

**Herwaardering van het Gesloten Ademsysteem
in de Anesthesiologie**

Any part of this book may be reproduced in any form, by print, photoprint, microfilm or any other means, if it might serve patient safety.

Herwaardering van het Gesloten Ademsysteem in de Anesthesiologie

Toepasbaarheid in Nederlandse ziekenhuizen met behoud van veiligheid en goede omstandigheden voor de patiënt; milieu-invloeden en kostenaspecten.

Reevaluation of Closed Circuit Anaesthesia.

Applicability in Dutch hospitals offering safe and suitable conditions to the patient; environmental and economic aspects.

Proefschrift ter verkrijging van de graad van doctor
aan de Erasmus Universiteit Rotterdam
op gezag van de Rector Magnificus
Prof. Dr. A.H.G. Rinnooy Kan
en volgens besluit van het college van decanen.
De openbare verdediging zal plaats vinden op
donderdag 9 juni 1988 te 16.00 uur

door

Bernard Hendrik Marius Johannes Buijs

geboren te Zeist

Promotiecommissie:

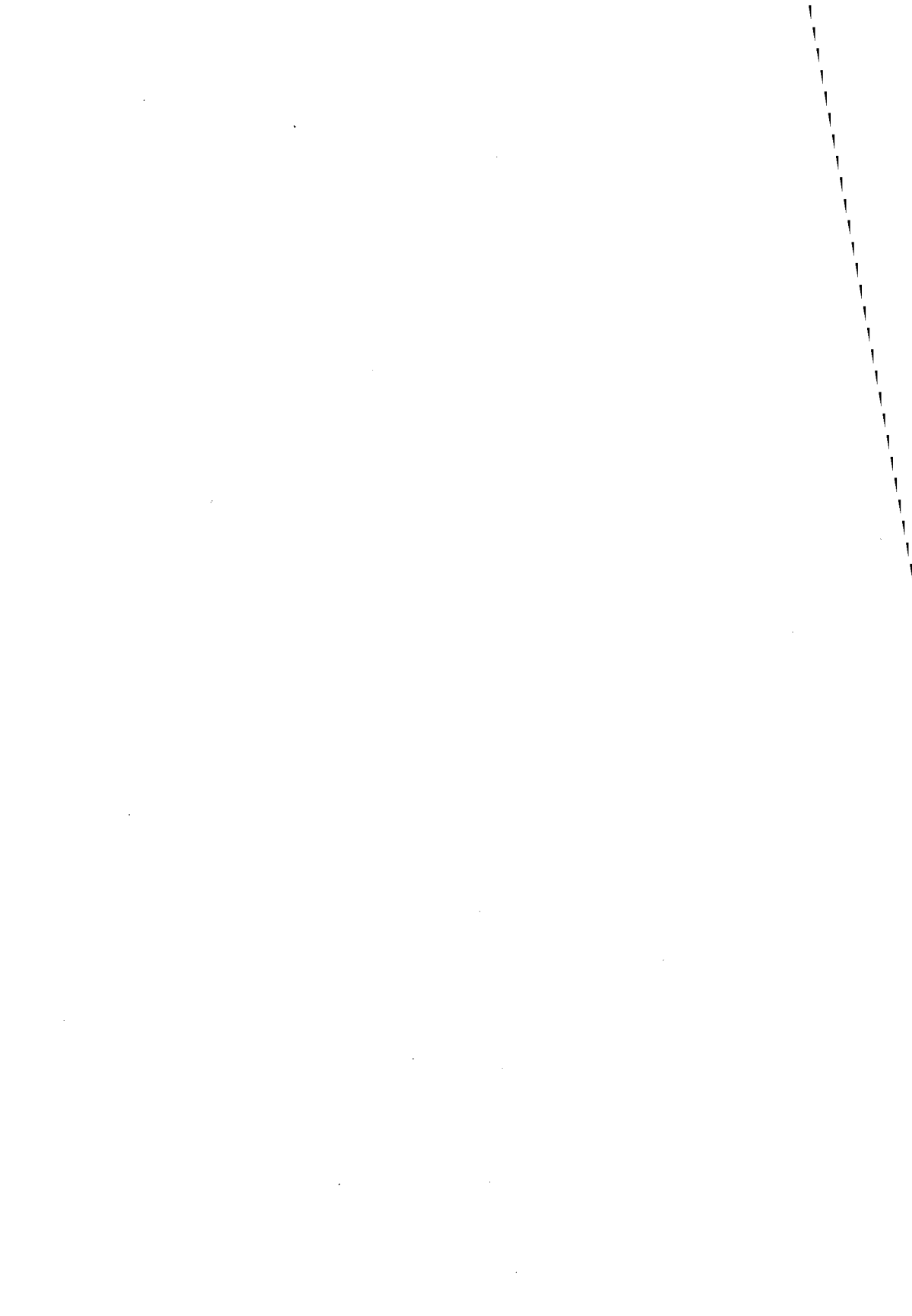
Promotor: Prof. Dr. W. Erdmann

Overige leden: Prof. Dr. C. Hilvering
Prof. Dr. G. Rolly
Prof. Dr. H.A. Bruining

*Die't ambacht wèl verstaet,
daar hij van leven moet.
en die't niet wèl alleen,
maar wèl en geerne doet
beleeft het grootst geluk,
dat iemand kan begeren.*

Const. Huygens

In dankbare herinnering aan Vader
Aan Rita, Bernard, Willem, Maresa
en Moeder



Inhoud

1	Inleiding	9
1.1	Situatie in het "eigen" ziekenhuis	9
1.2	Vraagstellingen	11
1.3	Toelichting op de vraagstellingen	11
1.3.1	Veiligheid	11
1.3.2	Lichaamstemperatuur en klimaat in de luchtwegen	13
1.3.3	Milieuvervuiling	13
1.3.4	Economische aspecten	14
1.4	Literatuur	14
2	Beademingssystemen.	15
2.1	Geschiedenis.	15
2.2	Kritische beschouwing betreffende de historische ontwikkeling.	20
2.3	Ademsystemen.	21
2.3.1	Algemeen	21
2.3.2	Het open systeem	22
2.3.3	Het gesloten systeem.	22
2.4	Het cirkelademstelsel	24
2.4.1	Opbouw van het cirkelademstelsel.	24
2.4.2	Principes van het cirkel ademstelsel	25
2.4.3	Technische voorzieningen	25
2.4.4	De beademingsmachine	26
2.4.5	De koolzuurabsorber.	27
2.4.6	De zuurstofconcentratiemeter	28
2.5	Literatuur	28
3	Veiligheid.	30
3.1	Vraagstelling 1	30
3.2	Inleiding	30
3.3	Geschiedenis	30
3.4	De veiligheid bij de toepassing van het gesloten ademstelsel	37
3.5	Mogelijke storingen bij de beademing	39
3.6	Eigen waarnemingen	40
3.7	Conclusie	42
3.8	Literatuur.	43
4	Lichaamstemperatuur en klimaat in de luchtwegen	44
4.1.1	Anesthesietechniek.	44
4.1.2	Kunstneus.(HME, Heat and Moisture Exchanger)	45
4.1.3	Patiëntenselectie	47
4.2	Lichaamstemperatuur	49
4.2.1	Vraagstelling 2	49
4.2.2	Inleiding	49
4.2.3	Onderzoek.	49
4.2.4	Aanvullend onderzoek.	52
4.2.5	Bespreking	55
4.2.6	Conclusie	56

4.3	Klimaat van de luchtwegen	56
4.3.1	Vraagstelling 3	56
4.3.2	Inleiding	56
4.3.3	Onderzoekmethode.	58
4.3.4	Resultaten.	59
4.3.5	Bespreking	61
4.3.6	Conclusie	61
4.4	Literatuur	61
5	Milieupollutie	63
5.1	Vraagstelling 4	63
5.2	Bespreking	63
5.2.1	Inleiding	63
5.2.2	Pollutie van de stratosfeer	63
5.2.3	Pollutie van de troposfeer	66
5.3	Conclusie	67
5.4	Literatuur	67
6	Zuurstofoxiciteit.	69
6.1	Inleiding	69
6.2	Conclusie.	71
6.3	Literatuur	71
7	Economische factoren	73
7.1	Vraagstelling 5	73
7.2	Inleiding	73
7.3	Vergelijking van kosten.	74
7.4	Bespreking	79
7.5	Conclusie	80
7.6	Literatuur	81
	Samenvatting en conclusies.	82
	Summary and conclusions	86
	Curriculum vitae	90

1 Inleiding

1.1 Situatie in het "eigen" ziekenhuis.

Nadat wij gedurende enige jaren met de in het ziekenhuis aanwezige anesthesieapparatuur hadden gewerkt, kwamen wij in 1978 tot de conclusie dat vervanging van de beademingsapparatuur wenselijk was.

Na veel jaren van intensief gebruik waren de toestellen nog wel bruikbaar, maar steeds vaker waren reparaties noodzakelijk om de goede werking te garanderen. Het bleek desondanks dat, dank zij de grote verse gasstromen, waarmee men in de opleiding tot anesthesioloog had leren werken, vele gaslekkages werden gemaskeerd.

Het gebruik van enflurane had bij verpleegkundigen een slechte naam omdat zij vaak over hoofdpijn klaagden, na bij anesthesie met enflurane te hebben geassisteerd.

Om de motivatie voor de aanschaf van nieuwe apparatuur te onderbouwen werd nagegaan welke besparingen konden worden bereikt wanneer in plaats van hoge verse gasstromen van negen liter per minuut twee liter per minuut werd gebruikt. Dit bleek, rekening houdend met het aantal verrichtingen in 1978, neer te komen op een bedrag van enige tienduizenden guldens per jaar.

Nadat nieuwe apparatuur was aangeschaft waren gaslekkages praktisch niet meer meetbaar. De mogelijkheid volgens het principe van het gesloten systeem te werken was hierdoor aanwezig.

Eenmaal overgegaan op een systeem met betrekkelijk geringe gasstromen werd mijn aandacht getrokken door een aankondiging van een in 1981 te organiseren symposium, in Birmingham (Ala.) USA, met als onderwerp "het gesloten beademings-systeem". Ik was verbaasd dat dit "ouderwetse" onderwerp voldoende stof te bieden had om een "internationaal symposium" te organiseren.

Na deelname aan de bijeenkomst in Birmingham was ik er van overtuigd dat de besproken methode verre van ouderwets was.

De verkregen informatie en de gedachtenwisselingen die ik al eerder had met mijn opleider, Professor Dr. D.H.G. Keuskamp, versterkten mijn vertrouwen in deze oude anesthesie techniek. De konsekwente toepassing ervan werd echter beperkt door de voor deze techniek nog niet overal beschikbare apparatuur en het opleidingsniveau van anesthesie-hulpkrachten.

Het leek zinvol te onderzoeken of de toepassing van het gesloten ademsysteem, met minstens even grote veiligheid, mogelijk was in de omstandigheden waaronder in de niet academische ziekenhuizen in Nederland werd gewerkt. Immers, in het buitenland zowel als in de Nederlandse opleidingsklinieken is de verantwoordelijke anesthesioloog vrijwel altijd bij de patiënt aanwezig, terwijl in

de Nederlandse, niet-academische ziekenhuizen de anesthesioloog meestal verantwoordelijk is voor meer dan één anesthesie en een anesthesieverpleegkundige bij de patiënt blijft.

De eerste ervaringen met het gesloten systeem klopten niet met datgene wat sprekers op het symposium beweerden.

De uitgedemde warme gasmengsels zouden weer warm worden ingeademd en zodoende kunnen voorkomen dat de patiënten tijdens operaties zouden afkoelen.

Mijn ervaring was dat de patiënten, beademd met het gesloten systeem, even sterk afkoelden als diegenen die met een andere beademingstechniek werden behandeld. Dit wekte toen ook mijn twijfels ten aanzien van het behoud van de reinigende werking van het trilhaarepitheel in de luchtwegen, dat bij het gesloten ademsysteem wel en bij de techniek met grote verse droge gasstromen niet mogelijk zou zijn.

Het leek zinvol hierover meer duidelijkheid te verkrijgen.

De veiligheid voor de patiënt werd echter steeds al eerste doel gezien. De facetten die hier een rol spelen dienden te worden beoordeeld in de situatie waarin in het eigen ziekenhuis moest worden gewerkt.

Op het voormelde symposium werden door sprekers uit verschillende landen totaal verschillende cijfers gepresenteerd, die de economische voordelen moesten tonen bij toepassen van het gesloten systeem. Per land bleek er sprake te zijn van zeer grote verschillen in kostprijzen van anesthesiegassen en -dampen

Wanneer kon worden aangetoond dat er met het gesloten systeem veilig is te werken en duidelijkheid is te verkrijgen of de lichaamstemperatuur en de trilhaarfunctie in de luchtwegen zijn te beschermen, zou het zinvol zijn ook de economische voordelen in de Nederlandse praktijk te beoordelen

Belangrijker nog dan de economische factoren zijn mogelijk de problemen van de luchtvervuiling. Door gebruik en misbruik van anesthesiedampen en lachgas dragen wij daartoe zeker bij. De Arbeidsinspectie stelde reeds eisen voor maximaal toelaatbare concentraties in operatiekamers en verkoeverruimte.(1985)

Mijn opleiding tot anesthesioloog kreeg ik, zoals hierboven reeds aangegeven, onder leiding van Professor Dr. D.H.G. Keuskamp, die eind jaren zestig, al internationale waardering genoot vanwege zijn bijdrage aan ontwikkelingen in de beademingstechniek

Om deze redenen zocht ik weer contact met hem, om de toepasbaarheid van het gesloten-systeem, met de nu voorhanden zijnde monitoring en andere technische voorzieningen, te bespreken en uit te werken

De opvolger van Professor Keuskamp, Professor Dr. W. Erdmann, toonde, van begin af aan, een klankbord te zijn voor de ontwikkelde ideeën rondom dit onderwerp.

Zo is het onderzoek naar de resultaten bij het toepassen van het gesloten ademsysteem in ons ziekenhuis tot stand gekomen.

De resultaten van dit onderzoek zouden belangrijk kunnen zijn, omdat meer dan 90% van de operatieve ingrepen in Nederland in vergelijkbare ziekenhuizen plaats vindt.

Voor het toedienen van gassen en dampen wordt in de anesthesiologie gebruik gemaakt van twee principes:

1. de "open" systemen;

2. de "gesloten" systemen.
In hoofdstuk 2 worden deze nader toegelicht.

1.2 Vraagstellingen

Met het onderzoek is getracht de volgende vraagstellingen te beantwoorden:

1. Veiligheid.

Is in de algemene anesthesiepraktijk in Nederlandse ziekenhuizen het gesloten ademstelsel toepasbaar en voldoet het daarbij aan dezelfde veiligheidseisen, welke thans gelden bij de algemeen in gebruik zijnde systemen?

2. Lichaamstemperatuur.

Is in klinische situaties na te gaan wat de invloeden zijn van de toepassing van het gesloten stelsel op de lichaamstemperatuur van de patiënt?

3. Klimaat in de luchtwegen.

Is in klinische situaties na te gaan wat de invloed is van de toepassing van het gesloten ademstelsel op de trilhaarfunctie van het tracheaepitheel onder invloed van het klimaat in de luchtwegen?

4. Milieuvervuiling.

Is het na te gaan hoe groot de bijdrage is aan de vervuiling van de omgeving door het gebruik van lachgas en anesthesiedampen?

5 Economische factoren.

Welke zijn de mogelijke economische gevolgen van de toepassing van het gesloten ademstelsel?

1.3 Toelichting op de vraagstellingen

1.3.1 Veiligheid

Door het beschikbaar komen van nauwkeurig werkende gasanalysatoren is er hernieuwde belangstelling ontstaan voor het gesloten toedieningssysteem. Het is nu mogelijk de samenstelling van het in te ademen gasmengsel nauwkeurig te regelen en te analyseren.

"Fatal Accident Frequency Rate"

Tijdens het congres "Fouten in de geneeskunst" ter gelegenheid van het zevende lustrum van de "Medische Faculteitsvereniging" te Nijmegen, in april 1987, bracht Zelders ter sprake het begrip "F.A.F.R.", fatal accident frequency rate. Deze grootheid wordt uitgedrukt in het aantal fatale ongelukken waartoe een bepaalde onveilige situatie aanleiding geeft, per 100.000.000 uur dat die situatie bestaat. Zelders presenteerde F.A.F.R.-waarden op grond van gegevens uit het Statistisch Zakboek 1980.

Hij berekende de F.A.F.R. voor narcose op grond van naar schatting 60 fatale anesthesieongevallen per jaar, bij 1,5 miljoen uur anesthesie.

Vergelijkbare waarden werden berekend voor andere situaties waarin mensen zich konden bevinden:

zwangerschap	1
thuis verblijven	8
verkeer (totaal)	50
luchtverkeer	100
narcose	4000

Men heeft zo per uur narcose 40x meer kans te overlijden dan per uur deelname aan vliegverkeer.

Maatregelen ter verhoging van de veiligheid in de anesthesie lijken dan ook aangewezen.

De toepassing van het gesloten ademsysteem zal voor de patiënt minstens dezelfde mate van veiligheid moeten waarborgen als thans met de gebruikelijke systemen kan worden bereikt. Het zou mogelijk kunnen zijn dat het gesloten adem systeem zelfs veiliger is.

Het "meer-tafel systeem".

Dit zal ook moeten gelden in die situaties waar een anesthesioloog, althans in Nederland, te zelfder tijd de zorg heeft voor meer dan 1 anesthesie in meerdere operatiekamers, het zogenaamde meer- tafel-systeem.

Bij het "meer-tafel-systeem" is 1 anesthesioloog verantwoordelijk voor een werksituatie, waarin meer dan één patiënt onder een of andere vorm van anesthesie is gebracht

Deze anesthesioloog wordt daarbij geassisteerd door anesthesieverpleegkundigen (of -assistenten), die gedurende de gehele anesthesie bij de patiënten aanwezig blijven.

De anesthesieassistenten kunnen op elk moment, met een interkomsysteem direkt in contact komen met de anesthesioloog, die volledig verantwoordelijk is voor alle anesthesie-handelingen bij deze patiënten.

Tijdens de inleiding van de anesthesie zowel als bij de uitleiding daarvan dient de anesthesioloog persoonlijk aanwezig te zijn. De anesthesioloog is derhalve niet voortdurend bij één patiënt aanwezig.

Bij anesthesie worden processen in gang gezet, die "bestuurbaar" dienen te zijn, d.w.z. zij moeten zowel snel kunnen beëindigd als onverwacht kunnen worden verlengd.

Bij correcte uitvoering van de gestelde taken dient onder geen van deze situaties gevaar voor de patiënt te ontstaan.

Fouten kunnen voor de patiënt tot onomkeerbare, zelfs dodelijke situaties leiden. Het vroeg kunnen signaleren van kleine afwijkingen dient op een eenvoudige manier mogelijk te zijn.

De vergelijking met dergelijke situaties in de luchtvaart dringt zich hier op.

Op grond van de geraadpleegde literatuur werd de veiligheidsproblematiek in de luchtvaart vergeleken met de werksituatie in het eigen specialisme.

Er werd gezocht naar een werkmodel waarin het gesloten ademstelsel zou kunnen worden toegepast met inachtneming van de optimale veiligheid voor de patiënt.

1.3.2 Lichaamstemperatuur en klimaat in de luchtwegen

Een minder in het oog springend aspect is de afkoeling van de patiënt door inademing van koude en droge gassen. De gassen zuurstof en lachgas worden door de industrie zuiver, vrij van waterdamp, aangeleverd. Treft men geen bijzondere maatregelen, dan zal de patiënt deze volkomen droge gassen moeten inademen.

De temperatuur van deze gassen is door de lange leidingnetten, zoals die in moderne ziekenhuizen zijn aangelegd, gelijk aan de omgevingstemperatuur.

De patiënt die wordt beademd is vrijwel altijd geïntubeerd. Een beademingsbuis is in de luchtpijp geplaatst en aangesloten op het ademstelsel van het anesthesie toestel. De opwarmende en bevochtigende taak van de neuskeelholte is daarbij uitgeschakeld. De toepassing van het gesloten ademstelsel zou voor de patiënt grote waarde kunnen hebben daar hierbij het afkoelend en uitdrogend effect van de ingeademde gassen grotendeels kan worden beperkt.

De gevolgen hiervan op de lichaamstemperatuur en op de transportfunctie van het trilhaarepithelium van de luchtwegen werden in klinische situaties beoordeeld. De effecten van beademing met grote verse gasstromen en met het gesloten systeem werden vergeleken.

1.3.3 Milieuvervuiling

Het is vrijwel algemeen aanvaard dat de met fluor gestabiliseerde chloor-koolwaterstofverbindingen, (de zgn. CFK's), mede-verantwoordelijk kunnen worden gesteld voor de afbraak van de ons beschermende ozonlaag in de stratosfeer. Halothane, enflurane en isoflurane behoren tot deze CFK's.

In de laatste jaren wordt ernstig rekening gehouden met de toename van ozon in de troposfeer, onder andere door lachgas, het distikstofoxide.

Daarom dienen anesthesiologen zich af te vragen of het mogelijk is hun bijdrage aan deze pollutie te verminderen. Om het belang hiervan te verduidelijken is nagegaan hoe groot in feite het aandeel van de anesthesioloog is in de milieuvervuiling.

Voor de patiënt is het van belang dat, om bijwerkingen te voorkomen, de inhalatieanesthetica niet in het lichaam worden afgebroken of daar op andere wijze aan een chemisch proces kunnen deelnemen.

Men heeft gezocht naar zeer stabiele moleculen, afgeleid van de diëthylether, de "narcose-ether" die al meer dan honderd jaar in de anesthesie bekend is, maar helaas explosief is. Zo kwam men terecht bij de gefluorideerde chloorkoolwaterstoffen, chemicaliën die dank zij hun lage kookpunt, ook in de koel- en spuitbusindustrie worden toegepast onder de soortnaam freon.

Deze freonen zijn, evenals lachgas, zo stabiel dat ze na gebruik nog minstens honderd jaar in de atmosfeer zullen worden aangetroffen.

Berekend werd in welke mate het verbruik van deze stoffen met de toepassing van het gesloten ademstelsel is terug te brengen.

Het milieu op de "werkplek", de operatiekamer en de verkoeverkamer spreekt in dit verband meer tot de verbeelding en heeft dan ook de aanhoudende belangstelling van o.a. de arbeidsinspectie.

Dit in verband met verhoogde kans op abortus, hoofdpijn, leukemie bij personeel in operatiekamers, na langdurige blootstelling aan kleine hoeveelheden lachgas en gechloreerde koolwaterstoffen (Cohen, 1978; Burm et al. 1976; Eger, 1978; Rejger, 1980; Nat. Mac Cie. 1985). De International Standard Organisation, "ISO", heeft normen opgesteld voor de maximaal acceptabele pollutie met anesthesie gassen en dampen in de operatie kamer: lachgas 30 ppm en voor gehalogeneerde koolwaterstoffen 0.5 ppm.

1.3.4 Economische aspecten

Om de laatste vraagstelling te beantwoorden, worden de kosten, die een rol spelen bij het toepassen van het half gesloten en het gesloten systeem belicht, waarbij het verbruik aan gassen en dampen en de benodigde investeringen ter sprake komen.

1.4 Literatuur

Burm, A., J.Spierdijk, V. Rejger. "Het milieu in de operatiekamer II. Luchtverontreiniging met narcosegassen". N.T.v.G. 1976: 120; 699.

Cohen, P.J. "Toxicity of inhalation anesthetic agents". B J A 1980: 50; 665

Eger, E.I., A.E. White, C.L. Brown, C.G. Brown, C.G. Biava, T.H. Corbet, W.C. Stevens. "A test of the carcinogenicity of enflurane, isoflurane, halothane, methoxyflurane and nitrous oxide in mice" An Alg 1978: 57; 328

Rejger, V.(1980) "Studie naar de betekenis van luchtverontreiniging met anesthesiegassen in het operatiekamercomplex." Dissertatie, Leiden.

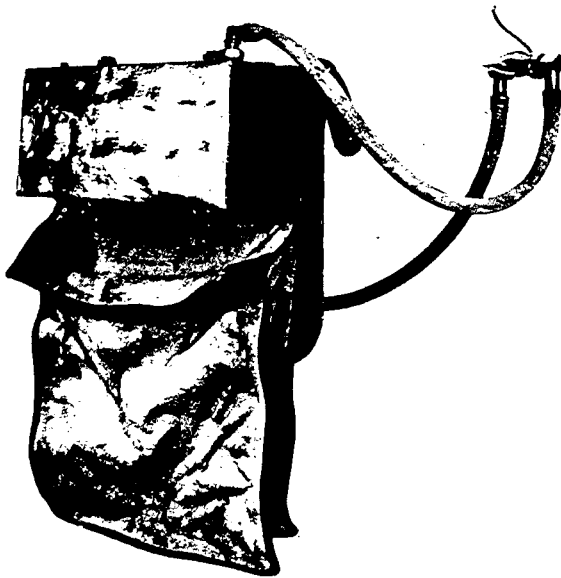
Werkgroep van Deskundigen; Nationale MAC Commissie 1985 "Rapport inzake grenswaarde lachgas."

2 Beademingsystemen.

2.1 Geschiedenis.

Bij een grote mijnramp in België, in maart 1852, kwamen velen om: de reddingsacties waren niet goed mogelijk door schadelijke mijngassen. Dit was de aanleiding tot het ontwikkelen van een apparaat, waarmee mensen lange tijd in een milieu met giftige gassen konden verblijven.

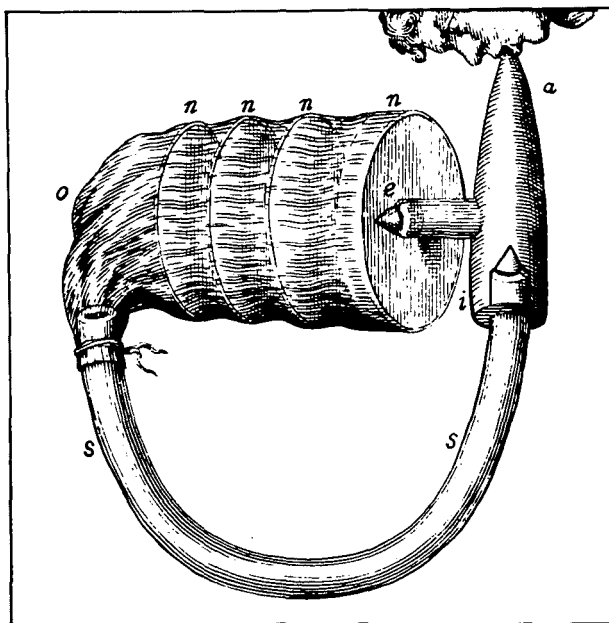
Zo ontwikkelde Schwann mijnreddingsapparatuur met koolzuurabsorber, zuurstofcilinders, reduceerventiel, en gasstroommeters. Het resultaat was dermate goed, dat de commercie er op reageerde en er diverse apparaten op de markt verschenen.



Schwann's circle carbon dioxide absorption mine rescue apparatus (1856). This apparatus incorporated two high-pressure oxygen cylinders, a reducing valve and flow regulator, two one-way valves and an absorption chamber for caustic soda all of which were new designs originated by Schwann. On the 15th of June, 1856, Schwann breathed from this apparatus for one hour and forty-five minutes. (Waters R. M., *Anesthesiology* 1943, 4, 598.)

Aan deze toepassing is de ontdekking van Hales vooraf gegaan, die reeds in 1727, (voor de ontdekking van koolzuur!) al proeven deed met ademen in een gesloten systeem. Hij paste in een alkalische oplossing gedrenkte filters toe, waardoor het mogelijk was "...acht en een halve minuut te ademen, een nuttige ontdekking...", zoals hij stelde, "...omdat men daarmee een ruimte met giftige gassen kon binnen gaan en daarin enige tijd kon verblijven...".

Als eis aan de apparatuur stelde hij al dat er vooral voor moest worden gezorgd dat de ademhaling weinig weerstand zou ondervinden. Hiervoor moet men de slangen en kleppen zo ruim mogelijk maken.

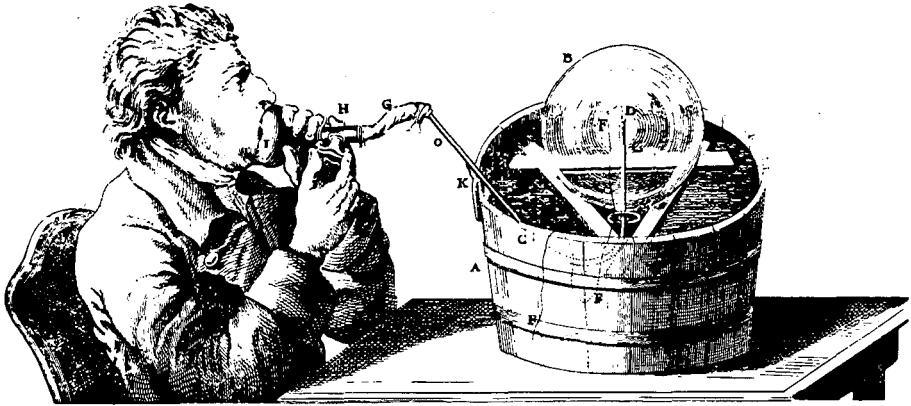


Hales' closed circuit respiratory apparatus (1727).

Two unidirectional valves (*i*) and (*e*) and four cloth diaphragms (*n*) soaked in absorbent solutions were provided. Describing its use Hales recounts that 'when I drew in breath with my mouth at (*a*), the valve (*i*) being thereby lifted up, the air passed freely thro' the syphon (*s*) from the bladders, which then subsided and shrunk considerably. But when I breathed air out of my lungs, then the valve (*i*) closing the orifice of the syphon, the air passed thro' the valve (*e*) into the bladders, and thereby dilated them; by which artifice the air which I expired must necessarily pass thro' all the diaphragms, before it could be inspired into my lungs again. The whole capacity of the bladders and syphon was 4 or 5 quarts.'

Many solutions including vinegar, sea salt and 'sal tartar calcined' were tried as absorbents. The latter proved to be the best. (Hales, S. (1727) *Vegetable staticks*, p. 262. London.)

In 1779, enige tijd na de ontdekking van koolzuur, schreef Fontana aan Ingen-Housz dat loogwater was te gebruiken om koolzuurgas te binden. Ingen-Housz was in die tijd tot de conclusie gekomen dat planten onder invloed van zonlicht zuurstof produceerden, uit de lucht koolzuurgas opnemen en dat de koolstof in de plant uit de lucht afkomstig was. (afb.)



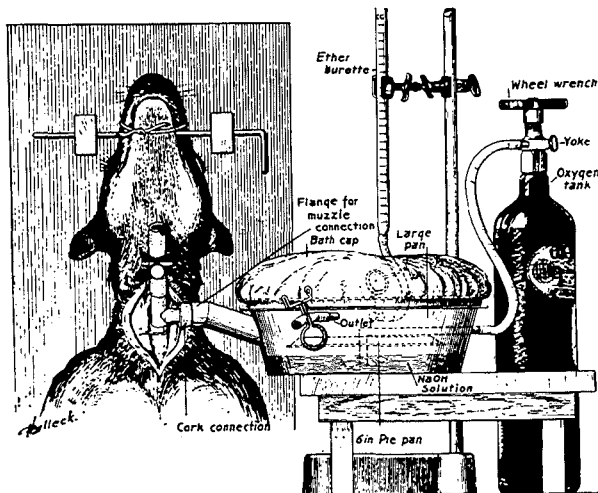
Ingen Housz is shown here testing Fontana's suggestion that expired CO_2 could be absorbed by lime water (1782). (Ingen Housz, J. (1784) *Vermischte Schriften: Physische Medicinischen-Inhalts*. Vienna: Wappler. Plate I, Vol. II.)

In 1776 had Fontana al proeven gedaan bij patiënten die hij met zuurstof behandelde. Het resultaat van deze experimenten was dat de hoeveelheid zuurstof die in eerste instantie in 1 minuut werd verbruikt, later voldoende bleek voor een half uur. Zodoende konden de kosten van zowel experimenten als van de zuurstof-therapie belangrijk worden teruggebracht.

In 1868 beschreef Andrews in Chicago als eerste een methode om op een economische manier lachgas en zuurstof door een terug-ademingsstelsel te gebruiken waarbij de uitgeademde gassen over koolzuurgasabsorber stromen.

De kosten speelden ook in die tijd al een grote rol, vooral omdat bij gebruik van lachgas zuurstof nodig was. Het was gebruikelijk het lachgas aan de in te ademen kamerlucht toe te voegen. Dat er dan een zuurstoftekort tijdens de ademhaling ontstond werd geaccepteerd. Aanvankelijk werd hierbij niet eens stilgestaan. Beschreven werd dat in die tijd een behandeling met zuurstof / lachgas een arbeidersloon van twee dagen kostte. Om aan de armen tegemoet te komen konden zij eventueel met een zuurstofarme narcose worden geholpen.....

De pharmacoloog Jackson in St. Louis, beschreef in 1916 een opstelling om honden lange tijd in een zuurstof/lachgas milieu te houden door dit gasmengsel voortdurend door een alkalische vloeistof te leiden. Dit bracht zijn gaskosten per uur terug van ongeveer \$ 2.30 naar \$ 0,32.



Jackson's to-and-fro absorber for economical ether anaesthesia in animals (1916).

The apparatus was constructed of simple domestic components, the main ones being a large cake tin and a rubber bathing cap. The carbon dioxide absorbent is caustic soda solution. The animal breathes in and out of the cake tin through a wide-bore tube, the bathing cap serving as a reservoir bag. Ether is added from the burette while basal oxygen is supplied from the cylinder. This method was the direct precursor of the Waters canister and the to-and-fro absorber of to-day. (*J. Lab. clin. med.* 1916, 2, 94.)

Als extra bijzonderheid is een buret te zien voor toediening in het circuit van de vloeibare vorm van een ether.

In 1915 presenteerde Jackson reeds een toestel voor koolzuurgasabsorptie Ook hier de voorziening voor het in vloeibare vorm toedienen van ether; bovendien zorgde Jackson voor een goede menging van de gassen door de gassen met behulp van een motor geforceerd te laten circuleren.

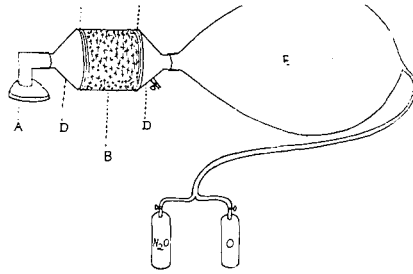
Ongeveer acht jaar later presenteerde Waters (1924) het narcose-apparaat met een sodalime canister op het masker aangesloten, dat op het gelaat van de patiënt moest worden gehouden.

Het apparaat van Waters was lastig te hanteren omdat het dicht tegen het gelaat van de patiënt moest worden gehouden.

Het was echter pas bij de komst en het vele gebruik van het dure cyclopropan, in 1930, dat een goed cirkel-absorbtoestel beschikbaar kwam. Dit werd ontworpen door Sword.

Sword gaf een gedetailleerde beschrijving bij de introductie van zijn toestel. Hij gaf daarbij de - nog steeds geldige - principes aan, waarop hij zijn toestel bouwde:

1. Het verbruik van zuurstof door de patiënt bepaalt de hoeveelheid zuurstof, die door de flowmeter stroomt;
2. Het elimineren van de uitgeademde koolzuur;

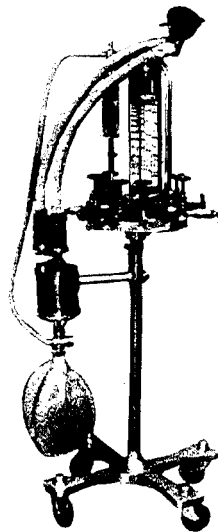


To-and-fro absorption and the Waters Canister (1924).

This is Waters's original drawing of his absorption system. Though described in 1924 it has remained basically unchanged to the present day. The entry of fresh gases has now been changed from the bag to near the face mask. The stop cock seen attached to the canister was used to obtain gas samples for analysis and was later dispensed with. (*Anesth. & Analg.* 1924, 3, 20.)

3. Alle anesthetica die via de longen binnenkomen, worden ook weer via de longen uitgescheiden.

Hij beschreef de bouw in detail, vermeldde de werking van sodalime, en voor hij verder ging met uit te leggen hoe met het toestel anesthesie kon worden gegeven, stelde hij:



The Sword circle absorption apparatus (1930).

Two one-way valves were added to a modified Waters canister which was connected to the patient by two stiff rubber tubes. (Courtesy of The Foregger Company.)

"I believe, before entering upon a description of the method of administering, we should first discuss or briefly mention some factors which are paramount in the administration of any type of anesthesia:

a: Patient:

Temperament, 'neurotic or phlegmatic'

Age,

Type of operation

b: Surgeon:

Temperament,

Operative ability, or his operative time,

His method of handling tissue and haemostasis.

I am firmly convinced that the more care and study rendered to the patient, and the more intelligent the discussion of factors involved relative to the operation with the surgeon beforehand, render a more satisfactory end result."

In zijn conclusie stelde Sword dat de hoeveelheid gebruikte gassen in grote mate afhankelijk is van:

"a. Effects of preliminary medication,

b. Amount of ether used during the first fifteen minutes,

c. Type and location of operation,

d. Surgeon and his willingness to cooperate with the anesthetist."

Voor het toepassen van cyclopropaan, dat duur en explosief was, bleek het systeem dat Sword had uitgewerkt een uitkomst. Het veel goedkopere en voor de patiënt veilige ether werd echter allerminst verdrongen.

Daar bij beademen met het gesloten circuit lekkages niet konden worden geaccepteerd, ontstond er een probleem bij langdurige ingrepen, waarbij met het anesthesiemasker moest worden beademd.

De endotracheale tube was al niet nieuw meer, maar de uitvoering met opblaasbare ballon ter afsluiting van de trachea was nog niet algemeen beschikbaar. Bovendien werd dezelfde tube meermalen gebruikt hetgeen de betrouwbaarheid niet ten goede kwam.

Materialen en sterilisatie technieken stonden nog aan het begin van hun ontwikkeling.

2.2 Kritische beschouwing betreffende de historische ontwikkeling.

Het gesloten systeem heeft lang stand gehouden. Eigenlijk is pas in de vijftiger jaren vrij algemeen de overgang tot stand gekomen naar de anesthesietechniek met grote verse gasstromen.

Er waren verschillende overwegingen, die de overgang begrijpelijk maken:

Voor de komst van de spierverslappende middelen ademde de patiënt meestal spontaan. Daarbij fungeerde de ademhaling als monitor voor de narcosediepte..

Guedel gaf een schema aan, waarmee de narcosediepte was te schatten. Aard van de ademhaling, stand en pupilwijdte van de ogen waren belangrijke criteria bij de beoordeling.

Gedurende de anesthesie volstond men met het aanvullen van de gassen en dampen die nodig waren voor de narcose zelf en voor de onvermijdelijke lekkages.

Door het gebruik van spierverslappende middelen moest de patiënt kunstmatig worden beademd. De voornoemde controle op de narcosediepte verviel vrijwel geheel door de uitval van de ademhalings- en oogbolspiieren: de patiënt kon niet meer als zijn eigen monitor dienen.

Doordat de patiënt moest worden beademd werd het ook van groot belang dat het probleem van de lekkages werd opgelost. Door de verhoogde beademingsdruk ontstond een groter volume aan weglekkend gas. Met kleine gasstromen en lekkages was het onmogelijk een gelijkmatig gasmengsel te handhaven.

Om aan deze problemen tegemoet te komen vond men de oplossing door de patiënt te laten ademen uit een overmaat aan verse gassen van bekende samenstelling. Patiënt-verbruik en lekkages konden zo ruimschoots worden opgevangen en het teveel aan gassen liet men vrij afvloeien via de afblaasklep, in de operatiekamer.

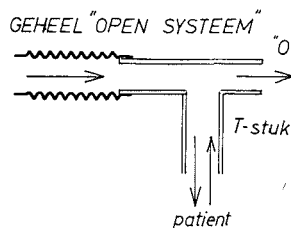
Belangrijkste parameters voor de diepte van de anesthesie werden de bloeddruk en hartfrequentie, de kleur en vochtigheid van de huid, de pupilwijdte en het eventuele tranen van de ogen van de patiënt.

In de laatste decennia is er op technisch terrein in de anesthesiologie veel verbeterd. Men beschikt nu over apparatuur waarbij gaslekkages vrijwel kunnen worden uitgesloten. Endotracheale tubes benaderen de perfectie, voorzover men daarvan kan spreken. Er zijn gasstroommeters verkrijgbaar, die tot op 10 ml per minuut nauwkeurig zijn. Zuurstofconcentratiemeters en koolzuurconcentratiemeters worden nu algemeen gebruikt; anesthesiedampconcentratiemeters zijn tegen redelijke prijzen verkrijgbaar.

2.3 Ademsystemen.

2.3.1 Algemeen

Voor de toediening van anesthesiegassen en dampen bestaan twee toedieningsprincipes:



1. Het "open systeem", ook wel "T-systeem" genoemd ('non rebreathing technique' in het Engels).

2. Het "gesloten systeem" ('rebreathing technique')

2.3.2 Het open systeem

De patiënt ademt een voorbij stromend gasmengsel in. De door de patiënt uitgeademde gassen worden met dezelfde gasstroom mee genomen en aan het milieu afgegeven.

Voordeel van dit systeem is de eenvoud: geen kleppen, geen ventielen, geen koolzuurabsorber. Bovendien is de samenstelling van het aan te bieden gasmengsel goed te regelen.

Nadeel is het grote verbruik aan gassen. Het is immers de bedoeling dat de patiënt de uitgeademde gassen, waarin koolzuurgas is afgegeven en zuurstof in verlaagde concentratie aanwezig is, niet meer kan inademen.

Om dit te bereiken moet de aanvoer van verse gassen wel zo groot zijn, dat bij inademen het zojuist uitgeademde gasmengsel ver genoeg is verdrongen om niet meer te kunnen worden aangezogen.

Bij een volwassene kan dit neerkomen op een verse gasstroom van soms meer dan 10 liter per minuut.

Door eenvoudige aanpassingen is aan het voorgaande tegemoet te komen, maar het principe blijft toch dat er een grote overmaat aan gassen wordt aangeboden. Hiervan wordt slechts een klein deel door de patiënt opgenomen.

Zo ontstonden als varianten op het geheel open systeem de "half open systemen" van Magill, Bain, Jackson Rees, waarbij een deel van de uitgeademde gassen in een ballon wordt opgevangen en, verdund met verse gassen, weer wordt ingeademd. Ook hier wordt een overmaat aan verse gassen verbruikt, maar minder dan bij het geheel open systeem. Door een verstelbare klep is het wegstromen van overtollig gasmengsel te regelen.

Nadeel van de "open" en "halfopen"-systemen is, dat men naast de pollutie geen enkele informatie heeft over hoeveelheden gassen en dampen, die door de patiënt worden opgenomen: voor de dosering van anesthesiedampen gaat men af op de klinische symptomen, bij de gassen dient men te zorgen voor voldoende concentratie van zuurstof in het gasmengsel en voor afvoer van het koolzuurgas. Een ander belangrijk nadeel is de hoge belasting van het milieu. Hierop wordt later ingegaan.

Deze toedieningsystemen komen vanwege deze nadelen in dit bestek verder niet meer ter sprake.

2.3.3 Het gesloten systeem.

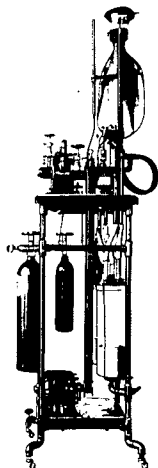
Een belangrijke besparing in verbruik van ademgassen is te bereiken door de uitgeademde gassen op te vangen, van koolzuur te ontdoen en met aanvulling van het door de patiënt opgenomen volume gas/damp mengsel weer te laten inademen. Hier spreekt men dan van een "gesloten systeem". Het "gesloten cirkel-systeem" zoals dat reeds in 1915 door Jackson is beschreven staat model voor de heden ten dage gebruikte gesloten ademsystemen

Een variant hierop is het systeem waarbij er meer gassen worden aangeboden dan de patiënt opneemt. De overmaat moet via een afblaasventiel afvloeien. Men spreekt hier wel van "half gesloten systemen".

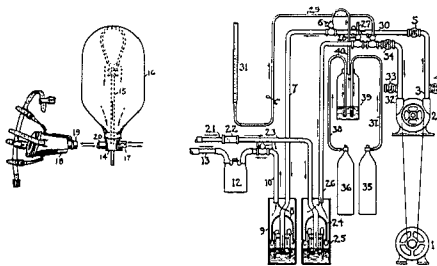
In de tijd waarin het niet mogelijk was de samenstelling van het ingeademde en uitgeademde gasmengsel te bepalen wat betreft concentraties zuurstof en koolzuurgas, leek het toedienen van grote gasstromen veiliger. De gasstroommeters gaven de hoeveelheden aangeboden gassen weer, de uitgeademde gassen werden met de overmaat verse gassen afgevoerd door een overloopventiel.

De hoeveelheid weglekkend gas zal worden beïnvloed door de heersende druk in het slangenstelsel; bij beademen heerst daarin een gemiddeld hogere druk dan bij spontaan ademen van de patiënt. Bij die hogere druk zal dan ook aanzienlijk meer gasmengsel kunnen weglekken.

Zo ziet men bij het toepassen van het halfgesloten cirkel-systeem veelal verse gasstromen toegepast van 4 tot 8 liter per minuut, terwijl de patiënt slechts 0,3 - 0,4 liter per minuut opneemt.



Jackson's first experimental carbon dioxide absorption apparatus (1915).
The motor and the bottles containing the absorbent solution can be clearly seen.
(*J. Lab. clin. med.* 1915, 1, 1.)



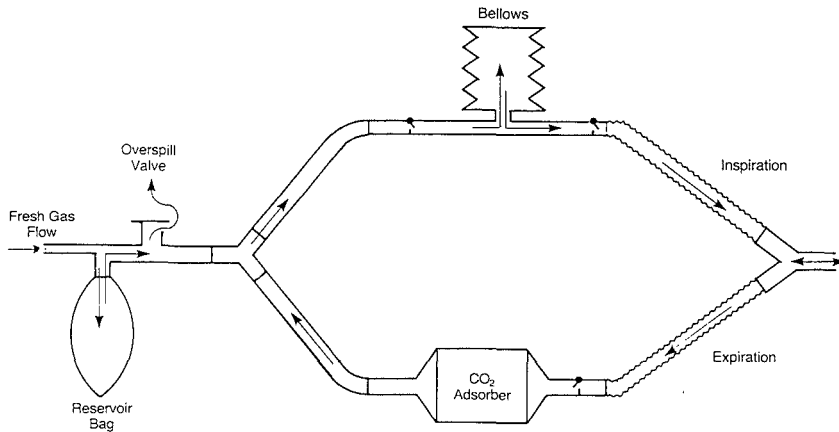
Jackson's carbon dioxide absorption apparatus (1915).
The patient breathes spontaneously from the reservoir bag the contents of which are continuously circulated through the carbon dioxide absorbent by a motor blower. The apparatus consists of:
1. Electric motor driving
2. rotary air pump. The gas mixture passes via tubes 3 and 7 to
9. wash bottle containing concentrate solution of sodium hydroxide and calcium hydroxide to absorb carbon dioxide. The gases then pass via tube 10 through
12. safety trap to catch any caustic solution, and enter
16. reservoir bag from which the patient breathes to and fro via the face mask 18. The gases in the reservoir bag are removed via tube 21 and pass through
25. wash bottle containing concentrated sulphuric acid to remove excess moisture and to sterilize them. They then pass through the rotary blower back to the carbon dioxide absorbent.
35 and 36. Cylinders of nitrous oxide and oxygen from which the gases enter the circuit after passing through the wash bottle 39 which acts as a simple flow indicator.
(*J. Lab. clin. Med.* 1915, 1, 1.)

2.4 Het cirkelademsysteem

2.4.1 Opbouw van het cirkelademsysteem.

De belangrijkste onderdelen van het cirkelademsysteem zijn:

- twee slangen, waarmee resp. gassen naar de patiënt toe en van de patiënt af worden geleid.
- een stel eenrichting-kleppen, dat er voor zorgt dat de gassen slechts in één richting kunnen stromen.
- een inlaatpoort voor de aanvoer van de verse gassen, ter aanvulling van wat de patiënt verbruikt en ter compensatie van lekkages in het systeem.
- nauwkeurig werkende gasstroommeters.
- een afblaasklep, waardoor een teveel aan gasmengsel kan worden afgevoerd.
- een zgn. "Y"-stuk, op een masker of endotracheale tube voor een gasdichte aansluiting van de in- en uitademingsslangen op de luchtwegen van de patiënt.
- een verdampers of inspuitopening met kraantje om een krachtig inhalatie-anestheticum toe te dienen.
- een koolzuurabsorber die het uitgedemde koolzuurgas bindt, om weer inademen daarvan te voorkomen.



- een beademingsballon.
- een koolzuurgas-analysator, de zgn. capnograaf.
- een zuurstofconcentratiemeter.

2.4.2 Principes van het cirkel ademsysteem

Bij de toepassing van het gesloten systeem in de anesthesie gaat men uit van twee belangrijke principes - die reeds in 1930 door Sword zijn aangegeven - :

1. De *constante inhoud* verzekeren van de ruimte die wordt gevormd door het ademsysteem en de luchtwegen van de patiënt door slechts het *verbruik aan gassen* door de patiënt *aan te vullen*; dit houdt in dat er geen lekkages in het systeem mogen bestaan.

2. Het *koolzuurgas* uit de uitgeademde gassen laten absorberen door sodalime

De overmaat aan gassen kwam vroeger in de operatiekamer vrij; momenteel worden zij via "scavenger"-systemen naar buiten afgevoerd.

Zoals algemeen wordt aangenomen, zijn de voordelen van het "gesloten systeem" ten opzichte van het "half gesloten systeem":

- uitgeademde waterdamp komt weer terug bij de inademing;
- uitgeademde warmte komt terug bij de volgende inademing;
- het zuurstofverbruik door de patiënt is tot op 25ml/min nauwkeurig te bepalen, evenzo de veranderingen daarin;
- opname door de patiënt van dampvormige anesthetica is met de injectie van deze stoffen direct in het ademcircuit exact te regelen;
- opmerkelijke kostenbesparing door minder verbruik van gassen en dampen;
- vermindering van de vervuiling van het milieu.

Nadelen bij de toepassing van het geheel gesloten ademsysteem *zijn er niet*, wanneer men aan de apparatuur dezelfde eisen stelt voor veiligheid en betrouwbaarheid die gelden voor de momenteel toegepaste technieken.

De nauwe toleranties die bij het gesloten ademsysteem zijn vereist schijnen een nadeel. Het alert moeten zijn op kleine veranderingen komt de patiëntbewaking echter ten goede. De relatief grote zuurstofvoorraad in het ademsysteem, ten opzichte van het zuurstofverbruik door de patiënt biedt een extra veiligheid.

2.4.3 Technische voorzieningen

Het is essentieel te kunnen beschikken over een anesthesietoestel, dat voorzien is van volledig lekvrije verbindingen van alle gasleidingen. Deze eis is een algemene

eis, te stellen aan elk deugdelijk toestel, onverschillig welk ademsysteem wordt toegepast.

Eenvoudig is na te gaan of het slangensysteem lekdicht is:

In een brief van de British Standards Institution aan de leden van de ISO, International Organisation for Standardization, (1987), wordt in een "working draft - minimum performance and safety requirements for anaesthetic breathing systems" in artikel A.2.1.2 aangegeven hoe lekkages van een anesthesietoestel kunnen worden gecontroleerd.

"Set up the breathing system, excluding the reservoir bag, and seal the patiënt connection port. Fully close any valve in the breathing system that is designed to allow gas to leak at pressures below 3 kPa (30 cm water). Connect the pressure measuring device at the patiënt connection port and introduce air into the fresh gas inlet until a pressure of 3 kPa is indicated. Adjust the flow of air to stabilize the pressure at 3kPa and "record the leakage flow."

In artikel 4.4 van dit voorstel wordt de tolerantie voor lekkage aangegeven: "When tested by the method described in A.2.1, the leakage from a complete breathing system supplied complete by the manufacturer shall not exceed 175 ml/min".

2.4.4 De beademingsmachine

De beademingsmachine dient te zijn voorzien van een *staande balg*, in een *doorzichtige behuizing*, de drukkamer. De inhoud van de balg staat in verbinding met de gassen in het circuit en in de luchtwegen van de patiënt. De drukkamer staat in verbinding met een mechanisme dat afwisselend voor drukverandering kan zorgen. De balg wordt daardoor ritmisch ingedrukt, zodat een deel van de inhoud in het slangentstelsel en in de patiënt wordt gebracht.

Tesamen vormen beademingsbalg, slangen, koolzuurabsorber en luchtwegen van de patiënt de "inhoud van het systeem". Dit moet tijdens een beademing constant worden gehouden.

Aan het einde van de uitademing is de inhoud van de balg het grootst en zal een van te voren ingestelde hoogte bereiken.

Het gewicht van de staande balg zorgt voor een geringe positieve druk. Deze is, afhankelijk van de uitvoering van de balg, 2 tot 4 cm waterdruk. Daardoor is het aanzuigen van lucht van buitenaf onmogelijk.

Afwijkingen in de eindexpiratoire hoogte van de balg geven een grote hoeveelheid informatie:

Wanneer het verbruik van de aangeboden gassen door de patiënt groter is dan het aanbod zal de balg in elke volgende adempauze lager komen te staan.

Dit gebeurt ook wanneer de lekkage in het ademcircuit groter is dan was verondersteld, terwijl het verbruik van de patiënt gelijk is aan het aanbod van gassen.

Wordt door daling van het hartminuutvolume minder gas uit de longen opgenomen, dan zien wij dat direct de balghoogte stijgt.

Toename van het hartminuutvolume leidt tot een grotere longperfusie en resulteert zodoende in een vermeerdering van gasopname. Hiermee is een signaal voor handen dat bijvoorbeeld bij cardiopulmonale resuscitatie informatie kan geven over het succes van de behandeling welke op geen andere manier zó snel en zó eenvoudig is te verkrijgen.

2.4.5 De koolzuurabsorber.

Het door de patiënt uitgeademde koolzuurgas kan pas in voldoende mate worden geabsorbeerd wanneer er sprake is van een groot absorptie oppervlak en wanneer de tijd waarin het gas met de ademkalk in contact komt lang genoeg is.

Men bereikt dit door de inhoud van de houder voor de "sodalime", zoals de ademkalk in dagelijks gebruik wordt genoemd, groter te maken dan het grootst mogelijk te verwachten ademvolume. Dit laatste is empirisch aangetoond.

De korrelgrootte en maat van de poriën van de sodalime bepalen voor een groot gedeelte het contactoppervlak en de doorstromingsweerstand. Als optimale maat houdt men 3 - 6 mm aan.

Belangrijk is de initiële vochtigheid van de sodalime korrels.

Het uitgeademde koolzuurgas moet eerst kunnen oplossen in water om dan als het echte "koolzuur" met het loog in de sodalime te kunnen reageren. Aanvankelijk zal de door de patiënt uitgeademde waterdamp voor deze vochtigheid kunnen zorgen.

gasfase: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longleftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$

vloeistoffase: $\text{H}_2\text{CO}_3 + 2(\text{NaOH})$ of $2(\text{KOH}) \longrightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3$ of $\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

vaste stoffase: Na_2CO_3 of $\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{Na}(\text{OH})$ of $2\text{K}(\text{OH})$

Per minuut wordt in rust 0,2 - 0,3 l koolzuurgas geproduceerd (Elam 1958). Dit komt overeen met 0,54 - 0,8 mol koolzuurgas per uur; bij absorptie aan sodalime komt daarbij 7,3 - 10,8 kcal warmte vrij.

Omdat sodalime afhankelijk van de duur van het contact 125 - 175 ml koolzuurgas bindt (Miles en Adriani 1959), is voor de absorptie van het per uur geproduceerde koolzuurgas ongeveer 100 gram sodalime nodig. Een sodalimehouder die 1,5 kg kan bevatten is 15 - 24 uur te gebruiken.

In de praktijk wordt het verbruik van sodalime bepaald door het gehalte aan koolzuurgas dat men aan de uitstroomzijde van de sodalimehouder accepteert en dat kan worden gecontroleerd door met de capnograaf voortdurend het percentage koolzuurgas in de in te ademen gassen te meten.

Bracker en Cox (1968) hebben enig houvast gegeven: Wanneer men beademt om bij de patiënt een arteriële pCO_2 tussen 40 en 45 mm Hg. te verkrijgen, dan mag men in de inademingsgassen 1% koolzuurgas accepteren.

Tijdens het beademen dient men te voorkomen dat te veel koolzuurgas wordt "uitgewassen", anderzijds moet men de longen goed ontplooid houden

De patiënt onder narcose is niet in staat zelf te zuchten. Daarom zal men beademen met een vrij groot slagvolume om hieraan tegemoet te komen.

Aan de sodalime is een kleurindicator toegevoegd die bij verzadiging met koolzuurgas een blauwpaarse kleur aanneemt. Om deze reden zijn de koolzuurabsorberpotten in glas of doorzichtige kunststof uitgevoerd.

De kleur geeft overigens geen enkele informatie in kwantitatieve zin. Hoeveel absorberende kalk nog beschikbaar is hangt ondermeer af van de kanaal vorming in een lading sodalime. Hierdoor wordt bepaald hoe de uitademingsgassen door de korrelmassa een weg vinden. De aan de buitenzijde zichtbare blauwe kleur zegt niet met zekerheid iets over de situatie in het midden van de absorber.

Bij het binnenstromen van de gassen wordt ernaar gestreefd een zo breed mogelijk stromend gasfront te vormen. Bij sommige ontwerpen wordt in het midden nog een schot geplaatst om te bewerkstelligen dat de gassen weer tot een breed stroomfront worden gedwongen en zich niet langs de kortste weg met minste weerstand naar de uitstroomopening kunnen bewegen.

2.4.6 De zuurstofconcentratiemeter

Deze is van grote waarde, zelfs onmisbaar, wanneer lachgas wordt toegepast. Op geen andere wijze is goed na te gaan hoe hoog de zuurstofconcentratie in het beademingsmengsel is. Gebruikt men voor de beademing uitsluitend zuurstof, dan kan de zuurstofconcentratiemeter veilig worden weggelaten.

Wenst men niet met zuurstof alleen te beademen, en toch geen lachgas te gebruiken, dan kan men lucht uit de omgeving in het systeem brengen. Dit kan eenvoudig door met behulp van een ballon van een bloeddrukmanchet kamerlucht in het ademcircuit te blazen. Voor nauwkeurige afregeling van de zuurstofconcentratie is hier de zuurstofconcentratiemeter natuurlijk onmisbaar.

Moderne anesthesietoestellen worden uitgerust met een luchttoedieningssysteem.

2.5 Literatuur

Bracken, A.,L.A. Cox, Apparatus for carbondioxide absorption.
Brit J An 1968;40:660.

British Standards Institution ref.ISO/TC 121/SC 1 n 431 February 24, 1987

Jackson, D.E. "A new method for general anesthesia, description of the apparatus. J Lab Clin Med 1915;1:1

Jackson, D.E. "Employment of closed ether anesthesia for laboratory experiments. 1916;2:94.


Miles, G. J.Adriani. "Carbondioxide absorption, a closer look." Curr Res Anesth 1959;38:293.

Sword,B. "The closed circle method of administration of gas anesthesia". Anest Analg 1930;9:198

Waters,R.M."Clinical scope and utility of carbondioxide filtration in inhalation in anesthesia practice." *Anesth Analg* 1924;3:20.

SAFETY IS NO ACCIDENT—IT MUST BE PLANNED!

PLEASE SIGN YOUR NAME IN INK ON ITEM VII. (SIGNATURE OF HOLDER)
CUT ALONG DOTTED LINE

I. UNITED STATES OF AMERICA						XI.	
Department of Transportation - FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION							
THIS CERTIFIES		IV. BERNARD HENDRIK BUYS					
THAT:		V. 45 BERGLUSTLAAN				TO:	
000258397		3054BB ROTTERDAM NETHERLANDS				BERNARD HENDRIK BUYS	
DATE OF BIRTH		HEIGHT	WEIGHT	HAIR	EYES	SEX	NATIONALITY VI.
05-17-37	68"	150	GRAY	BLUE	M	NETHERLDS	
IX. HAS BEEN FOUND TO BE PROPERLY QUALIFIED TO EXERCISE THE PRIVILEGES OF						III. CERT. NO. 2333576	
II. PRIVATE PILOT							
XII. AIRPLANE SINGLE ENGINE LAND RATINGS AND LIMITATIONS							
ISSUED ON BASIS OF NETHERLANDS PILOT LICENSE							
78-0078 NOT VALID FOR AGRICULTURAL AIRCRAFT							
XIII. OPERATIONS:							
VII. SIGNATURE OF HOLDER		X. DATE OF ISSUE: 11-12-02		VIII. ADMINISTRATOR			
AC Form 8060-1 (5-81)						2333576 49851682 05-17-37 M 000258397	

3 Veiligheid.

3.1 Vraagstelling 1

Is in de algemene anesthesiepraktijk in de nederlandse ziekenhuizen het gesloten ademstelsel veilig toepasbaar?

3.2 Inleiding

Van veiligheid is slechts dan sprake als er een logische en degelijke organisatie is opgezet om voor die veiligheid zorg te dragen. Het is belangrijk te weten wat de potentieel onveilige, zwakke punten in een systeem zijn.

Zowel in de anesthesiologie als in de luchtvaart vertrouwen mensen zich toe aan anderen, die hen meestal volkomen of slechts zeer vluchtig bekend zijn.

In de commerciële luchtvaart is enorm veel werk verricht om de veiligheid op zeer hoog niveau te brengen. Vanuit de anesthesiologie komen nog slechts sporadisch signalen naar buiten waaruit blijkt dat men lering trekt uit wat in de luchtvaart op dit gebied reeds is bereikt. Om de veiligheid te optimaliseren dienen allereerst de eenvoudigste middelen te worden gebruikt, die ons ter beschikking staan.

Wanneer basale kennis voldoende is om de beoogde veiligheid te bereiken moet zo min mogelijk ingewikkelde apparatuur worden gebruikt.

3.3 Geschiedenis

De eerste publikatie over dodelijke ongevallen in relatie tot de toegediende anesthesie, "On the Inhalation of the Vapour of Ether", verscheen in 1847 (Snow). Hierin vermeldde hij dat "geen van de zes dodelijke ongevallen bij 78 toegediende anesthesieën met ether "can have been caused, or in any degree

promoted by the inhalation of ether, since there are very sufficient and well-recognised causes to account for the result".

Het was dus feitelijk een ontkennende mededeling. Een mogelijke relatie tussen ongeval en de anesthesietechniek werd echter wel aannemelijk geacht. In een posthume publicatie van zijn hand "On Chloroform and Other Anaesthetics", uit 1858 rapporteerde hij echter over 50 doden in verband met chloroform toediening. Dit was een belangrijke publicatie. Het was de eerste die dodelijke ongevallen in directe relatie met anesthesie bracht.

In 1954 verscheen in de Annals of Surgery een "Study of Deaths Associated with Anesthesia and Surgery".

Het betrof rapportages uit tien "University Medical Centers" in de Verenigde Staten over een periode van 1 januari 1948 tot 21 december 1952.

In deze studie werd de eventuele relatie gezocht tussen anesthesie en morbiditeit, dan wel mortaliteit. Het beloop van 599.548 toegediende anesthesieën werd beschreven.

Als primaire oorzaak van overlijden was de anesthesie bij 1 op de 2.680 gevallen verantwoordelijk. In 1 op de 1560 gevallen droeg de anesthesie in belangrijke mate bij aan de dood van de patiënt.

The Council of the Association of Anaesthetists of Great Britain and Ireland gaf in 1954 aanzet tot een onderzoek naar dodelijke ongevallen in relatie tot anesthesie. In april 1955 kwam men met resultaten van de afgelopen 5,5 jaar, 1000 doden, 598 hiervan waren als anesthesie-doden aan te merken. Braken en aspiratie kwam in deze groep 110 keer voor. In 29 gevallen met dodelijke afloop bij anesthesie voor verloskunde, waren braken en inademen van maaginhoud voor 52% de oorzaak.

In 5 gevallen werd als belangrijkste doodsoorzaak melding gemaakt van fouten aan de apparatuur.

In 1979 is door Utting verslag gedaan over een rapportage aan de Medical Defence Union of the United Kingdom, over de periode van 190 - 1978. De meldingen waren vrijwillig, dus zeker niet volledig.

Bij 348 dodelijke gevallen bleek dat er in 48% sprake was van fouten in anesthesietechniek. Belangrijk onderscheid wordt gemaakt tussen anesthesie-tegenslag -lees: menselijke factoren-en anesthesie-fouten. In dit onderzoek bleek 35% tot de eerste en 65% tot de tweede categorie fouten te behoren.

Als oorzaken van menselijk falen werden beschouwd luiheid, onzorgvuldigheid en verveling bij langdurige procedures. Deze laatste factor wordt ongunstig beïnvloed door de monitoring apparatuur, die een belangrijk deel van de bewaking heeft overgenomen.

Bodlander deed in 1975 verslag van 408 lethale anesthesieongevallen, bij hart-, long- en hersenoperaties, wat neerkwam op een verhouding van 1:502

Van de onderzochte gevallen was 3,7% uitsluitend aan de anesthesie zelf toe te schrijven. Zij constateerden een aanzienlijke verbetering ten opzichte van de voorgaande tien jaren (3,7% vs. 20,9%) .

Harrison rapporteerde in 1978 over een tienjarig overzicht (1967- 1976) uit het Grootte Schuur Ziekenhuis.

Bij 240.483 anesthesieën konden 531 doden direct aan de anesthesie worden toegeschreven. Dit percentage van 0,2% betekende een verbetering ten opzichte van de voorafgaande tien jaar toen men 33% 'scoorde'.

10% van de anesthesie-doden was *vermijdbaar* en voornamelijk het gevolg van gebrek aan eenvoudige voorzorgen en verminderde klinische waakzaamheid.

Gibbs (1986), analyseerde 334 sterfgevallen ten gevolge van anesthesie in de periode 1979 - 1984. Opvallende conclusies waren onder meer dat slechts 1% overleed bij de inleiding, maar 40% kwam te overlijden ten gevolge van calamiteiten tijdens het onderhouden van de anesthesie.

De endotracheale tube werd bijvoorbeeld verkeerd geplaatst of geknikt.,of er was sprake van losgelaten slangverbindingen en onvoldoende observatie van de patiënt zelf.

Cooper(1978) vond dat 48% van de lethale anesthesie-accidenten zich tijdens de onderhouds-periode van de anesthesie voordeden.

"Mortality associated with Anaesthesia", in 1982 uitgegeven door de "Nuffield Provincial Hospitals Trust" geeft een overzicht van alle anesthesie ongevallen die waren opgetreden in 1979 in een circumsript gebied van 5 regio's binnen het Verenigd Koninkrijk.

Van de 1.147.362 anesthesieën werden vele aspecten bestudeerd en van commentaar voorzien.

1 op 10.000 patiënten overleed, geheel ten gevolge van de anesthesie, in een groot aantal gevallen door vermijdbare fouten.

In een zeer veel groter aantal gevallen kon de anesthesie bij het overlijden een rol hebben gespeeld (1:1700). Ook hier was een groot aantal oorzaken vermijdbaar. Het was interessant dat de ongevallen gelijk verdeeld waren over anesthesieën, gegeven door artsen in opleiding, minder ervaren en ervaren anesthesiologen.

Er waren geen aanwijzingen dat vermoeidheid een rol speelde.

Uit dit onderzoek is speciaal de verdeling in percentages van de 125 vermijdbare anesthesie-ongevallen van belang.

gebrek aan ervaring	29,6%
gebrek aan hulp	10,4%
beoordelingsfouten	70,0%
klinische vaardigheid	36,0%
technische vaardigheid	24,0%
gebrek aan middelen	7,2%
storing apparatuur	4,8%

"The artist in anaesthesia may appear to rely on hunches, or even luck, but in reality it is scrupulous attention to detail and the ability to observe and interpret clinical signs that marks out one man as superior to another. (Editorial. Anaesthesia 1976;13:1169.)".

Meestal gaat het om een complex van kleinigheden, waarbij de techniek uiteindelijk geen verdediging biedt tegen menselijke fouten. Die fouten nemen zelden de vorm aan van kapitale blunders, waarvan iedereen de gevolgen had

kunnen voorspellen. Meestal gaat het juist om "redelijk normale afwijkingen" die binnen de tolerantie vallen en in het verleden niet tot rampen hebben geleid. (Wagenaar, NRC 21.5.1987).

Het is dan ook niet zo dat er met het ter beschikking komen van meer apparatuur sprake is van een drastische verbetering van morbiditeit en mortaliteit. Kennelijk is er bij monitoring nog een factor, die aan de ongevals-score bijdraagt, die niet met apparatuur is te bestrijden:

Wie controleert de monitor?

Een e.c.g. dat normale complexen toont sluit ernstige respiratoire problemen niet uit; bij gevaarlijk lage bloeddruk kan het e.c.g. nog normaal zijn. Een digitale koolzuuraanwijzing van 4,5% geeft aan dat in de meetkamer van de capnograaf deze concentratie wordt gemeten. Dat de patiënt dit uitademt is daarmee niet bewezen.

Hoe meer monitoring wordt ingeschakeld, des te groter wordt de afstand tussen de patiënt en de anesthesioloog. Des te langer zal het duren eer een foutaanwijzing door een of andere monitor de anesthesioloog doet beslissen de juiste en snelst effectieve handeling te verrichten.

Er zijn geen monitoren, die kunnen volgen hoe de operateur vordert en die kunnen inspelen op de problemen in het operatieterrein.

Alle monitoring apparatuur is enkelvoudig op een anesthesietoestel aanwezig. Wat te doen als er een monitor systeem "en route" uitvalt"?

De "primaire" monitor tijdens het operatieve gebeuren is - of wellicht beter: dient te zijn - : de anesthesioloog! Deze kan zich laten bijstaan door de anesthesieverpleegkundige en de aangesloten monitor-apparatuur.

De apparatuur dient eenvoudig en veilig te bedienen te zijn.

In de meeste onderzoeken vormen technische storingen 4% - 5% van de oorzaken van anesthesie ongevallen.

Tussen de 40% en 50% vinden plaats in de ruime periode tussen inleiding en het einde van een anesthesie.

Tot op de dag van vandaag vinden er in de anesthesie rampen plaats met onherstelbare schade voor patiënten en hun nabestaanden. Het meest schrijnende hierbij is, dat deze ongevallen niet weer telkens een nieuwe oorzaak hebben, doch iedere keer weer tot een vrij kleine bekende groep van oorzaken blijken te behoren, leidende tot een ernstig zuurstof tekort bij de patiënt.....(Taylor, Larson, Prestwich, 1976).

Hoe hierin verbetering te brengen? Door een structuur op te bouwen waarin een vermindering van de goede werking van de apparatuur snel tot uiting kan komen, ruim voordat er schade aan patiënt kan ontstaan.

Systematisch moet worden gezien hoe de fouten kunnen ontstaan, welke situaties tot vergissingen kunnen leiden.

Protocollair moet er verslag worden gemaakt van wat er goed en fout of bijna fout gaat; dit dient niet vrijblijvend, doch verplicht te geschieden.

Het bijhouden van een anaesthesielijst is nog een te vrijblijvende aangelegenheid, daar het een ieder vrij staat het tijdsinterval tussen de notities die men wenst te maken zelf kan bepalen.

Via computer-toetsenborden en daaraan gekoppelde printers kan de anesthesieverslaglegging ondubbelzinnig geschieden en naderhand niet meer "herschreven" worden.

Hier is sprake van uitbreiding van apparatuur, niet om de bewaking ingewikkelder te maken maar om de verslaglegging te verbeteren ten gunste van objectief onderzoek, bijvoorbeeld na een ongeval, maar ook voor studie ter verbetering van techniek en procedures.

Het werken en bewaken, zoals de anesthesioloog pleegt te doen, is niet een uniek gebeuren wat betreft vereiste accuratesse, waakzaamheid en techniek. Het is geen toeval dat dikwijls de bewakingsprocedures in de anesthesie met die in het vliegverkeer worden vergeleken.

De vluchtvoorbereiding en de premedicatie procedure, de start van het vliegtuig en de inleiding van de anesthesie, de vluchttuitvoering "en route", het onderhouden van de anesthesie, het klaarmaken voor de landing en de landing zelf zijn met de uitleiding en de verkoeperperiode te vergelijken.

Merkwaardig genoeg, hier komen wij bij een groot verschil in ongevalspreventie in luchtvaart en in de anesthesiologie.

In de periode 1973 - 1977 zijn in de luchtvaart per jaar 200 miljoen passagiers vervoerd, met een jaarlijks dodencijfer van 100.

In dezelfde periode werden jaarlijks 20 miljoen anesthesieën gegeven, met jaarlijks 2.000 - 15.000 doden direct ten gevolge van de anesthesie zelf!

"Any sport, any endeavour, any infectious organism, or any medical speciality that causes 5000 to 6000 cases of death and or cerebral damages each year can be considered to be a public health hazard" (Weingarten, 1981. Symp. on Closed Circuit Anesthesia).

Zowel in de luchtvaart als in de anesthesiologie, blijken de ongevallen merendeels te wijten aan menselijke factoren, slechts in geringe mate aan technisch falen.

Met de uitgebreide monitoring die in de luchtvaart is toegepast, blijft het menselijk falen bij ongevallen een grote rol spelen. Het is niet te verwachten dat in de anesthesiologie de menselijke factor als oorzaak van ongevallen is terug te dringen met uitbreiding van apparatuur.

Ter preventie van ongevallen zijn bij de luchtvaart omvangrijke trainingsprogramma's en verplichte bijscholingsprojecten opgezet, welke in de anesthesiologie ontbreken.

De vluchtsimulator is bij uitstek geschikt om "dodelijke situaties" te laten ontstaan, deze op te lossen, "bijna-ongevallen" te arrangeren en tot veilige oplossingen te komen van problemen, waarvoor men zich plotseling gesteld kan zien.

De preventie en het oplossen van problemen die verband houden met mogelijke menselijke factoren en technische storingen is zo aanzienlijk te verbeteren.

Als anesthesioloog is men niet verplicht zich aan zulke periodieke procedures te onderwerpen.

Het rapporteren van "bijna-ongevallen" is in de commerciële luchtvaart verplicht, niet om te straffen maar om er lering uit te trekken en de vliegveiligheid te bevorderen.

Uit deze rapportages is namelijk gebleken dat situaties die aanleiding gaven tot de "bijna-ongevallen", sterk overeen kwamen met die, die tot fatale ongevallen leidden.

Zodra men in de luchtvaart, door analyse van fouten en foutenreeksen, patronen kon ontdekken waarin menselijk falen een vergrote kans kreeg, paste men procedures en opstelling van apparatuur toe, die de kansen op menselijk falen zouden kunnen verminderen. Zo is men tot grote uniformiteit in cockpit lay-out gekomen, een voor de mens logische opstelling van instrumenten, ergonomische bouw van knoppen en handles.

Monitor-apparatuur is *in meervoud* in de cockpit aanwezig, zodat storingen in de aanwijzingen van een apparaat kunnen worden opgemerkt. Deze methode heeft veel bijgedragen tot vermindering van ongelukken die te wijten zouden kunnen zijn aan menselijke factoren. De verschillende aanwijzingen van identieke instrumenten vallen snel op en dagen uit tot kritische beoordeling van wat er gaande is. Een te verwachten waarde die wordt aangeduid door één instrument kan bij misaanwijzing de schijn wekken dat de situatie onder controle is.

De indeling van het dashboard van vliegtuigen is zodanig gestandaardiseerd, dat ongeacht merk en type, de kunstmatige horizon, de koerstol, de stijgen-daalsnelheidsmeter en de luchtsnelheidsmeter een vaste opstelling hebben.

In de anesthesiepraktijk vinden wij hier weinig van terug. De apparatuurbouw is zeker niet gestandaardiseerd. De gasslangen zijn weliswaar met kleuren gecodeerd, de knoppen van zuurstof- en lachgasstroommeters verschillen van elkaar, maar de beademingsballon die direct met de patiënt in verbinding staat en informatie *kan* geven over de kwaliteit van de beademing is dikwijls zo ingebouwd, dat deze slecht of helemaal niet te zien is.

In het vliegtuig geeft de kunstmatige horizon de informatie omtrent de stand van het toestel in de ruimte. Dit instrument staat centraal in het instrumentenpaneel in de cockpit opgesteld. Zo dient ook de beademingsballon centraal in het blikveld van de anesthesioloog geplaatst te zijn.

Tijdens de vlucht komt het verslag automatisch tot stand en het is achteraf niet meer door het personeel te veranderen. Het verplicht vermelden van bijna-ongelukken, zoals in de vliegerij, kom in de anesthesiologiepraktijk niet voor.

In 1975 werd in het Massachusetts General Hospital (Cooper 1978) in samenwerking met vier andere klinieken, een prospectief onderzoek gedaan naar de "dagelijkse, schijnbaar nietige bijna-ongevallen".

Het betrof zowel menselijke vergissingen als technische storingen. Men zocht naar de omstandigheden, waarin de fouten konden ontstaan en vergissingen konden optreden.

Bovendien werd aandacht besteed aan het verstrijken van de tijd tussen ontstaan van de ongewenste situatie en het ontdekken daarvan.

Ten behoeve van het onderzoek werd een "bijna-ongeval" gedefinieerd als zijnde een gebeurtenis die, indien niet tijdig ontdekt, voor de patiënt zou kunnen leiden tot een verlengde ziekenhuisopname, een langdurige invaliditeit of de dood.

Aan de volgende voorwaarden moest bij dit onderzoek nog worden voldaan:

1. De incidenten moesten zich voordoen onder directe verantwoordelijkheid van een ervaren anesthesioloog.
2. Het moest een vergissing of fout van de anesthesioloog zelf betreffen of een storing in zijn apparatuur.
3. De situatie moest in detail door de direct betrokkene beschreven zijn
4. Het moest duidelijk vermijdbare ongevallen betreffen.

Er bleek zich een groot aantal van bedoelde situaties voor te doen. De 790 best gedetailleerde verslagen werden nader bestudeerd.

Verrassend was de uniformiteit van de rapportages uit de deelnemende klinieken.

77% van de incidenten betrof menselijk falen;

11% had technisch falen als oorzaak zoals materiaal fouten, niet goede werking van de apparatuur;

12% was veroorzaakt door het loslaten van verbindingen in het ademstelsel door een slordige manier van aansluiten.

In meer dan 60% werd de persoonlijke schuld voor het ongeval door de verantwoordelijke collega toegeven.

Bestudering van details wees op de waarschijnlijkheid dat veel menselijke vergissingen ontstonden door ergonomisch slecht uitgevoerde toestellen. Door de opbouw van anesthesietoestellen is het mogelijk dat feitelijk zichtbare fouten door onderdelen van de opbouw aan het zicht worden onttrokken.

Geen van de ongevallen bleek de deelnemende collegae onbekend te zijn. Niemand verbaasde er zich over dat die ongelukken zich zelfs in 1975 nog konden voordoen.

Dit zou dan toch hebben moeten leiden tot een ander concept voor de anesthesie-apparatuur!

In dit onderzoek is ook gekeken naar de verdeling van de ongevallen naar stadium, waarin een anesthesie was gevorderd:

- 26% bij de inleiding,
- 17% bij het begin van de operatie,
- 42% tijdens het onderhoud van de anesthesie,
- 8% aan het einde van de operatie,
- 3% bij de uitleiding

Opvallend is het hoge percentage ongevallen tijdens het onderhouden van de anesthesie. Weer dringt zich de vergelijking met de luchtvaart op.

De controle en interpretatie van de aanwijzingen van het cockpit- instrumentarium voor, tijdens en na de vlucht zijn volgens een strakke discipline voorgeschreven. Geringe afwijkingen in de aanwijzingen van een van de instrumenten neemt men zodoende snel waar zodat direct maatregelen kunnen worden genomen om de situatie onder controle te houden.

In de anesthesiologie is dit systeem niet algemeen aanvaard. Een ieder kan naar eigen inzicht zijn controles uitvoeren en letten op fenomenen die hij zelf in bepaalde situaties belangrijk acht.

De anesthesie-toestellen kunnen naar eigen inzicht van fabrikanten worden gebouwd. Slechts de kleuren van de gasslangen, de verschillen in vorm van de knoppen van het gasstroommeter blok en de opstelling van de zuurstofstroommeter links t.o.v. de lachgasstroommeter zijn gestandaardiseerd, althans in Europa. Controle op de inhoud van het ademsysteem is zelden mogelijk.

In een lijnvliegtuig wordt de juiste werking van de motoren onder andere op grond van de bedrijfstemperatuur en het brandstofverbruik beoordeeld.

In de anesthesiologie is het niet algemeen gebruikelijk het zuurstofverbruik van de patiënt in de gaten te houden, hoewel dit belangrijke informatie levert over de stofwisseling en de goede werking van het ademsysteem.

Daar tussen 52% (Clifton,1963) en 85% (Edwards,1956) van de ongevallen veroorzaakt wordt door menselijk falen dient de apparatuur daarop te worden afgestemd.

In de luchtvaartliteratuur komen vergelijkbare getallen naar voren. (Beaty, 1969)

Naar aanleiding van het geciteerde prospectieve onderzoek van Cooper (1978) heeft men de knoppen van de flowmeters voor zuurstof en lachgas een onderling verschillende vorm gegeven om al bij aanraking te kunnen voelen dat men de juiste knop hanteert.

Ook bleek uit dit onderzoek dat men in een der deelnemende ziekenhuizen zo gewend was aan de slechte werking van de apparatuur, dat men met de techniek van beademen de gebleken mankementen compenseerde.

Analyse van gegevens, verkregen uit onderzoek van bijna-ongevallen en echte ongevallen dient te worden gevolgd door evaluatie van maatregelen ter verbetering van situaties en werkmethodes om na te gaan of werkelijk verbetering is opgetreden. Vooral dient men erop bedacht te zijn dat door de genomen maatregelen weer nieuwe foutenbronnen kunnen zijn ontstaan.

3.4 De veiligheid bij de toepassing van het gesloten ademsysteem

In hoeverre kan *de toepassing van het gesloten ademsysteem* aan de veiligheid voor de patiënt bijdragen?

In feite is het veiligheidsbeleid gericht op het vermijden van zuurstoftekort in de hersenen.

Voor de hand ligt dan om een methode uit te werken, waarbij de toediening van zuurstof aan de patiënt is verzekerd. Wanneer de zuurstofaanvoer naar de patiënt verandert, dient dit direct te kunnen worden opgemerkt. De zuurstofopname dient voortdurend in overeenstemming te zijn met de toestand waarin de patiënt zich bevindt. Er is behoefte aan een "fail-safe systeem", zo eenvoudig mogelijk van opzet, zo min mogelijk afhankelijk van elektronica en verkeerde aanwijzingen van monitoren.

Lachgas, door sommigen een gas met toekomst genoemd, (symposium november 1983, Utrecht), is een gevaarlijk gas. In een concentratie van 60 - 70% in de ademgassen is het nog slechts een licht slaapmiddel en een zwakke pijnbestrijder. Geringe daling van de zuurstofconcentratie bij deze concentratie lachgas kan de patiënt reeds in gevaar brengen.

De beademingsbalg van het gesloten ademsysteem, als respirometer werkend, dient als centrale monitor beschouwd te worden en als zodanig centraal en goed zichtbaar op het anesthesietoestel te staan.

De staande balg is een monitor, die ondubbelzinnig en niet gevoelig voor elektrische storingen, de kwaliteit van de ademdynamiek toont.

Direct naast deze "monitor" voor de inhoud van het gesloten ademsysteem dient de zuurstofstroommeter opgesteld te staan, ter controle van het zuurstofaanbod.

Ergonomisch is deze opstelling voor de hand liggend. Ook moet de beademingsdruk kunnen worden afgelezen; deze is immers ook weer een afgeleide van aanbod, verbruik en inhoud van het ademsysteem.

Door nu de discipline in te voeren om systematisch deze parameters te "scannen", te beginnen bij de beoordeling van de inhoud en de excursies van de adembalg, dan de zuurstofaanvoer en daarna de druk in het systeem, is de basis gelegd voor een veilig systeem dat snel en eenvoudig vitale informatie verschaft.

De staande adembalg is te vergelijken met de kunstmatige horizon in het vliegtuig: zuurstofverbruik, -aanbod en veranderingen daarin, zijn direct afleesbaar.

Wanneer er sprake is van maligne hyperthermie zal het zuurstofverbruik sterk toenemen. Dit komt tot uiting in een sterke daling van de eindexpiratoire positie van de balg.

Bij een circulatiestilstand is er geen gaswisseling in de longen, waardoor de inhoud van het ademsysteem bij onveranderd zuurstof aanbod, snel toe zal nemen. Wanneer de circulatie zich weer herstelt, blijkt dit direct uit de opname van zuurstof uit het gesloten systeem.

Beademingsmachines met hangende balg waarschuwen niet voor kleine lekkages, omdat door het gewicht van de balg, die in uitademingsstand naar beneden hangt, buitenlucht in het systeem wordt aangezogen.

De grote veiligheid bij toepassen van het gesloten ademsysteem berust op de volgende principes, die in een "human feed-back mechanism" zijn samen te vatten:

1. De verantwoordelijke anesthesioloog is de primaire monitor.
2. Goede werking van het ademsysteem binnen nauwe toleranties is noodzakelijk.

3. De patiënt wordt voortdurend klinisch beoordeeld.
4. De excursies van de centraal en goed zichtbaar opgestelde, staande adembalg moeten continu in relatie tot het zuurstofaanbod, de beademingsdruk en de narcosediepte worden beoordeeld.

Het gesloten systeem dient door de anesthesieverpleegkundige volledig te worden begrepen. Afwijkingen in de goede werking kunnen dan op elk moment worden gesignaleerd. Dan zal er altijd genoeg tijd voorhanden zijn om de niet permanent op de o.k. aanwezige anesthesioloog te laten komen.

Deze moet dan, ruim voordat er een voor de patiënt gevaarlijke situatie ontstaat, de storing kunnen ontdekken en opheffen.

3.5 Mogelijke storingen bij de beademing

1. Plotseling uitvallen van de beademingsdruk

Direct zal de beademingsbalg leeg op de bodem van de drukkamer liggen. Door de centrale opstelling van de beademingsmachine is dit een niet te missen gebeurtenis.

Oorzaak:

groot lek in het ademcircuit: losgelaten slangverbinding, extubatie van de patiënt.

Gevolg:

de eerst volgende inademing is door gebrek aan vulling van de balg onmogelijk.

Voordeel:

Direct aanleiding tot correctief ingrijpen Bij beademing met uitsluitend zuurstof is er in het reserve volume van de longen, en in het lichaam een reserve aan zuurstof aanwezig om de zuurstofbehoefte enige minuten te dekken.

Een hangende balg echter zou zich met buitenlucht kunnen vullen, en weer samen gedrukt kunnen worden voor een "valse" inademing. Een beademings-drukmonitor moet hier alarmeren.

2. Geleidelijke vermindering van de inhoud van het systeem.

Oorzaken:

-a) cufflekkage, slechte verbindingen tussen de slangen en verbindingsstukken, lekkage in de slang, slecht in elkaar gezette koolzuurabsorber na schoonmaakbeurt.

-b) verhoogde zuurstofopname door de patiënt.

Gevolg:

Na elke ademcyclus zal de adembalg niet meer terug komen in de vorige positie, wanneer het zuurstofaanbod op de behoefte van de patiënt was ingesteld.

Of, aan het begin van de beademing, blijkt het niet mogelijk, met een voor de patiënt te verwachten zuurstof behoefte, het circuit gevuld te houden.

Voordeel:

In enkele minuten reeds blijkt of er sprake is van lekkage van het systeem of veranderde zuurstofbehoefte van de patiënt. Bij hangende balg zal door het gewicht van deze balg, lucht van buitenaf aangezogen worden, zodat technische fouten en veranderingen in de zuurstofbehoefte volledig kunnen worden gemaskeerd.

Dit is vooral dan gevaarlijk, wanneer er, onder de afdekdoeken, een conische verbinding geleidelijk aan losser gaat zitten en deze fout pas zal worden ontdekt bij volledig loslaten. Daar valt pas alle druk in het systeem weg. Dit leidt tot een late ontdekking van de fout. Bovendien kan bij gebruik van lachgas de zuurstof voorraad klein zijn en tijd om in te grijpen, gevaarlijk kort.

3. Plotselinge vergroting van de inhoud van het ademsysteem.

Dit komt tot uiting in een hogere eindexpiratoire positie van de adembalg; er is meer aanbod van zuurstof dan de patiënt kan opnemen.

Oorzaken:

a) Meest eenvoudige: er is een vergroting van de vers gas aanvoer ontstaan (niet afgeschermd knoppen.)

b) De zuurstofopname door de patiënt is verminderd, bijvoorbeeld door verslechtering van de bloedcirculatie in de longen.

Voordeel:

Het afklemmen van de aorta abdominalis komt direct tot uiting in een verminderde zuurstofopname. Het hart kan het bloed niet voldoende wegpompen, zodat er in de longen ook een vermindering van bloeddorstrooming ontstaat. Na het opheffen van deze circulatiestoornis bemerkt men een toename van de zuurstofopname.

Een verschil van 50 ml per minuut is al afleesbaar. Dit is niet mogelijk bij de half-gesloten systemen waarbij verse gasstromen, die groter zijn dan de behoefte van de patiënt, deze belangrijke veranderingen volkomen maskeren. Essentiële informatie gaat zo verloren.

3.6 Eigen waarnemingen

Observaties binnen het kader van dit proefschrift, met het oog op de veiligheidsaspecten van werken met het gesloten systeem zijn gedaan bij 455 anesthesieën.

Gelet werd op:

- de acceptatie door de anesthesieverpleegkundige,
- de snelheid van melding van afwijkingen in inhoud van het systeem,
- de aard van de storing, die de oorzaak was van de verandering.

Wanneer alle verbindingen perfect zijn, is altijd enige lekkage bij de as van de ademvolumeter te accepteren. Uit dit onderzoek bleek dat in de opstelling met de

gebruikte apparatuur lekkages minder dan 25 ml/min bedroegen, veel minder dan de door de I.S.O. te aanvaarden norm van 175 ml/min.

Het gevonden aantal storingen bedroeg in totaal 58

Aard der gevonden afwijkingen	aantal
cuff-lekkage	8
slechte slangverbindingen	9
slordig onderhoud koolzuurabsorber	15
perforaties/scheurtjes in de harmonicaslangen	4
verloop in afstelling gastoevoer	3
verandering in zuurstof opname door patiënt	19

Commentaar:

1. Cuff-lekkages:

Om de ruimte tussen de endotracheale tube en de trachea wand luchtdicht af te sluiten, wordt een ballon om de tube opgeblazen met een minimale hoeveelheid lucht, net voldoende om voor deze afdichting te zorgen; de druk wordt zo laag mogelijk gehouden om beschadiging van het trachea epitheel te voorkomen.

De ballon wordt bij de intubatie net voorbij de stemspleet geplaatst, en opgeblazen en de tube wordt over de mond gefixeerd. In een aantal gevallen bleek de tube iets dieper in de trachea te zijn geschoven, waardoor de cuff niet meer volledig bleek af te sluiten. De ballon zal aanvankelijk tegen de stembanden hebben gelegen, zo voor afsluiting zorgend. Bij patiënten zonder gebit of mensen met uitbundige baardgroei blijkt goede fixatie en zekere plaatsing van de cuff minder goed te kunnen gebeuren.

2. Slechte slangverbindingen:

Sommige types siliconenslangen sluiten alleen goed af wanneer deze exact, coaxiaal op een verbindingstuk zijn aangesloten. Is dit aanvankelijk het geval, dan is het mogelijk door positieveranderingen van de patiënt tijdens een operatie, dat de slangverbinding iets knikt. Daarbij neemt het slangeinde een ovale vorm aan, die niet meer gasdicht over het verbindingstuk sluit.

Ter meerdere zekerheid worden verbindingen met pleister gefixeerd.

In een aantal gevallen bleek desondanks verschuiving op te treden doordat de pleister onder de doeken warm en / of nat werd en niet meer goed plakte. Hier wreekt zich de afwezigheid van een *borgende klem*.

3. Onderhoud koolzuurgasabsorber.

De absorberpotten worden bij het reinigen gedemonteerd. Bij het opnieuw monteren van de onderdelen dient te worden gelet op juiste plaatsing van de doorzichtige bus op de pakkingsringen, die voor gasdichtheid moeten zorgen. Zijn er scherven van de busrand afgebroken of is er een sodalime korrel blijven plakken dan is er een kleine lekkage mogelijk.

4. Scheurtjes in de harmonicaslangen.

Deze blijken vooral op te treden bij aangegoten -te korte- verstevigingen van slanguiteinden. Vooral door de strakke aansluiting van de verbindingstukken op de apparatuur moet bij het losmaken van de slangen hard worden getrokken en wordt de verbinding vaak los gewrongen.

5. Verloop in de afstelling van de gastoevoer.

De knoppen van de gasstroommeters zijn dikwijls niet afgeschermd. Zij kunnen daardoor bij onbedoeld aanraken worden versteld. Tweemaal is dit voorgekomen bij ingrepen die, in verband met endoscopische procedures, in het half donker plaatsvonden.

6 Verandering in zuurstofopname van de patiënt.

Bij elk van de twaalf patiënten die wegens een aneurysma aortae abdominalis werden geopereerd, bleek de afgestelde zuurstoftoevoer te moeten worden verlaagd na afklemmen van de aorta. Bij vijf van hen was de zuurstofbehoefte na 20 tot 30 minuten, nog vóór de obstructie was opgeheven, weer op het oorspronkelijke niveau teruggekeerd. Bij de zeven overigen was dit pas weer het geval na herstel van de circulatie door de bloedvatprothese. Het is waarschijnlijk, dat de verlaging van de zuurstofopname samenhangt met een afname van het hartminuutvolume. Hoe het verschil tussen de twee groepen moet worden verklaard is onzeker en een nader onderzoek waard. Bij dit onderzoek ontbraken daarvoor de mogelijkheden.

Door de grote inhoud van de adembalg is er, indien met zuiver zuurstof wordt beademd, een zuurstofreserve van meer dan 1000 ml.

Bij niet bedoeld verminderd aanbod van zuurstof is met verbruik van 300 ml per minuut en een aanbod van slechts 100 ml, een deficit van 200 ml; door de 1000 ml reserve in de balg alleen al, zijn er 5 minuten waarbinnen de afwijking moet worden opgemerkt, voordat er een voor de patiënt gevaarlijke situatie ontstaat.

In geen van de 455 observaties verliep tussen de melding van een afwijking en het opheffen daarvan zoveel tijd dat de voorraad zuurstof met 1000 ml was afgenomen.

Werd in 1976 nog door Taylor et al. nog gesteld dat "measuring pulmonary activity and arterial oxygen levels continuously is still at the research stage, and effective monitors are not yet developed fully for the clinical situation", bij het gesloten ademsysteem is de staande balg een betrouwbare monitor voor zuurstof toediening aan en opname daarvan door de patiënt.

3.7 Conclusie

In het geheel gesloten ademsysteem beschikt de anesthesioloog over een techniek, die voor de patiënt veilig is omdat bij ergonomische opstelling van de *staande balg* op eenvoudige wijze wordt verkregen over :

- a) de toevoer naar en de opname van gassen door de patiënt;
- b) de lekdichtheid van het systeem op elk moment van de operatie.

Storingen kunnen worden verholpen ruim voor er gevaar ontstaat voor de patiënt.

Met de elementaire kennis van de fysiologie, bij de anesthesieverpleegkundigen ruimschoots aanwezig, is de acceptatie van deze techniek in geen enkele situatie een probleem gebleken.

3.8 Literatuur.

Beaty,D. The human factor in aircraft accidents. Secker and Warburg London, 1969.

Bodlander, F.M.S. "Deaths associated with anesthesia" B J A 1975;47:36

Clifton,B.S. "Deaths associated with anesthesia" B J A 1963;325:250

Cooper J.B. "Preventable anesthesia mishaps, a study of human factors." Anesthesiol 1978;49:399.

Edwards,G. "Deaths associated with anaesthesia, report on 1000 cases Anaesth.1956;11;194.

Gibbs,J.M. "The anesthetic mortality assessment committee 1979-1984" N Z Med J ;1986;99:55

Harrison,G.G. "Death attributable to anaesthesia : a ten year survey 1967-1976" B J A 1978;50:1041

Lunn, J N,W.N Mushin;"Mortality associated with anaesthesia."Nuffield Provincial Hospital Trust 1982

Snow, J,"On the inhalation of the vapour of ether." B M J 1847;252.

Snow,J,(post hum.)"Death from chloroform and other anaesthetics." B M J 1858;279.

Taylor,MB;P Larson;R Prestwich "Unexpected cardiac arrest during anesthesia and surgery" JAMA 1976;236:24

Utting,JE, "Human misadventures in anesthesia" Can An Soc J1979;26:6

4 Lichaamstemperatuur en klimaat in de luchtwegen

4.1 Klinisch onderzoek

De invloeden van de toepassing van het gesloten ademsysteem op de lichaamstemperatuur en het klimaat in de luchtwegen van de patiënt zijn nagegaan in klinisch onderzoek. In de volgende paragrafen wordt op de bevindingen ingegaan. Nu volgt eerst een puntsgewijze beschrijving van opzet en uitvoering van dit onderzoek.

4.1.1 Anesthesietechniek.

Premedicatie.

De patiënten ontvingen de avond voor de operatiedag oraal 1 of 2,5 mg lorazepam. De ochtend voor de operatie, om 7 uur nog eens 1 mg lorazepam.

Inleiding.

Voor de standaardisatie werd gekozen voor intaveneuze inleiding van de narcose m.b.v. een kortwerkend barbituraat als inslaapmiddel: thiopental. Als pijnbestrijdend middel een betrekkelijk kortwerkend synthetisch analgeticum: fentanyl. Als spierverslappende stof: pancuronium. In verband met de beademing en lange duur van de ingrepen werden alle patiënten geïntubeerd.

Alle patiënten werden machinaal beademd, met een ademfrequentie van 8 tot 10 ademhalingen per minuut en een ademvolume variërend tussen 500 en 600 ml. Een eindexpiratoir koolzuurgehalte van 4.5% kon zodoende worden verkregen.

Onderhoud van de anesthesie:

Als beademingsgas werd gekozen voor zuurstof, aangevuld met 1 tot 2% enflurane, als dampvormig anestheticum

Per kwartier werd 0,05 mg fentanyl en elke drie kwartier 1 mg pancuronium toegediend. Tussentijds werd zonedig fentanyl of pancuronium extra ingespoten. Het circulerend volume werd aangevuld met Ringer's lactaat en verder, indien nodig, met plasmaexpander, eventueel bloed.

Het anesthesietoestel:

Dit werd standaard uitgerust met een cirkelsysteem met koolzuurabsorber, een zuurstofgasstroommeter met fijne calibratie waarbij gasstroomverschillen van minder dan 50ml/min. afleesbaar zijn

Lekkages van gassen bedroegen bij een druk van 35 cm waterkolom minder dan 25 ml per minuut.

Machinale beademing.

De "Ohio 7000", werd gebruikt voor de machinale beademing. Dit is een elektronisch gestuurde machine met staande balg in een doorzichtige drukkamer. De ingebouwde alarmering voor wegvallen van beademingsdruk en het niet in de machine terug komen van het ingestelde ademminuutvolume, is niet in- of uit te schakelen, zodat bij alarm daadwerkelijk dient te worden ingegrepen om de alarmsituatie op te heffen

Niet invasieve monitoring:

Het ademminuutvolume werd gemeten met een Haloscale of Draeger volumemeter, aan de uitademingszijde van het slangenstelsel, voordat de uitgeademde gassen in de koolzuurabsorber gingen.

Het koolzuurgas-gehalte in de uitgeademde gassen werd gemeten met een Godart mark III capnograaf. Het monstergas werd tussen het Y- stuk en de endotracheale tube afgezogen en na de capnograaf te zijn gepasseerd, teruggeleid in het cirkelsysteem.

De zuurstofconcentratie meting werd verricht met behulp van de IL 404, van Instrumentation Laboratories, aan het einde van de expiratieslang. Deze plaats van meting werd gekozen omdat het van meer belang was te weten welke concentratie heerste in de gassen die door patiënt waren uitgeademd, dan in de gassen die in de richting van de patiënt stroomden zonder er op dat punt zeker van te kunnen zijn dat deze ook in de patiënt aankwamen. Dit zou bij voorbeeld kunnen gebeuren bij verbreking van een slangverbinding tussen meetpunt en patiënt.

Plethysmografie werd voor bewaking van de kwaliteit van de bloedsomloop gebruikt. Hierbij werden de pulsaties van het arteriele vaatbed in een vinger van een patiënt "zichtbaar" gemaakt en als pulsgolven op een beeldscherm en uitgeschreven op het tweede kanaal van de Godart mark III capnograaf.

Het electrocardiogram, was voortdurend op het beeldscherm zichtbaar.

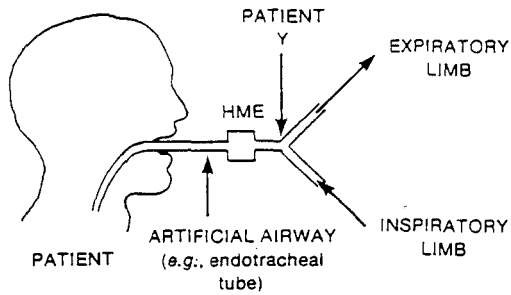
De bloeddruk werd automatisch oscillotonometrisch gemeten of volgens Riva Rocci, met handballon en stethoscoop.

De oesophagustemperatuur werd met een thermokoppel-sensor gemeten. De sensor werd voorbij de tracheabifurcatie geplaatst, daar bij hogere plaatsing de temperatuur in de trachea die van de oesophagus kan beïnvloeden

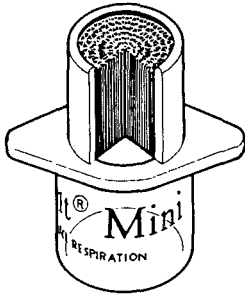
Temperatuurmeting vond plaats in de oesophagus.

4.1.2 Kunstneus.(HME, Heat and Moisture Exchanger)

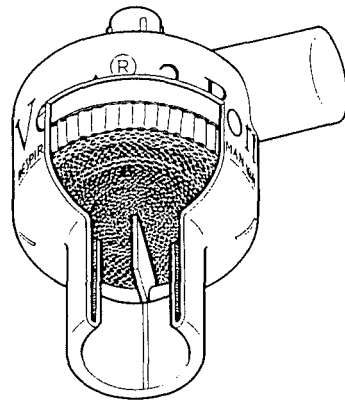
In de loop van dit onderzoek werd gebruik gemaakt van een zogenaamde "kunstneus". De temperatuurmetingen in een vroeger stadium van dit onderzoek gaven hiertoe aanleiding. Het bleek dat tijdens beademing met het volledig gesloten systeem grotere temperatuurdalingen optraden dan werden verwacht.



HME Connected In Ventilator Circuit



Humid-Vent® Mini



Humid-Vent® 2 Port

De kunstneus is een apparaatje dat geplaatst wordt tussen de endotracheale tube en de Y-vormige verbinding met het cirkelsysteem. Het is in principe een verwijding in de beademings slang, met een inhoud van 10 tot 50 ml, afhankelijk van het merk. Deze ruimte is opgevuld met hygroscopisch (chemisch waterbindend) en waterabsorberend materiaal, dat gassen gemakkelijk doorlaat. De uitgedemde gassen zijn in de luchtwegen opgewarmd en bijna verzadigd met waterdamp. Het is deze waterdamp die de meeste energie draagt. Bij uitademing condenseert waterdamp op het materiaal in de kunstneus. Hierbij komt condensatiewarmte vrij. Ook wordt de uit te ademen warmte opgevangen, maar dit is calorisch van minder belang. Bij de inademing zal er een relatief koel en droog gasmengsel toestromen. De in de kunstneus aanwezige condensatie warmte en vocht uit de vorige uitademing zijn nu beschikbaar om deze gassen op te warmen en te bevochtigen.

Dit proces vindt normaal in neus en neuskeelholte plaats; door de intubatie van de patiënt is dit proces uitgesloten. De gassen gaan direct van het Y-stuk de trachea in via de endotracheale tube

Het gas is droog en koud, tenzij gepaste maatregelen genomen worden, zoals bijv. het toepassen van de zojuist beschreven kunstneus.

4.1.3 Patiëntselectie

Voor het onderzoek ter beoordeling van effecten op de lichaamstemperatuur van beademen met het gesloten ademsysteem al of niet met toepassing van de kunstneus kwamen slechts die patiënten in aanmerking, die in de A.S.A. gezondheids-groepen 1 en 2 vielen. Dat wil zeggen dat zij, behalve de te opereren afwijking, geen of nauwelijks andere lichamelijke afwijkingen hadden, die voor de anesthesie van belang konden zijn.

Allen waren volwassenen, in leeftijd tussen 40 en 75 jaar, die met een endotracheale tube, maat 9, konden worden geintubeerd

Deze maat was nodig om tegelijkertijd te kunnen beademen en bronchoscopie uit te voeren. De bronchoscoop had een diameter van 6 mm.

Voor dit onderzoek werden aanvankelijk 2 groepen patiënten gekozen die een langdurige darmoperatie zouden ondergaan:

Groep I, n=47.

47 patiënten werden met gesloten systeem beademd zonder gebruik van kunstneus. Bij 16 van hen werd na twee uur beademen alsnog de kunstneus in gevoerd, zo vormende Groep Ia, n=16, de overigen vormden Groep Ib, n=31

Groep II, n=49.

49 patiënten werden via de kunstneus beademd

Aanvullend werden twee kleinere groepen van 7 en 6 patiënten, met dijbeenfracturen samengesteld.

Groep III, n=7,

Groep IV, n=6.

Deze patiënten werden gekozen omdat hier sprake was van een klein wondbed. De patiënt koelt echter wel sterk af door het tijdrovende installeren op de extensietafel.

In groep III werd van het begin af met het gesloten systeem, gecombineerd met kunstneus, beademd.

Groep IV werd aanvankelijk beademd zonder kunstneus. Na anderhalf uur werd de kunstneus tussen Y-stuk en endotracheale tube geplaatst.

Twee patiëntengroepen, werden gekozen ter beoordeling van de invloed van de twee soorten ademsystemen op de trilhaaractiviteit van het trachea epitheel .

Groep A (n=13) werd met het half gesloten systeem beademd met een verse gastoevoer van 4 liter per minuut.

Groep B (n=13) werd met gasmengsels beademd volgens het geheel gesloten systeem.

Bij geen van deze 26 patiënten waren afwijkingen aan de luchtwegen bekend.

De patiënten gaven toestemming om een stolseltje van hun eigen bloed, als "vreemd" lichaam tijdens de beademing in de hoofdbronchus te deponeren. Bronchoscopisch werd de verplaatsing van de stolsetjes door het trilhaarepitheel vervolgd en in serie gefotografeerd op de volgende momenten:

1 ongeveer 10 minuten na aansluiting op de beademingsmachine

2 60 minuten na aansluiting op de beademingsmachine

3 120 minuten na aansluiting op de beademingsmachine

4 180 minuten na aansluiting op de beademingsmachine

Een flexibele Olympus glasvezelbronchoscoop aangesloten op een Olympus OM2 camera, werd gebruikt. Voor het licht zorgde een Olympus Xenon lichtbron. Als filmmateriaal werd Kodak en Fuji diapositief film, ASA 400, gebruikt.

4.2 Lichaamstemperatuur

4.2.1 Vraagstelling 2

Is met de toepassing van het gesloten ademsysteem de lichaamstemperatuur voor de patiënt in gunstige zin te beïnvloeden?

4.2.2 Inleiding

De ervaringen, opgedaan voordat met dit onderzoek werd begonnen, strookten niet met de opvatting dat beademen met het gesloten ademsysteem de door de patiënt uitgeademde warmte zou vasthouden (Droh, 1977).

Patiënten die met het gesloten systeem werden beademd bleken niet minder af te koelen dan zij die met het halfgesloten systeem werden beademd.

Er werd gezocht naar de oorzaak van de afwijkende ervaringen en naar de mogelijkheid de patiënt zoveel mogelijk tijdens het beademen met het gesloten ademsysteem tegen afkoeling te beschermen.

De oesophagustemperatuur wordt algemeen als een maatstaf voor van de lichaamstemperatuur aanvaard. Bovendien is de oesophagustemperatuur goed te meten op voorwaarde dat de temperatuursonde diep in de oesophagus, voorbij de bifurcatie van de trachea, wordt geplaatst.

Om te beoordelen of de beademingstechniek enige invloed op de oesophagustemperatuur uitoefent, werd eerst nagegaan welke temperaturen heersen op een aantal punten in het gesloten ademcircuit na 2 uur beademen. De omgevingstemperatuur werd hierbij eveneens gemeten.

Immers, de anesthesieapparatuur staat vrijwel altijd binnen een afstand van 1,5m van de operatietafel.

In moderne operatiekamers met airconditioning staat de apparatuur dan ook in een vrij krachtige, duidelijk voelbare koele, neerwaarts gerichte luchtstroom. Het koelende effect daarvan is vaak hinderlijk merkbaar voor diegenen die de patiënten bewaken.

De operatiekamertemperatuur bleek tussen de 18° en 21° C te liggen. Deze temperatuur is belangrijk lager dan de temperatuur van de door de patiënt uitgeademde, relatief warme gassen. Behalve de patiënt zelf is er een tweede potentiële warmtebron in het ademcircuit: de koolzuurabsorber. Bij het binden van koolzuurgas aan de sodalime komt er warmte vrij, die aan de ademgassen wordt afgegeven.

4.2.3 Onderzoek.

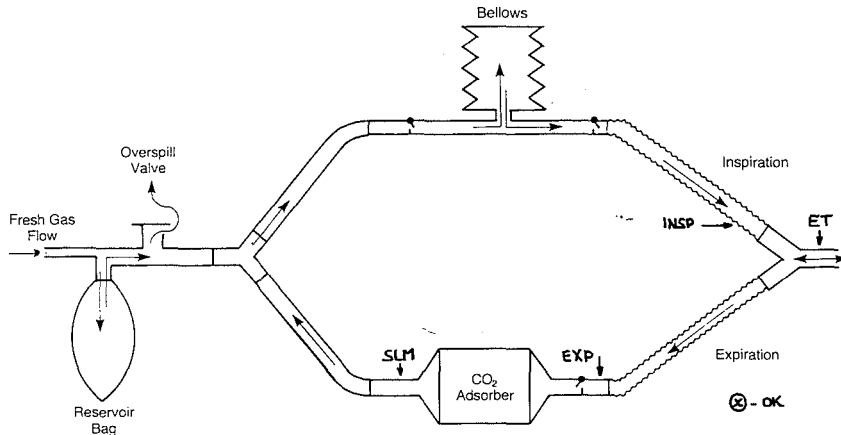
Metingen werden verricht met behulp van thermokoppel-sensoren.

Tijdens de metingen werd, om de sonde de hoogste waarde te kunnen laten aangeven, de beademingsfrequentie even afgesteld op 6 x /min.

De sensoren werden regelmatig geijkt met een laboratorium-kwikthermometer.

Temperatuurmetingen in het beademings-circuit werden verricht in:

- 1: ET, de endotracheale tube, waarbij de eind-expiratoire waarde werd afgelezen,
- 2: EXP, het einde van de expiratieslang bij het absorberblok,
- 3: SLM, de uitstroomopening van de koolzuurabsorber, en
- 4: INSP, het einde van de inspiratie slang, vlak voor het Y-stuk
- 5: OK, bovendien de operatiekamer temperatuur,



Bij vijftien patiënten werden de aangegeven metingen in onderling verband gedaan, 2 uur na begin van de beademing.

Meetresultaten:

	ET	EXP	SLM	INSP	OK
1	34.2	21.5	38.0	20.3	20.1
2	35.7	19.8	39.1	20.8	19.0
3	35.1	20.3	34.4	20.1	19.8
4	35.2	20.8	38.1	20.9	20.1
5	36.1	20.3	38.0	20.3	20.8
6	35.4	19.6	40.0	23.8	20.1
7	36.2	20.3	37.6	21.7	20.9
8	35.8	19.1	37.6	21.1	19.0
9	35.1	20.4	39.5	22.3	20.8
10	35.1	19.8	36.1	20.1	19.1
11	35.2	20.0	40.0	22.0	21.3
12	35.1	19.7	36.8	20.9	20.3
13	36.2	20.3	37.9	20.5	19.8
14	35.1	19.3	39.8	19.9	18.8
15	35.8	20.4	39.1	22.3	21.0

De metingen laten zien dat de temperatuur aan het einde van de uitademing het hoogst was. Dit komt omdat in die fase van de ademcyclus het thermokoppel de meeste tijd heeft om de aangeboden temperatuur aan te nemen.

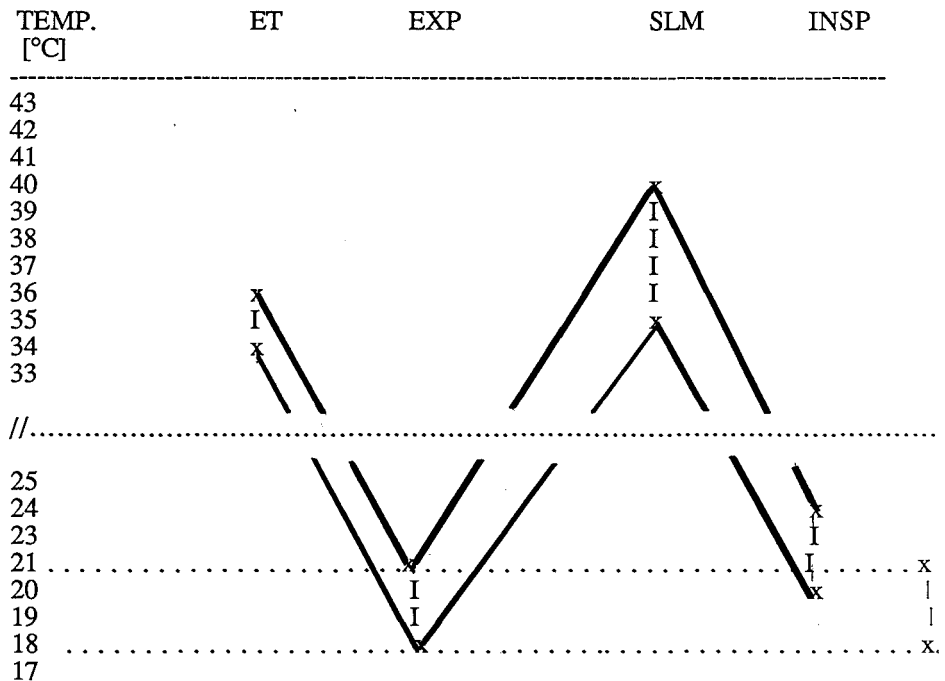
Aan het einde van de expiratieslang, EXP, werden waarden gevonden die iets hoger waren dan de kamertemperatuur.

Bij de uitstroomopening van de koolzuurgas absorber, SLM, lagen de waarden, met enige spreiding, iets boven lichaamstemperatuur.

De temperatuurmetingen in de inspiratieslang, vlak voor het "y"- stuk, INSP, toonden waarden met ongeveer gelijke spreiding als bij SLM, doch nu slechts iets boven kamertemperatuur.

Tegelijkertijd werden metingen gedaan aan de uitstroomopeningen van de verse-gassenaansluiting, waar deze het gesloten circuit in stromen. Op dit punt bleken alle meetwaarden minder dan 0.3 °C van de omgevingstemperatuur te verschillen.

De temperatuur van de ingeademde gassen lag iets boven die van de kamertemperatuur. De uitademingstemperatuur lag daar aanzienlijk, ruim 15 °C boven.



Na 2 uur beademen bleek nog slechts bij drie patiënten een ET temperatuur boven 36 °C te worden gemeten.

Tevens kon worden geconstateerd dat de eind-expiratoire temperatuur, ET, 10 °C tot 15 °C hoger was dan de temperatuur van de in te ademen gassen (INSP).

De uitgeademde warmte (ET) bleek geheel aan de omgeving te zijn afgegeven zoals blijkt uit de temperatuur bij EXP.

Bovendien bleek de inademingstemperatuur, INSP, slechts weinig boven die van de kamertemperatuur te liggen.

De warmte, in de sodalime ontstaan, ging blijkbaar in de inspira- tieslang verloren.

De warmteverliezen tussen ET en EXP en tussen SLM en INSP waren te wijten aan de eerder genoemde airconditioning, en door het gebruik van wijde harmonicaslangen. Deze hebben door vorm en lengte een zeer groot oppervlak waardoor het warmteverlies sterk zal zijn.

4.2.4 Aanvullend onderzoek.

Omdat uit het vorige onderzoek bleek dat er een verschil van ongeveer 15 °C bestond tussen in- en uitgeademde gassen werd het effect op de oesophagustemperatuur gemeten na meer dan 3 uur beademen met het gesloten systeem.

Het beloop van de oesophagustemperatuur werd gemeten bij patiënten die darmchirurgische ingrepen ondergingen. Door het grote wondbed treedt hierbij flinke afkoeling van de patiënt op, zoals ook uit dit onderzoek bleek.

Allereerst werden metingen gedaan bij 47 patiënten (groep I) zonder gebruik te maken van de kunstneus. Bij 16 patiënten in deze groep werd na 2 uur de kunstneus alsnog ingevoerd.

Voor de statistische verwerking van deze gegevens is deze groep I op tijdstip 2 uur 15 min onderverdeeld in groep Ia (n=16) en groep Ib (n=31).

Groep II, van 49 patiënten, werd van het begin af met kunstneus beademd.

Om het mogelijk effect bij een veel kleiner wondbed te beoordelen, werden 13 patiënten met dijbeenfracturen uitgekozen.

Tijdens het installeren op de extensietafel is er voordat de operatie is begonnen sprake van een belangrijke afkoeling van de patiënt. Bij deze installatie is een groot deel van de patiënt letterlijk blootgesteld aan de koude luchtstromen op de operatiekamer. Tijdens de operatie ligt de patiënt vrijwel volledig afgedekt.

Bij 7 patiënten werd met gesloten systeem voorzien van kunstneus beademd (groep III).

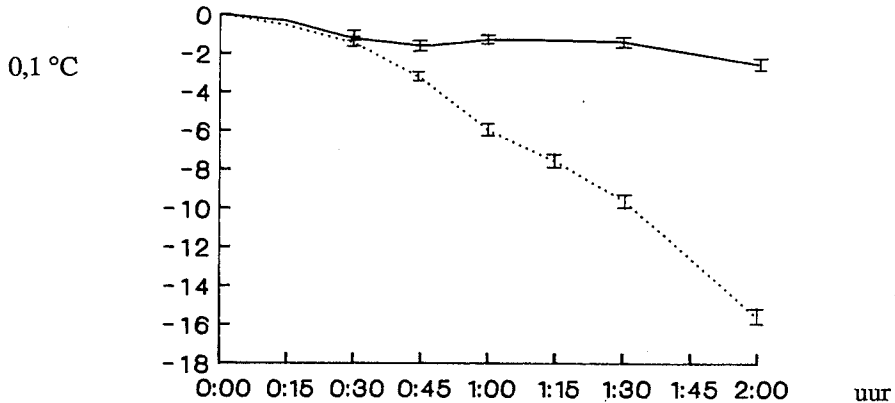
Bij 6 patiënten werd de beademing begonnen zonder kunstneus; later, na anderhalf uur, werd de kunstneus ingeschakeld (groep IV).

Daar het hier ging om het registreren van temperatuur-veranderingen, werd bij elke registratie met 0 begonnen, en werden de veranderingen per 0,1 °C genoteerd.

Elke 15 minuten werden de gevonden waarden genoteerd, na 90 minuten werden de temperaturen om de dertig minuten genoteerd.

Resultaten.

Groep I/47: In deze groep werd van het begin af een daling van temperatuur geconstateerd, die bij het inschakelen van de kunst neus markant werd afgebroken en overging in een temperatuurstijging (zie grafiek 4.2.4a).



Grafiek 4.2.4a Daling oesophagustemperatuur bij beademing met gesloten ademsysteem met, respectievelijk zonder kunstneus.

Groep I, n = 47, zonder kunstneus - - - - -

Groep II, n = 49, met kunstneus —————

Gemiddelden +/- SEM.

Decrease of oesophagus temperature during closed circuit ventilation without (Group I, n = 47.....) and with artificial nose (Group II, n = 49 —).

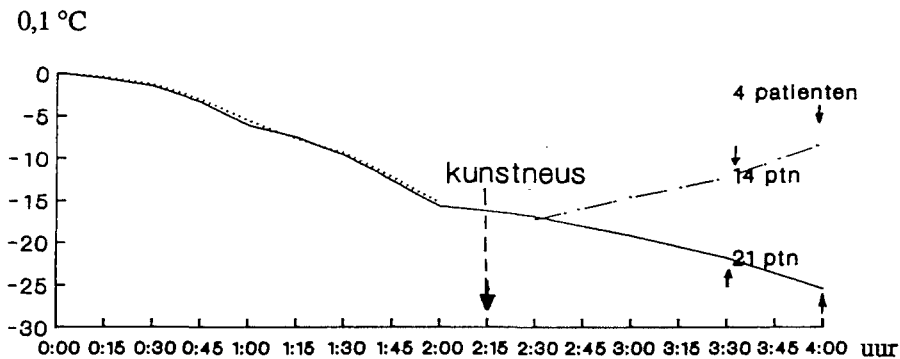
Uit statistische bewerking van de verkregen gegevens uit groep I kan worden geconcludeerd dat:

-tussen tijdstip 30 min en 45 min de temperatuur significant verschilt met de uitgangswaarde. ($p < 0,001$, Wilcoxon's rangtekentest).

-het invoeren van de kunstneus na ruim 2 uur beademen, bij 16 patiënten (groep Ia) een significant ($p < 0,01$) verschil te zien gaf met de 31 patiënten (groep Ib) die verder werden beademd zonder kunstneus en wel op tijdstip 3.00 uur (zie grafiek 4.2.4b).

Op tijdstip 3 uur 30 min zijn van groep Ib nog 21 patiënten op de operatietafel, van groep Ia nog 14. Ook op dit moment is sprake van significante verschillen ($p < 0,001$), in temperatuurveranderingen tussen de groepen.

Op tijdstip 4 uur zijn van beide groepen nog slechts 4 patiënten op de operatietafel. Door de geringe aantallen zijn hier geen statistische conclusies te trekken.



Grafiek 4.2.4b Daling oesophagustemperatuur bij beademing met gesloten ademsysteem ,aanvankelijk zonder kunstneus.

Groep I, n = 47. Op tijdstip t = 2 uur 15 min werd bij 16 patiënten (groep Ia — · —) de kunstneus ingevoerd; bij 31 patiënten (groep Ib —) werd de beademing zonder kunstneus voortgezet.
Gemiddelden +/- SEM.

Decrease of oesophagus temperature during closed circuit ventilation without (Group I, n = 47). At time t = 2 hours 15 min 16 patients (group Ia — · —) had a HME installed; ventilation without HME went on in the other 31 patients (group Ib —).

Groep II/49: Van begin af werd hier met kunstneus beademd. In de loop van twee uur daalde de temperatuur slechts gering.

Wanneer groepen I en II statistisch met elkaar worden vergeleken , blijkt dat:

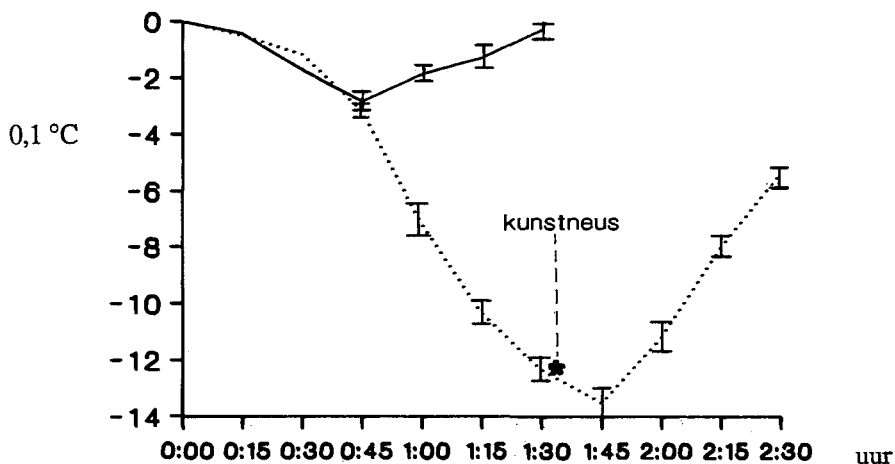
-langer dan 30 minuten beademen met het gesloten ademsysteem, zonder kunstneus, tot significante temperatuurdaling kan leiden ($p < 0,05$; signed rank test).

-een geringe temperatuurdaling ook met de kunstneus niet te voorkomen was ($p < 0,05$).

Groep III/7: In de eerste drie kwartier daalde temperatuur significant ($p < 0,05$). Zodra de patiënt goed afgedekt was, steeg de temperatuur. Door de selectieve uitval van een waarneming is statistische berekening op de toch al kleine groep niet toepasbaar.

Groep IV/6: De temperatuurdaling zette hier vrij snel in en werd na 90 minuten, na het inzetten van de kunstneus, omgezet in temperatuurstijging $p < 0,05$.

Statistische bewerking van de gegevens uit groepen III en IV toont het nut aan van de kunstneus bij het gesloten ademsysteem: Na 45 min is er al een significant ($p < 0,05$) verschil ontstaan tussen de gemeten temperaturen. Dit verschil werd des te groter naarmate de tijd vorderde.



Grafiek 4.2.4c Daling oesophagustemperatuur bij beademing met gesloten ademsysteem met, respectievelijk zonder kunstneus.

Groep III, n = 7, met kunstneus, —

Groep IV, n = 6, zonder kunstneus,

Gemiddelden +/- SEM.

Decrease of oesophagus temperature during closed circuit ventilation with (Group III, n = 7 —) and without artificial nose (Group IV, n = 6). - Repair of femur fractures.

4.2.5 Bespreking.

Zoals Toremalm (1960), Mebius, (1983), Revenas (1980) in diverse publikaties beschreven, heeft de kunstneus merkbaar effect op het klimaat in de luchtwegen bij de geïntubeerde patiënt. De veronderstelling dat beademen met het gesloten systeem de lichaamstemperatuur op peil kan houden kon bij dit onderzoek niet worden bevestigd. Zelfs vrij ernstige temperatuurdalingen werden genoteerd.

De beademingsslangen, die vrij in de luchtstroom van de airconditioning hangen, koelen sterk af. De door de patiënt uitgeademde warmte gaat aan de omgeving verloren. De uitgeademde waterdamp condenseert in de uitademingsslang en de hierbij vrijkomende warmte gaat ook verloren.

Dezelfde situatie treffen wij aan bij de uitgang van de koolzuurabsorber. De bij de koolzuurabsorbtie vrijgekomen warmte en waterdamp gaan ook weer verloren tijdens passage door de inademingsslang.

Het is derhalve zinvol de door de patiënt afgegeven warmte en waterdamp zo dicht mogelijk bij de endotracheale tube, in de kunstneus, op te vangen, zodat deze bij inademing weer ten goede komen aan de patiënt.

Het toepassen van de kunstneus bleek ook bij het beademen met een gesloten systeem nuttig. Daar waar deze van het begin af werd toegepast, zien we aanvankelijk een geringe temperatuursdaling, die, nadat de patiënt steriel was afgedekt, bij een betrekkelijk klein wondbed, alweer overging in een temperatuurstijging.

Wanneer na enige tijd beademen zonder kunstneus, deze werd ingevoerd was een markante stijging van de lichaamstemperatuur waarneembaar.

De kunstneusfunctie werd al toegepast bij het "onhandige Waters'- systeem", waarbij de koolzuurabsorber op het beademingsmasker werd aangesloten. Zodoende werden de door de patiënt uitgeademde warmte en waterdamp direct opgevangen. Bovendien kwam de warmte die ontstond bij de koolzuurabsorptie ook de patiënt ten goede. Dit speelde een grote rol bij de toepassing van gascilinders op de operatiekamers. Door de decompressie van de te gebruiken gassen, bij het verlaten van deze cilinders, koelden deze sterk af (condens en ijsvorming op de reduceerventielen). Deze zeer koude gassen kwamen zo in het ademstelsel.

In moderne operatiekamers wordt gebruik gemaakt van een centrale gasvoorziening. Tegen de tijd dat de gassen de lange weg van opslag naar afnamepunt op de operatiekamer hebben afgelegd zijn deze ruimschoots tot omgevingstemperatuur opgewarmd.

4.2.6 Conclusie

Het beademen met het gesloten systeem, zonder meer, is geen methode om de warmteverliezen tijdens langdurige ingrepen te verminderen.

Ook bij het gesloten systeem is de kunstneus onmisbaar om afkoeling van de patiënt te beperken.

4.3 Klimaat van de luchtwegen

4.3.1 Vraagstelling 3:

Kan de trilhaaractiviteit van het trachea- en bronchusepitheel bij langdurige anesthesieprocedures in stand worden gehouden bij beademing met behulp van het gesloten systeem?

4.3.2 Inleiding.

De wanden van de luchtwegen zijn bedekt met een slijmvlies, dat door daartoe uitgeruste cellen vochtig wordt gehouden. Naast deze cellen bestaan er cellen, die met trilharen zijn bezet, die in de vochtige laag van dit slijmvlies uitsteken. Deze trilharen kunnen door zweepslagbewegingen, gericht naar de keelholte, een

reinigende werking uitoefenen. Voor deze trilhaarfunctie is een gunstig, *voldoende warm en vochtig klimaat* noodzakelijk.

Zowel zuurstof als lachgas worden in stalen cylinders geleverd, onder hoge druk. Deze gassen zijn "medicinaal" zuiver en daarbij vrij van waterdamp. Beademing met koude en droge gassen kan voor langere tijd de reinigende werking van de trilhaarcellen uitschakelen omdat slijm en slijmvlies uitdrogen. Daardoor is er een vergroot risico op het ontstaan van infecties en afsluiting van kleine luchtwegen.

Ondanks de anatomische voorzieningen in de neuskeelholte bestaat er bij de normale ademhaling reeds een verlies van warmte en vocht. Per dag gaat via normale ademhaling ongeveer 12% van de lichaamswarmte verloren en 500 - 1500 ml water. Deze waarden zullen uiteraard onder invloed van kleding, lichaamsactiviteit, temperatuur en vochtigheid van de omgeving sterk fluctueren (Toremalm, 1960).

Bij de geïntubeerde patiënt is de werking van de neus als warmte- en vochtwisselaar uitgesloten. De beademingsgassen uit het slangenstelsel bereiken direct de trachea en worden niet door het eigen lichaam bevochtigd en opgewarmd.

Zowel vochtigheid als temperatuur van de ademgassen zijn door ons te beïnvloeden. Daarmee kan wellicht het functieverlies van het trilhaarepitheel worden voorkomen of beperkt (Mercke, 1974; Mebius, 1983).

Door Forbes en Gamsu (1979) werden nog andere factoren genoemd, die de werking van het trilhaarepitheel beïnvloeden. Trilhaarepitheel werkt in licht alkalisch milieu. Zwak zure locaalanesthetica hebben daardoor een negatief effect. Van de in de anesthesiologie gebruikte middelen heeft lachgas geen effect op de trilhaarfunctie, hebben dampvormige anesthetica in lichte concentraties een stimulerend, in hoge concentraties een remmend effect op de trilhaarfunctie. Opiaten tonen evenals atropine (deze laatste door een verhoging van de slijmviscositeit) een remmend effect op de functie van het trilhaarepitheel.

Een belangrijk aandeel van de postoperatieve keelpijn en "droge retrosternale pijn", zou net als na langdurig schaatsen en het daarbij ademen in zeer droge koude lucht, aan deze situatie te wijten kunnen zijn.

Bij verwarming van lucht, daalt de "relatieve vochtigheid". Warme lucht kan meer waterdamp bevatten dan koude lucht. Hoe kouder de lucht, des te lager het vochtgehalte.

Bij 20 °C bevat lucht, bij 100% verzadiging, 17 mg/l water; bij 37 °C. kan deze lucht 47 mg/l water bevatten.

Is de geïntubeerde patiënt aangesloten op een anesthesietoestel dan zal bij de uitademing een vochtig en warm gasmengsel worden afgegeven en in de uitademingsslang worden opgevangen. Via de koolzuurabsorber en de inspiratieslang bereiken deze gassen, aangevuld of verdund met verse gassen uit het toestel, weer de patiënt.

Bij de inademing zal het vochtgehalte van de aangeboden gassen veel lager zijn dan bij de uitademing. Tijdens het verblijf in de longen worden de ademhalingsgassen opgewarmd en vrijwel volledig met vocht verzadigd. Daar waar de endotracheale tube buiten de mond steekt condenseert het water door afkoeling tegen de wand. In de doorzichtige expiratieslang is dit waarneembaar, afhankelijk van de heersende temperatuur in de operatiekamer soms tot aan de koolzuurabsorber toe.

Aanvankelijk is de gehele inspiratieslang droog. Naarmate er meer koolzuurgas wordt gebonden, komt er in de koolzuurabsorber meer warmte en vocht vrij. Bij een gesloten circuit is dit te zien aan een toenemende condensvorming in deze slang.

Bij de apparatuur die bij dit onderzoek is gebruikt blijkt de condensvorming bij het gesloten ademsysteem na 60 minuten in de meeste gevallen tot aan het Y-stuk in de inspiratie slang aanwezig. De verzadiging met waterdamp is bij de daar heersende temperatuur 100%. Het watergehalte derhalve ongeveer 17mg/l. Bij het half gesloten ademsysteem, met verse gasstromen van 4 liter per minuut en meer, blijft de inspiratieslang geheel droog.

4.3.3 Onderzoeksmethode.

Doel van dit onderzoek was, na te gaan of er een verschil in activiteit van het trilhaarepitheel aantoonbaar was wanneer werd beademd met het gesloten, dan wel met het half gesloten ademsysteem.

Twee groepen van elk 13 patiënten werden onderzocht.

Groep A: bij beademen met het halfgesloten systeem met vier liter verse gassen per minuut;

Groep B: bij gebruik van het volledig gesloten systeem.

De kunstneus werd bij dit onderzoek niet toegepast.

De temperatuuurdaling, zoals bij de vorige groepen werd gevonden, werd geaccepteerd, om zodoende het effect van de verschillen in vochtgehalte van de in te ademen gassen op de trilhaaractiviteit te kunnen beoordelen.

De operatieve ingrepen betroffen maagresecties, abdominale uterus extirpaties en darmresecties.

Het trilhaartransport in hoofdbronchus en trachea werd beoordeeld aan de hand van het verplaatsen over het slijmvliesoppervlak van een stolseltje van patiënt-eigen bloed.

Bloed is afgenomen en opgezogen in een catheter, die door een flexibele bronchoscoop kon worden geschoven. Met deze bronchoscoop werd het stoltsel op de wand van linker of rechter hoofdbronchus geplaatst, juist voorbij de carina. Stolsels werden op 4 tijdstippen geplaatst, namelijk:

1. kort na aanvang van de beademing
2. na een uur,
3. na twee uur
4. na drie uur, wanneer na 2 uur beademen nog trilhaaractiviteit bleek te bestaan.

Met behulp van de bronchoscoop-cathetertip en het terugtrekken daarvan, werd de snelheid van de verplaatsing beoordeeld. Fotografisch werd vastgelegd of de stolsels werden verplaatst en in welke mate. Het was echter in de werksituatie niet mogelijk exacte kwantitatieve metingen te verrichten.

Bovendien werd bij alle patiënten de temperatuur *hoog* in de oesophagus op momenten van waarneming gemeten. (Speciaal is hier vermeld dat de temperatuursonde hoog in de oesophagus is geplaatst om een indruk van de afkoeling in de trachea te krijgen. Trachea en oesophagus liggen hier immers vrijwel tegen elkaar.)

4.3.4 Resultaten.

De fotoseries achterin illustreren de bevindingen, die zijn samengevat in onderstaande tabellen. *Fotoserie A* illustreert de bevindingen bij groep A, half gesloten systeem, beademd met 4 l/min vers gas.

Tabel: Groep A Beademing half gesloten systeem, 4 liter vers gas per minuut.
De aanduiding ">20" betekent dat stolsel. of bloederig slijm op moment van waarneming meer dan 20 mm van de uitgangpositie werd aangetroffen.

Tijd na plaatsin stolling:	10 min		60 min		120 min		180 min	
	ver-plaat-sing [mm]	daling oes.-temp. [°C]	ver-plaat-sing [mm]	daling oes.-temp. [°C]	ver-plaat-sing [mm]	daling oes.-temp. [mm]	ver-plaat-sing [mm]	daling oes.-temp. [°C]
patiënt								
1	> 20	0	0	0,7	0	1,5		
2	> 20	0	5	0,5	0	1,2		
3	> 20	0	0	0,8	0	1,3		
4	> 20	0,1	5	0,5	0	1,5		
5	> 20	0,1	5	0,5	0	1,5		
6	> 20	0	10	0,4	0	1,3		
7	> 20	0	5	0,7	0	1,7		
8	> 20	0	0	0,8	0	1,7		
9	> 20	0	0	0,7	0	1,8		
10	> 20	0,1	5	0,5	0	1,4		
11	> 20	0,2	5	0,6	0	1,5		
12	> 20	0	0	0,7	0	1,7		
13	> 20	0	10	0,4	0	1,3		

Bij foto 4A wordt aangetekend, dat in enkele gevallen taai wit materiaal in de bronchus werd waargenomen, dat zich bij controle na twee uur, op dezelfde plaats bevond.

Fotoserie B illustreert de bevindingen bij groep B, die met gesloten systeem werd beademd.

Na 1 en na 2 uur beademen werd wederom een stolseltje geplaatst. Bij alle 13 patiënten bleef het trilhaartransport in tact.

De transportsnelheid bleek ongeveer 0,5 cm per minuut te bedragen

Het vochtige aspect van de tracheawand bleef onveranderd.

De oesophagus temperatuur daalde met ongeveer 1,5 °C.

Fotoserieserie C:

Bij 7 patiënten was er gelegenheid ook nog na drie uur een stolseltje te deponeren.

Trilhaartransport bleef ook nu aanwezig, zodat het bloed zich al snel ophoopte tussen cuff en tracheawand.

Transportsnelheid: ongeveer 1 cm per 2,5 minuut.

Oesophagustemperatuur: 2.1 °C onder uitgangswaarde.

Tabel: Groep B Beademing met gesloten systeem.

De aanduiding ">20" betekent dat stolsels of bloederig slijm op moment van waarneming meer dan 20 mm van de uitgangspositie werd aangetroffen.

Tijd na plaatsin stolling:	10 min		60 min		120 min		180 min	
	ver-plaat-sing [mm]	daling oes.-temp. [°C]	ver-plaat-sing [mm]	daling oes.-temp. [°C]	ver-plaat-sing [mm]	daling oes.-temp [mm]	ver-plaat-sing [mm]	daling oes.-temp. [°C]
patiënt								
1	> 20	0	> 20	0,8	> 20	1,8		
2	> 20	0,1	> 20	0,9	> 20	1,5		
3	> 20	0,1	> 20	0,6	> 20	1,6		
4	> 20	0	> 2-0	0,4	> 20	1,2		
5	> 20	0	> 20	0,8	> 20	1,5		
6	> 20	0,2	> 20	0,9	> 20	1,7		
7	> 20	0,1	> 20	0,7	> 20	1,4		
8	> 20	0	> 20	0,4	> 20	1,6	> 20	2,2
9	> 20	0	> 20	0,7	> 20	1,7	> 20	2,3
10	> 20	0,1	> 20	0,8	> 20	1,9	> 20	2,6
11	> 20	0,1	> 20	0,6	> 20	1,5	> 20	2,3
12	> 20	0,1	> 20	0,5	> 20	1,7	> 20	2,0
13	> 20	0	> 20	0,9	> 20	1,4	> 20	1,9

4.3.5 Bespreking

Chalon e.a. beschreven in 1972 de effecten van droge anesthesiegassen op de functie van het trilhaarepitheel in de luchtwegen. In 1974 toonde Mercke bij in vitro proeven aan, dat de trilhaaractiviteit met 50% terugliep wanneer de lichaamstemperatuur naar kamertemperatuur werd verlaagd.

In deze proeven toonde hij ook aan dat daling van relatieve vochtigheid eveneens van groot belang was, zelfs van groter belang dan de verandering van temperatuur.

Chalon vond bij een vochtigheid van 14mg/l geen cellulaire veranderingen in het trilhaarepitheel.

Noguchi (1973), Weeks (1974), Chalon and Patel (1979) concludeerden dat een vochtgehalte van de beademingsgassen tussen 17 en 30 mg/l noodzakelijk was.

Bij 20 °C bevat lucht bij een relatieve vochtigheid van 100% 17mg water/l. Zoals te zien aan de condensvorming aan de inspiratiezijde van het Y-stuk is deze situatie bij het gesloten systeem te bereiken. Via de neus ademend is de larynx in normale omstandigheden bloot gesteld aan temperaturen tussen 23 en 28 °C met 25-28mg/L vocht. Het is bij dit onderzoek gebleken dat beademen met 4 liter per minuut vers droog gasmengsel reeds na een uur, de trilhaarfunctie stillegt.

Bij het gesloten systeem bleef de transportfunctie van het trilhaarepitheel, ondanks de daling van de temperatuur, na twee uren beademen behouden.

Zelfs na drie uur beademen en de daarbij optredende temperatuurdalingen van meer dan twee graden was de verplaatsingssnelheid van de stolsels nauwelijks verminderd.

4.3.6 Conclusie:

Tijdens beademen met behulp van het half gesloten systeem bleek de trilhaarfunctie snel verloren te gaan.

Het gesloten ademsysteem is daarentegen in staat te zorgen voor een voldoende vochtig klimaat in het ademsysteem. De reinigende werking van het trilhaarepitheel in de luchtwegen blijft zodoende minstens drie uur behouden.

4.4 Literatuur

Chalon J, "Effects of dry anesthetic gases on tracheal and bronchial ciliated epithelium" *Anesthesiol* 1972;37:338.

Chalon J, A Patel "Humidity and the anesthetized patient". *Anesthesiol* 1979;50:195.

Droh R, "Das geschlossene Kreissystem". *Anaesthesist*, 1977;26:461.

Forbes AR, Gamsu G, "Mucociliary clearance in the canine lung during and after anesthesia" *Anesthesiol* 1979;50:26

Mebius C, "A comparative evaluation of disposable humidifiers". *Acta Anesth Scand* 1983;27:403.

Mercke U, "The influence of temperature on mucociliary activity". *Acta Oto Laryng*.1974;78:253.

Mercke U, "The influence of varying air humidity on mucociliary activity." *Acta Oto Laryng* 1975;79:133.

Noguchi H, Y Takumi "A study of humidification in tracheotomized dogs." *B J A* 1973;45:844

Ravenas B, CE Lindholm "Temperature variations in disposable heat and moisture exchangers" *Acta Anesth Scand* 1980;24:237

Toremalm NG. "A heat and moisture exchanger for posttracheotomy care" *Acta Oto Laryng* 1960;52:1

Weeks D B, "Humidification of anesthetic gases with inexpensive heat and moisture exchangers" *Anesthesiol* 1974;41:601.

5 Milieupollutie

5.1 Vraagstelling 4.

Kan het toepassen van het gesloten ademsysteem een bijdrage leveren aan de pogingen om de pollutie van de atmosfeer met gechloreerde fluorkoolwaterstoffen (CFK's) en lachgas terug te dringen? Hoe groot is de bijdrage van de anesthesiologie aan dit probleem?

5.2 Bespreking

5.2.1 Inleiding

Vervuiling van het milieu is een belangrijk onderwerp, dat de laatste jaren veel is besproken.

Een deel van het milieu wordt gevormd door de atmosfeer

Belangrijke veranderingen treden daarin op met grote gevolgen voor de komende generaties. Een deel van deze veranderingen betreft het gehalte aan ozon, zowel in de troposfeer als in de stratosfeer. In de eerste is een sterke toename, in de stratosfeer is een afname van ozon in gang gezet, beide alarmerend in omvang (UNEP, August 1986).

In het bestek van dit proefschrift komt dit onderwerp ter sprake omdat juist de anesthesiedampen en -gassen tot die groepen stoffen behoren die van grote invloed zijn op de ozon-chemie in de atmosfeer.

De troposfeer reikt van het aardoppervlak tot ongeveer 11 km hoogte, de stratosfeer daarboven reikt tot ongeveer 50 km. hoogte.

In de troposfeer, waarin zich alle klimatologische veranderingen afspelen, bevindt zich 90% van de luchtmassa, maar slechts 10% van alle ozon op aarde. 90% van de aardse ozon bevindt zich in de stratosfeer.

5.2.2 Pollutie van de stratosfeer

In de stratosfeer zijn chloorionen, vooral afkomstig van CFK's, oorzaak van vergrote ozonafbraak. Halothane, enflurane en isoflurane behoren met de freonen, die onder andere in de koeltechniek en als drijfgassen in spuitbusindustrie worden toegepast, tot deze CFK's.

Lachgas, N_2O , is de belangrijkste bron van stikstof in de stratosfeer. De afbraak van ozon wordt katalytisch door stikstofoxiden beïnvloed.

In de troposfeer is lachgas, naast methaan en koolzuurgas, een van de verbindingen die deelnemen aan fotochemische processen waarbij ozon juist ontstaat.

Van methaan en distikstofoxide is onvoldoende bekend welke de bronnen zijn en welke dan ook de mogelijkheden zijn om emissie te beperken. Geschat wordt dat door natuurlijke processen de emissie van distikstofoxide in Nederland ongeveer 10 kton bedraagt.

In het rekenmodel voor het jaarverbruik in het ziekenhuis waar dit proefschrift tot stand kwam is het jaarverbruik aan lachgas 1,5 miljoen liter, bijna 3000 kg. In 1978 werd aan het ziekenhuis 2850 kg lachgas geleverd, wat goed overeenkomt met het rekenmodel.

Er zijn in Nederland ongeveer 200 ziekenhuizen. Gesteld dat daar 3 maal zoveel lachgas wordt verbruikt dan in het voorbeeld (veelal grotere klinieken, meer operatiekamers per kliniek, met veel beademingsmachines die grote verse gasstromen eisen), dan komt dit neer op 1.8 kton.

Deze hoeveelheid zou dan bijna 20% van de natuurlijke productie benaderen.

De gemeten toename in de atmosfeer van lachgas bedraagt 0,25% per jaar. De berekende aanwezigheidsduur in de atmosfeer bedraagt voor dit gas 100 tot 150 jaar.

Het industrieel verbruik van CFK's is enorm. Recente berekening komt neer op 9000 ton in Nederland, 90.000 in West Duitsland. De bijdrage van de anesthesiologie in deze valt vrijwel in het niet: In Nederland is het verbruik van inhalatie anesthetica zoals in de tabel in liters is weergegeven:

	1985		1986		t.e.m.nov'87	
		in %		in %		in %
halothane	2757	39	2849	38	2642	38
enflurane	3222	45	2877	39	2409	34
isoflurane	917	13	1594	21	1853	26
trichloorethyleen	222	3	144	2	139	2

Bron: F.I.N., Instituut voor Medische Statistiek.

In 1930 gaf General Motors' divisie "Frigidaire" de opdracht aan chemicus Midgley, een nieuwe expansie/koelvloeistof te ontwikkelen. Drie dagen na deze opdracht werd de vraag al beantwoord: Een goedkoop en in grote hoeveelheden te fabriceren vloeistof met laag kookpunt en stabiel molecuul: een fluor- chloor- koolwaterstof verbinding.

Verdere ontwikkeling van deze technologie heeft geleid tot een hele reeks van stoffen die men nu samenvat onder de naam "Freonen", ook CFK's genoemd.

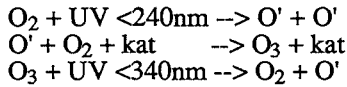
De explosieve toename in de toepassingen van de CFK's, blijken nu echter een ernstige bedreiging voor de ozonlaag in de stratosfeer te vormen, door de daaruit vrijkomende chlooratomen.

In normale omstandigheden is ozon onderhevig aan voortdurende aanmaak en afbraak processen. Daarin bestond een evenwicht.

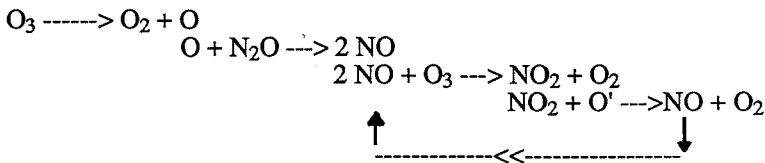
Onder invloed van ultraviolet licht met golflengte < 340 nm. valt ozon uiteen in zuurstof en een zuurstof atoom.

Zuurstof kan onder invloed van een katalysator en ultraviolet licht met golflengte < 240 nm weer een zuurstofaatom opnemen en zo ontstaat weer ozon.

De "harde" UV-straling wordt bij deze processen geabsorbeerd en bereikt de aarde niet.



Sporengassen, waaronder lachgas, N_2O , kunnen de vorming van ozon doorbreken door een vrij zuurstof atoom te binden en NO , stikstofmonoxide te vormen. Het zo ontstane stikstofmonoxide, NO , reageert met ozon tot stikstofdioxide, NO_2 , en zuurstof, terwijl het NO_2 weer met een zuurstofaatom van een volgend ozonmolecuul kan reageren en er weer NO ontstaat. N_2O induceert een stikstofoxyde kringloop ten koste van ozon.



De in de anesthesie gebruikte CFK's zijn dank zij de stabiliteit van deze stoffen toepasbaar. Vooral de enflurane en de isoflurane verlaten na gebruik, vrijwel volledig onveranderd het lichaam.

Ook in de atmosfeer blijken deze stoffen langdurig aanwezig. Geschat wordt dat zij 50 tot 150 jaar vrijwel onveranderd blijven bestaan. De tot nu toe reeds in de atmosfeer geloosde CFK's gaan nog een belangrijk deel van hun werking uitoefenen op het gehalte aan ozon in de stratosfeer.

Onder invloed van ultraviolet licht worden Cl-atomen uit de de CFK-moleculen gestoten, die ozon kunnen afbreken. Het principe van deze reactie is de volgende:

Uit een CFK-molecuul wordt onder invloed van UV-licht een Cl atoom losgemaakt. Het vrije chlooraatom reageert met ozon om ClO en O_2 te vormen. Uit een ander ozonmolecuul wordt onder invloed van UV-licht een atoom zuurstof vrij gemaakt, dat weer reageert met ClO tot Cl en O_2 . Het Cl-atoom is weer beschikbaar om een volgend molecuul ozon af te breken.

1 chlooraatom kan 10.000 maal een molecuul ozon doen afbreken, voordat het zelf gebonden raakt.

Sinds de CFK's in de zestiger jaren op zeer grote schaal worden toegepast, is een daling van het ozongehalte in de stratosfeer met 15 % geconstateerd. Verwacht wordt dat bij blijvende massale toepassing van deze CFK's, in het jaar 2010 een vermindering van de hoeveelheid ozon met 30% wordt bereikt.

Aanvankelijk werd de gemeten daling van het ozongehalte aan meetfouten van de gebruikte apparatuur geweten. Moderne meetmethoden bevestigden echter eerder verkregen resultaten.

Boven Antarctica is in de stratosfeer een zeer uitgebreid gebied met lage concentratie ozon ontdekt, waarvan de grootte voortdurend aan wisselingen onderhevig is geweest. Men meet echter aanzienlijke uitbreiding daarvan met wel 40%, samenvallend met en in relatie tot het toegenomen CFK-gebruik sinds de zestiger jaren.

Door de extreme koude boven de Zuidpool kristalliseren daar de in de lucht voorkomende stikstofoxiden, die door zowel natuurlijke, maar meer en meer door technische processen in de lucht aanwezig zijn. In de troposfeer binden chlooratomen zich makkelijk aan die gekristalliseerde stikstofoxiden. In de antarctische zomer wordt de lucht door de zon opgewarmd, de stikstofoxidekristallen verdampen, de chlooratomen laten los. De warmere lucht stijgt tot grote hoogte. Zo kan het chlooratoom in de stratosfeer de ozon bereiken.

Doordat er, bij een dalend ozongehalte, in de stratosfeer minder van de energierijke UV straling wordt geabsorbeerd, koelt deze af.

Er komt meer van deze straling in de troposfeer, zodat hier een temperatuurstijging is te verwachten, waardoor belangrijke klimatologische veranderingen kunnen worden verwacht.

Ook zal meer van de "harde UV straling de aarde bereiken en daar schadelijke invloed op planten en dieren uitoefenen.

5.2.3 Pollutie van de troposfeer

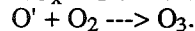
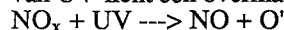
In de troposfeer bevindt zich 10% van de ozon op aarde.

Daar heeft ozon een belangrijke ontgiftigende werking. Het is het sterkst oxyderende middel in de lucht aanwezig. De ozon reageert met water en vormt sterk reactieve OH-radicalen, waarmee ontgiftigingsreacties op gang komen. De meeste natuurlijke en door de industrie gevormde koolstof-, stikstof- en zwavelverbindingen worden met behulp van die OH-radicalen omgezet in in water oplosbare stoffen, die met regen uit de lucht verdwijnen.

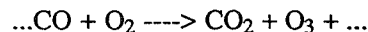
Ook hier speelt het UV licht een grote rol. Dit is een gunstig effect van ozon.

Helaas, er gebeurt meer:

Door de grote uitstoot van NO_x uit de industriële wereld ontstaat onder invloed van UV-licht een overmaat aan ozon.



Ook de koolwaterstoffen en koolstofoxydes kunnen deelnemen aan O_3 productie:



In tropische gebieden ontstaat veel CH_4 op natuurlijke wijze. Door industriële invloeden, massa-veeteelt, bosverbrandingen, en vrijkomen van minerale gassen is er een sterke toename van dit gas.

De afbraak hiervan geschiedt in de NO_x-arme gebieden vooral met hydroxylgroepen volgens



In de geïndustrialiseerde gebieden op het noordelijk halfrond echter wordt methaan onder invloed van NO_x langs andere weg afgebroken, waarbij per molecuul methaan 3,7 molecuul O₃ ontstaat.

Zowel milieudeskundigen als chemici in de producerende en verwerkende industrieën zijn ervan overtuigd dat de uitstoot van CFK's en van NO_x een ernstige bedreiging voor het leven op aarde vormt.

Het spuitbussenverbod in de Verenigde Staten van Amerika, in 1974, berustte op een vermoeden van de schadelijkheid van de toegepaste drijfgassen. Dit vermoeden is nu zekerheid geworden.

Als gevolg hiervan werd in september 1987 in Montreal door industrie en overheden van 24 geïndustrialiseerde landen een overeenkomst gesloten om te komen tot belangrijke beperking van het CFK-gebruik. Er zijn tijdschema's overeengekomen en op grote schaal is onderzoek in gang gezet om onschadelijke vervangende stoffen te vinden. Miljardeninvesteringen worden gedaan.

Als uitvloeisel van de overeenkomst in Montreal is in Nederland in januari 1988 een "Spuitbussen Convenant" ter vermindering van toepassing en productie tot stand gekomen.

In de Verenigde Staten heeft McDonald's besloten de schuimplastic verpakkingen voor zijn vleesproducten af te schaffen.

5.3 Conclusie

In kwantitatieve zin is de pollutiebijdrage van de anesthesioloog wat de *inhalatieanesthetica* (CFK's) betreft verwaarloosbaar klein.

Evenwel, met de kennis die nu aanwezig is, met de beschikbaarheid van goede intraveneus toepasbare stoffen is het verantwoord het gebruik van de inhalatieanesthetica vrijwel geheel terug te dringen. Mogelijk moet een uitzondering worden gemaakt voor die gevallen, waarbij intraveneuze anesthesie, zoals bij zeer jonge kinderen, niet goed mogelijk is.

Het aandeel in de vervuiling van het milieu door *lachgas* lijkt in vergelijking met de geschatte natuurlijke uitstoot daarvan, verontrustend groot te zijn.

De inhalatie-anesthesie voor volwassenen raakt verouderd en wordt ethisch onacceptabel.

5.4 Literatuur

Protocol van Montreal inzake stoffen die de ozonlaag aantasten (november 1987)

Notitie over het CFK-beleid. Ministerie van VROM (maart 1988)

United Nations Environment Programme; Co-ordinating Committee on the Ozone Layer, eighth session, Nairobi 1986.

Brief dd. 29 juni van de minister van VROM over het ozonprobleem (1987).

Rapport inzake grenswaarde lachgas. Werkgroep van deskundigen van de Nationale MAC-Commissie (1985)

6 Zuurstoftoxiciteit.

6.1 Inleiding

Is het gebruik van uitsluitend zuivere zuurstof als vers beademingsgas bij toepassen van het gesloten systeem toelaatbaar, met het oog op mogelijke toxische effecten?

In hoofdstuk 2 is reeds aangeduid dat bij het gesloten ademsysteem slechts de hoeveelheid gas(mengsel) wordt toegediend die door de patiënt wordt verbruikt, zonodig aangevuld met een geringe hoeveelheid om minimale lekkages te compenseren.

Ook is gesteld dat het gesloten ademsysteem met alleen zuurstof als vers gas, het veiligst is om ongelukken door overmaat lachgas te voorkomen. (Hoofdstuk 3 Veiligheid).

Heeft men als beademingsgas voor zuivere zuurstof gekozen, dan hebben veranderingen in de gaswisseling alleen daarop betrekking.

Overigens dient men wel rekening te houden met de stikstofafgifte van de patiënt aan het begin van de anesthesie. Klinisch heeft dit geen belangrijke gevolgen. Men moet zich wel realiseren dat bij toedienen van 100% zuurstof aan het gesloten systeem, de zuurstof concentratiemeter, waarvan de sensor zich immers in de expiratieslang bevindt, lagere waarden dan 100% zal aangeven.

Door de uitgebreide ervaring, die men heeft opgedaan met de intraveneuze anesthetica, heeft men feitelijk geen behoefte meer aan het potentieel gevaarlijke lachgas.

De combinatie van de intraveneuze anesthetica met anesthesiedampen is veelvuldig toegepast.

Het weglaten van lachgas uit het beademingsmengsel ligt voor de hand.

Wordt door sommigen het gebruik van zuivere zuurstof als beademingsgas ontraden, in de praktijk is de techniek van zuurstof- fentanyl- anesthesie, vooral bij zeer grote en langdurige ingrepen, algemeen aanvaard.

De pathologie van zuurstoftoxiciteit is niet specifiek en bestaat uit atelectase, oedeem, alveolaire bloedinkjes, onstekingen, fibrine afzetting, verdikkingen en hyalinisatie van de alveolaire membranen (Clark, 1971; Penrod, 1956).

Er kan endotheelbeschadiging van de alveolaire capillairen ontstaan, waardoor plasma in het interstitium kan lekken.

Veranderingen in surfactant kan de oorzaak van atelectasen zijn (Philpot, 1977).

Lavoisier verrichtte vele dierproeven met "oxygenium" en achtte dit gas schuldig aan longafwijkingen bij dieren, die langdurig hadden bloot gestaan aan hoge concentraties van dit gas.

Priestly en Scheele vonden tegen het einde van de achttiende eeuw dat zaden in zuivere zuurstof slechter ontkiemden.

De oorzaak van deze negatieve effecten van zuurstof kwam men pas op het spoor toen in 1954 Gerschmann en medewerkers een overeenkomst vonden voor wat betreft de effecten op levende cellen die waren blootgesteld aan door bestraling geïoniseerd water en aan zuivere zuurstof.

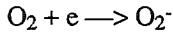
Ioniserende straling doet in water oxidatieve vrije zuurstofradicalen ontstaan, zgn. superoxide-anionen.

Deze vrije radicalen zijn uiterst actief en in staat celmembranen, DNA, en vele andere celstructuren en enzymen, al of niet irreversibel, te verstoren.

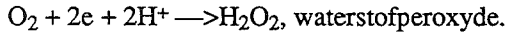
De zuurstofradicalen bestaan uiterst kort, microseconden, maar ontstaan niet alleen door ioniserende straling, maar ook bij normale oxidatieve processen op cellulair niveau. Polymorfe leucocyten en macrofagen doden micro-organismen door de productie van vrije zuurstofradicalen.

Als onder normale omstandigheden deze radicalen ook al ontstaan, dan is het aannemelijk dat er ook een verdedigingsmechanisme tegen bestaat. Dit is inderdaad gevonden in de vorm van een complex enzymstelsel, bestaande uit o.a. superoxydedismutase (SOD), catalase, glutathion peroxidase en een grote reeks van radicaal wegvangende stoffen zoals vitamine E, vitamine C, vitamine A en gereduceerd glutathione (Fridovich, 1975. Deneke 1982.).

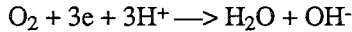
Schematisch vinden de volgende reacties plaats:



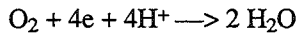
Een andere reactie is :



Ook kan het hydroxylion ontstaan:



De meest voorkomende zuurstofreductie leidt niet tot radicaalvorming, maar met behulp van cytochromoxydase, tot H_2O :



Het is nog niet duidelijk welke radicalen welke verstoringen veroorzaken. Behalve het SOD zijn er nog andere beschermende substanties, zoals catalases, peroxydases, vitamine E en vitamine C, glucose 6 phosphodehydrogenase.

Daar waar langere tijd sprake is geweest van hoge concentraties zuurstof vindt men een verhoogde bescherming tegen de zuurstofradicalen. Per diersoort blijkt dit overigens te verschillen (Simon, 1979).

Er zijn celculturen, vooral van pasgeboren ratten, die uiteindelijk een bescherming kunnen opbouwen zodat 100% zuurstof geen kwaad meer schijnt te kunnen (Stevens, 1977).

In geperfundeerde organen bleek de toxiciteit minder ernstig te zijn of te kunnen worden voorkomen na voorbehandeling met SOD, vitamine C of vitamine E (Block, 1977).

Is er nu reden om de toxiciteit van zuurstof bij anesthesie te vrezen? Van de Water et. al. hebben in 1970 aangetoond dat 6 tot 12 uur beademen met 100 % zuurstof, op zeeniveau, bij normale personen geen effecten had op alveolo-capillaire zuurstofgradiënt, druk in de a. pulmonalis, pulmonaire vaatweerstand, hartminuutvolume, of extravasculair vochtgehalte. Ook röntgenologisch waren geen afwijkingen aantoonbaar.

Singer et al. vonden in 1970 bij patiënten, die hartoperaties hadden ondergaan en 21 tot 44 uur werden beademd met 100% zuurstof, niet meer pathofysiologische veranderingen dan in een controlegroep, die met minder dan 42% werd beademd.

Sackner (1975) tenslotte, merkt op dat na 6 uur beademen met 100% zuurstof, het trilhaartransport kwam stil te liggen. Het is echter niet duidelijk of hier met warme, dan wel bevochtigde of met koude droge zuurstof werd beademd.

6.3 Conclusie.

Met zuiver zuurstof kan tenminste 12 uur lang veilig worden beademd.

6.4 Literatuur

Block ER, Fisher AB. "Prevention of hyperoxic-induced depression of pulmonary serotonin clearance by pretreatment with superoxide dismutase." *Am Rev Respir Dis.* 1977;116:441.

Clark JM, Lambertsen CJ; "Pulmonary oxygen toxicity: a review" *Pharmacol Rev.* 1971; 23: 37-133

Deneke, SM, Fanburg BL. "Oxygen toxicity of the lung: an update". *Br J Anaest.* 1982;54:737.

Fridovich I. "Superoxide dismutase". *Annu Rev Biochem* 1975;44:147- 59

Gerschman, R., "Oxygen poisoning and X-irradiation: a mechanism in common". *Science* 1954; 119: 623.

Penrod KE. "Nature of pulmonary damage produced by high oxygen pressures". *J Appl Physiol* 1956; 9:1-4.

Philpot DE, Harrison GA, Turnbull C, Black S. "Ultrastructural changes in tracheal epithelial cells exposed to oxygen". *Aviat Space Environ Med* 1977; 48:812-8.

Sackner MA, Landa J, Hirsch J, Zapata A. "Effects of oxygen breathing; a 6-hour study in normal men". *Ann Intern Med* 1975; 82:40-3

Singer MM, Wright F, Stanly LK, Roe BB, Hamilton WK. "Oxygen toxicity in man: a prospective study in patients after open-heart surgery" *N Engl J Med* 1970; 283:1473-8.

Simon LM, Raffin TA, Douglas WHJ, Theodore J, Robin ED. "The effects of higher oxygen exposure on bioenergetics in isolated type II pneumocytes". *J Appl Physiol*. 1979; 47:98.

Stevens JB, Autor AP. "Oxygen-induced synthesis of superoxide dismutase and catalase in pulmonary macrophages of neonatal rats". *Lab Invest* 1977; 37:470-8

Van De Water JM, Lagey KS, Miller IT, "Response of the lung to 6 to 12 hours of 100 % oxygen inhalation in normal man". *N Engl J Med* 1970; 283:621-6

7 Economische factoren

7.1 Vraagstelling 5

Welke zijn de mogelijke economische gevolgen van de toepassing van het gesloten ademsysteem?

Aspecten betreffende het "budget verbruiksmiddelen en investeringen" van een anesthesie afdeling in een algemeen, nederlands ziekenhuis, bij de invoering en toepassing van het gesloten beademingssysteem.

7.2 Inleiding

Fontana, schreef in 1779 aan Ingen-Housz, dat hij een methode had gevonden om zieke mensen op een goedkope manier te helpen met zuurstof, en wel door de uitgeademde "gebonden lucht" over een looghoudende oplossing te leiden en daarna de uitgeademde zuurstof weer te laten inademen.

Honderd jaren later lezen we: "...It is obviously evident that, by a very simple mechanical and chemical arrangement, the same gas may be employed repeatedly. The products of expiration, now wasted, need only be passed through a solution of caustic potash and returned to the receiver whence the gas is inspired..." (Coleman, 1869).

In Chicago ging de chirurg Andrews, in 1886, zuurstof toedienen bij de lachgas-narcoses. De bijkomstige kostenfactor was voor de welgestelden geen probleem. De arbeiders werden echter 'ontzien', zij konden zich wel zonder de dure toevoeging van zuurstof laten helpen!

Zelders besprak in Medisch Contact in 1986 de economische factoren bij anesthesie-ongevallen-preventie en stelde de volgende vragen aan de orde:

- Hoeveel geld heeft men over voor het beperken van het overlijdensrisico?
- Hoe kan men met de minste kosten de grootste risicoverlaging bewerkstelligen?

Uit de literatuur blijkt, dat meer dan 43% van de vermijdbare anesthesie-ongevallen, in een of andere vorm, betrekking heeft op de ademhaling (Hfdst. Veiligheid).

Zelders geeft in overweging, alle apparatuur die nu als vanzelfsprekend bij operaties wordt ingezet, opnieuw te bezien.

De wet van de verminderde meeropbrengst geldt ook hier.

Soms geeft een aantal apparaten informatie, die met een fractie van het geïnvesteerde kapitaal ook al op andere wijze te verkrijgen zou zijn.

Bij het gesloten ademsysteem met *staande en zichtbaar opgestelde* balg heeft men behalve de eventuele elektronica voor de besturing van de beademingsmachine, geen extra elektronica nodig om informatie te verkrijgen over:

- de zuurstofopname van de patiënt;

- de daaraan te relateren kwaliteit van de longperfusie en de veranderingen daarvan;
- eventuele verbreking van slangverbindingen, cuff lekkages;
- het ontstaan, in een vroeg stadium reeds, van maligne hyperthermie, waar anders de capnograaf een aanwijzing voor geeft.

De storingsgevoeligheid van dit bewakingsstelsel is gering, daar er in principe geen elektronica aan te pas komt.

De vulling en bewegingen van de balg bieden de informatie.

7.3 Vergelijking van kosten.

Welke zijn nu de kosten die op jaarbasis worden gemaakt bij toepassing van het gesloten systeem in vergelijking met het half gesloten systeem voor wat betreft het verbruik van gassen, dampen en koolzuurabsorber?

Lachgas.

Half gesloten systeem:

Uitgaande van een halfgesloten systeem met een aanbod van 4 liter lachgas per minuut kan de volgende opstelling worden gemaakt.

Op vijf operatiekamers wordt per dag tussen inleiding en uitleiding van de narcoses vijf uren een "steady state" verzorgd, 250 werkdagen per jaar.

$5 \times 5 \times 250 = 6.250$ uren, maal 60 minuten geeft een verbruik van 1.500.000 liter lachgas.

Lachgas kost in Nederland (per land blijken de kosten sterk uiteen te lopen) f 8,90 per kg., of wel 1,75 ct per liter.

(1 mol lachgas weegt 44 g en heeft een volume van 22,4 liter; 1 kg lachgas heeft bij 1 atmosfeer een volume van 509 liter.)

1.500.000 l lachgas kost dus f. 26.250,--.

Gesloten systeem:

In een gesloten systeem, tijdens "steady state", verbruikt een patiënt van 70 kg van "normaal" postuur ongeveer 70 - 150 ml lachgas per minuut.

Dit levert een jaarverbruik op van 52.500 liter, die f 981,75 kosten.

Door verminderd verbruik aan lachgas is derhalve met het gesloten systeem een besparing van f. 25.000 te bereiken.

Zuurstof

Hiervoor kan dezelfde berekening worden gemaakt:

Half gesloten systeem:

Bij het half gesloten systeem, 33% zuurstof, is een verbruik van de helft van die van lachgas aannemelijk, 750.000 liter.

De prijs van zuurstof wordt berekend per m³ bij atmosferische druk en bedraagt f. 2,60. Voor 750.000 liter komen de kosten dan op f 1.950,--.

Bij het gesloten systeem zal het verbruik in de buurt van 300 ml per minuut zijn, 1/7 deel van 2 liter; de kosten op jaarbasis dus ongeveer f 280,--.

In dit rekenmodel is met het gesloten systeem op zuurstofverbruik slechts f 1600 te besparen.

Anesthesie-dampen.

Als voorbeeld is hier enflurane gekozen.

Uitgaande van een concentratie van 2% enflurane in de inademingsgassen, welke als rekenvoorbeeld acceptabel is, kan men de volgende berekening maken:

Aan lachgas wordt verbruikt 1.500.000 liter, aan zuurstof 750.000 liter.

2 vol.% enflurane bij deze 2.250.000 liter komt neer op 45.000 liter damp. Bij atmosferische druk en kamertemperatuur, komt dit overeen met $45.000 : 4,76 = 94,54$ liter enflurane vloeistof. (1 ml vloeistof vormt 210 ml damp, 4,76 ml vloeistof levert 1 liter damp).

250 ml enflurane kost f 155,40 De prijs voor het hierboven berekend verbruik is derhalve f 29.383,--.

Bij het half gesloten systeem wordt door de patiënt van deze hoeveelheden gassen en dampen slechts een fractie opgenomen om de beoogde diepte van anesthesie te bereiken.

Van de 2 liter per minuut toegediende zuurstof wordt door een volwassene slechts 0,3 l/min verbruikt en gaat ongeveer 1,7 l/min verloren.

Na een uur beademen wordt van de 4 l/ min lachgas, slechts ongeveer 0,1 tot 0,2 l/min door de patiënt opgenomen; 3,9 tot 3,8 l/min gaan verloren.

Deze 5,6 l/min lachgas en zuurstof bevatten ook de 2% anesthesiedamp.

Bij het gesloten systeem worden de hoeveelheden toe te dienen gassen en damp exact op het verbruik afgestemd.

De anesthesiedampen zijn exact te doseren door *direct* in het cirkelsysteem de op de patiënt afgemeten hoeveelheden anestheticum te injecteren.

De afblaasklep blijft gesloten, zo draagt al het toegediende anestheticum bij tot de beoogde diepte van de narcose. De concentratie van het anestheticum in het circuit en in de patiënt zullen geheel afhankelijk zijn van de hoeveelheid geïnjecteerde vloeistof, de oplosbaarheid van de damp in de slangen, in de sodalime en in de

patiënt (even als een geheel gezien) en van het hartminuutvolume (Wolfson, 1962).

Omdat er per keer kleine doses van 0,5 tot 1,5 ml vloeistof worden toegediend, (1 ml vloeistof neemt in dampvorm ongeveer 200 ml in), is het een veilige techniek, vergelijkbaar met de intermitterend toegediende hoeveelheden narcoticum of anestheticum tijdens intraveneuze anesthesie.

Wanneer de cumulatieve doses vloeibaar anestheticum, zoals door Wolfson toegediend, tegen de wortel uit de tijd worden afgezet, blijkt hier weer de exponentiele relatie, zoals die ook bij de intraveneuze techniek bekend is; er ontstaat een rechtlijnig verband.

Weingarten en Lowe (1973) hebben empirisch bepaald, met behulp van druppeltoediening via een buret en aan de klinische beoordeling van de narcosediepte, welke hoeveelheden nodig zijn, met inachtneming van variatie in patiëntenconditie, -leeftijd, aard en hoeveelheid van andere toegediende stoffen. In de klinische situaties zal hiervan kunnen worden afgeweken, zoals dit ook bij de intraveneus toegediende anesthesie gebruikelijk is.

Rekening houdend met de injectietechniek van Weingarten en Lowe kan de volgende kostenvergelijking worden gemaakt.

Geslotenstelsel

In drie uur anesthesie heeft men op deze wijze vijftien maal een dosis anestheticum, halothane, enflurane of isoflurane toegediend.

Uit de tabellen in het artikel van Weingarten en Lowe is af te lezen, dat bij 65% N₂O bij een patiënt van 70 kg 15 ml enflurane vloeistof nodig is, indien men geen andere intraveneuze middelen toepast (Past men bijvoorbeeld relaxantia toe dan vermindert men de dosering met 10%).

De kostprijs van deze 15 ml. enflurane is f 9,30.

Half open systeem :

3 uur anesthesie met een verse gasstroom van 6 l/min (2 l/min zuurstof en 4 l/min lachgas), waar in 2% enflurane, verbruikt:

$3 \times 60 \times 6 = 1080$ liter gasmengsel.

2% enflurane damp hierin komt neer op 21,6 l damp; 1 ml enflurane vloeistof levert bij anesthesie toepassing 210 ml damp. In dit voorbeeld is dan bij benadering 100 ml vloeistof verbruikt voor een prijs van f 62,--.

Het half gesloten systeem blijkt voor enflurane verbruik een factor 6,7 duurder.

Sodalime

Gaat men uit van een koolzuurgasproduktie van 200 ml per minuut per patiënt, dan is weer een berekening te maken van de jaarbehoefte.

250 dagen, 5 bedrijfsuren per dag, 5 operatiekamers, 200 ml koolzuurgas per minuut per operatiekamer. resulteert in een volume van 75.000 liter.

100 gram sodalime bindt ongeveer 17,5 liter koolzuurgas.

Laat men 0,5% koolzuurgas toe in het inademingsmengsel, dan is de sodalime langer te gebruiken en kan 19,5 liter koolzuurgas worden gebonden (Bracker en Cox,1968).

Voor de hierboven genoemde 75.000 liter koolzuurgas is 395 kg sodalime nodig (100 g sodalime per 19 liter koolzuurgas.).

20 kg sodalime kost f 155,-. De berekende koolzuurproductie vergt f 3057,- per jaar.

In het ziekenhuis waar dit onderzoek plaats vond werd in het afgelopen jaar 120 kg sodalime verbruikt, voor een kostprijs van f 930.--, waarbij de onderzoeker "zoveel mogelijk", en de andere kollega's in het geheel niet met het gesloten systeem werkten. Bij het halfgesloten systeem verdwijnt een groot deel van het koolzuurgas via de afblaasklep. Verder is het de gewoonte de sodalime pas te vervangen wanneer de capnograaf aangeeft dat de koolzuurgas absorptie te kort schiet.

Vergelijking van kosten voor lachgas en zuurstof, zoals hiervoor berekend, in f :

jaarcijfers: gesloten systeem		half gesloten systeem	te besparen verschil
lachgas	917,--	26.166,--	25.249,--
zuurstof	280,--	1.950,--	1.770,--

Berekening voor enflurane gedurende drie uur anesthesie in f:

gesloten systeem	half gesloten systeem	verschil per 3 uur
9,30	62,--	52,70

Eerder in dit hoofdstuk werd een theoretisch jaarverbruik van enflurane, met een inkoopwaarde van f 29.383,-- aangegeven. Hierbij werd overwegend het half-

gesloten systeem gebruikt; voor ruim 90%, dus voor f 26.444,-- ging zonder de patiënt te bereiken, verloren.

In dit ziekenhuis werd in 1987 voor f 25.500,-- aan enflurane ingekocht.

Navraag bij 9 ziekenhuizen in Noord Brabant en in het Rijnmondgebied gaf informatie over verbruik van dampvormende anesthetica aldaar in de jaren 1986 en 1987:

(In aantallen flessen van 250 ml (halothane en enflurane) resp. 100 ml (enflurane))

ziekenhuis	halothane		enflurane		isoflurane	
	'86	'87	'86	'87	'86	'87
a	23	26	0	11	658	795
b	228	198	20	0	241	305
c	5	24	0	3	0	292
d	?	48	?	172	0	0
e	53	73	24	10	612	384
f	36	61	0	0	162	91
g	41	38	43	41	0	0
h	?	300	?	565	?	485
i	48	36	0	0	552	588
totalen 1987:		1204	802		2940	

Afhankelijk van kortingen die kunnen worden verkregen zijn de inkooprijzen voor ziekenhuizen ongeveer:

halothane per 250 ml f 50,--

enflurane per 250 ml f 150,--

isoflurane per 250 ml f 275,-- (verkocht in 100ml flessen)

In 1986 werd in Nederland aan alle ziekenhuizen tezamen verkocht:

15.396 flessen halothane, kosten f 769.800

11.580 flessen enflurane, kosten f 1.726.200

15.940 flessen isoflurane, kosten f 1.753.400

f 4.249.400 totaal.

(gegevens verstrekt door het Instituut voor Medische Statistiek, 1988)

7.4 Bespreking

De berekening voor het jaarverbruik van lachgas, de resulteerde in een hoeveelheid van 1,5 miljoen liter is bij navraag vrijwel gelijk aan de werkelijk verbruikte hoeveelheid in een jaar waarin het gesloten systeem nog niet werd toegepast, n.l. 1,47 miljoen liter.

De toepassing van het gesloten ademsysteem zal op een aantal punten tot aanzienlijke besparing kunnen leiden.

Bij het verbruik van gassen en dampen in het rekenmodel zoals boven aangegeven valt jaarlijks een besparing van f 45.000 te bereiken. Op een ziekenhuisbudget van f 50.000.000 lijkt dit een te verwaarlozen bedrag. Echter, op de begroting van de afdeling anesthesiologie is dit een aanzienlijk bedrag, te meer daar deze besparing jaarlijks terug komt. Jaarlijks wordt de waarde van drie monitoren van f 15.000 bespaard. Worden de monitoren in vijf tot tien jaren af geschreven, dan ziet men de waarde van de jaarlijkse besparingen op gassen in beter perspectief. Gerelateerd aan de salariskosten van een anesthesie- verpleegkundige, dan is uit de besparing door verminderd gassen en dampen verbruik voor een groot deel een verpleegkundige-salaris te betalen.

Het bedrag dat in 1986 in Nederland aan anesthesiedampen is besteed bedroeg f 4.249.400.

Uit voorgaande berekening bleek het halfgesloten systeem een factor 6,7 duurder te zijn bij gebruik van enflurane dan het gesloten systeem. Grofweg zou zo berekend een bedrag van f 3,6 miljoen kunnen worden gespaard.

Aangenomen kan worden dat het gesloten ademsysteem nauwelijks toepassing vindt in Nederland, omdat in geen van de Nederlandse opleidingsinstituten het gesloten systeem een algemeen aanvaarde techniek is en het tot nu toe in Nederland niet op enig symposium ter sprake is gebracht.

Zou het gesloten ademsysteem uitgebreid toepassing vinden, dan kan het verbruik van deze dampen zeker met 80% verminderen, wat een besparing betekent van f 3.3 miljoen, jaarlijks. (Echter, dan ontstaat het risico dat de producenten bij verminderde afname de prijs per liter zullen opvoeren en deze besparing gedeeltelijk teniet gaat).

Opvallend is verder het geringe bedrag dat wordt bespaard op zuurstof. Dit kan worden verklaard door de geringe kosten van dit gas (0,26 ct per liter).

De sodalime-kosten stijgen in het rekenmodel met f 2000.

Doordat het van zo'n groot belang is met sodalime te moeten werken, is men er automatisch meer bij betrokken de werkingsduur ervan te beoordelen. Daar de capnografen al jaar en dag in de routine bewaking zijn ingeschakeld, kan de sodalime zo lang gebruikt worden tot de koolzuur in het inademingsgasmengsel boven een te stellen waarde is gestegen.

Voorheen werd de sodalime vervangen wanneer de kleurindicator al in geringe mate "omsloeg", als teken dat de sodalime-korrels waren uitgewerkt.

De toepassing van lachgas is discutabel.

Het opnemen door het lichaam van grote hoeveelheden lachgas vereist de nodige aandacht, daar hierbij belangrijke fysische eigenschappen van lachgas een rol spelen (Nitrous Oxide, E. I Eger II, 1985).

Het is noch als analgeticum, noch als hypnoticum, noch als vehiculum voor de anesthesiedampen bij toepassing van het gesloten systeem nodig. De gebruikelijke anesthesiedampen kunnen voor bewusteloosheid zowel als voor pijnbestrijding zorgen. Daarnaast staat een scala van intraveneus toe te dienen stoffen voor deze doeleinden ter beschikking.

Het anesthesie systeem wordt aanmerkelijk eenvoudiger wanneer men lachgas niet meer gebruikt.

Het valt te overwegen de lachgas voorzieningen in de operatiekamers weg te laten. Bouwkundig komt men dan tot enorme besparingen in aanlegkosten en onderhoud van dit lachgas-netwerk. Verwisseling van zuurstof- en lachgasleidingen is bij bouw en verbouw uitgesloten.

Blijft dan de keuze te beademen met zuiver zuurstof, waarbij de zuurstofmonitors overbodig zijn, dan wel te beademen met een zuurstof/stikstof mengsel op geleide van de zuurstofconcentratie.

De stikstof kan eenvoudig uit de kamerlucht worden betrokken.

De in het buitenland toenemende belangstelling voor het gesloten ademsysteem is af te lezen uit het feit dat gerenommeerde industrieën die zich bezighouden met beademingsapparatuur, ook machines ontwikkelen en produceren die toegepast moeten kunnen worden bij het gesloten ademsysteem.

Daar waar zij het principe van de zichtbaar opgestelde staande balg in verbinding met de luchtwegen van de patiënt niet volgen, is alle moeite en investering verloren goed. De charme van het principe, maar vooral de veiligheid voor de patiënten staat of valt met de al of niet goed zichtbare staande balg.

Uiteraard zou men kunnen stellen dat men aan kapitaalvernietiging doet wanneer men een dure beademingsmachine heeft en deze "overboord gooit" om een nieuw, gesloten systeem aan te schaffen. Het is evenwel eenvoudig uitvoerbaar om met welke beademingsmachine dan ook, een staande beademingsbalg te activeren, die dan aangesloten is op een gesloten ademcircuit.

Patiënt en staande balg vormen dan weer het gesloten systeem, waarin de voor de patiënt nodige beademingsgassen stromen.

7.5 Conclusie

Het invoeren van het gesloten ademsysteem in de algehele anesthesie levert aanzienlijke economische voordelen op omdat:

A. aanzienlijke besparingen in verbruik van gassen en inhalatie-anesthetica zijn te bereiken, door de accuratesse waarmee aan de behoefte aan deze middelen wordt voldaan.

B. de benodigde monitor-apparatuur eenvoudig is en er niet meer wordt vereist dan bij de nu gebruikelijke ademsystemen.

C. de kwaliteitseisen voor de te gebruiken apparatuur dezelfde zijn als die reeds gelden voor alle nu in gebruik zijnde toestellen.

D. de kostenverhoging door het vergrote verbruik van sodalime is in verhouding tot de te bereiken besparingen gering.

7.6 Literatuur

Andrews E "The oxigen mixture. A new anesthetic combination." Chicago Med Exam,1868;9:656.

Coleman A."Coleman's economizing apparatus for reinhaling.the gas". Brit J Dent Sci1869;12:443.

Weingarten M, Lowe HJ, "A new circuit injection technique for syringe measured administration of methoxyflurane:A new dimension in anesthesia." Anaest Analg 1973;52:634

Wolfson B, "Closed circuit aneesthesia by intermittent injections of halothane". Brit J An,1962;34:733.

Zelders T,"De prijs van meer veiligheid bij anesthesie". Medisch Contact,1986;41:267.

Samenvatting en conclusies.

Hoofdstuk 1 Inleiding.

Ten opzichte van de in gebruik zijnde "half gesloten" ademsystemen leek het geheel gesloten ademstelsel uiteenlopende voordelen te bieden. Onderzocht werd in hoeverre het gesloten ademstelsel voordelen zou kunnen bieden bij de toepassing in een ziekenhuis, waar een anesthesioloog tezelfdertijd verantwoordelijk is voor meer dan één anesthesie.

Daarbij werden beoordeeld:

1. De veiligheid van de anesthesieprocedure;
2. De bescherming van de patiënt tegen afkoeling tijdens beademing;
3. De rein igende werking van het trachea/trilhaarepitheel tijdens toepassing van het gesloten ademstelsel;
4. De bijdrage aan de vervuiling van het milieu door het gebruik van lachgas en dampvormige anesthetica;
5. De economische factoren die bij inhalatie-anesthesie een rol kunnen spelen.

De vraagstellingen worden toegelicht.

Hoofdstuk 2 Geschiedenis.

Dit hoofdstuk behandelt de geschiedenis van de gesloten ademsystemen. De eerste beschrijving dateert uit 1727, van de hand van Hales.

In de tweede helft van de achttiende eeuw hielden Fontana en Ingen-Housz zich bezig met experimenten waarbij koolzuurgasabsorptie en ademhaling een rol speelden. De overgang van de gesloten ademsystemen naar de systemen waarbij grote verse gasstromen nodig en mogelijk waren, wordt beschreven. De onmogelijkheid om de samenstelling van de ademgasmengsels te analyseren leidde tot gebruik van grote verse gasstromen, waarvan men de goede samenstelling durfde te vertrouwen. De verschillende ademsystemen worden kort beschreven. Aangegeven wordt, dat de nu beschikbare technologie aanleiding geeft tot herwaardering van het gesloten ademstelsel.

Hoofdstuk 3 Veiligheid.

De veiligheidsaspecten die zowel in de anesthesiologie als in de luchtvaart een belangrijke rol spelen worden hier ter sprake gebracht en vergeleken.

De inspanningen en routines die in de luchtvaart gebruikelijk zijn, worden in de anesthesiologie in veel mindere mate toegepast.

In de commerciële luchtvaart worden de vliegtuigen met meerdere bewakingsystemen uitgerust.

In de anesthesiologie wordt de bewakingsapparatuur enkelvoudig toegepast en kan het voorkomen dat er fouten worden gemaskeerd door opbouw en samenstelling van de toestellen. Door de enkelvoudige uitvoering van de monitors zijn de aanwijzingen niet te controleren en zijn de toleranties meestal te grof; bij

uitval van een onderdeel van de monitoring is er zelden reserve-apparatuur direct inzetbaar.

Uit de literatuur is gebleken dat sinds de eerste rapportages over anesthesie-ongevallen meer dan 40% daarvan plaats vonden in de periode tussen begin en einde van de anesthesieën. Juist in deze periode is het gesloten systeem in staat gebleken zeer vroeg geringe storingen aan het licht te brengen, zonder aanvullende elektronica, met daarbij een grote veiligheidsmarge voor de zuurstofvoorziening van de patiënt.

Waarnemingen in de eigen kliniek gedaan worden beschreven met speciale aandacht voor de vroege ontdekking van zeer geringe afwijkingen. Kleine lekkages in het ademsysteem en veranderingen in de zuurstofopname door de patiënt zijn binnen korte tijd waarneembaar. Het bleek aantoonbaar dat het gesloten ademsysteem hier een belangrijk voordeel biedt boven het halfgesloten ademsysteem.

Conclusie: Het gesloten ademsysteem maakt een ergonomisch verantwoorde opstelling van de beademingsmachine mogelijk, waardoor zonder aanvullende elektronica kleine afwijkingen en storingen in de goede werking van de apparatuur snel zichtbaar worden.

De staande balg in de beademingsmachine informeert over: de zuurstofopname van de patiënt en de veranderingen daarin en over de lektheid van het systeem op elk moment van de operatie. Bij gebruik van zuurstof als enig beademingsgas biedt de grote zuurstofinhoud van het ademsysteem in verhouding tot het zuurstofverbruik van de patiënt een veilige reserve.

De anesthesioloog wordt bij de toepassing van het gesloten ademsysteem uitgedaagd aandacht te besteden aan schijnbaar nietige details, waarmee de veiligheid voor de patiënt wordt verhoogd.

Hoofdstuk 4 Lichaamstemperatuur en klimaat in de luchtwegen.

De gevolgde anesthesietechniek en de toepassing van de kunstneus worden beschreven. De zes patiëntengroepen die bij dit onderzoek waren betrokken, worden aangeduid en beschreven.

In het onderzoek is nagegaan of het gesloten ademsysteem in de praktijk ook werkelijk kan helpen de daling van de lichaamstemperatuur van de patiënt tijdens operaties te beperken.

In de literatuur verdedigen voorstanders van het gesloten ademsysteem dat deze techniek een gunstige invloed heeft op de lichaamstemperatuur van de operatiepatiënt. De eigen waarnemingen weken daarvan af.

Dit vormde de aanleiding tot het meten van temperaturen op meerdere plaatsen in het gesloten ademsysteem. De door de patiënt uitgeademde warmte bleek geheel verloren te gaan aan de omgeving.

Het nut van de toepassing van de kunstneus bij het gesloten ademsysteem werd nagegaan.

Onderzoek bij 4 groepen patiënten die een langdurige operatie ondergingen toonde aan dat het niet mogelijk was met het gesloten ademsysteem betere condities voor de bescherming tegen afkoeling van de patiënt te zorgen.

De afkoeling bleek niet minder te zijn dan bij beademen met het half gesloten systeem. Het invoegen van een kunstneus bij het gesloten ademsysteem bleek een

significante verbetering voor de bescherming van de lichaamstemperatuur te bieden.

Conclusie: Ook bij het gesloten ademsysteem is de kunstneus onmisbaar om afkoeling van de patiënt te beperken.

Dat met het verloren gaan van de door de patiënt uitgeademde warmte ook waterdamp verloren gaat, blijkt uit de condensvorming op de binnenwanden van slangen en verbindingstukken van het gesloten circuit.

Bij niet gebruiken van de kunstneus waren de ingeademde gassen even koel als de lucht van de operatiekamer. Bij die temperatuur is de saturatie met water vrijwel 100%. Er werd nagegaan of bij deze relatief lage inademingstemperatuur de activiteit van het trilhaarepitheel in de grote luchtwegen te beoordelen zou zijn.

Bij het half gesloten systeem bleek reeds binnen een uur de transportfunctie van het trilhaarepitheel volledig stil te liggen, bij toepassing van het geheel gesloten systeem was na drie uur beademen nog goede trilhaaractiviteit waarneembaar. Fotografisch werden de verplaatsingen van stolsels vastgelegd.

Conclusie: Het gesloten ademsysteem is in staat een voldoende vochtig klimaat in het ademsysteem te handhaven, waarbij de reinigende werking van het trilhaarepitheel gedurende minstens drie uur behouden blijft.

Tijdens beademen met het halfgesloten systeem bleek de trilhaarfunctie snel verloren te gaan.

Hoofdstuk 5 Pollutie

De bij de anesthesie gebruikte lachgas en anesthesiedampen komen vrijwel onveranderd in het milieu terecht en blijven 100 tot 150 jaar aanwezig. Zowel lachgas als de anesthesiedampen behoren tot de chemische stoffen die de ozonproblematiek veroorzaken. Na bestudering van beschikbare informatie wordt ingegaan op de mogelijke kwantitatieve en kwalitatieve bijdrage die de anesthesioloog zou kunnen leveren aan de vermindering van deze problematiek.

Conclusie: In kwantitatieve zin is de bijdrage van de anesthesioloog voor wat de dampvormige anesthetica (CFK's) betreft verwaarloosbaar klein in vergelijking tot de hoeveelheden die bij industriële activiteiten vrijkomen.

Het aandeel in de vervuiling van het milieu door lachgas lijkt in vergelijking tot de geschatte aanmaak bij natuurlijke processen verontrustend groot te zijn. Lachgas is in belangrijke mate betrokken bij fotochemische reacties in de troposfeer, waarbij ozon ontstaat.

Het gebruik van lachgas in de anesthesie is niet meer te verdedigen wanneer intraveneuze anesthesie mogelijk is.

Hoofdstuk 6 Zuurstoftoxiciteit

In hoofdstuk 3: Veiligheid komt de beademing met zuivere zuurstof ter sprake omdat het weglaten van lachgas bij het gesloten ademsysteem grote praktische voordelen heeft. Uit de literatuur is bekend dat beademen met zuivere zuurstof gedurende meerdere dagen schade in de longen teweeg kan brengen. Postoperatief

onderzoek bij patiënten die 6 tot 12 uur zijn beademd met zuiver zuurstof, heeft geen aantoonbare nadelige gevolgen voor de longfunctie. Evenmin is uit cytologisch onderzoek enig nadelig effect gebleken dat tegen het perioperatief beademen met 100% zuurstof pleit.

Conclusie: Beademing met zuiver zuurstof is ten minste twaalf uur lang veilig.

Hoofdstuk 7 Economische factoren

Aan de hand van rekenmodellen werd bekeken hoe groot besparingen zouden kunnen zijn op anesthesiegassen en-dampen wanneer van het halfgesloten systeem wordt overgegaan op het geheel gesloten ademsysteem.

Conclusie: Door de toediening van de dampvormige anesthetica en gassen exact op de behoefte voor de anesthesie van een patiënt af te stemmen is meer dan 80% op de kosten voor deze middelen te besparen. De benodigde apparatuur is relatief eenvoudig en vereist geen grote investeringen. Bij de overgang van halfgesloten systemen naar volledig gesloten systemen worden de kosten in korte tijd terugverdiend.

Summary and conclusions

Chapter 1 Introduction.

Compared with the routinely used 'semi-closed breathing systems' the 'Closed Circuit System' seemed to offer several advantages.

Investigations were made to evaluate the potential advantages of closed circuit anesthesia in a general hospital in The Netherlands where an anesthesiologist is responsible for more than one anesthesia at the same time.

Special attention was paid to:

1. safety of the anesthesia procedures;
2. protection against cooling of the patient when ventilated during operation;
3. the transport activity of ciliated epithelium of the tracheal mucosa during closed circuit ventilation, compared with the use of a half-closed system with high flow of fresh gases;
4. Environmental pollution by nitrous oxide and anesthetic vapours;
5. Economic factors involved in inhalation anesthesia, especially concerning the use of the closed system.

Chapter 2. History.

This chapter deals with the history of closed breathing systems. The first description, dated 1727, was written by Hales. In the second half of the eighteenth century Fontana and Ingen-Housz were involved with experiments dealing with carbon dioxide absorption and respiration.

The shift from closed systems to high flow systems is described. The impossibility to analyse gas mixtures led to the use of high fresh gas flows with more or less reliable concentrations. The different breathing systems are briefly described. With the technology available today the closed breathing system deserves reevaluation.

Chapter 3: Safety.

The analogy in both aviation and anesthesia safety philosophy receives extensive attention.

The efforts and routines normally applied in aviation are far less common in anesthesia. In commercial airplanes several monitoring systems are used to check each other. In anesthesia there is only one of each. It is possible that false positive or negative information is given. When a monitor fails there is rarely a back-up available immediately.

The literature shows that over 40% of anesthesia accidents happen between induction and termination of an anesthetic procedure. Especially in this period the closed system with standing bellows enables early detection of minor problems, a long time before they have the chance to become of importance, this without the use of electronics and - as said - with a great margin of safety for the patient. Observations made in our hospital confirmed and stressed these features.

Conclusion: The closed circuit system offers the possibility to install the ventilator with the standing bellows in an ergonomic way to ensure early recognition of rising problems without electronics. Oxygen uptake by the patient and changes thereof are easily detectable within a few minutes. The anesthesiologist is challenged to pay attention to minor details to the benefit of patient safety.

When oxygen alone is used, the system is filled with a large volume of oxygen compared to the needs of oxygen of the patient, offering a great margin of safety.

Chapter 4: Body temperature and climate in the trachea.

4.1: Clinical investigations.

Anesthesia technique was described as well as the use of an artificial nose, a heat and moisture exchanger.

Six patient groups were chosen.

Group I: n=47, was ventilated with a closed system. After 2 hours and 15 minutes 16 patients had an artificial nose installed.

Group II: n=49, was ventilated as in group I, but with the artificial nose from the beginning of the procedure.

Groups I and II underwent long lasting laparomies.

Group III; n=7, and group IV: n=6, were operated for repair of femur shaft or femur column fractures, with relative minor wound exposure, so that there was less cooling via the wound than in the former groups.

From the beginning of the procedure group III had an artificial nose installed; group IV only after 90 minutes.

In order to observe the effects on the ciliar transport mechanism in the trachea, during ventilation with high gas flows, 4 l/min, or while using a closed system, blood clots were placed in the trachea. By bronchoscopy the transportation of the clots under given circumstances was observed.

Group A: n=13, was ventilated with a closed system.

Group B: n=13, was ventilated with 4 l/min of fresh gas.

Photos were made.

4.2: Body temperature.

In this chapter it is investigated if ventilation with a closed system could really preserve patient body temperature. Our previous experience did not coincide with reports in the literature. Therefore, measurements of temperatures in several places in the closed circuit system were made to find out where the expired warmth of the patient was lost. The usefulness of the artificial nose was checked.

Conclusion: It was found that the closed circle system as such was not able to preserve patient's body warmth at all. A significant improvement was shown after introduction of the artificial nose.

4.3: Climate in the trachea.

Transport activity of ciliated tracheal epithelium.

With expiration of warm gases humidity is also lost, shown by condensation of water in the expiration tubing.

On inhalation the inspired gas mixtures proved to be almost as cool as room temperature. Is the humidity in the inspired gases in closed circuit anesthesia enough to keep transport capacity in the ciliated epithelium in the trachea intact? Is there a difference with the half open system ventilation system with 4 l/min of fresh gas?

Within an hour of ventilation with the dry 4 l/min there was no transport activity left. After three hours of ventilation with the closed circuit blood clots were still rapidly transported towards the endotracheal tube cuff.

Conclusion: With the closed circuit system it proved feasible to supply a climate in the trachea to keep the transport activity of the epithelium for at least 3 hours.

The dry gases in the semi-closed system stopped the transport within one hour.

Chapter 6: Pollution.

Anesthetic vapours and nitrous oxide are discarded practically unchanged into the environment. These molecules are estimated to stay in the atmosphere for 100 - 250 years as such. They are all actively involved in the increase of ozone in the troposphere and the breakdown of ozone in the stratosphere. Photochemical processes are involved.

The role of the anesthesiologist in the pollution of the environment is studied by consulting recent reports.

Conclusion: In a quantitative sense the use of halothane, enflurane and isoflurane in anesthesiology is of neglectable proportion compared with the enormous use of CFC's in industry.

The pollution with nitrous oxide on the other hand is, compared with the estimated natural output by biological processes, considerable.

The use of nitrous oxide in modern anesthesia is obsolete, except when intravenous anesthesia might be undesirable.

Chapter 7: Oxygen toxicity.

In chapter 3, on safety, ventilation with pure oxygen is discussed with the objective to discard the use of nitrous oxide for safety and practical reasons.

Literature shows that ventilation over several days has toxic effects on pulmonary tissues. The reported effects found after up to 12 hours of peri-operative ventilation with pure oxygen were analysed.

Conclusion: It is safe to ventilate patients with pure oxygen for up to 12 hours.

Chapter 8: Economic factors.

Calculation models were made comparing costs spent using closed or half-closed anesthesia systems regarding prices of gases and vapours in The Netherlands.

Conclusion: Using the closed system it is possible to adjust doses exactly to the needs of the patient, resulting in cost reductions of more than 80% for gases and anesthetic vapours.

The machinery needed is simple, consequently no great investments are needed. Costs made to convert the anesthesia machinery from half-closed to closed system are repaid by the consequences of those conversions.

Curriculum vitae

- 1937: geboren te Zeist op 17 mei.
- 1956: eindexamen H.B.S.-B.
- 1966: artsexamen Stichting Klinisch Hoger Onderwijs te Rotterdam.
- 1966-1968 Dienstplichtig officier Koninklijke Luchtmacht.
- 1968-1971 Opleiding tot anesthesist onder leiding van Prof. Dr. D.H.G. Keuskamp.
- 1971 Inschrijving in het Specialisten Register als Anesthesist.
- 1972 Vestiging in Rotterdam als "vrij specialist".
- 1975 Sinds oktober werkzaam in het Ikazia Ziekenhuis.
- 1984 Na voorafgaand overleg met Professor Keuskamp en Professor Erdmann definitief besloten tot het onderzoek.

Verantwoording.

Vernieuwing van de anesthesieapparatuur in 1978 bleek tot een belangrijk minder verbruik van gassen en dampen te leiden. De mogelijkheden die toen ontstonden om met minder verbruik van middelen de anesthesie techniek te verbeteren heb ik besproken met mijn opleider, Prof. Dr. D.H.G. Keuskamp.

In onbruik geraakte technieken kwamen ter sprake en werden vergeleken met de gangbare procedures. Een klinisch onderzoek kwam pas enige jaren later aan de orde. De aanleiding daartoe gaf de toevallige ontdekking van een aankondiging voor een bijeenkomst in Birmingham (Ala. USA) met als thema "Closed Circle Anesthesia". De deelname daaraan in 1981, en de bespekingen die daarop volgden waren leerzaam. Opvallend was dat een aantal van de genoemde voordelen in de eigen praktijk niet te behalen waren. Hier lag een uitdaging.

Na lang aarzelen werd de uitdaging aanvaard met dit proefschrift als resultaat.

Ook bij dit proefschrift is de hulp van velen nodig en beschikbaar gebleken.

It is a pleasure to express my gratefulness for their hospitality and inspiration rendered to me on several occasions, to:

Dr "Larry", Garlington and his wife Joan; San Francisco.

Dr Harry J. Lowe and spouse; Duarte L.A.

Dr Peter Horsey, Southampton

Dr P. Thompson, who kindly supplied me with historical pictures

Dr C.Y.Lin and family, Chicago.

Graag uit ik hier mijn waardering voor de medewerking die ik mocht krijgen van onze anesthesieverpleegkundigen. Zij bleken door hun kennis en goede wil steeds volledig inzetbaar te zijn. Wanneer ik andere technieken wilde toepassen dan zij hadden geleerd, gaf dat nooit problemen. Verzoeken en opdrachten die in strijd waren, soms, met wat op cursussen werd verteld, werden na mijn uitleg probleemloos uitgevoerd. Dat ik hen vaak heb "bespied" in verband met een onderdeel van dit onderzoek mogen zij nu wel weten.

Prof. Keuskamp, Dick, hartelijk dank voor je hulp, een dankbaarheid die ook nog geldt voor de wijze waarop je ons tijdens de opleiding vrij liet binnen de marges zelf te ontdekken waar deze lagen. Door de omstandigheden gegeven kregen wij een internationale opleiding waardoor wij zeer vele facetten van het specialisme leerden kennen en beoordelen en later pas goed wisten te waarderen.

Prof. Erdmann, Wilhelm, dank voor de enthousiaste wijze waarop je je aansloot bij datgene wat Dick en ik reeds begonnen waren. Dank ook voor de aanzet die jij uiteindelijk gaf om aan het proefschrift te beginnen.

Prof. Hilvering, wat het voor U zou inhouden te worden uitgenodigd als Secretaris van de Promotiecommissie besef ik pas achteraf. De kritische wijze waarop U het manuscript hebt bestudeerd en becommentarieerd dwingt mijn bewondering af en ik ben U er dankbaar voor.

Dr. Kuyken, Joost, hartelijk dank voor de door Peter gevraagde inspanningen die je hebt geleverd om van een kladje een manuscript te helpen maken. Jouw kritische opmerkingen over stijl en organisatie waren voor mij erg waardevol.

Prof. Rolly, dat U zich voor het gesloten ademsysteem interesseerde was ons bekend. Ik ben U dan ook dankbaar dat U Uw bijdrage zo plezierig hebt willen geven.

Prof. Bruining, Kieje, dank voor je spontane bereidheid tot de Promotie-commissie toe te treden, voor je vlotte medewerking en voor je belangstelling voor het manuscript.

Geert Jan van Dalen, bedankt voor je significant plezierige medewerking bij de bewerking van vele getallen.

Ingenieur J.B. Buijs, Jan, broeder, aan jou ook ben ik veel dank verschuldigd voor de vrije tijd die je voor mij hebt opgeofferd. De ervaringen met jouw Apple en laserprinter waren voor mij een openbaring. Maar ook al jouw suggesties bij het opstellen van het kladje - jouw bouwkundig inzicht - waren nuttige bouwstenen voor dit werk.

Rita, Bernard, Willem en Maresa, veel en langdurig heb ik mij in het gesloten systeem teruggetrokken.

Wanneer dit allemaal is afgerond ben ik weer meer beschikbaar. In een gesloten systeem voel ik mij maar matig thuis.

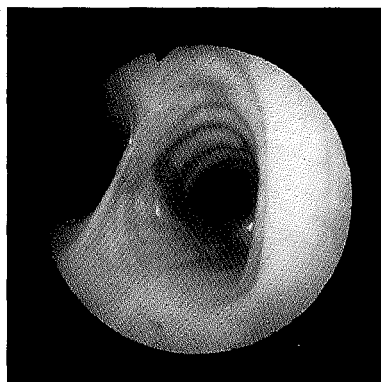
Met deze bronchoscoop werd het stolsel op de wand van linker of rechter hoofdbronchus geplaatst, juist voorbij de carina.

Stolsels werden op 4 tijdstippen geplaatst namelijk: 1. kort na aanvang van de beademing 2. na een uur, 3. na twee uur en 4. waar zinvol na drie uur
In het laatste geval wanneer na 2 uur beademen nog trilhaaractiviteit bleek te bestaan.

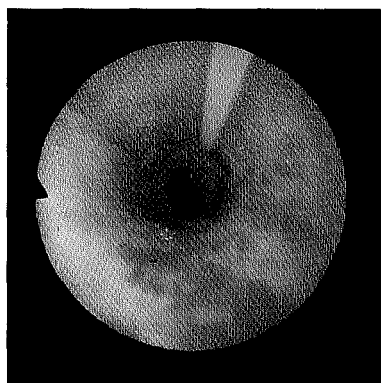
Met behulp van de bronchoscoop-cathetertip en het terugtrekken daarvan, werd de snelheid van de verplaatsing beoordeeld

Fotografisch werd vastgelegd of de stolsels werden verplaatst en in welke mate.

Bevindingen bij groep A, half gesloten systeem, beademd met 4 liter per minuut verse gasstroom:

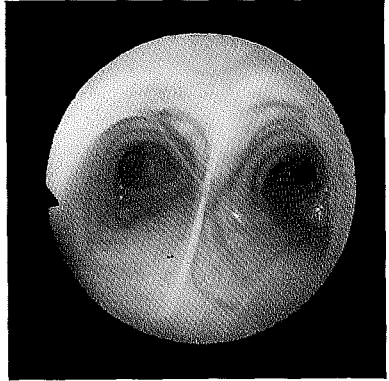


10 minuten na het begin van machinale beademing werd het bloed gedeponerd
afb. 1 A.



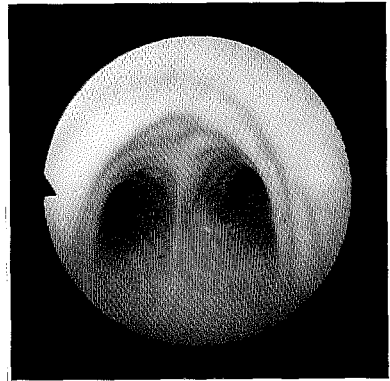
20 minuten hierna is het stolsel in alle gevallen terug gevonden tussen cuff en trachea; Afb. 2 A.





Afb. 3 A

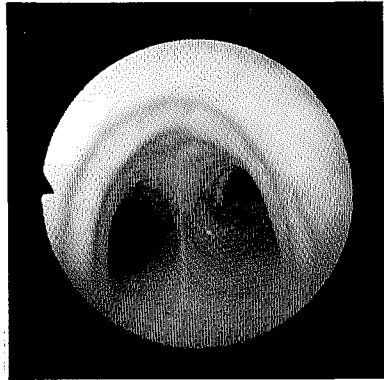
Overzicht carina en ingang beide hoofdbronchieen, een uur na aanvang beademen. De slijmdraad in linker hoofdbronchus bleef ook op volgende foto's op dezelfde plaats zichtbaar.



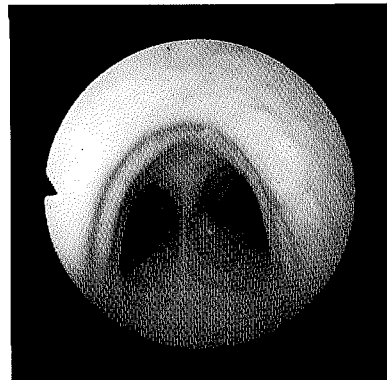
Afb. 4 A: Stolsel geplaatst in rechter hoofdbronchus

In enkele gevallen werd taai wit materiaal in de bronchus waargenomen, dat zich bij controle na twee uur, op dezelfde plaats bevond.

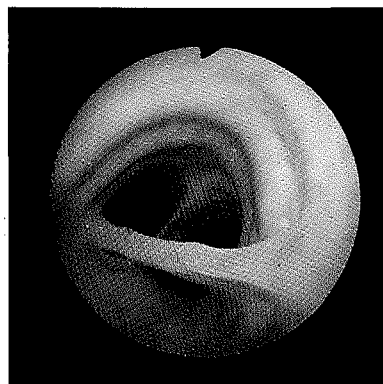




Afb. 5A: 75 minuten na aanvang beademing: geen verplaatsing van het stolsel

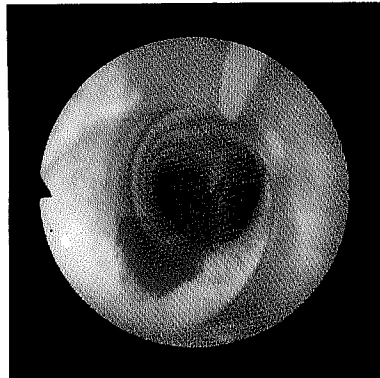
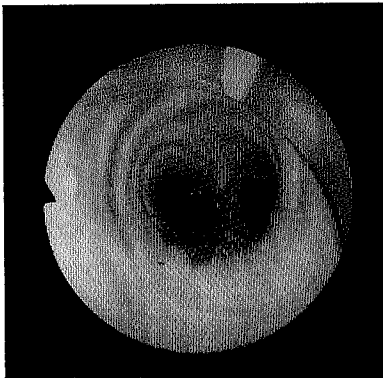
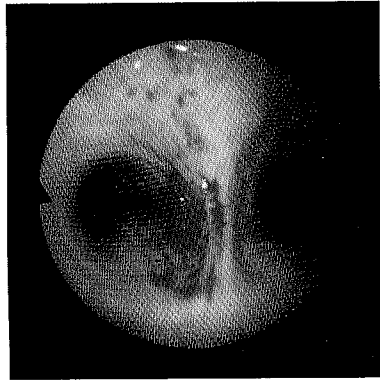


Afb. 6A: situatie 15 minuten na vorige opname: geen activiteit trilhaarepitheel merkbaar



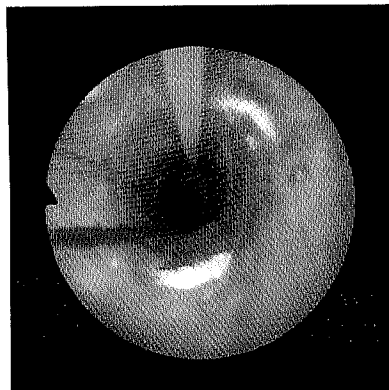
Bevindingen bij groep B, die met gesloten systeem werd beademd:

Afb. 1B: stoltsel geplaatst kort na het begin van de beademing, in de linker hoofdbronchus, direct voorbij de carina



Afb. 2B: 15 minuten na plaatsing van het stoltsel was de verplaatsing over het slijmvlies oppervlak van de trachea duidelijk waarneembaar.

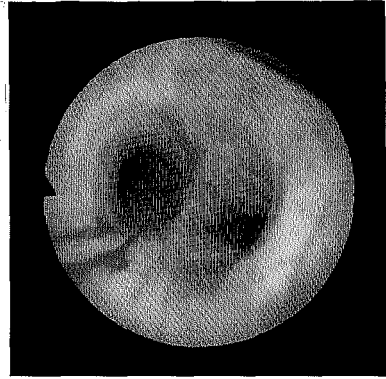
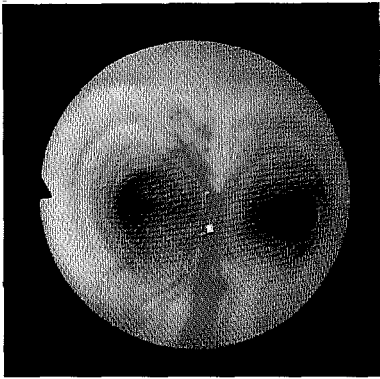
Afb. 3B: opname 10 minuten later genomen. Duidelijke verplaatsing van het bloederige materiaal.



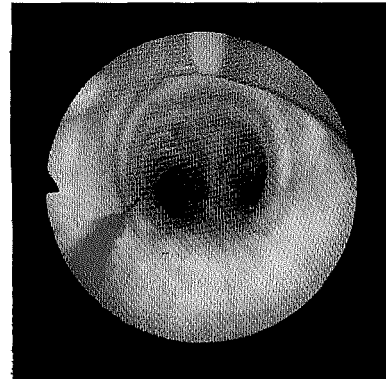
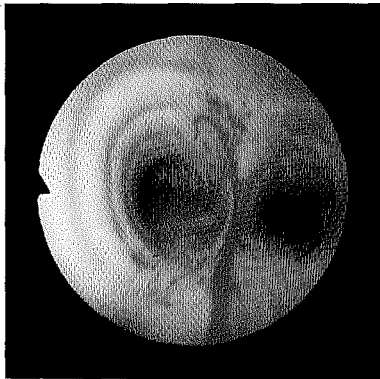
Afb. 4B: Beeld 5 minuten na afb. 3: bloed werd aangetroffen tussen trachea en cuff van de tube in een plooi van de cuff.

Afb. serie C

Bij zeven patienten was er gelegenheid ook nog na drie uur een stolseltje te deponeren.



Afb. 1C: Opname gemaakt 10 minuten nadat bloed is geplaatst op de carina.



Trilhaartransport bleef ook nu aanwezig, zodat al snel het bloed zich ophoopte tussen cuff en tracheawand
Foto's 2C t.e.m. 6C.

