs. 1102-7.
- 73- Glasser O. Pg. 224, 2e kolom, 3e alinea.
- 74- Attix & Roesch. Pg. 8.
- 75- Zie: Albers-Schönberg. Die Röntgentechnik. Band I. Hamburg: Lucas, Gräfe & Sillem, 1919. Pgs. 106-108.
- 76- De Berlijnse röntgenarts Max Levy-Dorn betoogde in 1903:
'Die Hand des Röntgenologen darf nur ausnahmsweise als Testobjekt dienen. Der Patient, ein Begleiter desselben oder irgend einer, der selten in der Nähe des Röntgenapparats kommt, wird ihm gern Hilfe leisten. Das einfachste ist aber, einen verhüllten Knochen zu benutzen, der als Testobjekt vollkommen ausreicht...'
Zie: Levy-Dorn M. Schutzmassregeln gegen Röntgenstrahlen und ihre Dosierung. Deutsch med Wochenschr 1903;29:921-4. Pg. 923, 2e kolom, 7e alinea.
Zie ook:
Ratkóczy N. Geschichtliches über Strahlenschädigung und Strahlenschutz. Strahlentherapie 1971;141:311-20;425-38. Pg. 431, 1e kolom, 2e en 3e alinea.
Beck C. Zum Selbstschutz bei der Röntgenuntersuchung. Münch med Wochenschr 1903;50:1435.
- 77- Contremoulins G. Recherche d'une unité de mesure pour la force de pénétration des rayons X et pour leur quantité. Compt Rend Acad Sci 1902;134:649.
- 78- Guilleminot H. Nouveau quantitomètre pour rayons X. Compt Rend Acad Sci 1907;145:711.
- 79- Zie:
Béclère A. La mesure indirecte du pouvoir de pénétration des rayons Roentgen à l'aide du spintermètre. Bull de l'Assoc Franc d'Électrol 1900;7:44-7.
Zie ook: Werner. Journallitteratur. Fortschr Geb Röntgenstr 1899-1900;3:226-30.
- 80- Albers-Schönberg. Pgs. 106-108.
- 81- Glasser O. Pg. 223, 1e kolom, 1e alinea.
- 82- Zie:
Albers-Schönberg. Pgs. 108-109.
Levy-Dorn. Heinz Bauer. Fortschr Geb Röntgenstr 1915-1916;23:200-1.
- 83- Zie voor enige biografische gegevens over Bernard Walter: Fischer I. Biographisches Lexikon der hervorragenden Ärzte der letzten fünfzig Jahre. München-Berlin: Urban & Schwarzenberg, 1962. Pgs. 1639-40.
- 84- Walter B. Zwei Härteskalen für Röntgenröhren. Fortschr Geb Röntgenstr 1902-1903;6:68-74.
- 85- Albers-Schönberg. Pgs. 109-116.

- 86- Zie bijvoorbeeld: Meyer WH. The measurement of roentgen-ray quality by means of the photographic determination of the half value layer. Am J Roentgenol 1926;26:26-9.
- 87- Quimby EH, Taylor LS. Measurement of roentgen-ray quality.
In: Glasser O, Quimby EH, Taylor LS, Weatherwax MA, Morgan RH. Physical foundations of radiology. Third edition. New York: Paul Hoeber Inc., Medical Division of Harper & Brothers, 1961. Pgs. 240-63. Zie: Pg. 241, 2e alinea.
- 88- Zie:
Taylor LS, Singer G, Stoneburner CF. A basis for the comparison of roentgen rays generated by voltages of different wave form. Am J Roentgenol 1933;30:368-79.
Taylor LS, Singer G, Stoneburner CF. Effective applied voltage as an indicator of the energy emitted by a roentgen-ray tube. Am J Roentgenol 1933;30:221-8.
Taylor LS, Singer G. Standard absorption curves for specifying the quality of X-radiation. Radiology 1934;22:445-60.

Hoofdstuk VII.

- 1 - Zie bijvoorbeeld: Ewing J. Early experiences in radiation therapy: Janeway Memorial Lecture. Am J Roentgenol 1934;31:153-63.
- 2 - Zie bijvoorbeeld:
Matagne. La radium thérapie du lupus. Journal de Radiologie 1914;8:59-61.
Butcher WD. Der therapeutische Wert des Radiums. Deutsch med Wochenschr 1911;37:2051.
- 3 - Zie bijvoorbeeld:
Anonymus. The therapeutics of radium. BMJ 1913;1:183-4.
Anonymus. Discussion on the effect of radio-active substances and radiations upon normal and pathological tissues. BMJ 1913;2:460-62.
- 4 - Zie: Fowler F. The technique of X-ray treatment of cancer. BMJ 1913;2:912-15.
- 5 - Zie: Francois. De la radiothérapie dans quelques affections de la peau (communication). Journal de Radiologie 1914;8:133-7.
- 6 - Met 1 milligram-uur werd de hoeveelheid straling bedoeld, die 1 milligram radium in 1 uur uitzond. Met 1 millicurie-uur werd de hoeveelheid straling bedoeld, die 1 millicurie radium in 1 uur uitzond. (De eenheid Curie was tot 1977 de eenheid van activiteit van een radioactieve substantie: 1 Curie = 3.7×10^{10} per seconde)
Zie ook: Quimby EH. The specification of dosage in radiumtherapy. Am J Roentgenol 1941;45:1-17. Pg. 2, 1e kolom, 1e alinea.
- 7 - Zie bijvoorbeeld:
Regaud C, Ferroux R. Doses et durée d'application en radiumthérapie; procédés de notation et de calcul; table pour l'emploi de l'émanation du radium. J Radiol Électrol 1918-1919;3:481-500.
- 8 - Zie: Anonymus. Londen-Radium. Ned Tijdschr Geneesk 1910;54II:1672.
- 9 - Zie: Quimby EH. Pg. 2, 2e kolom, 1e alinea.
- 10- Russ S. Suggestion for new unit in radiotherapy. Arch Radiol Electr 1918;23:226.
- 11- Zie bijvoorbeeld:
Zuppinger A. Radiobiologische Untersuchungen an Ascariseiern. Strahlentherapie 1928;28:639-758.
Braun R. Vergleich der biologischen Wirkung von Röntgen- und Gammastrahlen. Strahlentherapie 1930;38:11-18.
Exner FM, Packard C. Biological measurement of radium gamma rays. Radiology 1935;25:391-402.
Henshaw PS, Francis DS. Biological measurement of gamma rays in "equivalent roentgens". Radiology 1936;27:569-83.
- 12- Quimby EH. Pgs. 2-3.

- 13- Ibidem. Pg. 3, 1e kolom, 2e alinea.
- 14- Zie bijvoorbeeld:
 Quimby EH. Pg. 3, 2e kolom, 1e alinea.
 Mazérès G. Contribution à la radiumthérapie. *J Radiol Électrol* 1924;8:102-6.
 Hoed D den, Stoel G. Intensity measurements of radium-rays. *Acta Radiol* 1929;10:442-61.
 Holthusen H, Hamann A. Radiumdosimetrie auf photometrischem Wege. *Strahlentherapie* 1932;43:667-84.
- 15- Quimby EH. Pg. 5, 2e kolom, 2e alinea.
- 16 - Otto Glasser werkte op dat moment nog bij Walter Friedrich in Duitsland. Later emigreerde hij naar de Verenigde Staten en werkte hij als fysicus bij de Cleveland Clinic Foundation, Cleveland, Ohio, waar hij onder andere meewerkte aan de ontwikkeling van de condensator dosimeter.
 Zie voor het onderzoek van Friedrich en Glasser:
 Friedrich W, Glasser O. Über die Dosenverhältnisse bei inkorporaler Radium- und Mesothoriumtherapie. *Strahlentherapie* 1920;11:20-34.
- 17 - Zie bijvoorbeeld:
 Kessler E, Sluys F. Die räumliche Verteilung der Gammastrahlung und ihre Messung für therapeutische Zwecke. *Strahlentherapie* 1928;29:385-402.
 Stahel E. Eine Mikro-Ionisationkammer für Röntgen- und Radiumstrahlen. *Strahlentherapie* 1929;31:582-95.
- 18- Quimby EH. Pg. 6, 1e kolom, 2e alinea.
- 19- Zie: Quimby EH. Effect of size of radium applicators on skin doses. *Am J Roentgenol* 1922;9:671-83.
- 20- Zie bijvoorbeeld:
 Sievert RM. Die γ -Strahlungsintensität an der Oberfläche und in der nächsten Umgebung von Radiumnadeln. *Acta Radiol* 1930;11:249-301.
 Mayneord WV. Distribution of radiation around simple radioactive sources. *Brit J Radiol* 1932;5:677-716.
- 21- Zie:
 Paterson R, Parker HM. A dosage system for gamma-raytherapy. Part I. *Brit J Radiol* 1934;7:592-612.
 Parker HM. A dosage system for gamma-raytherapy. Part II. *Brit J Radiol* 1934;7:612-32.
- 22- Zie: Quimby EH. Determination of dosage for long radium or radon needles. *Am J Roentgenol* 1934;31:74-91.
- 23 - Zie bijvoorbeeld: Sievert RM. Über die Anwendung der Kondensatorkammer für sowohl Röntgen- wie γ -Strahlenmessungen. *Acta Radiol* 1934;15:193-201.
- 24- Zie:
 Quimby EH. Intensity of radiation in vicinity of filtered radon implants. *Radiology* 1928;10:365-76.
 Quimby EH, Martin HE. Basis for dosage determination in interstitial irradiation. *Am J Roentgenol* 1929;21:240-9.
 Martin HE, Quimby EH, Pack GT. Calculations of tissue dosage in radiation-therapy. *Am J Roentgenol* 1931;25:490-506.
 Quimby EH. Physical factors in interstitial radium therapy. *Am J Roentgenol* 1935;33:306-16.
- 25- Quimby EH. The specification of dosage in radiumtherapy. Pg. 9, 1e kolom, 5e alinea en 2e kolom, 1e alinea.
- 26- Zie:
 Paterson R. A dosage system for interstitial radium therapy. Part I. Clinical aspects. *Brit J Radiol* 1938;11:252-66.
 Parker HM. A dosage system for interstitial radiumtherapy. Part II. Physical aspects. *Brit J Radiol* 1938;11:313-43.

- 27- Zie bijvoorbeeld: Lauritsen CC. Geometrical factors in measurement of radiation in roentgens. Brit J Radiol 1938;11:471-8.
- 28- Friedrich W. Measurement of gamma-rays. Am J Roentgenol 1938;40:69-79.
- 29- White TN, Marinelli LD, Failla G. Measurement of gamma radiation in roentgens. Am J Roentgenol 1940;44:889-903.
- 30- Quimby EH. The specification of dosage in radiumtherapy. Pg. 12, 1e kolom, 1e alinea.
- 31- Glasser O. Radiation-measuring instruments.
In: Glasser O, Quimby EH, Weatherwax JL, Morgan RH. Physical foundations of radiology. New York: Paul Hoeber Inc., Medical Division of Harper & Brothers, 1961. Pgs. 187-224. Zie: Pgs. 209-10.
- 32- Quimby EH. The specification of dosage in radiumtherapy. Pg. 12, 1e kolom, 2e en 3e alinea.
- 33- Zie: Stenstrom W, Quimby EH, Pendergrass EP. Report of the Research and Standardization Committee of the American Radium Society. Am J Roentgenol 1940;43:118.
- 34- Zie bijvoorbeeld: Roberts JE. Dosage in clinical practice.
In: Rock Carling E, Windeyer BW, Smithers DW. British practice in radiotherapy. London: Butterworth & Co Publishers Ltd, 1955. Pgs. 9-11.
- 35 - Coliez R. Action biologique des rayons X et des corps radioactifs.
In: Laquerrière A, Delherm L. Traité d'électro-radiothérapie. Tome premier. Paris: Masson et cie, 1938. Pgs. 329-86. Zie: Pg. 382, 3e alinea.

Hoofdstuk VIII.

- 1 - Zie: Gocht H. Die Schädigungen, welche durch Röntgenstrahlen hervorgerufen werden, ihre Verhütung, Behandlung und forensische Bedeutung. Münch med Wochenschr 1909;41:18-22;80-2. Pg. 20, 1e kolom, 17e alinea.
- 2 - Zie: Gohl JG. Over de behandeling van ernstige verbrandingen veroorzaakt door X-stralen. Ned Tijdschr Geneeskd 1912;56l:867-71.
- 3 - Zie: Holland CT. Radiology in clinical medicine and surgery. BMJ 1917;l:285-8. Pg. 285, 2e kolom, 5e alinea.
- 4 - Gocht H. Pg. 22, 1e kolom, 2e alinea.
- 5 - Holland CT. Pg. 285, 2e kolom, 5e alinea.
- 6 - Gocht H. Pg. 20, 1e kolom, 18e alinea en 2e kolom, 1e alinea.
- 7 - Zie: Hübner. Röntgenulcus. Münch med Wochenschr 1909;41:424-5.
- 8 - Lexer. Röntgenulcus. Münch med Wochenschr 1919;66:338.
- 9 - Halberstaedter L, Tugendreich J. Die Gefahr der Hautschädigung bei der Röntgen-diagnostik. Berlin klin Wochenschr 1920;57:1091-2.
- 10- Zie:
Schmitt. Schwere Röntgenverbrennungen. Münch med Wochenschr 1922;69:1200-1.
Teichmann. Röntgenverbrennung. Münch med Wochenschr 1923;70:379.
- 11- Krause P. Wie schützt der Arzt bei Durchleuchtungen seine Kranken und sich selber vor Schädigungen durch Röntgenstrahlen. Münch med Wochenschr 1923;70:985-6.
- 12- Lossen H. Über Ergebnisse unserer Materialiensammlung der Unfälle und Schäden in Reichsdeutschen Röntgenbetrieben. Acta Radiol 1927;8:345-62. Zie: Pg. 347.
- 13- Strauss O. Schädigungen durch Röntgen- und Radiumstrahlen.
In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Erster Band. Wissenschaftliche Grundlagen. Berlin: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 979-1060. Zie: Pg. 985, 2e alinea.

- 14- Zie: Trendelenburg W. Die Adaptationsbrille, ein Hilfsmittel für Röntgen-
durchleuchtungen. Ned Tijdschr Geneesk 1916;60:864.
- 15- Zie: Ganter G. Über ein einfaches Adaptationsverfahren für Röntgenzwecke.
Münch med Wochenschr 1926;73:1917.
- 16- Strauss O. Pg. 984, 3e alinea.
- 17- Schubert M. Über Röntgenschädigungen nach diagnostischer Anwendung von
Röntgenstrahlen. Klin Wochenschr 1926;5:2302-4.
- 18- Coliez R. Action biologique des rayons X et des corps radioactifs.
In: Laquerrière A, Delherm L. Traité d'électro-radiothérapie. Tome Premier. Paris:
Masson et cie, 1938. Pgs. 329-86. Zie: Pg. 371, 2e alinea.
- 19- Zie bijvoorbeeld:
Doornkaat Koolman M ten. Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung der
in der Diagnostik verabfolgten Röntgenstrahlendosen. Klin Wochenschr
1930;9:169.
Neff ThC. Toleranzdosen in der Röntgendiagnostik. Klin Wochenschr
1930;9:1739.
- 20- Zie bijvoorbeeld:
Pusey WA. Roentgen-ray Therapy twenty years ago. JAMA 1923;81:1257-60.
Pg. 1259, 1e kolom, 1e alinea.
Wetterer J. Die Entwicklung der Röntgentherapie vom Beginn der Röntgenära bis
zur Begründung der "Internationalen Radiotherapie".
In: Wetterer J. Internationale Radiotherapie. Band II. 1926-1927. Darmstadt: L. C.
Wittich Verlag, 1927. Pgs. 964-90. Zie: Pg. 966, 1e alinea.
- 21- Wetterer J. Handbuch der Röntgen- und Radiumtherapie. Band I. München und
Leipzig: Otto Nemnich Verlag, 1919. Pgs. 396-7.
- 22- Ibidem. Pg. 396, 2e alinea.
- 23- Zie: Belot J. La Röntgenologie en France. Fortschr Geb Röntgenstr
1906;10:87-94.
- 24- Wetterer J. Handbuch der Röntgen- und Radiumtherapie. Band I. Pg. 397, 2e, 3e
en 4e alinea.
- 25- Zie: Perthes G. Versuch einer Bestimmung der Durchlässigkeit menschlicher
Gewebe für Röntgenstrahlen mit Rücksicht auf die Bedeutung der Durchlässigkeit
der Gewebe für die Radiotherapie. Fortschr Geb Röntgenstr 1904-1905;8:12-25.
- 26- Wetterer J. Die Entwicklung der Röntgentherapie vom Beginn der Röntgenära bis
zur Begründung der "Internationale Radiotherapie". Pgs. 968-9.
- 27- Ibidem. Pgs. 973-6.
- 28- Gocht. Schädigungen durch Röntgenstrahlen. Münch med Wochenschr
1908;40:2104.
- 29- Anonymus. Gerichtliche Entscheidungen. Schädigung durch Röntgenstrahlen.
Münch med Wochenschr 1908;40:2215.
- 30- Zie:
Gocht. Die Schädigungen, welche durch die Röntgenstrahlen hervorgerufen
werden, die Vermeidung und Behandlung, schliesslich die forensische Bedeutung
derselben. Münch med Wochenschr 1908;40:2255.
Gocht. Röntgenschädigungen. Münch med Wochenschr 1909;41:882-3.
- 31- Ewing J. Early experiences in radiation therapy. Am J Roentgenol
1934;31:153-63. Zie: Pg. 160, 1e kolom, 2e alinea.
- 32- In zekere zin werden in deze beginperiode door het luakraak toepassen van een
therapie, in casu röntgentherapie, waarvan men nog maar weinig wist, patienten
als proefkonijn gebruikt. Dit is overigens in de geschiedenis van de geneeskunde
geen onbekend verschijnsel. Zie bijvoorbeeld: Pappworth MH. Human guinea pigs.
Experimentation on man. London: Routledge & Kegan Paul, 1967. Zie in het
bijzonder: Pgs. 93-101.
- 33- Zie: Nobele J de. Un cas de réaction tardive consécutive à des applications de
radiothérapie. Journal de Radiologie 1914;8:103-106.

- 34- Zie: Belot, Nahan. Radiothérapie et radiumthérapie dans le traitement du lupus vulgaire. *Journal de Radiologie* 1914;8:41-57. Zie met name: Pgs. 43-5.
- 35- Zie voor de 'méthode douce' bijvoorbeeld:
Belot & Nahan. Pgs. 45-6.
Henrard E. Les rayons X et le radium en gynécologie. *Journal de Radiologie* 1914;8:93-94.
- 36- De Parijse radiologen Belot en Nahan stelden in april 1914 ten aanzien van de 'méthode destructive':
'Cette méthode, à cause de ses dangers et de ses résultats problématiques, est complètement à rejeter. L'accord, croyons-nous, est aujourd'hui à peu près complet sur ce point'. Zie: Belot & Nahan. Pg. 45, 4e alinea.
- 37- Zie: Wetterer J. *Handbuch der Röntgen- und Radiumtherapie*. Band II. München-Leipzig: Otto Nemnich Verlag, 1919. Pg. 279.
- 38- Wintz H, Rump W. Die physikalischen und technischen Grundlagen der Röntgenstrahlentherapie.
In: Gauss C.J. *Die Strahlentherapie in der Gynäkologie*. Erster Teil. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1929. Pgs. 257-70. Zie: Pg. 258, 1e, 2e en 3e alinea.
- 39- Zie:
Wintz & Rump. Pg. 263, 1e alinea.
Zie voor enkele biografische gegevens van Carl Gauss: Fischer I. *Biographisches Lexikon der hervorragenden Ärzte der letzten fünfzig Jahre*. München-Berlin: Urban & Schwarzenberg, 1962. Pgs. 484-5.
- 40- Lossen H. Pgs. 347-8.
- 41- Bardachzi F. Über die zweckmässige Behandlung der Myome und hämorrhagischen Metropathien mit Röntgenstrahlen. *Strahlentherapie* 1926;21:395-405.
- 42- Zie: Friedrich W, Krönig B. Strahlenbehandlung der Myome in einer einmaligen Sitzung. *Münch med Wochenschr* 1915;62:1669-70.
- 43- De vrouwenarts Ludwig Seitz was in 1910 benoemd tot hoogleraar-directeur van de Universitäts-Frauenklinik te Erlangen. Hij had zich tot dan toe niet met radiotherapie bezig gehouden, maar raakte door toedoen van Wintz en door de instelling van een Zentralröntgeninstitut in zijn kliniek betrokken bij de ontwikkeling van een nieuwe bestralingsmethode.
Zie voor enkele biografische gegevens van Ludwig Seitz: Fischer I. Pg. 1437.
Zie voor de invloed van de Eerste Wereldoorlog op het ontstaan van de Erlangse Bestralingstechniek en voor biografische gegevens van Hermann Wintz: Flaskamp W, Hermann Wintz. *Strahlentherapie* 1949;79:3-10.
- 44- Zie: Seitz L, Wintz H. Über die Beseitigung von Myom- und Wechselblutungen in einmaliger Sitzung durch Zinkfilterintensivbestrahlung. *Münch med Wochenschr* 1916;63:1785-7.
- 45- Zie bijvoorbeeld: Lammers H. Uitkomsten, door radiotherapie verkregen, bij kanker der vrouwelijke borstklier volgens verschillende methodes gedurende het tienjarige tijdperk 1915 tot 1925. *Ned Tijdschr Geneeskd* 1926;70II:1396-1410. Pg. 1396, 1e en 2e alinea.
Radiotherapie had een gunstig effect op de curatieve percentages, die werden behaald in de strijd tegen kanker. De Duitse arts Schäfer behandelde in de jaren 1916-1918 241 patienten met cervixcarcinoom met radium: in 1920 kon hij een genezingspercentage melden van 13,7. Daarnaast behandelde hij 190 soortgelijke patienten met radium- én röntgenstraling en dit leverde een curatief percentage op van 23,7. Hierbij is de kanttekening op haar plaats, dat in deze periode vooral inoperabele patienten door middel van bestraling werden behandeld. In dit licht gezien, waren de resultaten van radiotherapie veelbelovend, ook doordat bestraling in combinatie met operatief ingrijpen de kans op genezing deed stijgen. Bij een groep van 49 patienten met cervixcarcinoom, die in 1913 en 1914 waren behandeld door middel van radiotherapie en chirurgie, stelde Schäfer een vijfjaarsoverleving vast van 36,7% .

- Zie: Schäfer P. Ergebnisse der Bestrahlung mit Radium und Radium und Röntgen kombiniert. Zentralbl Gynäk 1920;44:714-715.
- 46- Zie:
Seitz L, Wintz H. Die ausschliessliche Röntgenbestrahlung des Gebärmutterkrebses, der Röntgen-Wertheim. Münch med Wochenschr 1919;66:1131-4.
Seitz L, Wintz H. Für und wider die Ovarialdosis in einer Sitzung und in einer Serie. Strahlentherapie 1919;9:374-5.
- 47- Zie: Borchardt K. Grundriss der deutschen Wirtschaftsgeschichte. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1985. Pgs. 61-6.
- 48- Zie: Seitz L, Wintz H. Für und wider die Ovarialdosis in einer Sitzung und in einer Serie. Pg. 375, 1e alinea.
- 49- Kouwer BJ. Bestraling in de gynaecologie. Ned Tijdschr Geneesk 1917;61II:861-3. Zie: Pg. 861, 4e alinea.
- 50- Ibidem. Pg. 862, 2e alinea.
- 51- Het is op zich al iets bijzonders, dat dit Amerikaanse tijdschrift aan een in het Nederlandsch Tijdschrift voor Geneeskunde gestelde kritiek aandacht besteedde. Misschien speelde hierbij een rol, dat Kouwer zware kritiek uitte op een *Duitse* kliniek en haar methoden. Toen de redactie van het American Journal of Roentgenology Kouwers kritiek besprak, waren de Verenigde Staten in oorlog met Duitsland.
Zie: Anonymus. Roentgenotherapy in Gynaecology. Am J Roentgenol 1918;5:201.
- 52- Zie: Heimann F. Schwere Hautschädigung bei Zinkfilterbestrahlung. Zentralbl Gynäk 1918;42:217-20.
- 53- Zie: Franz K. Fall einer Röntgenschädigung. Berlin klin Wochenschr 1917;54:662-3. Zie bijvoorbeeld ook:
Franqué O von. Schwere Darm- und Hautschädigung bei Röntgentiefentherapie mit Schwerfilter. Zentralbl Gynäk 1918;42:1-4.
- 54- Steiger M. Zur Frage der Zinkfilterung bei der Intensivröntgentiefentherapie. Zentralbl Gynäk 1918;42:585-9.
- 55- Zie: Seitz L, Wintz H. Sind Röntgenhautverbrennungen und Darmschädigungen unter Zink und anderen Schwerfilter vermeidbar? Zentralbl Gynäk 1918;42:409-23.
- 56- Ibidem. Pg. 415, 3e alinea.
- 57- Ibidem. Pg. 416, 1e alinea.
- 58- Ibidem. Pgs. 421-2.
- 59- Zie: Heimann F. Zur Frage der Zinkfilterbestrahlung. Zentralbl Gynäk 1918;42:537-8.
- 60- Zie bijvoorbeeld:
Pfahler GE. Clinical results from the newer technique of deep roentgentherapy in malignant diseases. Am J Roentgenol 1921;8:236-8.
Soiland A. Present problems and future prospects of deep roentgentherapy. Am J Roentgenol 1921;8:276-9.
- 61- Zie: Holmes GW. Some remarks on the present status of X-ray therapeutics. Am J Roentgenol 1921;8:522-7.
- 62- Soiland A. Super-radiation and delayed reactions. Am J Roentgenol 1921;8:466-8.
- 63- Zie bijvoorbeeld:
Scott SG. Deep therapy. Arch Radiol Electr 1922-1923;27:87-88.
Knox R. Discussion on deep therapy problems in radiotherapy. Arch Radiol Electr 1922-1923;27:69-87.
- 64- Zie bijvoorbeeld: Fraenkel M. Die Gefahren der Röntgenbestrahlung mit sehr hohen Dosen bei Frauenleiden. Berlin klin Wochenschr 1920;57:884-5.
- 65- Dr. E. Liek uit Danzig beweerde in 1922:

- 'Auch in geordneten und sachverständig geleiteten Betrieben ist die Zahl der Röntgenschädigungen zur Zeit erschreckend gross, besonders gross bei der Tumorbehandlung durch intensive und härteste Bestrahlung.'
- Zie: Liek E. Nochmals zur Frage der Röntgenschädigungen. Deutsch med Wochenschr 1922;48:192-3. Pg. 193, 1e kolom, 8e alinea.
- 66- De Hamburgse radiotherapeut Dr. S. Möller bestreed de opvatting van Liek, maar schreef in 1922 :
'Es kann ruhig zugegeben werden, dass in jedem grösseren Betriebe ab und zu Röntgenschädigungen vorkommen...'.
Zie: Möller S. Zur Frage der Röntgenschädigungen. Deutsch med Wochenschr 1922;48:595-6. Pg. 596, 1e kolom, 4e alinea.
- 67- Zie: Heimann F. Röntgenspätschädigungen. Klin Wochenschr 1923;2:2034-6.
- 68- Zie bijvoorbeeld:
Hahn O. Über Heiserkeit nach Röntgenbestrahlung am Halse. Zentralbl Chir 1919;46:722-3.
Holfelder H. Die Tiefenbestrahlungstechnik an der Schmiedenschen Klinik. Strahlentherapie 1921;12:161-77.
Marchik H. Röntgenschädigung des Kehlkopfes. Monatschr Ohrenh 1921;55:144566.
Wetzel E. Röntgenschädigungen mit und ohne Beteiligung der Haut. Strahlentherapie 1921;12:585-94.
Hering. Kehlkopfnekrose nach Röntgenbestrahlung. Zentralbl Chir 1922;49:990.
Hofmeister F von. Über tödlich verlaufende Röntgenschädigungen des Kehlkopfes. Münch med Wochenschr 1922;69:1687-90.
Haas L. Ueber eine Röntgenschädigung. Wiener klin Wochenschr 1923;36:128-9.
- 69- Zie: Sippel P. Die Gefahren der modernen Röntgenbestrahlung und ihre Verhütung. Münch med Wochenschr 1923;70:455-7. Pg. 456, 1e kolom, 7e alinea.
- 70- Ibidem. Pg. 457, 1e kolom, 8e alinea.
- 71- Zie bijvoorbeeld: König E. Zum Kapitel der Röntgenschädigungen nach Halsbestrahlungen. Münch med Wochenschr 1923;70:558-9.
- 72- Zie: Rothbart L. Ursachen und Verhütung der Röntgenverbrennung. Vorschlag zu einheitlicher Hautbezeichnung im therapeutischen Betriebe. Deutsch med Wochenschr 1922;48:1485.
- 73- Zie: Holz knecht G. Ueber die häufigsten Ursachen der Röntgenschädigungen und ihre Vermeidung. Münch med Wochenschr 1922;69:1597-8. Pg. 1597, 1e kolom, 1e alinea.
- 74- Zie: Holz knecht G. What causes the healing action of Roentgen-Rays? Arch Radiol Electr 1923;28:85-89.
- 75- Holz knecht G. Schädigungsprophylaxe. Strahlentherapie 1927;24:385-411. Zie: Pg. 391, 1e alinea.
- 76- Ibidem. Pg. 388, 3e alinea.
- 77- Zie: Latzko W. Röntgenschäden und Tiefentherapie. Wiener klin Wochenschr 1923;36:195-7.
- 78- Schröder A. Zur Gefährlichkeit der Röntgenbestrahlungen am Halse. Münch med Wochenschr 1923;70:849. Zie: Pg. 849, 1e kolom, 3e alinea.
- 79- Ibidem. Pg. 849, 1e kolom, 4e alinea.
- 80- Sippel P, Jaeckel G. Ueber die Ursachen der Misserfolge der Röntgentherapie bei malignen Neubildungen. Münch med Wochenschr 1923;70:1191-5.
- 81- Zie bijvoorbeeld:
Lacassagne A. C. Regaud (1870-1940). Ann Inst Pasteur 1941;66:181-5.
Regato JA del. Claudius Regaud. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1976;1:993-1001.
- 82- Schwarz G. Dauerbestrahlung mit täglichen kleinen Dosen. Münch med Wochenschr 1914;61:317.
- 83- Zie bijvoorbeeld: Witherbee WD. X-ray treatment of tonsils and adenoïds.

- Am J Roentgenol 1921;8:25-30.
- 84- Zie: Regaud C. Influence de la durée d' irradiation sur les effets déterminés dans le testicule par le radium. *Compt Rend Soc Biol* 1922;86:787-90.
- 85- Zie: Regato JA del. C. Regaud. Pg. 998, 1e kolom, 1e alinea.
Zie ook: Regaud C. La radiosensibilité des neoplasms malins dans ses relations avec la fluctuation de la multiplication cellulaire. *Compt Rend Soc Biol* 1922;86:933-95.
- 86- Zie:
Regaud C. Distribution chronologique rationnelle d' un traitement de cancer épithélial par les radiations. *Compt Rend Soc Biol* 1922;86:1085-8.
Regaud C. Le rythme alternant de la multiplication cellulaire et la radiosensibilité du testicule. *Compt Rend Soc Biol* 1922;86:822-4.
- 87- In de benaming 'gefractioneerde geprottraeerde bestralingsmethode' wees de term 'gefractioneerd' op het feit, dat de totale dosis in kleine fracties werd toegediend. De term 'geprottraeerd' hield in, dat de toediening van deze fracties over een bepaalde tijdsperiode werd gespreid.
Zie: Anonymus. A report of the second international congress of radiology, held in Stockholm, 23rd-27th July 1928. Stockholm: Kungl. Boktryckeriet P.A.Norstedt & Söner, 1929. Pgs. 62-5.
- 88- Zie: Fletcher GH. Regaud Lecture Perspectives on the History of Radiotherapy. *Radiotherapy Oncology* 1988;12:253-71. Pg. 254, 1e kolom, 5e alinea en 2e kolom, 1e alinea.
- 89- Zie: Regato JA del. Henri Coutard. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1987;13:433-443. Pg. 436, 1e kolom, 1e alinea.
Ook de Amerikaanse radioloog Kingery had in 1920 fractionering toegepast in zijn 'saturation method'. Kingery behandelde huidlaesies door een erytheemdosis te appliceren, om daarna door toediening van steeds kleinere doses het huideffect in stand te houden. In datzelfde jaar had de Amerikaanse radioloog Pfahler deze methode toegepast in de behandeling van diepgelegen tumoren. Het grote gevaar van deze methode was, zo erkende ook Pfahler, dat het saturatie proces veel te lang werd volgehouden, waardoor necrose of late degeneratieve veranderingen van de huid konden optreden; de methode werd om deze reden nooit op grote schaal toegepast. Zie:
Kingery LB. Saturation in Roentgen Therapy: Its Estimation and Maintenance. *Arch Dermat Syph* 1920;1:423-6.
Pfahler GE. The saturation method in roentgentherapy as applied to deep seated malignant disease. *Br J Radiol* 1926;31:45-58.
Zie ook: Pfahler GE. The development of roentgen therapy during fifty years. *Radiology* 1945;45:503-21.
- 90- Zie: Coutard H. Die Roentgenbehandlung des epithelischen Krebses der Tonsillengegend. *Strahlentherapie* 1929;33:249-52.
- 91- Zie: Coutard H. Résumé des principes de technique roentgenothérapique des cancers profonds. *Radiophys Radiother* 1930;2:360-83.
- 92- Coutard H. Principles of X-ray therapy of malignant diseases. *Lancet* 1934;2:1-12.
- 93- Pyenson Lewis. Cultural imperialism and exact sciences: German expansion overseas 1900-1930. *Hist Sci* 1982;20:1-43. Zie: Pg. 10, 1e alinea.
- 94- Zie: More Ch. The industrial age. *Economy & Society in Britain 1750-1985*. London & New York: Longman, 1989. Pgs. 221-6.
- 95- Zie: Faulkner HU. *American Economic History*. New York, Evanston and London: Harper & Row Publishers, 1960. Pgs. 603-14.
- 96- Zie: Walther K. Internationale radiologische Beziehungen USA - Deutschland. *Fortschr Röntgenstr* 1963;99:241-5.
- 97- Zie: Stern S. Intensive X-ray therapy as seen practiced in the clinics in Europe. *Am J Roentgenol* 1921;8:741-5.

- 98- Zie: Bonin H. Histoire économique de la France depuis 1880. Paris: Masson, 1988. Pgs. 44-61.
- 99- Shapin S. History of science and its sociological reconstructions. *Hist Sci* 1982;20:157-67. Zie: Pgs. 164-5.
- 100- In 1937 verscheen het 'Ehrenbuch der Röntgenologen und Radiologen aller Nationen' waarin alle tot dan toe aan de gevolgen van stralenschade overleden radiologische werkers met een korte biografische schets werden geëerd. In het boek werden negentig artsen, zes 'röntgenzusters' en eenendertig fysici, chemici, technici en laboranten genoemd, die allen werkzaam waren in Europa. Daarnaast werd een lijst vermeld van negenendertig Amerikaanse röntgenartsen en laboranten, die eveneens het slachtoffer waren geworden van hun beroep. Naast een aantal wereldvermaarde radiologen en fysici, zoals Albers-Schönberg, Holzknecht en Madame Curie, bevatte het Ehrenbuch ook levensbeschrijvingen van tal van nationale coryfeeën, zoals de artsen Levy-Dorn (Duitsland), Hall-Edwards (Groot-Brittannië), Bergonié (Frankrijk), Fischer (Denemarken) en Von Eischer von Thurzóbánya (Hongarije). Onder de overleden röntgenartsen bevond zich één vrouw, de hertogin De Brancas, die jarenlang röntgenologie had gepraktiseerd in Parijs en in 1934 aan de gevolgen van röntgencarcinoom aan de handen was overleden. Zie: Meyer H. Ehrenbuch der Röntgenologen und Radiologen aller Nationen. Berlin und Wien: Urban & Schwarzenberg, 1937. Zie voor de effecten van chronische blootstelling aan straling op werkers en patiënten: Berry RJ. The radiologist as guinea pig: radiation hazards to man as demonstrated in early radiologists, and their patients. *Journal of the Royal Society of Medicine* 1986;79:506-509.
- 101- Zie bijvoorbeeld:
Ratkóczy N. Geschichtliches über Strahlenschädigung und Strahlenschutz. *Strahlentherapie* 1971;141:311-20;425-38. Pg. 319, 2e kolom, 3e alinea.
Jaeger RG. Die historische Entwicklung der Erkenntnisse über Strahlengefährdung und Strahlenschutz in medizinischen Röntgeninstituten in 75 Jahren. *Röntgenpraxis* 1970;23:298-305. Pg. 301, 3e alinea.
- 102- Zie: Brecher R, Brecher E. The rays. A history of radiology in the United States and Canada. Baltimore: The Williams and Wilkins Company, 1969. Pgs. 317-18. Zie voor de aanbevelingen van de ICRP uit 1928:
Anonymus. A report of the second international congress of radiology, held in Stockholm, 23rd-27th July 1928. Pgs. 62-65.
- 103- De Luxemburger François Baclesse (1896-1967) was in 1926 assistent geworden onder Regaud, Lacassagne en Coutard en had zich bezig gehouden met zowel radiodiagnostiek als radiotherapie. In 1936 werd hij benoemd tot hoofd van de afdeling radiodiagnostiek en radiotherapie van de Fondation Curie. Hij nam van Coutard een schat aan gegevens over en werkte diens ideeën verder uit. Zie voor meer biografische gegevens van Baclesse bijvoorbeeld:
Calle R. François Baclesse, M.D. 1896-1967. *Am J Roentgenol* 1968;102:708-9.
Becker J, Kuttig H. François Baclesse 1896-1967. *Strahlentherapie* 1968;135:125.
- 104- Zie: Regato JA del. Henri Coutard. Pg. 436, 2e kolom, 1e alinea.
Zie ook: Coutard H. Roentgentherapy of epitheliomas of the upper air passages. *Laryngoscope* 1936;1:1-8.
- 105- Zie: Regato JA del. Henri Coutard. Pg. 442.
- 106- Wetterer J. Meinungsautausch. Zur Frage der Spätschädigungen in der Röntgentherapie.
In: Wetterer J. Internationale Radiotherapie. Band II. 1926-1927. Darmstadt: L. C. Wittich Verlag, 1927. Pgs. 991-4.
- 107- Eisner. Kohlensäureschneebehandlung bei Röntgenhaut. *Klin Wochenschr* 1927;6:1824.
- 108- Galewsky. Röntgenschädigungen. *Klin Wochenschr* 1929;8:44.

- 109- Anonymus. Gesellschaft für Natur- und Heilkunde Dresden. Sitzung vom 29. Oktober 1928. *Klin Wochenschr* 1929;8:89.
- 110- Groedel FM, Lossen H. Die indirekten Röntgenverbrennungen (Verbrennungen durch Kumulation und Kombination). *Klin Wochenschr* 1928;7:2383-6.
- 111- Groedel FM, Lossen H. Weitere Mitteilungen über die Gefahren bei der Röntgenstrahlenbehandlung der chirurgischen und der Hauttuberkulose. *Klin Wochenschr* 1928;7:1050.
- 112- Schinz R, Zollinger F. Materialiensammlung von Unfällen und Schäden in schweizerischen Röntgenbetrieben. *Münch med Wochenschr* 1930;77:1382.
- 113- Kleine HO. Zur Frage der Entstehung von Strahlenschädigungen infolge vorangegangener syphilitischer Infektion (nach Radiumbestrahlung von Collumcarcinomen syphilitischer Frauen). *Klin Wochenschr* 1933;12:119.
- 114- Schultze. Strahlenschädigungen bei Hauttuberkulose. *Klin Wochenschr* 1936;15:802.

Hoofdstuk IX.

- 1 - Zie: Dominici H. Du traitement des tumeurs malignes par le rayonnement ultrapénétrant du radium. *Bull du Cancer* 1908;1:124-56.
- 2 - De in Manchester geboren arts Henri Dominici (1867-1919) werkte in verschillende Parijse ziekenhuizen en had zich gespecialiseerd in de hematologie. Toen het radium zijn intrede deed, ging hij ook onderzoek verrichten naar de effecten van radiumstraling; door de invoering van de gefilterde 'Dominici-buisjes' werd hij een van de grondleggers van de radiumtherapie.
Zie voor enkele biografische gegevens van Dominici: Fischer I. *Biographisches Lexikon der hervorragenden Ärzte der letzten fünfzig Jahre*. München-Berlin: Urban & Schwarzenberg, 1962. Pg. 325.
- 3 - Ewing J. Early experiences in radiation therapy. *Am J Roentgenol* 1934;31:153-63. Zie: Pg. 155, 1e kolom, 1e alinea.
- 4 - Zie: Regato JA del. Ralston Paterson. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1987;13:1081-91.
- 5 - Lange tijd werd radium alleen gewonnen uit pikblende (uraniumoxide) in Joachimsthal in Bohemen. In 1910 werd in Joachimsthal 0.5 gram radium per jaar gewonnen; rond deze tijd werd inmiddels ook in Cornwall radium gewonnen en wel 6 gram per jaar. Een gram radium kostte in 1910 fl.170.000-.
Zie: Anonymus. *Londen - Radium*. *Ned Tijdschr Geneeskde* 1910;54II:1672.
- 6 - Burnam CF. Early experiences with radium. *Am J Roentgenol* 1936;36:437-52. Zie: Pg. 444, 2e kolom, 3e alinea.
- 7 - *Ibidem*. Pg. 438, 1e kolom, 2e alinea.
- 8 - Kenmerkend voor deze periode uit de ontwikkeling van de radiumtherapie is het feit, dat men in het Johns Hopkins Hospital niet kon controleren of nu werkelijk 100 milligram radium was ontvangen. Nadat het aanvankelijke enthousiasme getemperd was, vroeg men zich af, of de ontvangen Dominici-buisjes daadwerkelijk 100 milligram radium bevatten. De fysicus Prof. Boltwood van de Yale University kwam er aan te pas om dit uit te zoeken. Deze had zelf een kleine hoeveelheid radium in bezit, die in Wenen was geijkt, waardoor de hoeveelheid radium in dit preparaat exact bekend was. Doordat radium een constante 'output' van straling heeft, kon Boltwood met behulp van een electroscoop de hoeveelheid radium uit Baltimore controleren. Er bleek 40 milligram radium te weinig te zijn ontvangen! Kelly nam onmiddellijk contact op met Parijs, waarna alsnog de ontbrekende hoeveelheid radium werd geleverd.
Zie: *Ibidem*. Pg. 438, 2e kolom, 2e alinea.

- 9 - Dit was het gevolg van het feit, dat veel klinieken door de teleurstellende resultaten van röntgen-dieptetherapie met radium gingen experimenteren (de intensieve bestralingsmethoden van Freiburg en Erlangen waren in 1912 nog niet ontwikkeld).
- 10- Dit bedrijf, dat een van de grootste koperleveranciers ter wereld was, werd geleid door James Douglas, een goede vriend van James Ewing van het Memorial Hospital te New York. Douglas' dochter leed aan kanker en hij was genoodzaakt geweest met haar voor behandeling naar Parijs te reizen, omdat in de Verenigde Staten radiumtherapie nog niet mogelijk was; in Parijs moest hij het radium waarmee zijn dochter behandeld zou worden voor een zeer hoge prijs *huren*. Door deze ervaring was Douglas sterk gemotiveerd om bij te dragen aan de productie van radium, dat in de Verenigde Staten voor curietherapie ter beschikking zou worden gesteld. In oktober 1913 had hij samen met Dr. Kelly voor dit doel het National Radium Institute opgericht, dat actief participeerde in het tot stand komen van de radiumwinningsfabriek in Colorado.
Zie: Brecher R, Brecher E. The rays. A history of radiology in the United States and Canada. Baltimore: The Williams and Wilkins Company, 1969. Pgs. 271-2.
- 11 - Voor deze ziekenhuizen was dit een zeer gelukkige omstandigheid; het uitbreken van de Eerste Wereldoorlog zou het verkrijgen van radium uit het oorlogvoerende Oostenrijk-Hongarije nog moeilijker gemaakt hebben. Door het initiatief van het Bureau of Mines waren deze ziekenhuizen in korte tijd van een ruime hoeveelheid Amerikaans radium voorzien. Het Bureau of Mines verdeelde zijn deel van het gewonnen radium onder staatsziekenhuizen. Dr. Kelly gaf zijn deel aan het Johns Hopkins Hospital en Douglas gaf zijn radium aan het Memorial Hospital. Dit stelde het Johns Hopkins Hospital en het Memorial Hospital in staat binnen een paar jaar uit te groeien tot Amerika's toonaangevende radiumklinieken.
Zie: Brecher & Brecher. Pg. 271-2.
- 12- Zie: Pinkhof. New York. De eenige koopwaar die afslaat. Ned Tijdschr Geneeskd 1916;60II:1832.
- 13- Het zou tot 1923 duren, voordat in het Academisch Ziekenhuis te Groningen daadwerkelijk tot de aanschaf van radium werd overgegaan. Er werd toen 60 milligram radium gekocht voor de prijs van fl. 7700-. Daar kwam nog eens een uitgave van fl. 2300- bij voor de bewaringskosten en voor de aankoop van de benodigde buisjes.
Deze gegevens en citaten zijn ontleend aan B.P.Tammeling.
Zie: Tammeling BP. Honderdvijfenzeventig jaar AZG. Geschiedenis en voorgeschiedenis van het academisch ziekenhuis groningen. Groningen: Grafisch Bedrijf Letsch B.V., 1978. Pg. 227, 2e-5e alinea.
- 14- Zie: Anonymus. Le Radium. Bruxelles: Union Minière de Haut Katanga, 1931. Pgs. 12-13.
- 15- Zie bijvoorbeeld:
Simpson FE. Radium Therapy. London: Henry Kimpton, 1922. Pgs. 109-15 en 146-57.
Anonymus. Glazed radium applicators. BMJ 1917;II:556.
Zie voor de consensus over de te preferen 'méthode douce':
Belot, Nahan. Radiothérapie et radiumthérapie dans le traitement du lupus vulgaire. Journal de Radiologie 1914;8:41-57.
- 16- Zie: François. De la radiothérapie dans quelques affections de la peau (communication). Journal de Radiologie 1914;8:133-7.
- 17- Zie: Kirchberg F. Die rechtliche Beurteilung der Röntgen- und Radiumschädigungen. Hamburg: Lucas Gräfe & Sillem, 1914. Pg. 2, 2e alinea.
- 18- Zie: Krönig B. Zur Verhütung von Nebenschädigungen bei der Behandlung tiefliegender und tiefgreifender Karzinome mit Radium und Mesothorium. Deutsch med Wochenschr 1915;41:1186-9.

Natuurlijk gold ook in de radiumtherapie, dat juist de niet ter zake kundige artsen de meeste schade veroorzaakten. De Duitse radiumarts Lazarus verwoordde dit in december 1913 als volgt:

'Wer die Technik der Strahlentherapie nicht kunstgerecht beherrscht, wird mit ihr mehr schaden wie nutzen. Ja, der hochaktive Strahlenträger wird in der Hand des Ungeübten geradezu zu einem lebensgefährlichen Instrument. Ebenso wenig wie der Besitz von Instrumenten den Chirurgen macht, macht der Besitz von Radiumpräparaten den Radiologen. Wer eine Radiumbehandlung kunstgerecht ausführen will, muss wie der gute Stratege erstens über das Operationsterrain auf das genaueste unterrichtet sein.'

Zie: Kirchberg F. Die rechtliche Beurteilung der Röntgen- und Radiumschädigungen. Hamburg: Lucas, Gräfe & Sillem, 1914. Pg. 3, 2e alinea.

19- Broers J. Radiumbehandeling van huidziekten. Ned Tijdschr Geneesk 1917;611:1612-15.

20- Zie: Simpson FE. Die Technik der Anwendung radioaktiver Substanzen. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Erster Band. Wissenschaftliche Grundlagen. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 577-612. Zie: Pg. 587, 6e alinea.

21- Stevenson WC. Preliminary clinical report on a new and economical method of radiumtherapy by means of emanation seeds. BMJ 1914;2:9-10.

22- Zie bijvoorbeeld: Butcher WD. Der therapeutische Wert des Radiums. Deutsch med Wochenschr 1911;37:2051.

23- Zie bijvoorbeeld: Henrard E. Les rayons X et le radium en gynécologie. Journal de Radiologie 1914;8:93-4.

24- Stevenson WC. Pgs. 9-10.

25- Zie bijvoorbeeld:

Mallet L. Les corps radio-actifs. Généralités sur leur emploi et leur technique. In: Delherm L, Laquerrière A. Traité d'électro-radiothérapie. Paris: Masson et Cie, 1938. Pgs. 291-328.

Kumer L. Ueber Fortschritte in der Technik der Radiumbestrahlung. Wiener klin Wochenschr 1923;36:385.

Werner R. Die Behandlung von bösartigen Neubildungen mit radioaktiven Substanzen. Klin Wochenschr 1922;1:1663.

26- Simpson FE. Die Technik der Anwendung radioaktiver Substanzen. Pg. 593, 2e alinea.

27- Failla G. His radon seeds referred to by Dr. Quick. Carcinoma of the larynx. Am J Roentgenol 1937;38:821-53.

28- Quimby EH. The background of radium therapy in the United States, 1906-1956. Am J Roentgenol 1956;75:443-50.

29- Simpson FE. Die Technik der Anwendung radioaktiver Substanzen. Pg. 593, 4e alinea.

30- Quimby EH. Pg. 447, 1e kolom, 5e alinea en 2e kolom, 1e alinea.

31- Zie: Mendes da Costa S. Radium-stralen. Ned Tijdschr Geneesk 1904;40:1033-9.

32- Zie: Bayet A. Die Grenzen der Radiumtherapie für den tiefliegenden Krebs nach dem heutigen Stande der Wissenschaft. Strahlentherapie 1915;5:205-15.

Burnam C. Pg. 449, 2e kolom, 4e alinea.

33- Ibidem. Pg. 450, 1e kolom, 1e alinea.

34- Bayet A. Pg. 212, 4e alinea.

35- Radiumtherapie raakte om deze reden in de periode 1910-1920 steeds meer in zwang. Uit de statistieken van het Johns Hopkins Hospital te Baltimore bleek in 1921, dat van 313 patienten met uterus-, vagina- en vulvacarcinoom, die met radium waren behandeld, na vier jaar 24% 'volledig genezen' was en 60% 'locale genezing' vertoonde (overigens waren bij 10% van deze patienten fistels ontstaan! Zie: Kuhn. Über Radiumbehandlung des Gebärmutterkrebses. Zentralbl Gynäk

- 1922;46:1504). Uit de Amerikaanse literatuur van de periode 1918-1921 bleek, dat radiumtherapie in de behandeling van inoperabele uterus carcinomen, of recidieven daarvan, betere resultaten gaf dan andere behandelingsmethoden. In 1921 was radiotherapie daardoor bij operabele cervixcarcinomen de behandelingsmethode van de eerste keus geworden, waardoor operatief ingrijpen, dat relatief vaak gepaard ging met het optreden van helse pijnen en complicaties, het ontstaan van invaliditeit en een hoge kans op mortaliteit, kon worden vermeden. Zie: Schmidt EA. Die neueren Ergebnisse auf dem Gebiet der Röntgentherapie in Amerika. Zentralbl Gynäk 1922;46:2025-6.
- 36- Zie: Case JT. Radiology. Brit J Radiol 1956;29:253-5.
- 37- Zie bijvoorbeeld:
Janeway HH. Treatment by radium of cancerous mucous membranes. Am J Roentgenol 1918;5:414-16.
Janeway HH. The treatment of cancer of the lip by radium. JAMA 1918;70:1051-8.
- 38- Sluys en Kessler waren werkzaam in het belangrijkste Belgische radiuminstituut, het Institut du Radium de Bruxelles.
- 39- Zie: Sluys, Kessler. Gammathérapie.
In: Wetterer J. Internationale Radiotherapie. Band I. 1925-1926. Darmstadt: L. C. Wittich Verlag, 1926. Pgs. 169-71.
- 40- Mallet L. Zie voor de radiumtherapie met behulp van moulages: Pgs. 320-322, en voor de telecurietherapie: Pgs. 323-325.
- 41- Zie: Soddy F. Radium resources. Nature 1913-1914;92:376-377.
- 42- Kupferberg H. Zur Behandlung von gynäkologischen Erkrankungen gutartigen Ursprungs mittels radio-aktiven Stoffe.
In: Gauss CJ. Die Strahlentherapie in der Gynäkologie. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1929. Pgs. 471-576. Zie: Pg. 478, 1e alinea.
- 43- Zie: Gauss CJ. Über die Prinzipien der Strahlenbehandlung gutartiger und bösartiger Geschwülste. Strahlentherapie 1915;5:379-400.
- 44- Zie: Weibel W. Darm- und Blasenschädigungen nach postoperativer prophylaktischer Radiumbestrahlung. Zentralbl Gynäk 1919;43:249-53.
- 45- Benthin W. Bestrahlungsschäden. Strahlentherapie 1920;11:501-16.
- 46- Zie: Ottow. Radiumschädigungen an Blase und Mastdarm. Klin Wochenschr 1929;8:2356.
- 47- Kupferberg H. Pg. 519, 5e alinea.
- 48- Zie:
Heyman J, Reuterwall O, Benner S. The Radiumhemmet experience with radiotherapy in cancer of the corpus of the uterus. Acta Radiol 1941;22:11-98.
Simon S, Silverstone SM, Roach LC. An overview of afterloading in radiotherapy. Am J Roentgenol 1972;114:646-51.
- 49- Zie bijvoorbeeld:
Scholte PJJ, Weber J. Straling en Stralingsgevaar. Amsterdam: Em. Querido's Uitgeversmaatschappij N.V., 1960. Pgs. 118-119.
Wit R de, Roo T de. De radium-drinkbeker, een niet ongevaarlijke curiositeit. Ned Tijdschr Geneesk 1972;116:2038-41.
- 50- Gudertz F. Die Anwendung radioaktiver Stoffe in der inneren Medizin.
In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Band III. Innere Medizin. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1926. Pg. 579-608. Zie: Pg. 579, 1e, 2e en 3e alinea.
- 51- Zie bijvoorbeeld:
Schüttmann W. Aus den Anfängen der Radontherapie. Z gesamte inn Med 1986;41:451-6.
Teissier, Rebattu. Klinische Untersuchungen über die Erfolge der Radiumemanation in der inneren Medizin. Strahlentherapie 1915;5:244-70.
- 52- Zie: Loewenthal S. Über die Wirkung der Radiumemanation auf den menschlichen Körper. Berlin klin Wochenschr 1906;43:1484-87.

- 53- Friedrich Gudzent was een internist, die sterk geïnteresseerd was in de mogelijkheden van het gebruik van radium in de inwendige geneeskunde. In 1916 zou hij hoogleraar worden aan de Universiteit van Berlijn; hij ontwikkelde zich tot een van de belangrijkste propagandisten van de toepassing van radium in de interne geneeskunde.
Zie voor meer biografische gegevens van Friedrich Gudzent: Fischer I. Pgs. 547-8. Zie voor biografische gegevens van Siegfried Löwenthal: Pagenstecker A. Dr. Siegfried Löwenthal 1869-1951. Strahlentherapie 1952;88:667-8.
- 54- Zie bijvoorbeeld:
Bickel A. Ein transportabler Inhalationsapparat für Radiumemanation mit kontinuierlicher, regulierbarer Emanationsspeisung. Berlin klin Wochenschr 1911;48:657-9.
Engelman W. Einrichtung und Wirkungsweise eines neuen Inhalationsapparates für Radiumemanation mit dosierbarer Emanationsspeisung. Berlin klin Wochenschr 1911;48:659-62.
- 55- Braunstein A. Über die Wirkung der Radiumemanation auf bösartige Tumoren. Die Therapie der Gegenwart 1904;45:412-16.
- 56- Zie:
Gudzent F. Über Dosierung und Methodik der Anwendung radioaktiver Stoffe bei inneren Krankheiten und die erzielten Heilwirkungen. Berlin Klin Wochenschr 1911;48:1597-1602.
Mendel F. Die Emanationstherapie mittels intramuskulärer Injektionen. Deutsch med Wochenschr 1911;37:120-24.
- 57- Gudzent F. Die Anwendung radioaktiver Stoffe in der inneren Medizin. Pg. 583, 3e en 4e alinea.
- 58- Burnam C. Pg. 444, 1e kolom, 5e alinea.
- 59- Zie bijvoorbeeld: Werner R, Rapp H. Technik der Behandlung mit radioaktiven Substanzen. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Band II. Chirurgie. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 139-70. Zie: Pg. 150, 4e, 5e en 6e alinea.
- 60- Strasburger J. Über Behandlung mit Radiumemanation. Strahlentherapie 1922;13:528-32.
- 61- Snijders AJC. Kunstmatig bereide, radio-actieve geneeskrachtige wateren. De Natuur 1911;31:193-6. Zie: Pg. 193, 2e kolom, 5e alinea.
- 62- Ibidem. Pg. 196, 1e kolom, 2e en 3e alinea.
- 63- Bouman ZP. Radium en zijn gebruik. De Natuur 1913;33:193-6. Zie: Pg. 196, 2e kolom, 4e alinea.
- 64- Anonymus. Het radium en zijn bronnen. De Natuur 1914;34:190. Pg. 190, 1e kolom, 8e alinea en 2e kolom, 1e alinea.
- 65- Zie: Scholte & Weber. Pg. 119, 1e alinea.
- 66- Ibidem. Pg. 119, 2e alinea.
- 67- Zie: Leschke E. Radiumvergiftung. Fortschritte in der Erkenntnis und Behandlung der wichtigsten Vergiftungen. Münch med Wochenschr 1932;79:221-2.
- 68- Zie:
Leschke E. Radiumvergiftungen. Münch med Wochenschr 1932;79:2122.
Fernau A, Smereker H. Über das Verbleiben radioaktiver Substanzen im Organismus bei Radiumemanationstrinkkuren. Klin Wochenschr 1933;12:1422.
- 69- In 1927 had immers Hermann Muller de genetische effecten van straling aangetoond (waaraan binnen de medische wereld ruime aandacht was besteed), terwijl vanaf 1928 door de ICRP werd gewezen op de noodzaak van stralingsbescherming van werkers en patienten, ook in de radiumtherapie. Het is dan ook uiterst merkwaardig, dat in de röntgendiagnostiek vanaf 1928 een contraststof in gebruik raakte, die zélf radioactief was. In dat jaar werd door de Duitse hoogleraar röntgenologie K. Frik, die werkzaam was in het Moabit Ziekenhuis te Berlijn, een begin gemaakt met de toepassing van thorium dioxide ('thorotrast'), dat een

- excellent contrastmiddel bleek te zijn voor angiografisch onderzoek en voor de afbeelding van bijvoorbeeld de perinasale sinus. Het enige nadeel van deze stof uit de thoriumreeks was, dat het zelf straling uitzond (en wel vooral alfa-straling). De artsen van het Moabit Ziekenhuis meenden evenwel, dat alfa-straling geen biologische effecten had en waren niet op de hoogte van de berichten over radiumvergiftigingen, die in de Amerikaanse literatuur inmiddels waren verschenen (zie: Casper J. The introduction of thorium dioxide in diagnostic radiology. *Ann NY Acad Sci* 1967;145:527-9.). In de jaren na de Tweede Wereldoorlog werd het cancerogene effect van thorotrast, dat net als radium het lichaam niet verliet, maar werd gestapeld in lever, milt, beenmerg en lymfeklieren, steeds duidelijker, doordat meer en meer gevallen bekend werden van door thorium dioxide veroorzaakte tumoren. Dit had tot gevolg, dat dit contrastmiddel na 1955 vrijwel nergens meer werd gebruikt. Zie:
- Teller NC. Follow-up of thorium dioxide patients in the United States. *Ann NY Acad Sci* 1967;145:674-5.
- Silva Horta J da, Cayolla da Motta L. Follow-up study of thorium dioxide patients in Portugal. *Ann NY Acad Sci* 1967;145:830-42.
- Faber M. Thorium dioxide patients in Denmark. *Ann NY Acad Sci* 1967;145:843-8.
- 70- Zie: Gudzent F. Radiumtherapie bei inneren Krankheiten und Kurpfuschertum. *Klin Wochenschr* 1933;12:1422.
- 71- Zie: Happel P. Zur Frage der Radiumschwachtherapie. *Klin Wochenschr* 1933;12:1501.
- 72- De onderstaande publikaties betreffen late röntgenstralenschade uit de jaren dertig:
- Neupert. Röntgenspätschädigungen. *Klin Wochenschr* 1931;10:327.
- Hoede K. Röntgenschädigung nach Epilationsbestrahlung bei Hypertrichosis. *Klin Wochenschr* 1931;10:421.
- Dufke. Röntgenspätautrophie. *Derm Wochenschr* 1931;92:178.
- Grünwald. Spätschädigung nach Röntgenbestrahlung. *Derm Wochenschr* 1931;92:953.
- Fuchs H, Konrad J. Über Spätschädigungen nach Röntgenbestrahlung von Dermatosen und Folgerungen bezüglich des Bestrahlungsmodus. *Derm Wochenschr* 1931;93:1188.
- Schmidt. Röntgenulzera. Tuberculosis luposa. *Derm Wochenschr* 1931;93:1605.
- Holthusen H, Englmann K. Die Gefahr des Röntgenkarzinoms als Folge der Strahlenbehandlung. *Münch med Wochenschr* 1932;79:120.
- Traub E. Radiodermatitis. *Arch Derm Syph* 1933;28:117.
- Feit H. Roentgendematitis treated with a salt-free diet and a vitamin A-rich regimen. *Arch Derm Syph* 1933;28:880.
- Rohrschneider W. Schädigungen der Augen bei der Röntgenstrahlentherapie extraokularer Erkrankungen. *Klin Wochenschr* 1933;12:1786.
- Böhmer. Ausgedehnte Röntgenatrophie. *Derm Wochenschr* 1935;101:1287.
- Szandicz. Röntgenulkus, behandelt mit Radiumemanationssalbe. *Derm Wochenschr* 1935;101:1249.
- Gawalowski. Spätschädigungen der Haut nach Röntgenbestrahlung im Jahre 1914. *Derm Wochenschr* 1935;101:1606.
- Remijnse JG. Röntgencarcinoom. *Ned Tijdschr Geneesk* 1935;79I:737-40.
- Dieleman H. Mycosis fungoides en röntgenatrophie. *Ned Tijdschr Geneesk* 1935;79II:2418-19.
- Anonymus. Röntgenatrophie. *Ned Tijdschr Geneesk* 1935;79II:5376.
- Reiss E. Röntgenulkus. *Derm Wochenschr* 1935;100:685.
- Tièche. Lupus-Röntgenkarzinom. *Derm Wochenschr* 1936;103:946.
- Tzanck A, Langlois L, Swi E. Behandlung einer alten Röntgendermatitis mit Radiumemanation. *Derm Wochenschr* 1936;103:1139.

- Martin-Crespo J. Die Behandlung der Röntgendermatitis mit Kurzwellen. *Derm Wochenschr* 1936;103:1167-8.
- Gohlisch I. Röntgenshädigung bei zwei Schwestern nach Bestrahlung wegen Hypertrichosis bei familiärer Intersexualität. *Derm Wochenschr* 1936;103:1310-15.
- Kruspe. Röntgenhaut der Nase nach übermässiger Bestrahlung eines Hämangioms. *Derm Wochenschr* 1936;103:1479.
- Borza G. Röntgenshädigung. *Derm Wochenschr* 1936;102:55.
- Guszman J. Carcinoma manus et faciei post radiationem X. *Derm Wochenschr* 1936;102:554.
- Guszman J. Ulkus post radiationem X. *Derm Wochenschr* 1936;102:556.
- Louws WJ. Röntgen-teleangiëctasieën. *Ned Tijdschr Geneesk* 1937;81I:733.
- Cohen. Röntgen-atrophie. *Ned Tijdschr Geneesk* 1937;81II:2974-5.
- Vrijman LH. Röntgenatrophie. *Ned Tijdschr Geneesk* 1938;82II:2488.
- Anonymus. Röntgenatrophie. *Ned Tijdschr Geneesk* 1938;82IV:5828.
- Schouwen M van. Hyperkeratose na röntgenbestraling. *Ned Tijdschr Geneesk* 1939;83II:1532-3.
- Beek CH van. Röntgenzweer. *Ned Tijdschr Geneesk* 1940;84II:2294.
- 73- Zie bijvoorbeeld:
Fraser JF. Roentgen ray dermatitis. *Arch Derm Syph* 1934;30:901.
Anonymus. Ulcus pedisa recidivans na röntgendoorlichting. *Ned Tijdschr Geneesk* 1934;78III:3214.
Anonymus. Huidafwijkingen door röntgenstralen. *Ned Tijdschr Geneesk* 1937;81III:3496-7.
- 74- Enkele publikaties over late radiumstralenschade zijn bijvoorbeeld:
Boom BK. Vernauwing van den endeldarm door radium. *Ned Tijdschr Geneesk* 1930;74IV:5857.
Zeeman WPC. Demonstraties. *Ned Tijdschr Geneesk* 1932;76II:2047-50.
Anonymus. Atrophieën en pigmentaties na behandeling van lupus vulgaris faciei met radium. *Ned Tijdschr Geneesk* 1934;78IV:4907-8.
Anonymus. Atrophie na radiumbestraling van teleangiëctasia unna. *Ned Tijdschr Geneesk* 1935;79IV:5373.
Kalz F. Radiumulkus. *Derm Wochenschr* 1935;100:685-6.
Anonymus. Radiumlittekens. *Ned Tijdschr Geneesk* 1938;82IV:5829.
- 75- Enkele voorbeelden van stralenschade door summatie zijn vermeld in de volgende publikaties:
Leeuwen ThM van. Röntgendermatitis van de handen. *Ned Tijdschr Geneesk* 1930;74IV:5553-4.
Schwartz HJ. Radiodermatitis. *Arch Derm Syph* 1933;28:136-8.
Mahn G. Ein mit Kurzwellen behandelter Fall von Röntgenverbrennung. *Derm Wochenschr* 1935;100:108-109.
Bruner. Radiodermatitis ulcerosa chron. reg. sacro-glutaealis. *Derm Wochenschr* 1936;102:31.
- 76- Zie: Finzi NS. Late x-ray and radium effects. Incidence, etiology and medical treatment. *Brit J Radiol* 1933;6:148-61.
- 77- Zie de volgende gevallen van acute recente stralenschade:
Bruusgaard. Röntgendermatitis. *Derm Wochenschr* 1931;93:1824.
Hecht H. Radiumschädigung? *Klin Wochenschr* 1933;12:1822.
Frühwald. Röntgenverbrennung. *Derm Wochenschr* 1936;102:23.
- 78- Zie:
Kooij. Röntgen-zweer. *Ned Tijdschr Geneesk* 1937;81III:3493-4.
Kooij. Röntgendermatitis met zweer. *Ned Tijdschr Geneesk* 1937;81III:3494.

GERAADPLEEGDE BRONNEN EN LITERATUUR.

De volgende archieven werden geraadpleegd:

Provinciaal Archief Groningen (Notulen van de Faculteit der Geneeskunde).
Gemeentearchief van Amsterdam (Verslagen Vergaderingen van de Gemeenteraad).

Literatuurlijst.

Primaire literatuur (voor 1940):

- Adler E. Versuche über das Kienböcksche und das Holzknichtsche dosimetrische Verfahren. *Strahlentherapie* 1915;5:465-70.
- Albers-Schönberg. Die Röntgentechnik. Hamburg: Lucas, Gräfe & Sillem, 1919.
- Albers-Schönberg. Schutzvorkehrungen für Patienten, Ärzte und Fabrikanten gegen Schädigungen durch Röntgenstrahlen. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1902-1903;6:235-8.
- Albers-Schönberg HE. Über eine bisher unbekannte Wirkung der Röntgenstrahlen auf das Organismus der Tiere. *Münch med Wochenschr* 1903;50:1859-60.
- Albers-Schönberg, Lorenz. Die Schutzmittel für Aerzte und Personal bei der Arbeit mit Röntgenstrahlen. *Deutsch med Wochenschr* 1915;41:301-5.
- Anonymus. A case of severe dermatitis following two exposures to the X-rays. *Lancet* 1897;1:1759.
- Anonymus. A report of the second international congress of radiology, held in Stockholm, 23rd-27th July 1928. Stockholm: Kungl. Boktryckeriet P.A.Norstedt & Söner, 1929. Pg. 62-5.
- Anonymus. Ärztl. Verein Hamburg 21.X.1902. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1902-1903;6:106.
- Anonymus. Atrophie na radiumbestraling van teleangiëctasia unna. *Ned Tijdschr Geneesk* 1935;79IV:5373.
- Anonymus. Atrophieën en pigmentaties na behandeling van lupus vulgaris faciei met radium. *Ned Tijdschr Geneesk* 1934;78IV:4907-8.
- Anonymus. Berlijn.- Röntgenologie als academisch studievak. *Ned Tijdschr Geneesk* 1913;57II:2163-4.
- Anonymus. Causes of quackery. *BMJ* 1911;I:1190-2.
- Anonymus. Dermatitis caused by the roentgen-rays. *Lancet* 1897;1:195.
- Anonymus. Dermatitis caused by the roentgen rays. *Lancet* 1897;1:396.
- Anonymus. De X-stralen. *Ned Tijdschr Geneesk* 1896;32I:782.
- Anonymus. Discussion on the effect of radio-active substances and radiations upon normal and pathological tissues. *BMJ* 1913;2:460-62.
- Anonymus. Geneeskundige röntgenologie door onbevoegden. *Ned Tijdschr Geneesk* 1910;54II:973.
- Anonymus. Geneeskundige werking van de stralen van Röntgen. *Album der Natuur* 1896;45:85-6. (wetenschappelijk bijblad)
- Anonymus. Gerichtliche Entscheidungen. Schädigung durch Röntgenstrahlen. *Münch med Wochenschr* 1908;40:2215.
- Anonymus. Gesellschaft der Ärzte in Wien. Sitzung von 8. April 1904. *Wien med Wochenschr* 1904;54:686.
- Anonymus. Gesellschaft für Natur- und Heilkunde Dresden. Sitzung vom 29. Oktober 1928. *Klin Wochenschr* 1929;8:89.
- Anonymus. Glazed radium applicators. *BMJ* 1917;II:556.

- Anonymus. Het radium en zijn bronnen. De Natuur 1914;34:190.
- Anonymus. Huidafwijkingen door röntgenstralen. Ned Tijdschr Geneeskd 1937;81III:3496-7.
- Anonymus. Jaarboeken der Rijksuniversiteit Groningen van 1926 en 1935. Groningen: J.B. Wolters Uitgeversmaatschappij N.V., 1926 en 1935.
- Anonymus. Kleine Mitteilungen. Deutsch med Wochenschr 1926;52:1098.
- Anonymus. Kleine Mitteilungen. Deutsch med Wochenschr 1896;22:454.
- Anonymus. Le Radium. Bruxelles: Union Minière de Haut Katanga, 1931.
- Anonymus. Londen - Radium. Ned Tijdschr Geneeskd 1910;54II:1672.
- Anonymus. Manchester. The Manchester Medical Society: Professor Schuster on the Roentgen Rays. Lancet 1896;74I:891-2.
- Anonymus. Medical News. British Orthopaedic Society. Lancet 1896;74II:1276-7.
- Anonymus. Nature 1914;93:225.
- Anonymus. Nature 1908-1909;79:465.
- Anonymus. Nature 1914;93:436.
- Anonymus. Nature 1909-1910;82:219.
- Anonymus. Nature 1902-1903;67:445.
- Anonymus. Nature 1909;81:220-2.
- Anonymus. Nature 1910;84:153.
- Anonymus. Nature 1913-1914;92:172.
- Anonymus. Parijs - Veroordeling. Ned Tijdschr Geneeskd 1902;38I:221.
- Anonymus. Paris. Legal action on account of X-ray burns. Lancet 1901;I:897.
- Anonymus. Paris. The Academy of Science. Lancet 1897;1:1178.
- Anonymus. Praktische Notizen. Berlin klin Wochenschr 1896;33:772.
- Anonymus. Quackery and the medical profession. BMJ 1911;I:1289-90.
- Anonymus. Quackery in France. BMJ 1911;I:1287-8.
- Anonymus. Radiotherapie te Leiden. Ned Tijdschr Geneeskd 1914;58II:505.
- Anonymus. Radiumbehandeling. Ned Tijdschr Geneeskd 1914;58I:522.
- Anonymus. Radiumlittkens. Ned Tijdschr Geneeskd 1938;82IV:5829.
- Anonymus. Roentgenotherapy in Gynaecology. Am J Roentgenol 1918;5:201.
- Anonymus. Roentgen-Ray Standards and Units. Am J Roentgenol 1934;31:815-18.
- Anonymus. Roentgen's radiography. Lancet 1896;74I:928.
- Anonymus. Röntgenatrophie. Ned Tijdschr Geneeskd 1935;79II:5376.
- Anonymus. Röntgenatrophie. Ned Tijdschr Geneeskd 1938;82IV:5828.
- Anonymus. Röntgenstralen. Ned Tijdschr Geneeskd 1896;32I:375.
- Anonymus. Rotterdamsch radio-therapeutisch instituut. Ned Tijdschr Geneeskd 1914;58II:1989-90.
- Anonymus. Science and the Lay Press. Nature 1913-1914;92:199-200.
- Anonymus. Sitzung der von der Deutschen Röntgengesellschaft eingesetzten Kommission zwecks Schaffung eines Standard-Instrumentes für die Röntgenstrahlenmessung am 21. Oktober 1923 in Göttingen. Fortschr Geb Röntgenstr 1923-1924;31:483-7.
- Anonymus. Skiagraphic diagnosis applied to soft parts. BMJ 1897;I:99.
- Anonymus. Special Correspondence. Berlin. The Roentgen Rays in the Diagnosis of Internal Diseases. BMJ 1897;I:1520.
- Anonymus. Special Correspondence. Paris. Skiagraphy of the Foreign Body in the Throat. BMJ 1897;I:1193.
- Anonymus. Special Correspondence. Paris. Radiography in Diseases of the Chest. BMJ 1897;I:1381-2.
- Anonymus. Special Correspondence. Paris. The Roentgen Rays in Medical Diagnosis. BMJ 1897;I:171.
- Anonymus. The roentgen ray case at Hastings. Lancet 1900;II:1669-70.
- Anonymus. The therapeutics of radium. BMJ 1913;1:183-4.

- Anonymus. Ulcus pedisa recidivans na röntgendoorlichting. Ned Tijdschr Geneesk 1934;78III:3214.
- Anonymus. University of Cambridge. Examination for the Diploma in Medical Radiology and Electrology. April 1923. Arch Radiol Electrol 1922-1923;27:345.
- Anonymus. Unqualified practice in the eye of the law. BMJ 1911;I:1277-81.
- Assen J van. Zorg voor gebrekkigen en orthopaedie in Pruisen. Ned Tijdschr Geneesk 1918;62I:1725.
- Baensch W. Knochenschädigung nach Röntgenbestrahlung. Fortschr Geb Röntgenstr 1927;36:1245-47.
- Bailey H, Bagg HJ. Effects of irradiation on fetal development. Am J Obst Gynec 1923;5:461-73.
- Bardachzi F. Über die zweckmässige Behandlung der Myome und hämorrhagischen Metropathien mit Röntgenstrahlen. Strahlentherapie 1926;21:395-405.
- Barnes EG. Unqualified practice in East Anglia. BMJ 1911;I:1248-9.
- Bashford EF. Cancer, credulity, and Quackery. BMJ 1911;I:1221-30.
- Bayet A. Die Grenzen der Radiumtherapie für den tiefliegenden Krebs nach dem heutigen Stande der Wissenschaft. Strahlentherapie 1915;5:205-15.
- Beck C. Zum Selbstschutz bei der Röntgenuntersuchung. Münch med Wochenschr 1903;50:1435.
- Béclère A. Guido Holzknecht (1872--1931). J Radiol 1932;16:3-4.
- Béclère A. La mesure indirecte du pouvoir de pénétration des rayons Roentgen à l'aide du spintermètre. Bull de l'Assoc Franc d'Électrol 1900;7:44-7.
- Béclère A. La radiologie médicale aux medicins. Bull méd Paris 1905;19:629-31.
- Béclère A. Les Rayons de Roentgen et le Diagnostic des Maladies Internes. Paris: Librairie J.-B.-Baillièrre et fils, 1904.
- Béclère A. Les Rayons de Roentgen et le Diagnostic de la Tuberculose. Paris: Librairie J.-B.-Baillièrre et fils, 1899.
- Becquerel A. Emission of the new radiations by metallic uranium. Compt Rendu Acad Sci 1896;122:1086-88.
- Beek CH van. Röntgenzweer. Ned Tijdschr Geneesk 1940;84II:2294.
- Behnken H. Bemerkung zu der vorstehenden Mitteilung von Dr. I. Solomon. Strahlentherapie 1928;29:198-9.
- Behnken H. Die Absolutbestimmung der Dosisseinheit "1 Röntgen" in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Strahlentherapie 1927;26:79-100.
- Behnken H. Die Eichung von Dosimessern in absolutem Masse in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Fortschr Geb Röntgenstr 1924;32:92-4.
- Behnken H. Zur Frage der Röntgendosisseinheit. Strahlentherapie 1928;29:192-8.
- Beijen EKLA. De röntgentechniek in den oorlog. De Natuur 1916;36:193-205.
- Belot J. La Röntgenologie en France. Fortschr Geb Röntgenstr 1906;10:87-94.
- Belot J. L'enseignement de la radiologie médicale en France. Acta Radiol 1930;supplV:17-33.
- Belot, Nahan. Radiothérapie et radiumthérapie dans le traitement du lupus vulgaire. Journal de Radiologie 1914;8:41-57.
- Benoist L. Le radiochromomètre et la définition expérimentale des diverses sortes de rayons x et radiations similaires. Arch Électr Méd 1902;10:129-134.
- Benthin W. Bestrahlungsschäden. Strahlentherapie 1920;11:501-16.
- Bergonié J, Speder E. Sur quelques formes des réactions précoces après des irradiations Röntgen. Arch Élect Méd 1911;19:241-51.
- Bergonié J, Tribondeau L. Action des rayons X sur le testicule du rat blanc. Compt Rend Soc Biol 1904;57:400.
- Bickel A. Ein transportabler Inhalationsapparat für Radiumemanation mit kontinuierlicher, regulier- barer Emanationsspeisung. Berlin klin Wochenschr 1911;48:657-9.
- Bienfait. Tube radiogène puissant fonctionnant avec une décharge pure d'électrons. Journal de Radiologie 1914;8:85-6.

- Birch-Hirschfeld A. Die Wirkung der Röntgen- und Radiumstrahlen auf das Auge. Arch Ophth 1904;59:229-310.
- Birch-Hirschfeld A. Weiterer Beitrag zur Wirkung der Röntgenstrahlen auf das menschliche Auge. Arch Ophth 1907;66:104-119.
- Birch-Hirschfeld A. Zur Wirkung der Röntgenstrahlen auf das menschliche Auge. Klin Monatsbl Augenh 1908;46:129-37.
- Bles Ch. Keuze van Röntgentoestel. Ned Tijdschr Geneesk 1916;60II:1255-7.
- Blum T. Malposed teeth: their classification, pathology and treatment. Int J Orthodont 1923;9:122-37.
- Böhmer. Ausgedehnte Röntgenatrophie. Derm Wochenschr 1935;101:1287.
- Boom BK. Vernauwing van den endeldarm door radium. Ned Tijdschr Geneesk 1930;74IV:5857.
- Bordier H, Galimard J. Action des rayons x sur les platino-cyanures et en particulier sur celui de baryum. Arch Electr Méd 1905;13:323-6.
- Borza G. Röntgenschädigung. Derm Wochenschr 1936;102:55.
- Bossuet A. Experimentelle Untersuchungen über die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf die Linse. Arch Augenh 1909;64:277-85.
- Bouman ZP. Radium en zijn gebruik. De Natuur 1913;33:193-6.
- Bouwers A. Een nieuwe Röntgenbuis. Physica 1924;4:173-9.
- Bouwers A. Nieuwere typen van metalen röntgenbuizen. Ned Tijdschr Geneesk 1925;69:310.
- Bower JO, Clark JH. The resistance of the thyroid gland to the action of radium-rays: The results of experimental implantation of radium needles in the thyroid of dogs. Am J Roentgenol 1923;10:632-43.
- Brasch A, Lange F. Aussichten und Möglichkeiten einer Therapie mit schnellen Kathodenstrahlen. Strahlentherapie 1934;51:119-28.
- Brasch A, Lange F. Experimentell-technische Vorbereitungen zur Atomzertrümmerung mittels hoher elektrische Spannungen. Zeitschr Phys 1931;70:10-37.
- Braun R. Vergleich der biologischen Wirkung von Röntgen- und Gammastrahlen. Strahlentherapie 1930;38:11-18.
- Braunstein A. Über die Wirkung der Radiumemanation auf bösartige Tumoren. Die Therapie der Gegenwart 1904;45:412-16
- Broers J. Radiumbehandeling van huidziekten. Ned Tijdschr Geneesk 1917;61I:1612-15.
- Bruin J de. XV. Congress für innere Medicin te Berlijn 9-12 juni 1897. Ned Tijdschr Geneesk 1897;33II:167-83.
- Bruner. Radiodermatitis ulcerosa chron. reg. sacro-glutaealis. Derm Wochenschr 1936;102:31.
- Bruusgaard. Röntgendermatitis. Derm Wochenschr 1931;93:1824.
- Bucky G. Die rechtliche Beurteilung von Röntgen- und Radiumschädigungen. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Band I. Die wissenschaftlichen Grundlagen der Strahlentherapie. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 1061-1100.
- Burger H, Muntendam P. Nederlandsche Vereeniging voor Electrologie en Röntgenologie. Vergadering op zondag 22 mei 1910 in het poliklinicum van Prof. Wertheim Salomonson te Amsterdam. Ned Tijdschr Geneesk 1910;54II:1558-1578.
- Burger H, Muntendam P. Nederlandsche Vereeniging voor Electrotherapie en Radiologie. Ned Tijdschr Geneesk 1904;40II:449-56.
- Burger H. De keel-neus-oorheelkunde in de laatste vijf-en-zeventig jaren. Ned Tijdschr Geneesk 1924;68II:43-7.
- Burger H. De Röntgenstralen in de rhino-laryngologie. Ned Tijdschr Geneesk 1897;33I:593-5.
- Burnam CF. Early experiences with radium. Am J Roentgenol 1936;36:437-52.

- Butcher WD. Der therapeutische Wert des Radiums. Deutsch med Wochenschr 1911;37:2051.
- Case JT. The contribution of roentgenology to medicine and surgery in the last twenty-five years. Am J Roentgenol 1931;26:511-16.
- Case JT. The new short wave length roentgen-ray therapy. JAMA 1922;79:699-704.
- Case JT. The passing of a pioneer in radiology, Guido Holzknacht. Am J Surg 1932;15:379-80.
- Case JT. The practice of Roentgenology by Laymen. Am J Roentgenol 1918;5:202-3.
- Case JT. War Roentgenology. Am J Roentgenol 1918;5:98-9.
- Case JT, Warthin AS. The occurrence of hepatic lesions in patients treated by intensive deep roentgen irradiation. Am J Roentgenol 1924;12:27-46.
- Ceresole G. Contribution à la connaissance des réactions précoces après des irradiations Röntgen. Arch Élect Méd 1912;20:304-8.
- Chaluppecky H. Die Wirkung des Radiums und der Radiumemanation auf den Sehapparat. Wien klin Rundschau 1911;25:821-4.
- Chaluppecky H. Über die Wirkung der Röntgenstrahlen auf das Auge und die Haut. Zentralbl prak Augenh 1897;21:234-9;267-71.
- Christie AC. The early development of roentgenology. Am J Roentgenol 1928;19:294-7.
- Christie AC. Our preparation for the X-ray work of the war. Am J Roentgenol 1918;5:1-5.
- Citters D van. De Röntgen-stralen in het Fransche leger. De Natuur 1921;41:353-5.
- Codman EA. A study of accidental x-ray burns hitherto recorded. Phil MJ 1902;9:438-442.
- Cohen. Röntgen-atrophie. Ned Tijdschr Geneesk 1937;81II:2974-5.
- Coliez R. Action biologique des rayons X et des corps radioactifs. In: Laquerrière A, Delherm L. Traité d'électro-radiothérapie. Tome premier. Paris: Masson et cie, 1938. Pgs. 329-386.
- Colwell HA, Russ S. Radium, X Rays and the Living Cell. London: G. Bell and Sons, Ltd., 1915.
- Contremoulins G. Recherche d'une unité de mesure pour la force de pénétration des rayons X et pour leur quantité. Compt Rend Acad Sci 1902;134:649.
- Coolidge WD. Eine mächtige Röntgenrohre mit reiner Elektronenentladung. Strahlentherapie 1915;5:431-52.
- Coolidge WD. Experiences with the roentgen ray tube. Am J Roentgenol 1945;54:583-9.
- Coolidge WD, Charlton EE. Roentgen-Ray Tubes. Radiology 1949;45:449-66.
- Coutard H. Die Roentgenbehandlung des epithelischen Krebses der Tonsillengegend. Strahlentherapie 1929;33:249-52.
- Coutard H. Principles of X-ray therapy of malignant diseases. Lancet 1934;2:1-12.
- Coutard H. Résumé des principes de technique roentgenothérapique des cancers profonds. Radiophys Radiother 1930;2:360-83.
- Coutard H. Roentgentherapy of epitheliomas of the upper air passages. Laryngoscope 1936;1:1-8.
- Crocker H Radcliffe. A case of dermatitis from roentgen rays. BMJ 1897;1:8-9.
- Curie P, Curie MS. Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende. Compt Rendu Acad Sci 1898;127:175-8.
- D'Abreu M. Radiology in France during the War. Am J Roentgenol 1918;5:443.
- Davis KS. Intrathoracic changes following X-ray treatment: a clinical and experimental study. Radiology 1924;3:301-22.
- Dean AL. Ulceration of the urinary bladder as a late effect of radiumapplication to the uterus. JAMA 1927;89:1121-24.

- Desjardins AU. Action of roentgen rays and radium on the eye and ear. Am J Roentgenol 1931;26:639-79;787-819;921-942.
- Desjardins AU. Action of roentgen-rays and radium on the gastrointestinal tract. Am J Roentgenol 1931;26:145-190;335-370;493-510.
- Desjardins AU. Certain unusual features noted in a case of inoperable cancer of the breast treated by roentgen rays. Med Clin N Am 1923;7:163-71.
- Dessauer F. Beiträge zur Bestrahlung tiefliegender Prozesse. Med Klin 1905;1:526-29;549-52.
- Dessauer F. Die physikalischen und technischen Grundlagen der Tiefenbestrahlung. Strahlentherapie 1912;1:310-24.
- Dessauer F. Eine neue Anwendung der Röntgenstrahlen. Münch med Wochenschr 1908;55:1285-87.
- Dessauer F. Grundlagen und Messmethoden der Tiefentherapie mit Röntgenstrahlen. Arch Gynäk 1919;11:209-313.
- Dessauer F. Homogenität und Absorption. Fortschr Geb Röntgenstr 1914;21:562-66.
- Dessauer F. Homogenstrahlenlehre. Strahlentherapie 1914;5:148-60.
- Dessauer F. Probleme und Methode der Tiefenbestrahlung mit Röntgenstrahlen. Ther Rundsch 1908;2:647-49.
- Dessauer F. Röntgentechnik im Heere. In: Sommer E. Röntgen-Taschenbuch. VII. Kriegsband. Leipzig: Otto Nemnich Verlag, 1915. Pgs. 1-10.
- Dessauer F, Brenzinger M. Röntgenapparate und Röntgenröhren. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Erster Band. Wissenschaftliche Grundlagen. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 369-427.
- Dessauer F, Vierheller F. Über die Zerstreuung von Röntgenstrahlen im Wasser. Zeitschr Phys 1921;4:131-45.
- Dieleman H. Mycosis fungoides en röntgenatrophie. Ned Tijdschr Geneesk 1935;79II:2418-19.
- Dietlen. Zur Frage des Hochschulunterrichtes in Röntgenologie. Röntgenspezialisten oder Spezial-röntgenologen. Münch med Wochenschr 1919;66:104-7.
- Dietz PJPh. Het röntgenonderzoek bij de oorlogvoerenden. Ned Tijdschr Geneesk 1917;61I:340-2.
- Dobrovol'skaïa-Zavadskaïa N. Modifications des fibres striées sous l'influence d'irradiations prolongées au moyen de foyers radifères introduits dans les muscles. J Radiol Électrol 1924;8:49-61.
- Dollinger F. Bericht über die Arbeiten auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen in Frankreich. Fortschr Geb Röntgenstr 1897-1898;1:146-163.
- Dollinger F. Zweiter Bericht über die Arbeiten auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen in Frankreich. (1 juli 1897- 1 april 1898). Fortschr Geb Röntgenstr 1898-1899;2:36-43.
- Dominici H. Du traitement des tumeurs malignes par le rayonnement ultrapénétrant du radium. Bull du Cancer 1908;1:124-56.
- Doornkaat Koolman M ten. Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung der in der Diagnostik verabfolgten Röntgenstrahlendosen. Klin Wochenschr 1930;9:169.
- Doub HP, Bolliger A, Hartman FW. The relative sensitivity of the kidney to irradiation. Radiology 1927;8:142-8.
- Driessen LF. Een verbeterde wijze van inschakeling der röntgenbuis ter voorkoming van huidbeschadiging. Ned Tijdschr Geneesk 1918;62I:1733-5.
- Driessen LF. Zur Verhütung filterloser Bestrahlung bei der Tiefentherapie. Zentralbl Gynäk 1920;44:1258-60.
- Driessen LF. Kunstmatige vruchtafdriving door middel van röntgenbestraling. Ned Tijdschr Geneesk 1926;70II:1788-89.
- Droogleever Fortuyn HJW. Register van erkende specialisten.

- Ned Tijdschr Geneeskd 1933;77I:117-44.
- Duane W. Measurement of roentgenradiation by means of an ionization chamber and galvanometer. Am J Roentgenol 1922;9:467-9.
 - Duane W. X-rays and Gamma-rays. Read before the Cleveland meeting of the American Roentgen Ray Society, 1914. The Scientific Basis of Short Wave Length Therapy. Am J Roentgenol 1922;9:781-91.
 - Duckworth D. Rational empirism and scientific medicine: the boundaries dividing them. BMJ 1911;I:1217-18.
 - Ducuing J, Marquès P, Milesky Mlle. L'action de la Roentgentherapie totale sur quelques constantes biologiques. J Radiol Électrol 1935;20:177-81.
 - Dufke. Röntgenspätatrophie. Derm Wochenschr 1931;92:178.
 - Dugteren Van. Radiumbehandlung. Ned Tijdschr Geneeskd 1904;40II:578-9.
 - Dugteren Van. Rapport omtrent radium-behandeling. Ned Tijdschr Geneeskd 1906;50I:741-53.
 - Eisner. Kohlensäureschneebehandlung bei Röntgenhaut. Klin Wochenschr 1927;6:1824.
 - Electro-therapeutist. Lay radiographers. BMJ 1917;2:673.
 - Electro-therapeutist. BMJ 1917;2:811.
 - Engelman W. Einrichtung und Wirkungsweise eines neuen Inhalationsapparates für Radiumemanation mit dosierbarer Emanationsspeisung. Berlin klin Wochenschr 1911;48:659-62.
 - Ewing J. Early experiences in radiation therapy. Am J Roentgenol 1934;31:153-63.
 - Exner FM, Packard C. Biological measurement of radium gamma rays. Radiology 1935;25:391-402.
 - Faber A. Einwirkung der Röntgenstrahlen auf die Sexualorgane von Tier und Mensch. Fortschr Geb Röntgenstr 1910-1911;16:435-59.
 - Fahr. Röntgenspättschädigungen der Haut. Klin Wochenschr 1926;5:1252.
 - Failla G. Criteria for the design of a standard ionisation chamber. Am J Roentgenol 1929;21:47-63.
 - Failla G. His radon seeds referred to by Dr. Quick. Carcinoma of the larynx. Am J Roentgenol 1937;38:821-53.
 - Feit H. Roentgendematitis treated with a salt-free diet and a vitamin A-rich regimen. Arch Derm Syph 1933;28:880.
 - Feldweg P. Ein ungewöhnlicher Fall von Fruchtschädigung durch Röntgenstrahlen. Strahlentherapie 1927;26:799-801.
 - Fernau A, Smereker H. Über das Verbleiben radioaktiver Substanzen im Organismus bei Radiumemanationstrinkkuren. Klin Wochenschr 1933;12:1422.
 - Finzi NS. Late x-ray and radium effects. Incidence, etiology and medical treatment. Brit J Radiol 1933;6:148-61.
 - Fischer B. Über Bestrahlungsnekrosen des Darmes. Strahlentherapie 1922;13:333-58.
 - Flaskamp W. Ueber Röntgenschäden und Schäden durch radioaktive Substanzen. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1930.
 - Flemming CES. Quackery in rural districts. BMJ 1911;I:1246-8.
 - Flesch-Thebesius. Geheilte Röntgenulzera. Derm Wochenschr 1931;92:953.
 - Forssell G. Guido Holzknacht. In memoriam. Acta Radiol 1931;12:516-21.
 - Försterling K. Ueber allgemeine und partielle Wachstumsstörungen nach kurz dauernden Röntgenbestrahlungen von Säugethieren. Arch klin Chir 1906;81II:505-30.
 - Fowler F. The technique of X-ray treatment of cancer. BMJ 1913;2:912-15.
 - Fraenkel M. Die Gefahren der Röntgenbestrahlung mit sehr hohen Dosen bei Frauenleiden. Berlin klin Wochenschr 1920;57:884-5.
 - Francois. De la radiothérapie dans quelques affections de la peau (communication). Journal de Radiologie 1914;8:133-7.

- Franqué O von. Schwere Darm- und Hautschädigung bei Röntgentiefentherapie mit Schwerfilter. Zentralbl Gynäk 1918;42:1-4.
- Franz K. Fall einer Röntgenschädigung. Berlin klin Wochenschr 1917;54:662-3.
- Fraser JF. Roentgen ray dermatitis. Arch Derm Syph 1934;30:901.
- Freudenthal W. Experiences with radium in diseases of the throat and nose. J Advanc Therap 1906;24:279-87.
- Freudenthal W. The effect of the rays of radium upon the mucous membrane of the larynx. Arch Electrol Radiol 1904;4:318-20.
- Freund L. Ein mit Röntgen-Strahlen behandelter Fall von Naevus pigmentosus piliferus. Wien med Wochenschr 1897;47:428-434.
- Fricke H, Glasser O. A theoretical and experimental study of the small ionization chamber. Am J Roentgenol 1925;13:453-61.
- Fricke H, Glasser O. Studies on the physical foundations of roentgen-ray therapy. Am J Roentgenol 1924;11:435-42.
- Friedrich W. Measurement of gamma-rays. Am J Roentgenol 1938;40:69-79.
- Friedrich W, Glasser O. Über die Dosenverhältnisse bei inkorporaler Radium- und Mesothoriumtherapie. Strahlentherapie 1920;11:20-34.
- Friedrich W, Glasser OA. Untersuchungen und Betrachtungen über das Problem der Dosimetrie. Strahlentherapie 1923;14:362-88.
- Friedrich W, Krönig B. Strahlenbehandlung der Myome in einer einmaligen Sitzung. Münch med Wochenschr 1915;62:1669-70.
- Fritsch E. Dosierungsfehler bei Röntgenbestrahlungen infolge Falschzeigens des Milliampèremeters und deren Vermeidung. Strahlentherapie 1927;24:719-21.
- Frühwald. Röntgenverbrennung. Derm Wochenschr 1936;102:23.
- Fuchs H, Konrad J. Über Spätschädigungen nach Röntgenbestrahlung von Dermatosen und Folgerungen bezüglich des Bestrahlungsmodus. Derm Wochenschr 1931;93:1188.
- Fuchs J. Ueber den Einfluss von Kathodenstrahlen auf die Haut. Deutsch med Wochenschr 1896;22:569.
- Fürstenau R. Experimentelle Untersuchungen über die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf das Selen. Fortschr Geb Röntgenstr 1916-1917;24:390-408.
- Fürstenau R. Über die Verwendbarkeit des Selens zu Röntgenstrahlenenergiemessungen. Phys Zeitschr 1915;16:276-9.
- Fürstenau R. Über eine neue Röntgenröhre. Fortschr Geb Röntgenstr 1910;15:218-21.
- Fürstenau R, Immelmann M, Schütze J. Leitfaden des Röntgenverfahrens für das röntgenologische Hilfspersonal. Stuttgart: Verlag von Ferd. Enke, 1914.
- Gabriel G. Röntgenverbrennung - Röntgenschädigung. Klin Wochenschr 1926;5:2179.
- Galewsky. Röntgenschädigungen. Klin Wochenschr 1929;8:44.
- Ganter G. Über ein einfaches Adaptionsverfahren für Röntgenzwecke. Münch med Wochenschr 1926;73:1917.
- Gassmann A. Zur Histologie der Röntgenulcera. Fortschr Geb Röntgenstr 1898-1899;2:199-207.
- Gassmann A, Schenkel H. Ein Beitrag zur Behandlung der Hautkrankheiten mittelst Röntgenstrahlen. Fortschr Geb Röntgenstr 1898-1899;2:121-132.
- Gassul R. Über Unterricht und Ausbildung in der Röntgenologie. Acta Radiol 1930;supplV:240-1.
- Gauss CJ. Über die Prinzipien der Strahlenbehandlung gutartiger und bösartiger Geschwülste. Strahlentherapie 1915;5:379-400.
- Gavazzeni S, Minelli S. Die Autopsie eines Röntgenologen. Strahlentherapie 1915;5:309-320.
- Gawalowski. Spätschädigungen der Haut nach Röntgenbestrahlung im Jahre 1914. Derm Wochenschr 1935;101:1606.
- Gettler AO, Norris C. Poisoning from drinking radium water.

- JAMA 1933;100:400-402.
- Gilchrist TC. Radiographic dermatitis with otitis. Bull John Hopk Hosp 1897;71:123-4.
 - Glasser O. Guido Holzknecht (1872-1931). Am J Roentgenol 1932;27:114-17.
 - Glasser O. Newer investigations of the problem of roentgen-ray dosage. Am J Roentgenol 1923;10:1-5.
 - Glocker R. Die Bedeutung von Netzspannungsschwankungen für den diagnostischen und therapeutischen Röntgenbetrieb. Münch med Wochenschr 1919;66:1164-5.
 - Glocker R, Kaupp E. Über eine in Bezug auf die R-Einheit von der Qualität der Strahlung unabhängige Fingerhutkammer und über die Messung der Streu-zusatzdosis im Wasserphantom I. Strahlentherapie 1926;23:447-62.
 - Glocker R, Kaupp E. Über eine in Bezug auf die R-Einheit von der Qualität unabhängige Fingerhutkammer und über die Messung der Streu-zusatzdosis im Wasserphantom II. Strahlentherapie 1927;24:517-23.
 - Glover Lyon T. Roentgen's rays as a cure for disease. Lancet 1896;1:326.
 - Gocht H. Die Schädigungen, welche durch Röntgenstrahlen hervorgerufen werden, ihre Verhütung, Behandlung und forensische Bedeutung. Münch med Wochenschr 1909;41:18-22;80-2.
 - Gocht. Die Schädigungen, welche durch die Röntgenstrahlen hervorgerufen werden, die Vermeidung und Behandlung, schliesslich die forensische Bedeutung derselben. Münch med Wochenschr 1908;40:2255.
 - Gocht. Röntgenshädigungen. Münch med Wochenschr 1909;41:882-3.
 - Gocht. Schädigungen durch Röntgenstrahlen. Münch med Wochenschr 1908;40:2104.
 - Gohl JG. Over de behandeling van ernstige verbrandingen veroorzaakt door X-stralen. Ned Tijdschr Geneeskd 1912;56I:867-71.
 - Gohl JG. Verslag van het 5de Duitsche Röntgencongres. Ned Tijdschr Geneeskd 1909;53II:977-82.
 - Gohlisch I. Röntgenshädigung bei zwei Schwestern nach Bestrahlung wegen Hypertrichosis bei familiärer Intersexualität. Derm Wochenschr 1936;103:1310-15.
 - Goldstein L, Murphy DP. Etiology of the ill-health in children born after maternal pelvic irradiation. Am J Roentgenol 1929;22:322-31.
 - Goot DH van der. In memoriam. Johannes Karel August Wertheim Salomonson. Ned Tijdschr Geneeskd 1922;66II:2424-8.
 - Gray AL, Bisell FS, Hickey PM, Sheaper JS, Manges WF. Report of Committee on Teaching. Am J Roentgenol 1921;8:85-86.
 - Groedel FM, Lossen H. Die indirekten Röntgenverbrennungen (Verbrennungen durch Kumulation und Kombination). Klin Wochenschr 1928;7:2383-6.
 - Groedel FM, Lossen H. Weitere Mitteilungen über die Gefahren bei der Röntgenstrahlenbehandlung der chirurgischen und der Hauttuberkulose. Klin Wochenschr 1928;7:1050.
 - Groover T, Christie AC, Merritt EA. Intrathoracic changes following roentgen treatment of breast carcinoma. Am J Roentgenol 1923;10:471-76.
 - Groover TA, Christie AC, Merritt EA, Coe FO, McPeak EM. Roentgen Irradiation in the treatment of hyperthyroidism: A statistical evaluation based on 305 cases. JAMA 1929;92:1730-4.
 - Grubbé EH. Priority in the therapeutic use of x-rays. Radiology 1933;21:156-162.
 - Grünwald. Spätschädigung nach Röntgenbestrahlung. Derm Wochenschr 1931;92:953.
 - Gudzent F. Die Anwendung radioaktiver Stoffe in der inneren Medizin. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Band III. Innere Medizin. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1926. Pgs. 579-608.
 - Gudzent F. Radiumtherapie bei inneren Krankheiten und Kurpfuschertum.

Klin Wochenschr 1933;12:1422.

- Gudzent F. Über Dosierung und Methodik der Anwendung radioaktiver Stoffe bei inneren Krankheiten und die erzielten Heilwirkungen. Berlin klin Wochenschr 1911;48:1597-1602.
- Guilleminot H. Nouveau quantitomètre pour rayons X. Compt Rend Acad Sci 1907;145:711.
- Gunsett A. Les unités quantitométriques dans la pratique de la roentgentherapie. État actuel de la question. J Radiol Électr 1927;11:353-81.
- Guszman J. Carcinoma manus et faciei post radiationem X. Derm Wochenschr 1936;102:554.
- Guszman J. Ulkus post radiationem X. Derm Wochenschr 1936;102:556.
- Haas L. Ueber eine Röntgenschädigung. Wien klin Wochenschr 1923;36:128-9.
- Haendly P. Pathologisch-anatomische Ergebnisse der Strahlenbehandlung. Strahlentherapie 1921;12:1-87.
- Hagedoorn-Vorstheuvcl la Brand AC. De Duitse resoluties inzake het gevaar van bestraling met het oog op de mogelijkheid van kiembeschadiging. Ned Tijdschr Geneesk 1934;78II:4261-5.
- Hahn O. Über Heiserkeit nach Röntgenbestrahlung am Halse. Zentralbl Chir 1919;46:722-3.
- Hahn. Vereine und Kongresse. Fortschr Geb Röntgenstr 1898-1899;2:190-191.
- Hahn. Zarnbin: Die neuesten Thatsachen betreffend die Frage über den Einfluss der X-strahlen auf die gesunde und kranke Haut. Fortschr Geb Röntgenstr 1899-1900;3:84.
- Halberstaedter L. Die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf Ovarien. Berlin klin Wochenschr 1905;42:64-6.
- Halberstädter L. Physikalische Eigenschaften und biologische Wirkung der von der Rückseite der Antikathode ausgehenden Röntgenstrahlung. Fortschr Geb Röntgenstr 1922;29:478-88.
- Halberstaedter L, Tugendreich J. Die Gefahr der Hautschädigung bei der Röntgendiagnostik. Berlin klin Wochenschr 1920;57:1091-2.
- Halberstädter L, Tugendreich J. Über die von der Rückseite der Antikathode ausgehende Röntgenstrahlung. Fortschr Geb Röntgenstr 1921-1922;28:64-7.
- Hall CC, Whipple GN. Roentgen ray intoxication: disturbance in metabolism produced by deep massive doses of hard roentgen rays. Am J Med Sci 1919;157:543-61.
- Hall-Edwards J. Lay radiographers and electro-therapeutists. BMJ 1917;2:811.
- Hall-Edwards J. Roentgenology in warfare. Am J Roentgenol 1918;5:280-7.
- Handorn. Ulcus incrustatum der Harnblase als Spätschädigung nach Strahlentherapie. Zentralbl Gynäk 1928;52:507-10.
- Happel P. Zur Frage der Radiumschwachtherapie. Klin Wochenschr 1933;12:1501.
- Hartevelt. Röntgenstralen en diagnostiek van inwendige ziekten. Ned Tijdschr Geneesk 1897;33I:259-61.
- Hartman FW, Bolliger A, Doub HP. Experimental nephritis produced by irradiation. Am J Med Sci 1926;172:487-500.
- Hecht H. Radiumschädigung? Klin Wochenschr 1933;12:1822.
- Heck W. Schwere Darm- und Hautschädigung bei Röntgentiefentherapie mit Schwefelfilter. Strahlentherapie 1920;11:796-802.
- Heidler H. Cystitis dissecans gangraenescens (Stoeckel) actinogenetica. Zeitschr Geburtsh Gynäk 1927;92:1-13.
- Heilbron LG. Demonstratie van Röntgenogrammen van de nierstreek. Ned Tijdschr Geneesk 1915;59II:783.
- Heilbron LG. In memoriam. Prof. Nicolaas Voorhoeve. Ned Tijdschr Geneesk 1927;71II:826-827.
- Heimann F. Röntgenspätschädigungen. Klin Wochenschr 1923;2:2034-6.

- Heimann F. Schwere Hautschädigung bei Zinkfilterbestrahlung. Zentralbl Gynäk 1918;42:217-20.
- Heimann F. Zur Frage der Zinkfilterbestrahlung. Zentralbl Gynäk 1918;42:537-8.
- Heineke H. Experimentelle Untersuchungen über die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf innere Organe. Mitteilungen aus den Grenzgebieten der Medizin und Chirurgie 1904;14:91-94.
- Heineke H. Über die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf innere Organe. Münch med Wochenschr 1904;51:785-6.
- Henrard E. Les rayons X et le radium en gynécologie. Journal de Radiologie 1914;8:93-94.
- Henshaw PS, Francis DS. Biological measurement of gamma rays in "equivalent roentgens". Radiology 1936;27:569-83.
- Hering. Kehlkopfnekrose nach Röntgenbestrahlung. Zentralbl Chir 1922;49:990.
- Hesse O. Das Röntgenkarzinom. Deutsch med Wochenschr 1911;37:1410.
- Heyerdahl SA. The instruction in medical radiology in Norway. Acta Radiol 1930;supp IV:119-22.
- Hickey PM. The teaching of roentgenology in America. Acta Radiol 1930;supplV:34-40.
- Hirsch H. Das Mekapiondosimeter im praktischen Röntgenbetriebe. Strahlentherapie 1927;26:207-210.
- Hirschberg M. Dauerheilung eines Tibiasarkoms mit Röntgenstrahlen und atrophische Vorgänge in der bestrahlten Muskulatur. Spätatrophie in der Halsmuskulatur nach einer einmaligen, vor 15 Jahren ausgeführten Oberflächenröntgenbestrahlung. Strahlentherapie 1929;34:421-4.
- Hoed D den, Levie B, Straub M. Serious injuring of the blood in consequence of teleroentgen-therapy of the whole body. Acta Radiol 1938;19:151-63.
- Hoed D den, Stoel G. Intensity measurements of radium-rays. Acta Radiol 1929;10:442-61.
- Hoede K. Röntgenschädigung nach Epilationsbestrahlung bei Hypertrichosis. Klin Wochenschr 1931;10:421.
- Hoede K. Zur Frage der Entstehung und Verhütung von Röntgenschäden der Haut. Derm Wochenschr 1937;104:590-1.
- Hoeve J van der. De ontwikkeling der oogheekunde gedurende het tijdperk 1849-1924. Ned Tijdschr Geneesk 1924;68II:33-42.
- Hofmeister F von. Über tödlich verlaufende Röntgenschädigungen des Kehlkopfes. Münch med Wochenschr 1922;69:1687-90.
- Holfelder H. Die Tiefenbestrahlungstechnik an der Schmiedenschen Klinik. Strahlentherapie 1921;12:161-77.
- Holfelder H. Methodische Grundlagen der chirurgischen Röntgentherapie. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Band II. Chirurgie. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 77-138.
- Holfelder H. Örtliche Neben- und Nachwirkungen der Röntgenstrahlen. Klin Wochenschr 1931;10:2186.
- Holfelder H. Über den Nachweis bei Röntgenverbrennungen scheinbar ungeklärter Ursache. Klin Wochenschr 1923;2:1998.
- Holmes GW. Some remarks on the present status of X-ray therapeutics. Am J Roentgenol 1921;8:522-7.
- Holthusen H. Biologische Dosierung der Röntgenstrahlen mit Ascariseiern. Klin Wochenschr 1924;3:185-6.
- Holthusen H. Erster Internationaler Radiologen-Kongress. Fortschr Geb Röntgenstr 1925;33:797-800.
- Holthusen H. Qualitative und Quantitative Messung der Röntgenstrahlen. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Erster Band. Wissenschaftliche Grundlagen. Berlin: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 287-360.

- Holthusen H. Über die Bedingungen der Röntgenstrahlenenergiemessungen bei verschiedenen Impulsbreiten auf luftelektrischen wege. Fortschr Geb Röntgenstr 1918-1919;26:211-31.
- Holthusen H, Englmann K. Die Gefahr des Röntgenkarzinoms als Folge der Strahlenbehandlung. Münch med Wochenschr 1932;79:120.
- Holthusen H, Hamann A. Radiumdosimetrie auf photometrischem Wege. Strahlentherapie 1932;43:667-84.
- Holzknecht G. Die geschichtliche Entwicklung der Strahlenbehandlung und ihre Bedeutung für die Heilkunde.
In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Erster Band. Wissenschaftliche Grundlagen. Berlin: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 1-28.
- Holzknecht G. Filteralarm. Strahlentherapie 1920;11:460-70.
- Holzknecht G. Schädigungsprophylaxe. Strahlentherapie 1927;24:385-411.
- Holzknecht G. Über den Studentenunterricht in der medizinischen Anwendung von Röntgenstrahlen. Acta Radiol 1930;supplV:5-16.
- Holzknecht G. Ueber das Chromoradiometer. Fortschr Geb Röntgenstr 1902-1903;6:49;102.
- Holzknecht G. Ueber die häufigsten Ursachen der Röntgenschädigungen. Münch med Wochenschr 1922;69:1524.
- Holzknecht G. Ueber die häufigsten Ursachen der Röntgenschädigungen und ihre Vermeidung. Münch med Wochenschr 1922;69:1597-8.
- Holzknecht G. Weitere Mitteilungen über die Skala zum Sabouraud. Fortschr Geb Röntgenstr 1910;15:372-6.
- Holzknecht G. What causes the healing action of Roentgen-Rays? Arch Radiol Electr 1923;28:85-89.
- Holzknecht G. Wien klin Wochenschr 1904;17:318-319.
- Holzknecht G, Grünfeld R. Ein neues Material zum Schutz der gesunden Haut gegen Röntgenlicht und über radiologische Schutzmassnahmen im Allgemeinen. Münch med Wochenschr 1903;50:1202-5.
- Hoop E van der. Opmerkingen over röntgentherapie. Ned Tijdschr Geneesk 1904;40I:1219-20.
- Hübner. Röntgenulcus. Münch med Wochenschr 1909;41:424-5.
- Hudelett G. Action des rayons X sur le foie. Arch Élect Méd 1907;15:7-21.
- Hueck H, Spiess W. Zur Frage der Wachstumsstörungen bei röntgenbestrahlten Knochen- und Gelenktuberkulosen. Strahlentherapie 1929;32:322-42.
- Huet WG. Vierde Internationaal Congres voor Geneeskundige Electrologie en Radiologie te Amsterdam 2-5 september 1908. Ned Tijdschr Geneesk 1908;52II:977-81.
- Huet. Röntgentherapie. Ned Tijdschr Geneesk 1905;41I:1117-19.
- Huet WG. Radioskopische demonstratie van beginnende longtuberculose. Ned Tijdschr Geneesk 1908;52II:586-91.
- Imboden HM. Progress in the development of roentgen-ray apparatus. Am J Roentgenol 1931;26:517-22.
- Immelmann M, Schütze J. Absorptionsmessungen mit dem Fürstenauschen Intensimeter. Fortschr Geb Röntgenstr 1914-1915;22:533-41.
- Iselin. Ueber Wachstumsschädigungen junger Tiere durch Röntgenstrahlen. Fortschr Geb Röntgenstr 1912-1913;19:473-4.
- Janeway HH. The treatment of cancer of the lip by radium. JAMA 1918;70:1051-8.
- Janeway HH. Treatment by radium of cancerous mucous membranes. Am J Roentgenol 1918;5:414-16.
- Jessen F, Rzewuski A. Zur Technik der Behandlung intrathorakaler Leiden mit Röntgenstrahlen. Fortschr Geb Röntgenstr 1909-1910;14:422-24.
- Jordan AC. X-Rays in medical science. Nature 1919;104:237-9.
- Josephs I. Professor Guido Holzknecht. Radiology 1931;17:1315-18.

- Jüngling O. Bericht über die XIII. Tagung der Deutschen Röntgengesellschaft in Berlin. Zentralbl Chir 1922;31:1146-59.
- Jüngling O. Über Röntgenspätchädigungen des Kehlkopfs und Vorschläge zu deren Verhütung. Strahlentherapie 1923;15:18-47.
- Kalz F. Radiumulkus. Derm Wochenschr 1935;100:685-6.
- Keijser S. Enkele punten uit de ontwikkeling van de radiologie. Openbare les, gehouden bij den aanvang zijner lessen als lector in de radiologie aan de Rijks-Universiteit te Groningen op zaterdag 3 juli 1920. Groningen, Den Haag: J. B. Wolters' U.M., 1920.
- Keijser S. Over de gevaren van röntgenstralen voor het bedienende personeel en voor de behandelde patiënten. Amsterdam: Uitgevers en drukkers maatschappij van F. van Rossen, 1925.
- Kempster C. Lay radiographers and electrotherapeutics. BMJ 1917;2:778.
- Kessler E, Sluys F. Die räumliche Verteilung der Gammastrahlung und ihre Messung für therapeutische Zwecke. Strahlentherapie 1928;29:385-402.
- Kienböck R. Holzkecht semper vivus. Strahlentherapie 1937;58:597-8.
- Kienböck R. Über Dosimeter und das quantimetrische Verfahren. Fortschr Geb Röntgenstr 1906;9:276-9.
- Kienböck. Zur Pathologie der Hautveränderungen durch Röntgenbestrahlung bei Mensch und Tier. Fortschr Geb Röntgenstr 1901-1902;5:269.
- Kingery LB. Saturation in Roentgen Therapy: Its Estimation and Maintenance. Arch Dermat Syph 1920;1:423-6.
- Kirchberg F. Die rechtliche Beurteilung der Röntgen- und Radiumschädigungen. Hamburg: Lucas, Gräfe & Sillem, 1914.
- Kleine HO. Zur Frage der Entstehung von Strahlenschädigungen infolge vorangegangener syphilitischer Infektion (nach Radiumbestrahlung von Collumcarcinomen syphilitischer Frauen). Klin Wochenschr 1933;12:119.
- Knox R. Discussion on deep therapy problems in radiotherapy. Arch Radiol Electr 1922-1923;27:69-87.
- Koch CFA. De heekunde na 1849. Ned Tijdschr Geneeskd 1924;68II:21-4.
- König E. Zum Kapitel der Röntgenschädigungen nach Halsbestrahlungen. Münch med Wochenschr 1923;70:558-9.
- Kooij. Röntgendarmitis met zweer. Ned Tijdschr Geneeskd 1937;81III:3494.
- Kooij. Röntgen-zweer. Ned Tijdschr Geneeskd 1937;81III:3493-4.
- Kouwer BJ. Bestraling in de gynaecologie. Ned Tijdschr Geneeskd 1917;61II:861-3.
- Krause P. Wie schützt der Arzt bei Durchleuchtungen seine Kranken und sich selber vor Schädigungen durch Röntgenstrahlen. Münch med Wochenschr 1923;70:985-6.
- Kriser A. Röntgenschädigungen, deren Verhütung und Behandlung. Strahlentherapie 1926;21:406-15.
- Krönig B. Zur Verhütung von Nebenschädigungen bei der Behandlung tiefliegender und tiefgreifender Karzinome mit Radium und Mesothorium. Deutsch med Wochenschr 1915;41:1186-9.
- Kruspe. Röntgenhaut der Nase nach übermässiger Bestrahlung eines Hämangioms. Derm Wochenschr 1936;103:1479.
- Kuhn. Über Radiumbehandlung des Gebärmutterkrebses. Zentralbl Gynäk 1922;46:1504.
- Kuipers A. Twee gevallen van lupus faciei, genezen door behandeling met röntgen-stralen. Ned Tijdschr Geneeskd 1899;35I:869-73.
- Kumer L. Ueber Fortschritte in der Technik der Radiumbestrahlung. Wien klin Wochenschr 1923;36:385.
- Kupferberg H. Zur Behandlung von gynäkologischen Erkrankungen gutartigen Ursprungs mittels radio-aktiven Stoffe.

- In: Gauss CJ. Die Strahlentherapie in der Gynäkologie. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1929. Pgs. 471-576.
- Kurtzahn F. Spätschädigung nach Röntgenbestrahlung wegen Tuberkulose, insbesondere solche des Handgelenkes. Zeitschr Röntgenologie 1924;20:172-87.
 - Lacassagne A. Results of treatment of cancer of cervix uteri. BMJ 1932;2:912-13.
 - Lammers H. Uitkomsten, door radiotherapie verkregen, bij kanker der vrouwelijke borstklier volgens verschillende methodes gedurende het tienjarige tijdperk 1915 tot 1925. Ned Tijdschr Geneeskd 1926;70II:1396-1410.
 - Latzko W. Röntgenschäden und Tiefentherapie. Wien klin Wochenschr 1923;36:195-7.
 - Lauritsen CC, Development of high voltage X-ray tubes at California Institute of Technology. Radiology 1938;31:354-61.
 - Lauritsen CC. Geometrical factors in measurement of radiation in roentgens. Brit J Radiol 1938;11:471-8.
 - Lauritsen C, Bennett RD. New high potential X-ray tube. Physical Rev 1928;32:850-57.
 - Lauritsen C, Cassen B. High potential X-ray tube. Physical Rev 1930;36:988-92.
 - Lazarus-Barlow WS. An attempt at the experimental production of carcinoma by means of radium. Proc Roy Soc Med 1918;11:Path 1-17.
 - Leeuwen ThM van. Röntgendermatitis van de handen. Ned Tijdschr Geneeskd 1930;74IV:5553-4.
 - Lenk R. Guido Holzknecht. Strahlentherapie 1932;43:1-8.
 - Leschke E. Radiumvergiftungen. Münch med Wochenschr 1932;79:2122.
 - Leschke E. Radiumvergiftung. Fortschritte in der Erkenntnis und Behandlung der wichtigsten Vergiftungen. Münch med Wochenschr 1932;79:221-2.
 - Levy L, Thorne Baker T. The reduction of radiographic exposures to one twenty-fifth of the normal amount by means of the "impex" X-ray plate. Am J Roentgenol 1921;8:528-35.
 - Levy-Dorn. Die englische Journallitteratur des Jahres 1897. Fortschr Geb Röntgenstr 1897-1898;1:199-203.
 - Levy-Dorn. Eine Vorrichtung zum Schutz des Untersuchers gegen X-Strahlen und zur Erzielung scharfer Bilder. Fortschr Geb Röntgenstr 1897-1898;1:208.
 - Levy-Dorn. Heinz Bauer. Fortschr Geb Röntgenstr 1915-1916;23:200-1.
 - Levy-Dorn M. Die Röntgenschäden in der Diagnostik (insbesondere des Verdauungstraktus). Klin Wochenschr 1926;5:2035.
 - Levy-Dorn M. Schutzmassregeln gegen Röntgenstrahlen und ihre Dosierung. Deutsch med Wochenschr 1903;29:921-4.
 - Lexer. Röntgenulcus. Münch med Wochenschr 1919;66:338.
 - Lichtenbelt JWTh, Jolles WH. Over een nieuwe roentgenbuis. Ned Tijdschr Geneeskd 1915;59I:815-18.
 - Liek E. Nochmals zur Frage der Röntgenschädigungen. Deutsch med Wochenschr 1922;48:192-3.
 - Linser P. Beitrag zur Histologie der Röntgenwirkung auf die normale menschliche Haut. Fortschr Geb Röntgenstr 1904-1905;8:97-100.
 - Loewenthal S. Über die Wirkung der Radiumemanation auf den menschlichen Körper. Berlin klin Wochenschr 1906;43:1484-87.
 - London ES. Action physiologique de la radio-activité très faible. Arch Élect Méd 1906;14:94-101.
 - Loose G. Die Fortschritte der Röntgentherapie seit meiner Assistentenzeit bei Levy-Dorn. Fortschr Geb Röntgenstr 1923-1924;31:441-50.
 - Lorey A. Der Röntgenstrahlenschutz. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Band I. Die wissenschaftlichen Grundlagen der Strahlentherapie. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 1101-12.

- Lossen H. Über Ergebnisse unserer Materialiensammlung der Unfälle und Schäden in reichsdeutschen Röntgenbetrieben. *Acta Radiol* 1927;8:345-62.
- Louws WJ. Röntgen-teleangiectasieën. *Ned Tijdschr Geneesk* 1937;81:733.
- Lysholm E. Apparatus for the production of a narrow beam of rays in treatment by radium at a distance. *Acta Radiol* 1923;2:516-19.
- MacIntyre J. Roentgen Rays. Photography of renal calculus; description of an adjustable modification in the focus tube. *Lancet* 1896;74:118.
- MacIntyre J. X-ray records for the cinematograph. *Archives of Skiagraphy* 1897;1:37.
- Mahn G. Ein mit Kurzwellen behandelter Fall von Röntgenverbrennung. *Derm Wochenschr* 1935;100:108-109.
- Mallet L. Les corps radio-actifs. Généralités sur leur emploi et leur technique. In: Delherm L, Laquerrière A. *Traité d'électro-radiothérapie*. Paris: Masson et Cie, 1938. Pgs. 291-328.
- Marchik H. Röntgenshädigung des Kehlkopfes. *Monatschr Ohrenh* 1921;55:1445-66.
- Marcuse W. Dermatitis und Alopecie nach Durchleuchtungsversuchen mit Röntgenstrahlen. *Deutsch med Wochenschr* 1896;22:481-3.
- Marcuse W. Nachtrag zu dem Fall von Dermatitis und Alopecie nach Durchleuchtungsversuchen mit Röntgenstrahlen. *Deutsch med Wochenschr* 1896;22:681-2.
- Marquès H. Réaction précoce profonde après irradiation Röntgen. *Arch Élect Méd* 1912;21:204-6.
- Martin-Crespo J. Die Behandlung der Röntgendermatitis mit Kurzwellen. *Derm Wochenschr* 1936;103:1167-8.
- Martin HE, Quimby EH, Pack GT. Calculations of tissue dosage in radiation-therapy. *Am J Roentgenol* 1931;25:490-506.
- Matagne. La radium thérapie du lupus. *Journal de Radiologie* 1914;8:59-61.
- Matusovszky A. Über einen Fall sechstägiger Anurie infolge Radiumbestrahlung. *Monatschr Geburtsh Gynäk* 1923-1924;65:299-306.
- Mayer EG. Ein Denkmal für Guido Holzknacht. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1933;47:475-7.
- Mayneord WV. Distribution of radiation around simple radioactive sources. *Brit J Radiol* 1932;5:677-716.
- Mayneord WV. The measurement in "r" units of the gamma-rays from radium. *Brit J Radiol* 1931;4:693-710.
- Mayneord WV, Piney A. Some effects of X-radiation on blood. *Brit J Radiol* 1928;1:257-82.
- Mazères G. Contribution à la radiumthérapie. *J Radiol Électrol* 1924;8:102-6.
- Meijers FS. Röntgenbehandeling door leeken. *Ned Tijdschr Geneesk* 1910;54:258.
- Melville S. Education in radiology. *Acta Radiol* 1930;supplV:41-7.
- Mendel F. Die Emanationstherapie mittels intramuskulärer Injektionen. *Deutsch med Wochenschr* 1911;37:120-24.
- Mendes da Costa S. Radium-stralen. *Ned Tijdschr Geneesk* 1904;40:1033-9.
- Mendes da Costa S. Röntgenepilatie. *Ned Tijdschr Geneesk* 1908;52:952-3.
- Mendes da Costa S, Passtoors Th. Gevaren der behandeling van epitheloom met x-stralen. *Medisch Weekblad voor Noord- en Zuid-Nederland* 1904;11:41-45.
- Meyer H. Ehrenbuch der Röntgenologen und Radiologen aller Nationen. Berlin und Wien: Urban & Schwarzenberg, 1937.
- Meyer H. La question des feux croisés en radiothérapie gynécologique. *Journal de Radiologie* 1914;8:107-25.
- Meyer WH. The measurement of roentgen-ray quality by means of the photographic determination of the half value layer. *Am J Roentgenol* 1926;26:26-29.

- Mills GP. The effects of radium on healthy tissue cells. *Lancet* 1910;2:462-71.
- Milroy TH. The response of the developing retina to light and to radium-emanations. *J Physiol* 1905;33:69-76.
- Möller S. Zur Frage der Röntgenshädigungen. *Deutsch med Wochenschr* 1922;48:595-6.
- Mühlmann E. Ein Beitrag zum Kapitel der Röntgenshädigungen. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1918-1919;26:14-16.
- Mühlmann E. Zur Kasuistik der Röntgenshädigung von Brustdrüse und Lunge. *Strahlentherapie* 1924;18:451-456.
- Muller HJ. Artificial transmutation of the gene. *Science* 1927;66:84-7.
- Murdoch J, Stahel E. Étude comparative de deux unités dosimétriques des rayons Roentgen. I'R français (Solomon) el I'R allemand (Behnken). In: Wetterer J. Internationale Radiotherapie. Band II. 1926-1927. Darmstadt: L. C. Wittich Verlag, 1927. Pgs. 42-46.
- Murdoch J. L'enseignement de la radiologie médicale en Belgique. *Acta Radiol* 1930;supplV:55-60.
- Neeff ThC. Toleranzdosen in der Röntgendiagnostik. *Klin Wochenschr* 1930;9:1739.
- Nemenow MI. Über Ausbildung und Unterricht in der Radiologie in der U.S.S.R. *Acta Radiol* 1930;supplV:61-7.
- Neupert. Röntgenspätschädigungen. *Klin Wochenschr* 1931;10:327.
- Nieuwe Groningse Courant, 4 februari 1896; 14 februari 1896.
- Nieuwsblad van het Noorden, 14 januari 1896; 17 januari 1896; 19 januari 1896; 13 maart 1896.
- Nijhoff GC. Het onderwijs in de verloskunde en de uitoefening der verloskunst in Nederland gedurende de laatste 75 jaren. *Ned Tijdschr Geneeskd* 1924;68II:25-32.
- Nobele J de. Un cas de réaction tardive consécutive à des applications de radiothérapie. *Journal de Radiologie* 1914;8:103-106.
- Orton GH. Necessity for education in radiology and electro-therapeutics. *BMJ* 1917;II:854-5.
- Ottow B. Blasen-Bauchdeckfistel mit Nekrose des Schambeins infolge einer Röntgenverbrennung. *Zentralbl Gynäk* 1927;51:2936-43.
- Ottow. Radiumschädigungen an Blase und Mastdarm. *Klin Wochenschr* 1929;8:2356.
- Oudin, Barthélemy, Darier. Über Veränderungen an der Haut und den Eingeweiden nach Durchleuchtung mit X-Strahlen. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1897-1898;1:111.
- Oudin P, Zimmern A. Radiothérapie. Paris: Libraire J.-B. Baillière et Fils, 1913.
- Packard C. Measurement of Quantitative Biological Effects of X-rays. *J Cancer Research* 1926;10:319-21.
- Panner HJ. The instruction in medical radiology in Denmark. *Acta Radiol* 1930;supplV:136-41.
- Parker HM. A dosage system for gamma-raytherapy. Part II. *Brit J Radiol* 1934;7:612-32.
- Parker HM. A dosage system for interstitial radiumtherapy. Part II. Physical aspects. *Brit J Radiol* 1938;11:313-43.
- Pasche O. Ueber eine neue Blendenvorrichtung in der Röntgentechnik. *Deutsch med Wochenschr* 1903;29:266-267.
- Paterson R. A dosage system for interstitial radium therapy. Part I. Clinical aspects. *Brit J Radiol* 1938;11:252-66.
- Paterson R, Parker HM. A dosage system for gamma-raytherapy. Part I. *Brit J Radiol* 1934;7:592-612.
- Perthes. Über den Einfluss der Röntgenstrahlen auf epitheliale Gewebe, insbesondere auf das Carcinom. *Arch klin Chir* 1903;71:955-1000.

- Perthes. Über Visierlappenplastik und über Spätnekrose des Knochengewebes infolge von Röntgenbestrahlung. Arch klin Chir 1923;127:165-77.
- Perthes G. Versuch einer Bestimmung der Durchlässigkeit menschlicher Gewebe für Röntgenstrahlen mit Rücksicht auf die Bedeutung der Durchlässigkeit der Gewebe für die Radiotherapie. Fortschr Geb Röntgenstr 1904-1905;8:12-25.
- Perussia F. L'enseignement de la radiologie médicale dans les universités italiennes. Acta Radiol 1930;supplV:68-72.
- Perussia F. Regelung und Kontrolle der Strahlentherapie des Krebses. In: Wetterer J. Internationale Radiotherapie. Band II. Darmstadt: L. C. Wittich Verlag, 1927. Pgs. 817-27.
- Pfahler GE. A simple device to prevent the omission of filters in deep roentgen therapy. Am J Roentgenol 1921;8:780.
- Pfahler GE. Clinical results from the newer technique of deep roentgentherapy in malignant diseases. Am J Roentgenol 1921;8:236-8.
- Pfahler GE. Radiodermatitis. Am J Roentgenol 1921;8:781-2.
- Pfahler GE. Sudden swelling of the parotid gland following shortly after X-ray treatment: its probable cause and means of prevention. J Cutan Dis 1913;31:396-7.
- Pfahler GE. The saturation method in roentgentherapy as applied to deep seated malignant disease. Br J Radiol 1926;31:45-58.
- Philipp. Die Röntgenbestrahlung der Hoden des Mannes. Fortschr Geb Röntgenstr 1904-1905;8:114-19.
- Philipp E. Knochenerkrankungen bei wegen Uteruskarzinoms mit Röntgenstrahlen bestrahlten Frauen. Strahlentherapie 1932;44:363-78.
- Pinkhof. New York. De eenige koopwaar die afslaat. Ned Tijdschr Geneesk 1916;60II:1832.
- Pordes F. Die Röntgeneffekte der einzelnen Organe. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Band III. Berlin: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 18-21.
- Posthumus Meijjes W. Het effect der radium-bestraling. Ned Tijdschr Geneesk 1904;40II:319-21.
- Potter HE. History of diaphragming roentgen rays by use of the Bucky principle. Am J Roentgenol 1931;35:396-402.
- Potter HE. The Bucky diaphragm adapted to fluoroscopy. Am J Roentgenol 1917;4:47-50.
- Potter HE. The Bucky diaphragm principle applied to roentgenography. Am J Roentgenol 1920;7:292-5.
- Provinciale Groninger Courant, 29 december 1896.
- Pusey WA. Roentgen-ray Therapy twenty years ago. JAMA 1923;81:1257-60.
- Quimby EH. Determination of dosage for long radium or radon needles. Am J Roentgenol 1934;31:74-91.
- Quimby EH. Effect of size of radium applicators on skin doses. Am J Roentgenol 1922;9:671-83.
- Quimby EH. Intensity of radiation in vicinity of filtered radon implants. Radiology 1928;10:365-76.
- Quimby EH. Physical factors in interstitial radium therapy. Am J Roentgenol 1935;33:306-16.
- Quimby EH, Martin HE. Basis for dosage determination in interstitial irradiation. Am J Roentgenol 1929;21:240-9.
- Raw N. The value of X-rays in medicine and surgery. Lancet 1896;74II:1416.
- Récamier D, Tribondeau L. A-propos de l'action des rayons X sur l'ostéogénese. Compt Rend Soc Biol 1905;59:621-2.
- Regaud C. Distribution chronologique rationnelle d'un traitement de cancer épithélial par les radiations. Compt Rend Soc Biol 1922;86:1085-8.

- Regaud C. Influence de la durée d' irradiation sur les effets déterminés dans le testicule par le radium. *Compt Rend Soc Biol* 1922;86:787-90.
- Regaud C. La radiosensibilité des neoplasms malins dans ses relations avec la fluctuation de la multiplication cellulaire. *Compt Rend Soc Biol* 1922;86:933-95.
- Regaud C. Le rythme alternant de la multiplication cellulaire et la radiosensibilité du testicule. *Compt Rend Soc Biol* 1922;86:822-4.
- Regaud C, Coutard H, Hautant A. Contribution au traitement des cancers endolarynges par les rayons-X. *Internat Congr d'Otol* 1922:19-22.
- Regaud C, Ferroux R. Doses et durée d'application en radiumthérapie; procédés de notation et de calculation; table pour l'emploi de l'émanation du radium. *J Radiol Électrol* 1918-1919;3:481-500.
- Regaud C, Nogier T, Lacassagne A. Sur les effets redoutables des irradiations étendues de l'abdomen et sur les lésions du tube digestif déterminées par les rayons de roentgen. *Arch Élect Méd* 1912;21:321.
- Reich. Über Schäden und Unfälle in Röntgenbetrieben. *Klin Wochenschr* 1929;8:190.
- Reifferscheid K. Die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf tierische und menschliche Eierstöcke. *Strahlentherapie* 1915;5:407-26.
- Reifferscheid K. Histologische Studien über die Beeinflussung menschlicher und tierischer Ovarien durch Röntgenstrahlen. *Zentralbl Gynäk* 1910;34:593-7.
- Reiss E. Röntgenulkus. *Derm Wochenschr* 1935;100:685.
- Remijnse JG. Röntgencarcinoom. *Ned Tijdschr Geneesk* 1935;79:737-40.
- Renander M. Catalogue des Portraits des Membres du Deuxième Congrès International de Radiologie, Stockholm 23-27 Juillet 1928. Stockholm: A.-B. Hasse W. Tullbergs Boktryckeri, 1928.
- Renfer E. Über zwei Fälle von Radiumnekrosen des Myokardes. *Cancer* 1927;4:431-41.
- Rieder H. Radiologische Untersuchungen des Magens und Darmes beim lebenden Menschen. *Münch med Wochenschr* 1904;51:1548-51.
- Rijkens RG. De beteekenis van de Röntgen'sche stralen voor de diagnose van inwendige ziekten. *De Natuur* 1896;16:308-309.
- Ritter H, Rost GA, Krüger R. Experimentelle Studien zur Dosierung der Röntgenstrahlen mit dem Sabouraudschen Dosimeter. *Strahlentherapie* 1915;5:471-91.
- Rohrschneider W. Schädigungen der Augen bei der Röntgenstrahlentherapie extraokularer Erkrankungen. *Klin Wochenschr* 1933;12:1786.
- Romunde LH van. "Specialist te zijn of niet te zijn, dat is de vraag". *Ned Tijdschr Geneesk* 1926;70II:706-8.
- Röntgen WC. Über eine neue Art von Strahlen. Erste Mitteilung. *Sitzgsber Physikal-med Gesellschaft (Würzburg)*, 28-12-1895:132-141.
- Röntgen WC. Über eine neue Art von Strahlen. Mitteilung II. *Sitzgsber Physikal-med Gesellschaft (Würzburg)*, 1896:11-19.
- Rose CB. Breastcarcinoma treated surgically and by roentgen ray. *JAMA* 1923;80:1750-54.
- Rost GA. Dermatologie und Röntgenstrahlen. *Strahlentherapie* 1933;47:93-99.
- Rothbart L. Ursachen und Verhütung der Röntgenverbrennung. Vorschlag zu einheitlicher Hautbezeichnung im therapeutischen Betriebe. *Deutsch med Wochenschr* 1922;48:1485.
- Rowland S. Report on the application of the new photography to Medicine and Surgery. *BMJ* 1897;I:1486.
- Ruland MHJ. Klinische demonstratie. *Ned Tijdschr Geneesk* 1898;34I:261-9.
- Russ S. Suggestion for new unit in radiotherapy. *Arch Radiol Electr* 1918;23:226.
- Russ S. The Effect of X-rays of Different Wave-Lengths upon Some Animal Tissues. *Lancet* 1923;2:637-40.

- Rutgers M. XXVIII. Congres van het Duitse Gezelschap voor Chirurgie te Berlijn. Ned Tijdschr Geneesk 1899;35I:702-5.
- Rutherford E. Bakerian Lecture: nuclear constitution of atoms. Proc R Soc 1920;A97:374-400.
- Sabouraud R, Noiré H. Traitement des tignes tondantes par les rayons X. Pres Méd 1904;12:825-7.
- Salis H von. Zu den Röntgenveränderungen nach Bestrahlung der Gland-Submaxillaris. Strahlentherapie 1924;17:395-400.
- Schäfer P. Ergebnisse der Bestrahlung mit Radium und Röntgen kombiniert. Zentralbl Gynäk 1920;44:714-15.
- Schaly GA, Diehl JC. Jaarverslag der Specialisten- Commissie over 1932. Ned Tijdschr Geneesk 1933;77I:1074-82.
- Schaly GA, Diehl JC. Jaarverslag der Specialisten- Registratie-Commissie over 1932. Ned Tijdschr Geneesk 1933;77I:1082-4.
- Schellong O. Die Facharztfrage vom Standpunkt des Allgemeinpraktikers. Deutsch med Wochenschr 1924;50:809-11.
- Schempp E. Dosierungsfehler in der Tiefentherapie bei Verwendung des "Spannungshärtemessers" an Induktorapparaten und ihre Verhütung. Münch med Wochenschr 1922;69:429-31.
- Schilling. Eine Röntgenschädigung des Kolons als Todesursache. Münch med Wochenschr 1930;77:1465.
- Schinz HR, Zollinger F. Materialiensammlung von Unfällen und Schäden in schweizerischen Röntgenbetrieben. Münch med Wochenschr 1930;77:1382.
- Schmidt EA. Die neueren Ergebnisse auf dem Gebiet der Röntgentherapie in Amerika. Zentralbl Gynäk 1922;46:2025-6.
- Schmidt H. Kehlkopfgangraen als Röntgenspättschädigung. Virchows Arch 1921;231:557-69.
- Schmidt HE. Zur Wirkung der Röntgenstrahlen auf die Speicheldrüsen des Menschen. Verhandl deutsch Röntgen-Gesellsch 1914;10:117-8.
- Schmidt. Röntgenulzera. Tuberculosis luposa. Derm Wochenschr 1931;93:1605.
- Schmitt. Schwere Röntgenverbrennungen. Münch med Wochenschr 1922;69:1200-1.
- Schmitz H. Complications in the urinary tract due to carcinoma of the uterine cervix irradiation treatment. Am J Roentgenol 1930;24:47-53.
- Schmitz H. The classification of uterine carcinoma for the study of the efficacy of radiumtherapy. Am J Roentgenol 1920;7:383-95.
- Scholtz W. Über die physiologische Wirkung der Radiumstrahlen und ihre therapeutische Verwendung. Deutsch med Wochenschr 1904;1:94-7.
- Schouwen G van. Röntgenologische maagdiagnostiek. Ned Tijdschr Geneesk 1908;52II:604-6.
- Schouwen M van. Hyperkeratose na röntgenbestraling. Ned Tijdschr Geneesk 1939;83II:1532-3.
- Schröder A. Zur Gefährlichkeit der Röntgenbestrahlungen am Halse. Münch med Wochenschr 1923;70:849.
- Schubert M. Über Röntgenschädigungen nach diagnostischer Anwendung von Röntgenstrahlen. Klin Wochenschr 1926;5:2302-4.
- Schugt P. Über einen bemerkungswerten Fall von Blasenblutungen nach Röntgen-Radium-bestrahlung. Zentralbl Gynäk 1923;47:1862-68.
- Schultz OE, Hoffmann RS. Zur Wirkungsweise der Röntgenstrahlen. Deutsch Zeitschr Chir 1905;79:350-63.
- Schultze. Strahlenschädigungen bei Hauttuberkulose. Klin Wochenschr 1936;15:802.
- Schürmayer. Röntgenverbrennungen und das theoretische Sachverständigen-Gutachten. Fortschr Geb Röntgenstr 1901-1902;5:48-51.
- Schwartz H.J. Radiodermatitis. Arch Derm Syph 1933;28:136-8.

- Schwarz. Ausgedehnte Röntgenschädigung. Deutsch med Wochenschr 1911;37:994.
- Schwarz G. Dauerbestrahlung mit täglichen kleinen Dosen. Münch med Wochenschr 1914;61:317.
- Schwarz G. Guido Holzknechts wissenschaftliche Arbeiten. Fortschr Geb Röntgenstr 1932;45:247-51.
- Schwarz G. Über die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf Ammonium-oxalat-Sublimatlösung. Fortschr Geb Röntgenstr 1907;11:114.
- Schweizer E. Über spezifische röntgenschädigungen des Herzmuskels. Strahlentherapie 1924;18:812-28.
- Scott NS. X-Ray Injuries. Am X-Ray J 1897;1:57-8.
- Scott SG. Deep therapy. Arch Radiol Electr 1922-1923;27:87-88.
- Seguy G, Quenisset F. Action des rayons X sur le coeur. Compt Rend Acad Sci 1897;124:790-1.
- Sehrwaldt E. Dermatitis nach Durchleuchtung mit Röntgenstrahlen. Deutsch med Wochenschr 1896;22:665-7.
- Seitz L, Wintz H. Die ausschliessliche Röntgenbestrahlung des Gebärmutterkrebses, der Röntgen-Wertheim. Münch med Wochenschr 1919;66:1131-4.
- Seitz L, Wintz H. Für und wider die Ovarialdosis in einer Sitzung und in einer Serie. Strahlentherapie 1919;9:374-5.
- Seitz L, Wintz H. Sind Röntgenhautverbrennungen und Darmschädigungen unter Zink und anderen Schwerfiltern vermeidbar? Zentralbl Gynäk 1918;42:409-23.
- Seitz L, Wintz H. Über die Beseitigung von Myom- und Wechselblutungen in einmaliger Sitzung durch Zinkfilterintensivbestrahlung. Münch med Wochenschr 1916;63:1785-7.
- Seldin M. Über die Wirkung der Röntgen- und Radiumstrahlen auf innere Organe und den Gesamtorganismus der Tiere. Fortschr Geb Röntgenstr 1903-1904;7:322-39.
- Seynsche K. Keimdrüsenbestrahlung und Nachkommenschaft. Strahlentherapie 1926;21:600-607.
- Sherer JW. Conjunctivitis from X-rays; incipient retinitis apparently due to the same cause; report of a case. N York M J 1901;74:543-5.
- Siegbahn M, Owen EA, Holthusen H. Report from International X-ray Unit Committee. Am J Roentgenol 1928;20:470-71.
- Sievert RM. Die γ -Strahlungsintensität an der Oberfläche und in der nächsten Umgebung von Radiumnadeln. Acta Radiol 1930;11:249-301.
- Sievert RM. Über die Anwendung der Kondensatorkammer für sowohl Röntgen- wie γ -Strahlenmessungen. Acta Radiol 1934;15:193-201.
- Simpson FE. Die Technik der Anwendung radioaktiver Substanzen. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Erster Band. Wissenschaftliche Grundlagen. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 577-612.
- Simpson FE. Radium Therapy. London: Henry Kimpton, 1922. Pgs. 109-15 en 146-57.
- Sippel P. Die Gefahren der modernen Röntgenbestrahlung und ihre Verhütung. Münch med Wochenschr 1923;70:455-7.
- Sippel P, Jaeckel G. Ueber die Ursachen der Misserfolge der Röntgentherapie bei malignen Neubildungen. Münch med Wochenschr 1923;70:1191-5.
- Sjögren T, Sederholm E. Beitrag zur therapeutischen Verwertung der Röntgenstrahlen. Fortschr Geb Röntgenstr 1900-1901;4:145-170.
- Sluys, Kessler. Gammathérapie. In: Wetterer J. Internationale Radiotherapie. Band I. 1925-1926. Darmstadt: L. C. Wittich Verlag, 1926. Pgs. 169-71.
- Smith N. Congenital Dislocation of the Hip. Lancet 1896;74II:1340.
- Smithers DW, Clarkson JR, Strong JA. The roentgen treatment of cancer of the esophagus. Am J Roentgenol 1943;49:606-12.
- Snijders AJC. Kunstmatig bereide, radio-actieve geneeskrachtige wateren.

- De Natuur 1911;31:193-6.
- Soddy F. Radium resources. Nature 1913-1914;92:376-7.
 - Soiland A. Experimental clinical research work with X-ray voltages above 500 000 kilovolts. Radiology 1933;20:99-102.
 - Soiland A. Present problems and future prospects of deep roentgentherapy. Am J Roentgenol 1921;8:276-9.
 - Soiland A. Super-radiation and delayed reactions. Am J Roentgenol 1921;8:466-8.
 - Sommer E. Röntgen-Taschenbuch. VII. Kriegsband. Leipzig: Otto Nemnich Verlag, 1915.
 - Stacey L.J. Complications following the application of radium to pelvic lesions. Am J Roentgenol 1928;19:323-7.
 - Stahel E. Eine Mikro-Ionisationkammer für Röntgen- und Radiumstrahlen. Strahlentherapie 1929;31:582-95.
 - Steenhuis D.J. Bescherming van patient en dokter tegen de gevaren der röntgenstralen. Ned Tijdschr Geneeskd 1922;66:472-476.
 - Steenhuis D.J. Über den Unterricht der medizinischen Radiologie in Holland. Acta Radiol 1930;supplV:99-102.
 - Steiger M. Zur Frage der Zinkfilterung bei der Intensivrontgentiefentherapie. Zentralbl Gynäk 1918;42:585-9.
 - Stenström W, Reinhard M. Intensitätsverteilung von Röntgenstrahlen im Wasserphantom. Strahlentherapie 1926;23:88-106.
 - Stern S. Intensive X-ray therapy as seen practiced in the clinics in Europe. Am J Roentgenol 1921;8:741-5.
 - Steuernagel W. Über die Bedeutung von Netzspannungsschwankungen im Röntgenbetriebe. Münch med Wochenschr 1919;66:1443.
 - Stevens L.G. Injurious effects on the skin. BMJ 1896;1:998.
 - Stevens R.H. Arrangements for the 1910 meeting. American Quarterly of Roentgenology 1909;2:67-8.
 - Stevenson W.C. Preliminary clinical report on a new and economical method of radiumtherapy by means of emanation seeds. BMJ 1914;2:9-10.
 - Stone R.S, Lawrence J.H, Abershold P.C. A preliminary report on the use of fast neutrons in the treatment of malignant disease. Radiology 1940;35:322-27.
 - Stone R.S. Neutron therapy and specific ionisation. Janeway Memorial Lecture 1948. Am J Roentgenol 1948;59:771-85.
 - Strasburger J. Über Behandlung mit Radiumemanation. Strahlentherapie 1922;13:528-32.
 - Strasser A. Pleuritis nach Röntgenbehandlung eines Mediastinal Tumors. Zeitschr phys diätet Therap 1912;16:65-70.
 - Sträter. Welche Rolle spielen die Röhren bei der therapeutischen Anwendung der Röntgenstrahlen? Deutsch med Wochenschr 1900;26:546-7.
 - Strauss O. Schädigungen durch Röntgen- und Radiumstrahlen. In: Meyer H. Lehrbuch der Strahlentherapie. Erster Band. Wissenschaftliche Grundlagen. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 979-1060.
 - Strauss O. Was muss der praktische Arzt von der Entstehung von Röntgenschädigungen wissen? Deutsch med Wochenschr 1922;48:1420-1.
 - Strauss S. Das "Mekapion", der integrierende Röntgendosiszähler mit Selbstkontrolle. Strahlentherapie 1927;24:348-64.
 - Strauss S. Der Dosiszähler "Mekapion" und seine Messgenauigkeit. Strahlentherapie 1927;26:200-206.
 - Strauss S. Praktische Dosimetrie mit dem Mekapion. Strahlentherapie 1927;24:752-6.
 - Stumpff JEd. Radioscopie en Radiographie van de longen. Ned Tijdschr Geneeskd 1899;35:954-63.
 - Stürmer W. Zur Geschichte der Röntgen-Leuchtstoffe. Fortschr Geb Röntgenstr 1962;97:514-19.

- Szandicz. Röntgenulkus, behandelt mit Radiumemanationssalbe. *Derm Wochenschr* 1935;101:1249.
- Szilard B. Sur un nouvel appareil pour toutes les mesures de radioactivité. *Arch d'électric méd Bordeaux* 1914; 24:28.
- Taylor JH. The practice of medicine and surgery by unqualified persons. *BMJ* 1911;1:1243-6.
- Taylor LS, Singer G. Standard absorption curves for specifying the quality of X-radiation. *Radiology* 1934;22:445-60.
- Taylor LS, Singer G, Stoneburner CF. A basis for the comparison of roentgen rays generated by voltages of different wave form. *Am J Roentgenol* 1933;30:368-79.
- Taylor LS, Singer G, Stoneburner CF. Effective applied voltage as an indicator of the energy emitted by a roentgen-ray tube. *Am J Roentgenol* 1933;30:221-8.
- Teichmann. Röntgenverbrennung. *Münch med Wochenschr* 1923;70:379.
- Teissier, Rebattu. Klinische Untersuchungen über die Erfolge der Radiumemanation in der inneren Medizin. *Strahlentherapie* 1915;5:244-70.
- Thies A. Wirkung der Radiumstrahlen auf verschiedene Gewebe und Organe. *Mitt Grenzgeb Med Chir* 1905;14:694-5.
- Thomson E. Work in the first decade of roentgenology. *Am J Roentgenol* 1932;28:385-388.
- Thurstan Holland C. Radiology in clinical medicine and surgery. *BMJ* 1917;1:285-8.
- Tièche. Lupus-Röntgenkarzinom. *Derm Wochenschr* 1936;103:946.
- Timmer H. Het opsporen van kleine niersteen door middel van de röntgenstralen. *Ned Tijdschr Geneesk* 1899;351:976.
- Tischendorf W. Tagung der Deutschen Röntgen-Gesellschaft vom 17. - 19. April 1931 in Baden-Baden. *Klin Wochenschr* 1931;10:1049-52.
- Traub E. Radiodermatitis. *Arch Derm Syph* 1933;28:117.
- Trendelenburg W. Die Adaptationsbrille, ein Hilfsmittel für Röntgendurchleuchtungen. *Ned Tijdschr Geneesk* 1916;60:864.
- Tribondeau L, Belley G. Cataracte expérimentale obtenue par roentgénisation de l'oeil d'animaux nouveau-nés. *Compt Rend Soc Biol* 1907;63:126-28.
- Tribondeau L, Belley G. Microphthalmie et modifications concomitantes de la rétine par roentgénisation de l'oeil d'animaux nouveaux-nés. *Compt Rend Soc Biol* 1907;63:12830.
- Tribondeau L, Lafargue P. Action différente des rayons X sur le cristallin des animaux jeunes et des animaux adultes. *Compt Rend Soc Biol* 1907;63:716-17.
- Tribondeau L, Récamier D. Altérations des yeux et du squelette facial d'un chat nouveau-né par roentgénisation. *Compt Rend Soc Biol* 1905;58:1031-2.
- Tyler AF, Blackman JR. Effect of heavy radiation on the pleura and lungs. *J Radiol* 1922;3:469-475.
- Tzanck A, Langlois L, Swi E. Behandlung einer alten Röntgendermatitis mit Radiumemanation. *Derm Wochenschr* 1936;103:1139.
- Valkema Blouw HAJ. Het Haarlemsche Röntgen-instituut. *Album der Natuur* 1899;48:1-7.
- Villard P. Instruments de mesure à lecture directe pour les rayons. Substitution de la méthode électrométrique aux autres méthodes de mesure en radiologie. Scleromètre et quantimètre. *Arch d'électric méd Bordeaux* 1908;16:692.
- Voltz J. Netzspannungsschwankungen und Röntgentiefentherapie. *Münch med Wochenschr* 1920;67:1125.
- Voltz. Korrespondenz. *Münch med Wochenschr* 1930;77:1699-1700.
- Vrijman LH. Röntgenatrophie. *Ned Tijdschr Geneesk* 1938;82II:2488.
- Walter B. Physikalisch-technische Mitteilungen. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1897-1898;1:82-87.
- Walter B. Zwei Härteskalen für Röntgenröhren. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1902-1903;6:68-74.

- Walters OM, Anson BJ, Ivy AC. The effect of X-rays on the thyroid and parathyroid glands. *Radiology* 1931;16:52-8.
- Warthin AS. An experimental study of the effects of roentgen rays upon the blood forming organs, with special reference to the treatment of leukemia. *Internat Clin* 1906;4:243-9.
- Warthin AS. The changes produced in the kidneys by roentgen irradiation. *Am J Med Sci* 1907;133:736-46.
- Watson WL, Scarborough JE. Osteoradionecrosis in intra-oral cancer. *Am J Roentgenol* 1938;40:524-34.
- Weatherwax JH, Leddy ET. Standardization of ionization measurements of intensity and measurements of scattered and secondary X-rays effective in producing an erythema. *Am J Roentgenol* 1923;10:488-93.
- Weber E. Schädigungen des Kranken und des Personals im Röntgenbetriebe und deren Prophylaxe. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1926;34:728-738.
- Weibel W. Darm- und Blasenschädigungen nach postoperativer prophylaktischer Radiumbestrahlung. *Zentralbl Gynäk* 1919;43:249-53.
- Werner R. Die Behandlung von bösartigen Neubildungen mit radioaktiven Substanzen. *Klin Wochenschr* 1922;1:1663.
- Werner R, Rapp H. Technik der Behandlung mit radioaktiven Substanzen. In: Meyer H. *Lehrbuch der Strahlentherapie. Band II. Chirurgie.* Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pgs. 139-70.
- Werner. Cowl: kritisches Referat zur Diagnostik und Therapie mittels Röntgenstrahlen. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1898-1899;2:118-119.
- Werner. Journalliteratur. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1899-1900;3:226-30.
- Werner. Journalliteratur. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1900-1901;4:96-104.
- Wertheim Salomonson J. Discussie opmerking. *Ned Tijdschr Geneesk* 1917;611:342.
- Wertheim Salomonson J. Nederlandsche Röntgenbuizen-fabriek. *Ned Tijdschr Geneesk* 1918;621:1733.
- Wertheim Salomonson J. Röntgenstralen. *Ned Tijdschr Geneesk* 1897;331:257-9.
- Wertheim Salomonson JKA. De Coolidge-buis. *Ned Tijdschr Geneesk* 1915;591:476-8.
- Wertheim Salomonson JKA. Demonstratie van twee Coolidge-buizen. *Ned Tijdschr Geneesk* 1915;591:779-80.
- Wertheim Salomonson JKA. Iets over Eastman's duplitzed films. *Ned Tijdschr Geneesk* 1921;651:116-17.
- Wertheim Salomonson JKA. Een gewijzigde hardheidsmeter. *Ned Tijdschr Geneesk* 1911;551:1041-2.
- Wertheim Salomonson JKA. Een nieuw röntgenologisch hulpstatief. *Ned Tijdschr Geneesk* 1915;591:781.
- Wertheim Salomonson JKA. Momentröntgenographieën met de Coolidge-buis. *Ned Tijdschr Geneesk* 1921;651:117.
- Wertheim Salomonson JKA. Röntgens X-stralen. *Ned Tijdschr Geneesk* 1896;321:241-9.
- Wetterer J. Die Entwicklung der Röntgentherapie vom Beginn der Röntgenära bis zur Begründung der "Internationale Radiotherapie". In: Wetterer J. *Internationale Radiotherapie. Band II.* 1926-1927. Darmstadt: L. C. Wittich Verlag, 1927. Pgs. 964-990.
- Wetterer J. *Handbuch der Röntgen- und Radiumtherapie.* München und Leipzig: Otto Nemnich Verlag, 1919.
- Wetterer J. *Internationale Radiotherapie. Band III.* 1927-1928. Darmstadt: L. C. Wittich Verlag, 1928.
- Wetterer J. Meinungsautausch. Zur Frage der Spätschädigungen in der Röntgentherapie. In: Wetterer J. *Internationale Radiotherapie. Band II.* 1926-1927. Darmstadt: L. C. Wittich Verlag, 1927. Pgs. 991-4.

- Wetzel E. Röntgenschädigungen mit und ohne Beteiligung der Haut. *Strahlentherapie* 1921;12:585-94.
- Weyde AJ van der. De inwendige geneeskunde in ons vaderland gedurende de afgelopen 75 jaren. *Ned Tijdschr Geneesk* 1924;68II:6-20.
- Wilkinson O. Cataract probably due to X-ray exposure. *Am J Ophth* 1920;3:435-6.
- Winkler C. In memoriam. Johannes Karel August Wertheim Salomonson. *Ned Tijdschr Geneesk* 1922;66II:1374-6.
- Wintz H. Injuries from roentgen-rays in deep therapy. *Am J Roentgenol* 1923;10:140-147.
- Wintz H, Rump W. Das Roentgenphotometer. *Strahlentherapie* 1926;22:444-50.
- Wintz H, Rump W. Die physikalischen und technischen Grundlagen der Röntgenstrahlentherapie. In: Gauss CJ. *Die Strahlentherapie in der Gynäkologie*. Erster Teil. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1929. Pgs. 257-70.
- Wintz H, Voltz J. Untersuchungen am Symmetrie-induktorium beim Betriebe verschiedener Röhren. *Strahlentherapie* 1920;10:123.
- Witherbee WD. X-ray treatment of tonsils and adenoids. *Am J Roentgenol* 1921;8:25-30.
- Wood FC. Effects on Tumors of Radiation of Different Wave Lengths. *Am J Roentgenol* 1924;12:474-82.
- Zeeman WPC. Demonstraties. *Ned Tijdschr Geneesk* 1932;76II:2047-50.
- Zuppinger A. Radiobiologische Untersuchungen an Ascariseiern. *Strahlentherapie* 1928;28:639-758.

Secundaire literatuur (na 1939):

- Alexander JO'D. The origins and developments of dermatology in Glasgow. *Br J Derm* 1971;84:470-86.
- Allsopp CB. Nothing New? *Brit J Radiol* 1964;37:325-33.
- Anderlohr M. Hermann Wintz. *Strahlentherapie* 1949;79:11-12.
- Anonymus. Gedenkboek van het Algemeen Provinciaal, Stads, en Academisch Ziekenhuis te Groningen, 1903-1953. Groningen: N.V. Erven P. Noordhoff, 1953.
- Anonymus. Raymond Sabouraud (1864-1938) *French Dermatologist*. *JAMA* 1970;214:363-4.
- Ardran GM. Cineradiography. *Brit J Radiol* 1973;46:885-8.
- Attix FH, Roesch WC. Radiation dosimetry. Volume I. New York and London: Academic Press, 1968. Pgs. 6-18.
- Becker J. 75 Jahre Röntgenstrahlen. *Strahlentherapie* 1970;140:465-467.
- Becker J, Kuttig H. François Baclesse 1896-1967. *Strahlentherapie* 1968;135:125.
- Bécclère A. Antoine Bécclère. Paris: J.-B.-Baillière et fils, 1972.
- Berdjis CC. Pathology of Irradiation. Baltimore: The Williams & Wilkins Company, 1971. Pgs. 146-60.
- Berry RJ. The radiologist as guinea pig: radiation hazards to man as demonstrated in early radiologists, and their patients. *Journal of the Royal Society of Medicine* 1986;79:506-509.
- Bleich AR. The story of x-rays from Röntgen to isotopes. New York: Dover Publications, Inc., 1960.
- Boden G. Radiation myelitis of the cervical spinal cord. *Brit J Radiol* 1948;21:464-69.

- Bonin H. Histoire économique de la France depuis 1880. Paris: Masson, 1988. Pgs. 44-61.
- Borchardt K. Grundriss der deutschen Wirtschaftsgeschichte. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1985. Pgs. 61-6.
- Brecher R, Brecher E. The rays. A history of radiology in the United States and Canada. Baltimore: The Williams and Wilkins Company, 1969.
- Brennan JT. History of the use of neutrons in radiation therapy. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1977;3:143-48.
- Brevet WK. In memoriam prof. dr. D. J. Steenhuis. Ned Tijdschr Geneesk 1955;99:86.
- Brieger GH. The development of surgery. In: Sabiston DC. Textbook of surgery. 12th edition. Philadelphia, London, Toronto: WB Saunders Company, 1981. Pgs. 1-21.
- Brucer M. A chronology of nuclear medicine. St. Louis: Heritage Publications, 1990.
- Brucer M. Brachytherapy. Am J Roentgenol 1958;79:1080-90.
- Buley HM. German schools of dermatology in the past century. Arch Derm Syph 1952;66:440-57.
- Burrows EH. Pioneers and early years. A history of British radiology. Channel Islands: Colophon Ltd., 1986.
- Buschke F. Radiation Therapy. Historical Perspectives. Radiol Clin Biol 1971;40:217-20.
- Buschke F. Radiation Therapy: the past, the present, the future. Janeway Lecture 1969. Am J Roentgenol 1970;108:236-46.
- Calle R. François Baclesse, M.D. 1896-1967. Am J Roentgenol 1968;102:708-9.
- Cantril ST. Radiation Therapy of Cancer of Larynx; Review. Am J Roentgenol 1959;81:456-74.
- Case JT. Radiology. Brit J Radiol 1956;29:253-5.
- Case JT. The early history of radium therapy and the American Radium Society. Janeway Lecture 1959. Am J Roentgenol 1959;82:574-85.
- Casper J. The introduction in 1928-1929 of thorium dioxide in diagnostic radiology. Ann NY Acad Sci 1967;145:527-9.
- Caufield C. Multiple Exposures. Chronicles of the Radiation Age. Reading: Cox and Wyman Ltd., 1990.
- Cobben J. Nederlandse pioniers in de radiologie. Journal Belge de Radiologie 1959;42:738-745.
- Cochrane Shanks S. Radiology in the twenties. Brit J Radiol 1973;46:766-7.
- Cock AG. Chauvinism and Internationalism in Science: The International Research Council 1919-1926. Notes Rec Roy Soc Lond 1983;37:248-88.
- Compton AH. Modern physics and the discovery of x-rays. Radiology 1945;45:534-8.
- Cooter R. The meaning of fractures: orthopaedics and the reform of British hospitals in the inter-war period. Medical History 1987;31:306-32.
- Curie E. Madame Curie. Den Haag: H. P. Leopolds Uitgeversmij N.V., 1948.
- Davis AB. Historical studies of medical instruments. Hist Sci 1978;16:107-133.
- Dewing SB. Modern radiology in historical perspective. Springfield: Charles C. Thomas Publisher, 1962.
- Dunlap CE. Effects of radiation on the blood and the hemopoietic tissues, including the spleen, the thymus and the lymph nodes. Arch Path 1942;34:562-608.
- Eisenberg RL. Radiology. An illustrated history. St. Louis: Mosby-Year Book, Inc., 1992.
- Euler HH. Die Entwicklung der medizinischen Spezialfächer an den Universitäten des deutschen Sprachgebietes. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1970.
- Faber M. Thorium dioxide patients in Denmark. Ann NY Acad Sci

1967;145:843-8.

- Faulkner HU. American Economic History. New York, Evanston and London: Harper & Row Publishers, 1960. Pgs. 603-14.
- Fischer I. Biographisches Lexikon der hervorragenden Ärzte der letzten fünfzig Jahre. München-Berlin: Urban & Schwarzenberg, 1962.
- Flaskamp W. Hermann Wintz. Strahlentherapie 1949;79:3-10.
- Fletcher GH. Regaud Lecture Perspectives on the History of Radiotherapy. Radiotherapy Oncology 1988;12:253-71.
- Friedman NB. Effects of radiation on normal tissues. IV. Effects of radiation on the gastrointestinal tract, including the salivary glands, the liver and the pancreas. Arch Path 1942;34:749-87.
- Fulton H. 60 Years of cardiovascular roentgenology. Am J Roentgenol 1956;76:657-63.
- Gauwerky F. Heinrich Albers-Schönberg zum 100. Geburtstag am 21.1.1965. Strahlentherapie 1965;126:476-479.
- Ginzton EL, Nunan CS. History of microwave elektron linear accelerator for radiotherapy. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1985;11:205 16.
- Glasser O. Radiation-measuring instruments. In: Glasser O, Quimby EH, Weatherwax JL, Morgan RH. Physical foundations of radiology. New York: Paul Hoeber Inc., Medical Division of Harper & Brothers, 1961. Pgs. 187-224.
- Glasser O. The evolution of Dosimeters in Roentgen Ray Therapy. Radiology 1941;37:221-7.
- Glasser O. Wilhelm Conrad Röntgen und die Geschichte der Röntgenstrahlen. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer Verlag, 1959.
- Grigg ERN. The trail of the invisible light. Springfield: Charles C Thomas Publisher, 1965.
- Gritzer G, Arluke A. The Making of Rehabilitation. A Political Economy of Medical Specialization, 1890-1980. Berkeley, Los Angeles, London: University of California Press, 1985.
- Grund K, Berger H. Die 15-MeV-Elektronenschleuder für medizinische Anwendung der Siemens-Reiniger-Werke. Strahlentherapie 1953;92:489-505.
- Grund K, Schittenhelm R. Die physikalischen Eigenschaften der Strahlenbündel der 15-MeV-Elektronenschleuder der Siemens-Reiniger-Werke. Strahlentherapie 1953;92:506-31.
- Finzi NS. Radiotherapy. Brit J Radiol 1956;29:245-9.
- Hall EJ. Particles in radiation therapy. Part III. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1982;8:2041-44.
- Hall EJ. The contribution of physical sciences to the development of radiation therapy. Journal of Surgical Oncology 1983;24:248-57.
- Hall R. History of dermatology in Northern Ireland. Br J Derm 1970;83:690-7.
- Heyman J, Reuterwall O, Benner S. The Radiumhemmet experience with radiotherapy in cancer of the corpus of the uterus. Acta Radiol 1941;22:11-98.
- Hobi F. Zahnärztliche Röntgenologie von den Anfängen bis zum Jahre 1914. Zürich: Juris Druck & Verlag, 1981.
- Hoch PK. Institutional versus intellectual migrations in the nucleation of new scientific specialties. Stud Hist Phil Sci 1987;18:481-500.
- Howell JD. Early use of X-ray machines and electrocardiographs at the Pennsylvania Hospital. JAMA 1986;255:2320-3.
- Isherwood I. Current diagnostic uses of X-rays. Brit J Radiol 1986;59:719-21.
- Jaeger RG. Die historische Entwicklung der Erkenntnisse über Strahlengefährdung und Strahlenschutz in medizinischen Röntgeninstituten in 75 Jahren. Röntgenpraxis 1970;23:298-305.
- Jaeger RG. In memoriam Hermann Behnken, geb. am 30.9.1889 in Hamburg, gefallen Anfang Mai 1945 in Berlin. Strahlentherapie 1970;139:113-115.

- Kathren RL. In memoriam Herbert M. Parker (1910-1984). *Med Phys* 1984;11:567.
- Kirkland LR. Early use of X-ray machines and electrocardiographs at the Pennsylvania Hospital. *JAMA* 1986;256:1444-5.
- Körbler J. *Strahlen, Heilmittel und Gefahr. Eine Geschichte der Strahlen in der Medizin.* Wien: Verlag Dr. Herta Ranner, 1977.
- Krabbenhoft KL. A history of roentgen therapy. *Am J Roentgenol* 1956;76:859-65.
- Lacassagne A. C. Regaud (1870-1940). *Ann Inst Pasteur* 1941;66:181-5.
- Langendorff H, Schulze R. Walter Friedrich (1883-1968). *Strahlentherapie* 1968;136:765-6.
- Lederman M. The early history of radiotherapy: 1895-1939. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1981;7:639-48.
- Levitt WM. Treatment of lymphadenoma and certain malignant growths with X-ray baths. *Lancet* 1940;1:212-15.
- Lindeboom GA. *Inleiding tot de geschiedenis der geneeskunde.* Amsterdam: Rodopi B.V., 1985.
- Lossen H. Heinrich Albers-Schönberg zum 100. Geburtstag. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1965;102:109-12.
- Lossen H. Strahlenschädigungen. *Strahlentherapie* 1954;93:404-416.
- Löwenberg B, Haije WG. 75 Jaar Rotterdamsch Radio-Therapeutisch Instituut en Dr. Daniel den Hoed Kliniek. *IKR-bulletin* 1989, 13e Jaargang, Nr. 2.
- Mc Combs RK. Proton Irradiation of Pituitary and its metabolic effects. *Radiology* 1957;68:797-811.
- Miller CW. Travelling-wave linear accelerators for X-ray therapy. *Nature* 1953;171:297-8.
- More Ch. *The industrial age. Economy & Society in Britain 1750-1985.* London & New York: Longman, 1989. Pgs. 221-6.
- Newbery GH, Bewley DK. The Performance of the Medical Research Council 8 MeV linear accelerator. *Brit J Radiol* 1955;28:241-51.
- Ormsby OS. History of dermatology, 1847 to 1947. *Arch Derm Syph* 1949;59:374-95.
- Pagenstecker A. Dr. Siegfried Löwenthal 1869-1951. *Strahlentherapie* 1952;88:667-8.
- Pallardy G, Pallardy MJ, Wackenheimer A. *Histoire illustrée de la radiologie.* Paris: Les Éditions Roger Dacosta, 1989.
- Pappworth MH. *Human guinea pigs. Experimentation on man.* London: Routledge & Kegan Paul, 1967.
- Parker HM, Roesch WC. Units, Radiation: Historical development. In: Clark GL. *The encyclopedia of x-rays and gamma rays.* New York: Rienhold Publishing Corporation, 1963. Pgs. 1102-7.
- Pasveer B. Knowledge of shadows: the introduction of x-ray images in medicine. *Sociology of Health and Illness* 1989;11:360-381.
- Pasveer B. Shadows of knowledge. Making a representing practice in medicine: x-ray pictures and pulmonary tuberculosis, 1895-1930. Enschede: Drukkerij Alfa, 1992.
- Pfahler GE. Roentgen-ray treatment of hyperthyroidism. *Am J Roentgenol* 1940;34:43-52.
- Pfahler GE. The development of roentgen therapy during fifty years. *Radiology* 1945;45:503-21.
- Pierquin BL. Past, present and future of interstitial radiation therapy. Breur Medal Acceptance Speech. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1983;9:1237-42.
- Prevot R. Die Entwicklung der Strahlentherapie seit Rieder's Zeiten. *Münch med Wochenschr* 1959;101:471-4.
- Psenner L. Zum 100. Geburtstag von Prof.Dr.G.Holzknecht.

- Fortschr Geb Röntgenstr 1973;118:108-9.
- Pyenson L. Cultural imperialism and exact sciences: German expansion overseas 1900-1930. *Hist Sci* 1982;20:1-43.
 - Quimby EH. The background of radium therapy in the United States, 1906-1956. *Am J Roentgenol* 1956;75:443-50.
 - Quimby EH. The history of dosimetry in roentgen therapy. *Am J Roentgenol* 1945;54:668-703.
 - Quimby EH. The specification of dosage in radiumtherapy. *Am J Roentgenol* 1941;45:1-17.
 - Quimby EH, Taylor LS. Measurement of roentgen-ray quality. In: Glasser O, Quimby EH, Taylor LS, Weatherwax MA, Morgan RH. *Physical foundations of radiology*. Third edition. New York: Paul Hoeber Inc., Medical Division of Harper & Brothers, 1961. Pgs. 240-263.
 - Rajewski B. Friedrich Dessauer 1881-1963. *Strahlentherapie* 1963;121:1-4.
 - Ratkóczy N. Geschichtliches über Strahlenschädigung und Strahlenschutz. *Strahlentherapie* 1971;141:311-20;425-38.
 - Ravitch MM. A century of surgery. The history of the American Surgical Association. Philadelphia, Toronto: J.B.Lippincott Company, 1982. Pgs. 362-4.
 - Regato JA del. Albert Soiland and the early development of therapeutic radiology in the United States. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1983;9:243-53.
 - Regato JA del. Antoine Béclère. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1978;3:1069-79.
 - Regato JA del. Arthur Holly Compton. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1981;7:1569-90.
 - Regato JA del. Claudius Regaud. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1976;1:993-1001.
 - Regato JA del. Ernest Rutherford. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1979;5:539-52.
 - Regato JA del. Friedrich Dessauer. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1978;4:325-32.
 - Regato JA del. Gosta Forssell. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1977;2:783-90.
 - Regato JA del. Guido Holzkecht. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1977;2:1201-8.
 - Regato JA del. Henri Coutard. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1987;13:433-443.
 - Regato JA del. Hermann Heineke. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1986;12:997-1001.
 - Regato JA del. Max Planck. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1979;5:2097-2111.
 - Regato JA del. Niels Bohr. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1981;7:509-29.
 - Regato JA del. *Radiological Physicists*. New York: American Institute of Physics, Inc., 1985. Pgs. 177-8.
 - Regato JA del. Ralston Paterson. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1987;13:1081-91.
 - Regato JA del. William Duane. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1978;4:717-29.
 - Reynolds L. The history of the use of the roentgen ray in warfare. *Am J Roentgenol* 1945;54:649-72.
 - Reynolds RJ. *Radiology*. *Brit J Radiol* 1956;29:238-45.
 - Rigler LG. The development of roentgen diagnosis. *Radiology* 1945;45:467-502.
 - Roberts JE. Dosage in clinical practice. In: Rock Carling E, Windeyer BW, Smithers DW. *British practice in radiotherapy*. London: Butterworth & Co Publishers Ltd, 1955.

- Rook A. Dermatological journals in Britain. *Brit J Derm* 1970;83:109-18.
- Rubin Ph, Casarett GW. *Clinical Radiation Pathology*. Philadelphia, London & Toronto: W.B.Saunders Company, 1968.
- Saxton HM. Seventy-six years of British radiology. *Brit J Radiol* 1973;46:872-84.
- Schinz HR. *60 Jahre medizinische Radiologie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1959.
- Schneider GH. Zum Strahlenschutz aus geschichtlicher Schau. Ein Beitrag zur Geschichte der Medizin. *Strahlentherapie* 1965;128:460-477.
- Scholte P.J.L, Weber J. *Straling en stralingsgevaar*. Amsterdam: E. M. Querido's Uitgeversmaatschappij N.V., 1960.
- Schreiber H. Walter Friedrich zum 80. Geburtstag. *Strahlentherapie* 1964;123:161-163.
- Schroeder-Gudehus B. Challenge to Transnational Loyalties: International Scientific Organizations after the First World War. *Science Studies* 1973;3:93-118.
- Schulz MD. The Supervoltage Story. Janeway Lecture 1974. *Am J Roentgenol* 1975;124:541-59.
- Schüttmann W. Aus den Anfängen der Radontherapie. *Z gesamte inn Med* 1986;41:451-6.
- Shapin S. History of science and its sociological reconstructions. *Hist Sci* 1982;20:157-67.
- Silva Horta J da, Cayolla da Motta L. Follow-up study of thorium dioxide patients in Portugal. *Ann NY Acad Sci* 1967;145:830-42.
- Somerwil A. De standaarddosimeter te Rotterdam. *Ned Tijdschr Geneesk* 1949;93II:1655-6.
- Stenström W, Quimby EH, Pendergrass EP. Report of the Research and Standardization Committee of the American Radium Society. *Am J Roentgenol* 1940;43:118.
- Stevenson LD, Eckhardt RE. Myelomalacia of the cervical portion of the spinal cord, probably the result of roentgentherapy. *Arch Path* 1945;39:109-112.
- Tammeling BP. Honderdvijfenzeventig jaar AZG. Geschiedenis en voorgeschiedenis van het academisch ziekenhuis groningen. Groningen: Grafisch Bedrijf Letsch B.V., 1978.
- Tauer R. *Die Entwicklung der Strahlentherapie im Rieder-Institut*. München: Institut und Poliklinik für physikalische Therapie und Röntgenologie der Universität München, 1972.
- Telles NC. Follow-up of thorium dioxide patients in the United States. *Ann NY Acad Sci* 1967;145:674-5.
- Thijn C.J.P. De waarde van het dubbelcontrastonderzoek bij de diagnostiek van kleine colon- en rectumtumoren. Assen: Van Gorcum & Comp. N. V. - Dr. H. J. Prakke & H. M. G. Prakke, 1964.
- Underwood GB, Gaul LE. Disfiguring sequelae from radiumtherapy: results of treatment of a birthmark adjacent to the breast in a female infant. *Arch Dermat Syph* 1948;57:918-19.
- Vogel KH. Historische Entwicklung der Therapie mit energiereichen Elektronen. *Röntgenpraxis* 1970;23:141-7.
- Wachowski TJ, Chenault H. Degenerative effects of large doses of roentgen-rays on the human brain. *Radiology* 1945;45:227-46.
- Walther K. Internationale radiologische Beziehungen USA - Deutschland. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1963;99:241-5.
- Walther KM. Guido Holzknicht. Der grosse Wiener Röntgenarzt. Leer-Vienna: Walther-Kaltschmid, 1975.
- Warren S. Effects of radiation on normal tissues. XI. Effects on endocrine glands. *Arch Path* 1943;35:313-23.
- Warren S. Effects of radiation on normal tissues. XV. Effects on the germplasm and the embryo. *Arch Path* 1943;35:349-53.

- Warren S. Effects of radiation on normal tissues. VIII. Effects on the gonads. Arch Path 1943;35:121-7.
- Warren S. Effects of radiation on normal tissues. IX. Effects on the nervous system. Arch Path 1943;35:127-139.
- Warren S. Effects of radiation on normal tissues. XIV. Effects on striated muscle. Arch Path 1943;35:347-349.
- Weart SR. Nuclear Fear. A history of images. Cambridge (Massachusetts): Harvard University Press, 1988.
- Weber J, Rasmussen CE. Stralingsbescherming. Inleiding tot de Stralingshygiëne. Delft: Delftse Uitgevers Maatschappij B.V., 1985.
- White TN, Marinelli LD, Failla G. Measurement of gamma radiation in roentgens. Am J Roentgenol 1940;44:889-903.
- Wit R de, Roo T de. De radium-drinkbeker, een niet ongevaarlijke curiositeit. Ned Tijdschr Geneeskd 1972;116:2038-41.
- Wood CAP, Newbery GR. The Medical Research Council linear accelerator and cyclotron. Nature 1954;173:233-35.
- Wyklicky H. Zur Geschichte der Strahlentherapie in Österreich. Wien klin Wochenschr 1980;92:165-71.
- Wylick WAH van. Röntgen en Nederland. Utrecht: Drukkerij J.Hoeijenbos N.V., 1966.

LIJST VAN FIGUREN EN TABELLEN.

Figuren:

Hoofdstuk V.

Figuur V.1. Een Hittorf-Crookes gasbuis.

Bron: Coolidge WD, Charlton EE. Roentgen-Ray Tubes. *Radiology* 1949;45:449-66. Pg. 449.

Figuur V.2. Röntgenbuis met antikathode.

Bron: Coolidge & Charlton. Pg. 449. (Gemodificeerd)

Figuur V.3 a. Een Coolidge gloeikathode buis.

Bron: Coolidge & Charlton. Pg 452. b. Een gloeikathode met antikathode. Bron: Coolidge WD. Eine mächtige Röntgenröhre mit reiner Elektronenentladung. *Strahlentherapie* 1915;5:431-52. Pg. 438.

Figuur V.4. Methode van Driessen om het vergeten van het filter tegen te gaan.

Bron: Driessen LF. Een verbeterde wijze van inschakeling der röntgenbuis ter voorkoming van huidbeschadiging. *Ned Tijdschr Geneesk* 1918;62I:1733-5. Pg. 1733.

Figuur V.5. Methode van Driessen om het vergeten van het filter tegen te gaan.

Bron: Driessen LF. Pg. 1734.

Figuur V.6. Het akoestisch filteralarm van Holzkecht.

Bron: Holzkecht G. Filteralarm. *Strahlentherapie* 1920;11:460-70. Pg. 467.

Figuur V.7. Schakeling volgens Steenhuis om het vergeten van het filter te verhinderen.

Bron: Steenhuis DJ. Bescherming van patient en dokter tegen de gevaren der röntgenstralen. *Ned Tijdschr Geneesk* 1922;66I:472-6. Pg. 476.

Figuur V.8. De röntgenbuis is slechts gedeeltelijk door een kap afgeschermd.

Bron: Laquerrière A. Delherm L. *Traité d'électro-radiothérapie*. Tome premier. Paris: Masson et cie, 1938. Pg. 369.

Figuur V.9. Foute (a) en correcte (b) afdekking van de patient.

Bron: Meyer H. *Lehrbuch der Strahlentherapie*. Band II. Chirurgie. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg, 1925. Pg. 122.

Figuur V.10 a. Foute afdekking van de patient. b. De patient is correct afgedekt.

Bron: Meyer H. Pg. 123.

Figuur V.11. Het principe van de 'metalixbuis'.

Bron: Eggert J. *Einführung in die Röntgenphotographie*. Leipzig: Verlag von S. Hirzel, 1936. Pg. 71.

Hoofdstuk VI.

Figuur VI.1. De chromoradiometer van Holzknacht.

Bron: Oudin P, Zimmern A. Radiothérapie. Paris: Libraire J.-B.-Baillière et Fils, 1913. Pg. 124.

Figuur VI.2. De radiometer X van Sabouraud en Noiré.

Bron: Wetterer J. Handbuch der Röntgen- und Radiumtherapie. Band I. München und Leipzig: Otto Nemnich Verlag, 1919. Pg. 209.

Figuur VI.3. De door Holzknacht gemodificeerde dosimeter van Sabouraud en Noiré.

Bron: Wetterer J. Pg. 211.

Figuur VI.4. Het principe van de vrije lucht ionisatiekamer. (eigen tekening)

Figuur VI.5. Het principe van de vonkenbaan.

Bron: Albers-Schönberg. Die Röntgentechnik. Band I. Hamburg: Lucas, Gräfe & Sillem, 1919. Pg. 107.

Figuur VI.6. De buitenkant (a) en de binnenkant (b) van de qualimeter van Bauer.

Bron: Albers-Schönberg. Pg 108.

Figuur VI.7. De voorzijde van een Walter-schaal.

Bron: Albers-Schönberg. Pg. 110.

Figuur VI.8. De achterzijde van een Walter-schaal.

Bron: Albers-Schönberg. Pg. 110.

Hoofdstuk VII.

Figuur VII.1. Grafieken volgens Quimby uit 1922.

Bron: Quimby EH. Effect of size of radium applicators on skin doses. Am J Roentgenol 1922;9:671-83. Pg. 674.

Figuur VII.2 Dosisgrafiek voor kleine oppervlakken volgens Paterson en Parker.

Bron: Parker HM. A dosage system for gamma-raytherapy. Part II. Brit J Radiol 1934;7:612-32. Pg. 620.

Figuur VII.3. Dosisgrafiek voor radiumbuizen van diverse radii volgens Paterson en Parker.

Bron: Parker HM. Pg. 621.

Figuur VII.4. Illustratie van de invloed van de rangschikking van radiumbronnen op de intensiteit van de straling op punten die liggen op 1 centimeter afstand.

Bron: Paterson R. A dosage system for gamma-raytherapy. Part I. Brit J Radiol 1934;7:592-612. Pg. 595.

Figuur VII.5. Behandeling van een epitheloom van de dorsale zijde van de hand volgens de regels van Paterson en Parker uit 1934.

Bron: Paterson R. A dosage system for gamma-raytherapy. Pg. 604.

Figuur VII.6. Dosisgrafiek voor planaire implantatie van radiumnaalden of radonhouders volgens Paterson en Parker uit 1938.

Bron: Paterson R. A dosage system for interstitial radium therapy. Part I. Clinical aspects. Brit J Radiol 1938;11:252-66. Pg. 254.

Figuur VII.7. Dosisgrafiek voor de volume implantatie techniek van radiumnaalden of radonhouders volgens Paterson en Parker uit 1938.

Bron: Paterson R. A dosage system for interstitial radium therapy. Pg. 256.

Hoofdstuk IX.

Figuur IX.1. Metalen kurkertrekker die rond 1913 werd gebruikt voor het door de huid heen aanbrengen van een radiumbuisje. Tekening van Ali Fokkema naar een foto.

Bron van deze foto: Lederman M. The early history of radiotherapy: 1895 - 1939. Int J Radiation Oncology Biol Phys 1981;7:639-48. Pg. 643.

Figuur IX.2. Een radiumpak. Tekening van Ali Fokkema naar een foto.

Bron van deze foto: Simpson FE. Radium Therapy. London: Henry Kimpton, 1922. Pg. 152.

Tabellen:

Hoofdstuk VI.

Tabel VI.1. Vergelijkingstabel uit 1919 voor röntgenstralendoses gemeten met verschillende chemische dosimeters.

Bron: Wetterer J. Pg. 229.

Hoofdstuk VII.

Tabel VII.1. Tabel uit 1922 volgens Quimby voor buisvormige radiumapplicators.

Bron: Quimby EH. Pg. 677.

Tabel VII.2. Tabel uit 1922 volgens Quimby voor cirkelvormige radiumapplicators.

Bron: Quimby EH. Pg. 677.

Tabel VII.3. Tabel uit 1922 volgens Quimby voor buisvormige radiumapplicators.

Bron: Quimby EH. Pg. 678.

Tabel VII.4. Tabel uit 1922 volgens Quimby voor cirkelvormige radiumapplicators.

Bron: Quimby EH. Pg. 678.

GLOSSARIUM MEDICUM.

- Abdomen:** buik
- Addison, ziekte van:** chronische bijnierinsufficiëntie
- Adenoom:** klierepitheelgezwel
- Adenopathie:** ziekte van klieren
- Agranulocytose:** (plotselinge) verdwijning van de granulocyten uit het bloed
- Anemie:** bloedarmoede
- Angiocardiografie:** het maken van röntgenfoto's van hart en vaten na inspuiting van een contrastvloeistof
- Angiografie:** het röntgenologisch afbeelden van vaten, na injectie van een contrastvloeistof
- Anurie:** geheel of bijna geheel ontbreken van urineproductie door de nieren
- Arterie:** slagader, bloedvat waarin de stroom van het hart af gericht is
- Arteriografie:** het vervaardigen van röntgenfoto's van arteriën, na inspuiting van een contraststof
- Arthritis:** ontsteking van een gewricht
- Arthrografie:** het maken van een röntgenfoto van een gewricht na inbrengen van een contrastmiddel
- Arthrogram:** een door middel van arthrografie vervaardigde röntgenfoto
- Arytenoïden:** stelkraakbeen, aan weerszijden boven op het ringkraakbeen, ter aanhechting van de stembanden
- Atrofie:** het slinken of geslonken zijn van weefsel, met of zonder degeneratie
- Azoöspermie:** afwezigheid van spermatozoa in het ejaculaat
- Bindweefsel:** het weefsel dat de parenchymcellen van organen met elkaar verbindt en de organen omhult
- Biopt:** het weefselstukje dat voor biopsie is verwijderd
- Bronchiaalboom:** het geheel van de vertakkingen van de trachea
- Bronchografie:** röntgenfotografie van de longen, nadat contrastvloeistof in de bronchi is gebracht om deze op de foto zichtbaar te maken
- Cachexie:** slechte lichamelijke toestand, met vermagering en verval van krachten, als gevolg van ondervoeding of ziekte
- Canceroid:** plaveiselcarcinoom van de huid
- Carcinoom:** kanker, kwaadaardig gezwel
- Cataract:** staar
- Caverneus hemangioom:** holten-bevattend gezwel, uitgaande van de bloedvaten
- Cerebraal:** de hersenen betreffend
- Cervicaal:** met betrekking tot de cervix
- Cervix:** hals
- Cervix uteri:** baarmoederhals
- Collageen:** eiwitachtige stof in bindweefsel, vaak in vezelvorm
- Collum femoris:** hals van het dijbeen

Colon transversum: het dwars verlopende deel van de dikke darm
Conjunctivitis: bindvliesontsteking
Convulsie: stuip, hevige onwillekeurige spasmodische spiercontractie
Cornea: hoornvlies
Corpus alienum: vreemd voorwerp
Corticaal: de schors betreffend
Cystitis: blaasontsteking
Cystoscoop: blaasspiegel, optisch instrument waarmee de binnenzijde van de urineblaas onderzocht kan worden en waarmee tevens kleine operatieve ingrepen kunnen worden uitgevoerd
Cystoscopie: onderzoek van de blaas met behulp van cystoscoop
Dermatitis: (acute) ontsteking van de huid
Dermatologie: het specialisme der huidziekten
Dermatose: huidziekte
Desquamatie: afschilfering
Diabetes: suikerziekte
Diabetes insipidus: gebrekkig concentratievermogen van de nieren
Diathermie: het opwekken van warmte in de weefsels door er een hoog-frequente elektrische stroom door heen te laten gaan
Dorsolumbaal: thoracolumbaal, met betrekking tot de thorax en de lendenen
Dosimetrie: het meten van een energiedosis
Dyspnoe: ademnood, benauwdheid
Dysurie: pijnlijke aandrang en pijnlijke urinelozing
Effluvium capillorum: haaruitval
Ejaculatie: zaaduitstorting
Endometritis hyperplastica: ontsteking van het baarmoederslijmvlies, gepaard gaande met celvermeerdering
Endotheel: cellaag, die de binnenzijde van het hart, en van de bloed- en lymfevaten bekleedt
Epidermis: opperhuid
Epigastrium: bovenbuik
Epilatie: ontharing
Epitheel: één- of meerlagig oppervlakteweefsel van huid, slijmvliezen en daarvan afgeleide structuren
Epitheloom: gezwel uitgaande van epitheel
Erytheem: rode huiduitslag
Erythropoiese: de vorming van rode bloedcellen
Excoriatie: schaafwond, verlies van de opperhuid
Exfoliatio: afschilfering, vervelling
Fascia: bindweefselplaat of -vlies
Fibrineus: fibrine-bevattend, fibrine-achtig
Fibrose: woekering van bindweefsel
Fibrosus: fibreus, uit bindweefsel bestaand
Fissuur: spleet
Flebografie: het vervaardigen van röntgenfoto's van aderen, na inspuiting van een contrastvloeistof
Focaal: met betrekking tot een ziektehaard

Follikel: zakje of blaasje
Glandula parotis: oorspeekselklier
Glandula submandibularis: onder de onderkaak gelegen speekselklier
Glottis: het stemvormende deel van de larynx
Hematurie: aanwezigheid van bloed in de urine
Hemorragie: bloeding
Hepatocyt: levercel
Hilus: geringe intrekking aan de oppervlakte van een boon of boonvormig orgaan
Hilus pulmonalis: longpoort
Hyaline degeneratie: ontarding van collageen bindweefsel met afzetting van glazige massa
Hyperaemie: overmatige bloedvulling van een orgaan of lichaamsdeel
Hyperhidrosis: overmatige zweetsecretie
Hyperkeratose: overmatige verhoorning van de huid, waarbij de hoorncellen vast blijven zitten en geen kernen bevatten
Hyperthyreoïdie: overmatige werking van de schildklier
Hypertrichosis: overmatige haargroei
Hypertrofisch: volumevermeerdering van weefsel of organen zonder vermeerdering van het aantal cellen
Hypofyse: klein aanhangsel onderaan de hersenen, is een orgaan dat talrijke hormonen produceert
Hypopituitarisme: onvoldoende werking van de voorkwab van de hypofyse
Hypothyreoïdie: onvoldoende werking van de schildklier
Hysterografie: röntgenologische afbeelding van de vrouwelijke genitalia
Induratie: verharding
Inflammatie: ontsteking
Interstitium: tussenruimte, het weefsel tussen de parenchym-gedeelten van een orgaan, bestaande uit bindweefsel, bloedvaten, lymfvezels en zenuwen
Intima van vaten: de binnenste laag van de wand van een bloedvat
intra-articulair: in de gewrichtsholte
Intracavitair: in een lichaamsholte
Intracervicaal: in de cervix, bijvoorbeeld in de cervix uteri
Intramusculair: in een spier
Intratamuraal: in een tumor
Intra-uterien: in de uterus
Intraveneus: in een ader
Iris: regenboogvlies
Ischias: heuppijn
Keratitis: ontsteking van de cornea
Koliek: aanval van krampende pijn (van maagdarmkanaal, galwegen of urinewegen).
Krypten van Lieberkühn: glandulae intestinalis, kliertjes van het darmslijmvlies, die het darmsap afscheiden
Laryngectomie: operatieve verwijdering van de larynx
Laryngoscopie: onderzoek/bezichtiging van de larynx met behulp van de laryngoscoop

Larynx: strottehoofd
Larynxoedeem: waterzucht van het strottehoofd
Leucocyt: wit bloedlichaampje
Lobulus: kwabje
Lunatomalacie: necrose van het maanvormig handwortelbeen, niet veroorzaakt door micro-organismen (ziekte van Kienböck)
Lupus erythematoses: ontstekingsachtige ziekte van huid en (of) ingewanden
Lupus faciei: tuberculose van de huid van het aangezicht
Lupus vulgaris: de meest voorkomende vorm van huidtuberculose
Luxatie: ontwrichting, verplaatsing van de beendereinden die een gewricht vormen ten opzichte van elkaar
Lymfocyt: kleine witte bloedcel
Lymfoom: gezwel van lymfatisch weefsel
Mamma: vrouwenborst
Mandibula: onderkaak
Marasmus: algemeen verval van krachten, gekenmerkt door atrofie en schrompeling
Mediastinum: het midden in de thorax, boven het middenrif, tussen de longen gelegen complex van weefsels en orgaanstructuren
Media: tunica media, de middelste laag van de arteriewand
Meteorisme: opgeblazenheid, ophoping van gas in de darmen
Microcornea: abnormaal kleine cornea
Microphthalmus: aangeboren kleinheid van één of beide oogbollen
Mutatie: sprongsgewijze verandering van erfelijke eigenschappen
Myelitis: ontsteking van ruggemerg
Myelografie: röntgenonderzoek en afbeelding van het ruggemerg na injectie in de intradurale ruimte
Myelopoëse: de vorming van beenmerg- en bloedcellen
Myocard: de hartspier, de middelste (en dikste) laag van de hartwand
Naevus: goedaardig gezwel van uit pigmentcellen ontstane cellen
Nasopharynx carcinoom: carcinoom van het neusgedeelte van de keelholte
Necrose: afsterving
Nefritis: nierontsteking
Neutrofiele granulocyt: witte bloedcel met korrels in het protoplasma, met affiniteit tot neutrale (niet-basische, niet-zure) kleurstoffen
Neutropenie: vermindering van het aantal neutrofiele leucocyten in het bloed
Non-disjunctie: het niet uiteengaan van de bij deling van een chromosoom ontstane dochterchromosomen, zodat beide in één dochterkern belanden en de andere dochterkern dit ene chromosoom dus ontbeert
Obductie: lijkschouwing
Occlusie: afsluiting
Oculair: met betrekking tot het oog
Oedeem: waterzucht
Oesophagus: slokdarm

Oligonecrospermie: aanwezigheid van alleen enkele dode spermatozoa in het sperma

Osteogenese: het ontstaan van het beenweefsel

Osteologie: de wetenschap betreffende de beenderen

Osteonecrose: necrose van bot

Ovum: eicel

Ovaria: vrouwelijke eierstokken

Palpaties: trekkingen, kloppingen

Pancreas: alvleesklier

Parametrium: het steunweefsel terzijde van de baarmoeder

Parenchym: het wezenlijke, specifiek werkzame weefsel van een orgaan, omgeven en ondersteunt door het interstitium

Paroxysmaal: in aanvallen voorkomend

Periarticulair: in de omgeving van een gewricht

Periost: het beenvlies dat de beenderen omhult

Peritonitis: buikvliesontsteking

Perivasculaire: rondom de vaten

Pernicieus: gevaarlijk

Pleura: borstvlies, dat de binnenkant van de borstwand en buitenkant van de longen bekleedt

Pleuritis: ontsteking van de pleura

Pneumonie: longontsteking

Portio vaginalis cervicis: het gedeelte van de baarmoederhals, dat in de schede uitsteekt

Praeputium: voorhuid

Proctitis: ontsteking van het rectum

Profylaxe: complex van voorbehoedende maatregelen tegen ziekte, preventie

Prostaat: voorstaanderklier, slijmvormende klier gelegen rond de urinebuis van de man, direct nadat deze uit de blaas is ontsprongen

Prostatitis: prostaatontsteking

Protoplasma: eiwitrijke vloeibare inhoud van een cel

Pruritis vulvae: jeuk aan de vulva

Psoriasis: chronische en vaak recidiverende huidaandoening, die gekenmerkt wordt door een kaarsvet-achtige afschilfering van de opperhuid

Purpura: bloeditstortingen in de huid of slijmvliesen

Pyelografie: röntgenografie van het nierbekken na vulling met een contrastvloeistof

Pyurie: aanwezigheid van etter in de urine

Rectum: endeldarm, het laatste gedeelte van het maagdarmkanaal, via de anus naar buiten lozend

Retina: netvlies, de binnenste van de drie oogkroeken

Sarcoom: kwaadaardig gezwel uitgaande van de steunweefsels

Schizofrenie: gespletenheid van geest, een ernstige vorm van geestesziekte, die na iedere tijdelijke verergering van de ziekte een verdere aftakeling van de geest en de persoonlijkheidsstructuur te zien geeft

Scrotum: balzak
Siderose: afzetting van ijzer in de weefsels
Stereognosis: het vermogen om op het gevoel voorwerpen te herkennen
Stricture: vernauwing van een kanaal
Struma: krop, vergroting van de schildklier
Tabes dorsalis: chronische en voortschrijdende aandoening van het centrale zenuwstelsel ten gevolge van infectie met *Treponema pallidum* (neurosyfilis)
Teleangiëctasie: verwijding van één of meer haarvaten
Teratogeen: misvorming veroorzakend bij het embryo
Testes: zaadballen
Thorax: borstkas
Thrombocyten: bloedplaatjes
Trachea: luchtpijp
Tracheotomie: operatieve opening van de trachea, dwars door de huid aan de voorkant van de hals
Tractus digestivus: spijsverteringskanaal
Trauma: verwonding, letsel
Ulcus: zweer
Ureter: urineleider, de verbinding tussen het nierbekken en de urineblaas
Urethra: urinebuis, de verbinding tussen de uitgang van de urineblaas en de buitenwereld
Urethritis: ontsteking van de urethra
Urethrografie: röntgenafbeelding van de urethra na het inbrengen van een contraststof
Urticaria: netelroos
Uterus: baarmoeder
Vacuolisatie: het ontstaan van kleine lege holten binnen een cel
Vesicaal: met betrekking tot de blaas
Vulva: de uitwendige schaamdelen van de vrouw
Xerostomie: droogheid van het mondslijmvlies door deficiënte speekselsecretie

REGISTER.

Het register bevat alle persoonsnamen, die in de tekst en de voetnoten voorkomen. De namen van personen, die in titels genoemd worden, zijn niet in het register opgenomen.

- Abbe R. 19
d'Abreu 14
Adler E. 129
Albers-Schönberg H.E. 16, 25,
36, 53, 85, 108, 111, 113, 144,
146, 177, 180, 198, 268
Anson B.J. 45
Arluke A. 52, 56, 69
Aschoff 26
- Bachem 137
Baclesse F. 190, 268
Baensch W. 36
Baermann 38
Bagg H.J. 44
Bailey H. 44
Baker T.T. 118
Bardachzi F. 178
Barthélemy 4
Bauer H. 146, 147
Bayet A. 202
Bech C. 17
Beck C. 144
Béclère A. 23, 24, 53, 55, 57,
71, 72, 98, 145, 191, 239, 258
Becquerel A. 19
Behnken H. 135, 136, 138, 140,
141, 142, 256, 258
Bell, A.G.
Bellaer Spruijt 29
Belot J. 57, 174, 264
Benthin W. 206, 207, 222
Bergonié J. 16, 40, 146, 268
Billroth Th. 51
Birch-Hirschfeld A. 44
Bissell 43
Bitza 101
Blackman J.R. 43
Bloch 19
- Blum T. 36
Boas 13
Bocage 14
Boden G. 46
Bohr N. 254
Bollaan 20, 28
Bolliger A. 41
Boltwood 269
Bouman, Z.P. 210
Bouwers A. 114
Bower J.O. 237
Bragg W. 141
Branças de 268
Brasch A. 17
Braunstein A. 208, 209
Brecher R. & E. 9
Broca 60, 61
Broers J. 199
Brown 36
Brown P. 73, 75
Brunschwig 46
Bucky G. 47, 70, 85, 86, 118
Bumm 180
Burnam C. 195, 196, 202
- Caldas 14
Cameron 20
Campbell-Swinton A.C. 91
Caplan 139
Carr A. 225
Casarett G.W. 43
Case J.T. 42, 43, 73
Cathcart 43
Ceresole G. 41
Chadwick 18
Chenault H. 46
Christie A.C. 43
Clark J.H. 237
Clarkson J.R. 46

Cobb 14
 Cockcroft 18
 Codman E.A. 4, 9, 33
 Cohen E. 28
 Colardeau E. 91
 Cole 14
 Coliez R. 106, 114, 138, 168,
 173, 204
 Comandon 13
 Compton A.H. 254
 Contremoulins 71
 Contremoulins G. 144
 Coolidge W.D. 26, 95, 98, 111,
 249
 Cooter R. 240
 Coutard H. 24, 25, 185, 186,
 187, 189, 190, 215, 218, 268
 Cox H.W. 79, 80
 Curie E. 58
 Curie P. 19
 Curie-Sklodowska M. (Madame
 Curie) 19, 24, 58, 69, 76, 268

Dandy 14
 Danlos 19
 Darier 4, 34
 Davis A. 51
 Davis K.S. 43
 Dean A.L. 42
 Dehaut 81
 Desjardins A.U. 41, 43, 176
 Despeignes 15, 225
 Dessauer F. 16, 78, 137, 175,
 226
 Dietlen 56, 60
 Dietz P.J.Ph. 59, 103
 Döderlein 207
 Dominici H 20, 105, 194, 196,
 269
 Doub H.P. 41
 Douglas J. 270
 Driessen L.F. 44, 99, 100, 101,
 102, 103
 Duane W. 134, 1135, 142, 254
 Dugteren Van 20
 Dunlap C.E. 233

Eckhardt R.E. 46

Eisner 191
 Elischer von Thurzóbánya Von
 268
 Erskine 137
 Ewing J. 26, 176, 270
 Exner 202
 Eyszelsteijn Van 197

Failla G. 26, 167, 200, 201
 Feldweg P 45
 Finzi 20
 Fischer 268
 Fischer B. 40
 Flaskamp W. 105
 Flesch-Thebesius 251
 Forestier 14
 Forssell G. 20, 141, 228
 Försterling K. 35
 Foveau de Courmelles 34
 Franqué O. von 40
 Franz K. 40, 182
 Freudenthal W. 37, 38
 Freund L. 15, 22, 23, 30, 52,
 126, 127
 Fricke H. 137
 Friebe 33
 Friedman N.B. 43
 Friedrich W. 26, 132, 134, 135,
 137, 153, 166, 177, 178, 179,
 180, 254, 261
 Frik K. 273
 Fuchs J. 33
 Fürstenau R. 131, 132, 255

Galewski 191
 Ganter A. 172
 Gassmann A. 33, 38, 109
 Gassul R. 55
 Gaul L.E. 46
 Gauss C.J. 59, 177, 178, 182,
 188, 196, 206, 264
 Gavazzeni S. 39
 Gettler A.O. 39
 Giesel 19
 Gilchrist T.C. 221
 Gilman 15
 Glasser O. 129, 135, 137, 142,
 153, 261

Glocker R. 108, 137
 Glover Lyon T. 15
 Gocht H. 4, 170, 175
 Goin L. 63
 Goldstein L. 45
 Goot, van der D.H. 29
 Graham 14
 Greenough 183
 Gritzer G. 52, 56, 69
 Groedel 8, 77, 94, 104, 108,
 132, 172, 178, 191, 192
 Groover T.A. 43, 46
 Grubbé E. 14, 15, 32, 109, 225
 Grund K. 18
 Grünfeld R. 109, 110
 Grunmach E. 230
 Gudzent F. 208, 209, 211, 273
 Guilleminot H. 144

Haendly P. 37
 Hahn O. 38
 Halberstädter L. 17, 36, 111,
 112, 171
 Hall C.C. 41
 Hall-Edwards J. 74, 76, 268
 Handorn 42
 Hardy 126
 Hartmann F.W. 41
 Heidler H. 42
 Heilbron L.G. 117
 Heimann F. 182
 Heineke H. 16, 39, 226
 Hering 38
 Hesse O. 33
 Heyman J. 208
 Himstedt 208
 Hirschberg M. 37
 His 208
 Hobi F. 220
 Hoch P. 27
 Hoed D. den 39
 Hoffmann R.S. 41
 Hofmeister F. von 38
 Hofelder H. 38, 191
 Holland C. Thurstan 54, 170, 239
 Holthusen H. 132, 135, 258
 Holzknecht G. 5, 7, 21, 22, 23,
 30, 34, 53, 66, 67, 99, 100,
 101, 102, 103, 105, 109, 110,
 121, 122, 123, 124, 125, 126,
 127, 128, 129, 130, 184, 186,
 191, 221, 222, 228, 229, 249,
 250, 268
 Houtermans 47
 Howell J. 238
 Hsü 46
 Hudelett G. 41
 Hueck H. 35
 Hull 149

Iselin 35
 Ivy 45

Jackson C. 14
 Jackson H. 91
 Jaeger R. 47
 Jakobsthal 170
 Janeway H. 26, 202, 203
 Järnh B. 78
 Jessen F. 43
 Joliot-Curie 21
 Jüngling O. 37

Kaiser G. 21, 22
 Kaupp E. 137
 Keijser S. 67, 77, 243, 247
 Kelly H. 195, 196, 197, 269, 270
 Kempster C. 74
 Kerst 17
 Kessler E. 204, 272
 Kienböck R. 23, 30, 35, 53, 121,
 127, 130
 Kingery L.B. 267
 Kirchberg F. 73, 84, 198
 Kleine H.O. 192
 Knipping 26
 Kohl 144
 Kok C.H. 67, 243
 König E. 20
 Kooij K. 243
 Kooij R. 212, 213
 Kouwer B.J. 181, 182, 265
 Krause P. 171, 172, 221, 251
 Kriser A. 221, 249, 250, 268
 Krönig B. 26, 59, 132, 177, 179,
 180, 182, 188, 196, 198

Krukenberg 35
 Kuipers A. 4, 30, 230
 Kupferberg H. 206
 Kurtzahn F. 36
 Kuznitsky 191

Lacassagne A. 40, 268
 Lamas 14
 Langenbeck Von 51
 Lauritsen C.C. 17
 Latzko 185
 Lawrence 18
 Lazarus 271
 Lazarus-Barlow 20
 Leddy E.T. 137
 Ledoux-Lebard R. 61
 Lee R. 15
 Lembcke 177, 178
 Lenard 254
 Leppin 32
 Levie B. 39
 Levy L. 117, 118
 Levy-Dorn M. 13, 109, 259, 268
 Lexer 171
 Liard 24
 Lichtenberg Von 13
 Lichtheim L. 21
 Liek E. 222, 265
 Lima 14
 Liniger 8, 77, 94, 104, 108, 132,
 172, 178
 Linser P. 38
 Lomon 13
 Londe 71
 Loose G. 75
 Lorenz 85
 Lossen H. 8, 77, 94, 104, 108,
 132, 172, 178, 191, 192
 Löwenthal S. 208, 273
 Lüdin 45
 Lüraschi 131
 Lysholm E. 20

MacIntyre J. 225
 Mallet L. 204
 Marchik H. 38
 Marcuse W. 33
 Marinelli L.D. 167

Marquès H. 41
 Martland 211
 Matusovzsky A. 42
 Mayneord W.V. 137
 McCombs R.K. 45
 Melville S. 57
 Mendel F. 209
 Merritt E.A. 43
 Meyer 142
 Meyer H. 8, 54, 85, 177
 Mills G.P. 41
 Minelli S. 39
 Minot 39
 Möller S. 266
 Moniz 14
 Mühlmann E. 41, 43
 Mulié 103
 Muller H. 17, 47, 82, 273
 Murdoch J. 139, 142
 Murphy D.P. 39, 45

Nahan 264
 Nahmmacher 191
 Nogier T. 24, 40
 Noiré H. 23, 124, 125, 126, 127,
 130
 Norris C. 39

O'Connell 46
 Osgood 36
 Ottow B. 42
 Oudin P. 4, 23, 34

Packard C. 132
 Parker H. 27, 157, 158, 160,
 161, 163, 164, 165, 166, 167,
 168
 Pasche O. 251
 Pasteur L. 24
 Pasveer B. 241, 244
 Paterson R. 27, 157, 158, 160,
 161, 163, 164, 165, 166, 167,
 168
 Perthes G. 35, 36, 99, 174
 Perussia F. 64, 65, 66, 191
 Pfahler G.E. 41, 45, 85, 102,
 103, 129, 267
 Philipp E. 36

Philips 78
 Pierquin B. 228
 Planck M. 254
 Plonski 33
 Pochettino 208
 Polak 29
 Pordes F. 41
 Posthumus Meijes W. 20
 Potter H.E. 118
 Pusey W.A. 16, 222
 Pyenson L. 187

Quenisset F. 38
 Quimby E. 27, 153, 154, 155,
 156, 157, 158, 159, 162, 167,
 168

Rahm 43
 Ratkóczy N. 47
 Récamier D. 35
 Regato J.A. del 22
 Regaud C. 20, 24, 25, 40, 186,
 187, 189, 190, 268
 Reich 77
 Reifferscheid K. 36
 Reisner 192
 Renfer E. 38
 Reynolds L. 98
 Rieder H. 13
 Riehl 5
 Rigler L. 224
 Robarts H. 53
 Rollins H. 111
 Röntgen W.C. 9, 11, 12, 93, 133
 Rose C.B. 43
 Roux E. 24
 Rubin Ph. 43
 Rump W. 133
 Russ S. 132, 152
 Rutherford E. 18, 254
 Rzewuski A. 43

**Sabouraud R. 23, 123, 124, 125,
 126, 127, 128, 130**
 Salis H. von 41
 Santos Dos 14
 Scarborough J.E. 36
 Schäfer P. 264

Schempp E. 108
 Schenkel H. 109
 Schindler 17
 Schinz H.R. 111, 192
 Schmidt H. 37
 Schmidt H.E. 37
 Schmitt 74, 171, 182
 Schmitz H. 42
 Scholz 46
 Scholz W. 41
 Schreus 35
 Schröder A. 185
 Schroeder-Gudehus B. 140
 Schubert M. 172, 222, 249
 Schugt P. 42
 Schultz O.E. 41
 Schultze 192
 Schürmayer 83
 Schwartz 54, 111
 Schwarz G. 23, 127, 186
 Schwarz 6, 23, 30
 Schweizer E. 38
 Sederholm E. 109
 Segui G. 38
 Sehrwaldt E. 33
 Seitz L. 25, 179, 180, 182, 183,
 189, 264
 Seldin M. 41
 Sello 208
 Senn 16
 Seynsche K. 44
 Shapin S 189
 Shearer 133
 Sherer J.W. 44
 Sicard 14
 Simon 36
 Simpson F. 200
 Singer G. 149
 Sippel P. 222
 Sjögren T. 15, 109
 Sluijs F. 151, 204, 272
 Smithers D.W. 46
 Smithies 45
 Snijders A.J.C. 210
 Soddy F. 205
 Soiland A. 242
 Solomon I. 138, 139, 141, 258
 Speder E. 40

Spiess W. 35, 80
 Spurling 39
 Stacey L.J. 42
 Stahel E. 139, 142
 Steenhuis D.J. 67, 103, 104, 243
 Steiger M. 182
 Stenbeck 15
 Stenström W. 137
 Stern S. 188
 Stevens L.G. 15, 33, 231
 Stevenson L.D. 46
 Stevenson W.C. 20, 199
 Stone R.S. 18
 Stoneburner C.F. 149
 Stone Scott N. 4, 221
 Strasburger J. 210
 Strasser A. 43
 Sträter 144, 121
 Straub M. 39
 Strauss O. 8, 76, 105, 107, 172
 Strong J.A. 46
 Szilard B. 134, 136

 Tammeling B.P. 270
 Tayler 39
 Taylor L.S. 64, 149
 Testaz 71
 Thies A. 36, 37
 Thijn C.J.P. 224
 Thompson E. 94
 Thomson J.J. 208, 254
 Thomson S. 91
 Trendelenburg W. 172
 Tribondeau L. 16
 Tugendreich J. 111, 171
 Tyler A.F. 43

 Underwood G.B. 46

 Vallebona 14
 Vierheller F. 137
 Villard P. 128, 133, 134, 136,
 138
 Völcker 13
 Voltz J. 82, 108
 Voorhoeve N. 67, 117, 243

 Wachowski T.J. 46

 Walkoff 19
 Walter B. 108, 109, 147
 Walters O.M. 45
 Walton 18
 Warren S. 45, 237
 Warthin A.S. 39, 41, 42
 Watson W.L. 36
 Weart S.R. 247
 Weatherwax J.H. 137
 Weibel W. 206
 Wertheim Salomonson J.K.A. 6,
 9, 28, 29, 30, 67, 78, 114, 117,
 230, 242
 West 117
 Wetterer J. 35, 123, 191
 Wetzler E. 38, 41
 Whipple G.N. 41
 White T.N. 167
 Wickham L. 81, 195, 196
 Wilkinson O. 44
 Willcock 126
 Wille 207
 Winkler C. 28
 Wintz H. 25, 43, 108, 133.179,
 180, 182, 183, 189, 264
 Witherbee 39
 Wood F.C. 132
 Wyklicky H. 229
 Wylick van W.A.H. 9, 30

 Zeeman W.P.C. 44
 Ziedses des Plantes B.G. 14, 67
 Zollinger F. 192