

特集1：最新医療における放射線の役割

医療被曝の現状

西谷 弘

徳島大学大学院ヘルスバイオサイエンス研究部生体防御腫瘍医学講座病態放射線医学分野

(平成18年10月30日受付)

(平成18年11月17日受理)

はじめに

医療被曝は、患者が自分の診療のために受ける放射線の被曝（放射線を曝露されるので被曝と書く。被曝は原爆などの爆発被害時に使う）である。放射線診療業務に従事する職員が受ける被曝（職業被曝）や一般の市民が受ける被曝（公衆被曝）には線量限度があるが、医療被曝には線量限度が設定されていない。なぜ医療被曝には線量限度がないのかというと、(1)放射線被曝をした人にははっきりとした利益がある、(2)医師は、放射線防護・管理について十分な知識を持っている、(3)医師は、被曝線量を少なくすることに絶えず努力しているという概念に基づいている¹⁾。

最近血管造影装置などの診断用X線装置を用いて治療を行う手技が発達し広く利用されている。手技の困難さにより、あるいは治療手技に夢中になるあまり、つい長時間のX線透視となる場合がある。長時間X線透視により患者の皮膚に潰瘍などの放射線皮膚障害発生の報告が相次いでいる。

本稿では医療被曝の現状について臨床現場の経験を元に報告する。

1. 長時間X線透視検査による放射線皮膚障害

心臓カテーテル検査などの長時間透視を伴うX線検査手技で患者の皮膚に潰瘍などの放射線障害が発生することが1994年9月30日に米国食品医薬品局（Food and Drug Administration, FDA）から「Avoidance of Serious X-Ray-Induced Skin Injuries to Patients During Fluoroscopically-Guided Procedures」として発表された²⁾。FDAのShopeによれば、1992年から長時間X線透視による放射線皮

膚障害例がFDAに報告されるようになった（表1³⁾）。その中で、40歳男性に心臓カテーテル検査を行い皮膚に潰瘍を生じた例の報告がある。推定被曝線量は20Gy以上と考えられている（図1⁴⁾）。

これを受けて日本医学放射線学会放射線防護委員会は、

表1 米国FDA放射線皮膚障害報告例（1992年1月～1995年10月, FDA受付例）

手技	症例数
高周波カテーテルアブレーション（心筋焼灼術）	12
化学療法のためのカテーテル留置	1
経頸静脈的肝内門脈肝静脈シャント形成術（TIPS）	3
経皮的冠動脈形成術（PTCA）	4
腎動脈形成術	2
多種類肝胆道系手技（血管形成術, スtent留置など）	3
経皮胆管造影と多部位経動脈的塞栓療法（TAE）	1

*Shope TB: Radiation-induced skin injuries from fluoroscopy. Radiographics. 1996 Sep; 16(5): 1195-9.

心カテによる皮膚放射線障害事例



Wagner LK, Eifel FJ, Geise RA. Potential Biological Effects Following High X-ray Dose Interventional Procedures. JVIR 1994; 5:71-84.

図1 1994年にFDAから報告された心臓カテーテル検査による放射線皮膚障害例

わが国においても潰瘍形成に至った例、およびかなりの数に脱毛例があることを指摘し、実態をできるだけ多くの医療関係者が認識することが重要であり、さらに可能な限り被曝線量の低減策をとる必要があると判断し、1995年に「IVRに伴う患者および術者の被曝に関する警告」を出している⁵⁾。

しかし、この警告にもかかわらず日本では、1998年になって皮膚科の雑誌に長時間の透視による放射線皮膚障害について症例報告がでるまではほとんど関心がもたれなかった。その後皮膚科関係の雑誌を中心に数多くの症例報告がみられるようになってきている(図2) ¹⁰⁾。これらの症例には次のような特徴が認められる。

- (1)男性高年齢者に多い。
- (2)検査部位は心臓がほとんどである。最近では肝臓も報告されている。
- (3)皮膚障害部位は、右側背部あるいは腋窩主体に認められる。稀な部位として右上腕も報告されている¹¹⁾。
- (4)初診診断名では、固定薬疹、褥瘡、テープかぶれなどが多い。
- (5)皮膚病変が発現した後も放射線皮膚障害の診断がつかないまま透視が繰り返されている症例が多くみられる。
- (6)検査から皮膚病変発現までには1～2ヵ月の潜伏期を持つものが多い。
- (7)被曝線量の記載がないものも多く、実測被曝線量と皮膚障害の程度との間に相関がとれていない印象を受けるものもある。
- (8)皮膚潰瘍例は約半数に認められ、多くの潰瘍は難治性であった。

上記症例における潰瘍は良性であったが、2004年、73

歳男性の潰瘍部に悪性腫瘍が発生した例が報告された¹²⁾。この症例は14年間にわたり心臓カテーテル治療を受け、計13回のPTCA歴、計12回のCAG施行歴がある。初回のPTCAより11年後に右肩甲骨部に放射線皮膚潰瘍を形成し、その6年後に同部位より悪性線維性組織球腫が発生した。表2は各種放射線皮膚障害の閾値と発症時期の関係である。

表2 各種放射線皮膚障害の閾値と発症時期

放射線障害	閾値 (Gy)	発症時期
[皮膚]		
早期一過性紅斑	2	2 24時間後
皮膚紅斑反応	6	約1 5週後
一時的脱毛	3	約3 週後
永久脱毛	7	約3 週後
乾性皮膚上皮剥離	14	約4 週後
湿性皮膚上皮剥離	18	約4 週後
二次性潰瘍形成	24	6 週以降
遅発性紅斑	15	8 10週後
虚血性皮膚壊死	18	10週以降
皮膚萎縮(初期)	10	52週以降
毛細血管拡張	10	52週以降
皮膚壊死(遅延性)	> 12	52週以降
皮膚癌	?	15年以降
[眼]		
白内障	> 5	5 年以降

これらを受けて2000年にはICRP (International Commission on Radiological Protection 国際放射線防護委員会) からPublication 85 Avoidance of Radiation Injuries from Medical Interventional Proceduresが発表された(図3)。日本語訳は日本アイソトプ協会から発刊されている。



図2 1998年から本邦皮膚科関連雑誌に報告された心臓カテーテル検査による放射線皮膚障害例(参考文献6 10より抜粋)

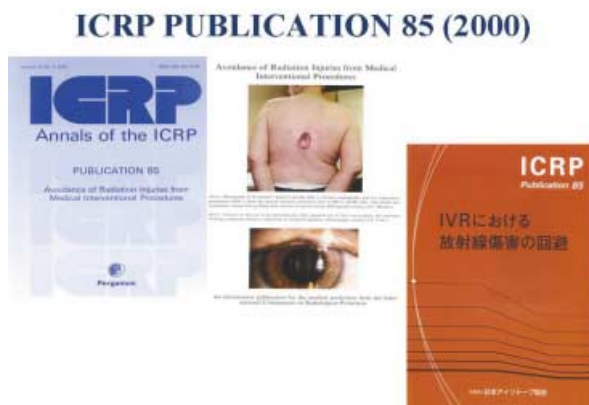


図3 ICRP Publication 85 (2000) Avoidance of Radiation Injuries from Medical Interventional Procedures

下記のようなことを守ることが大切である。

- (1)放射線障害リスクについて事前に患者によく説明する。
- (2)検査のプロトコルを定め、線量の推定が可能ないようにする。
- (3)最大累積皮膚線量が3 Gy以上（繰り返す可能性がある場合は1 Gy以上）と推測される場合は、記録を残す。これら以上の被曝があると推測される場合には、10日～14日後に経過を観察する。
- (4)患者の主治医に放射線障害の可能性を知らせる。
- (5)明らかに放射線障害を惹起する線量の場合には患者に説明する。
- (6)繰り返し検査を受ける患者を把握するシステムを構築する。

これらのためには患者被曝皮膚線量の測定が重要になる。

2. 血管撮影領域における患者被曝皮膚線量の測定法

患者被曝皮膚線量の正確な測定が重要であるが、至適方法は未だ定まっていない。IVR手技のように照射部位が多彩で、管球-皮膚間距離が不定な手技では推計による方法の誤差は大きい。また積算皮膚線量計 Skin Dose Monitor (SDM) を使用して直接測定する方法もあるが、IVR手技では、照射範囲が定まっていないため正確な測定は困難である。患者の皮膚照射部位を確定するため、放射線治療位置合わせ用低感度X線フィルムを使用する方法が報告されているが、IVR手技の被曝線量を測定するには感度が高く0.7Gy以上の線量測定ができないので、放射線皮膚障害が起こる数Gy程度以上の線量測定には向いていない。

われわれは0.5Gy～10Gy以上の範囲の線量に反応する反射型フィルムについて皮膚入射表面線量測定への応用の可能性を検討した(図4)^{3,14)}。このフィルムはX線照射後直ちに発色し現像処理の必要がなく、かつ明室での取り扱いも可能なため、簡便に線量測定に使用できるものと思われ、有用性が高いと思われた。エネルギー依存性も少なく、方向依存性もフィルム真横方向以外ではほとんど認められなかった(図5)。

この反射型フィルムはX線管球と患者の間に敷いて使用する。この反射型フィルムを用いて頭部動静脈瘤(AVM)の血管内手術での測定例を図6に示す。最大の照射領域では2.55Gyほどにもなることがわかる。面積線量計、SDM、低感度X線フィルムなどとの比較実

験を行った。その方法を図7に示す。その結果、面積線量計、SDMは不安定であるのに対して、フィルム法はいずれも安定した結果が得られた。その中でも自動現像機を使用する必要がなく、10Gyくらいまでの線量の測定が可能なこの反射型フィルムの優位性が明らかとなった。

X線照射による反射型フィルムの濃度変化

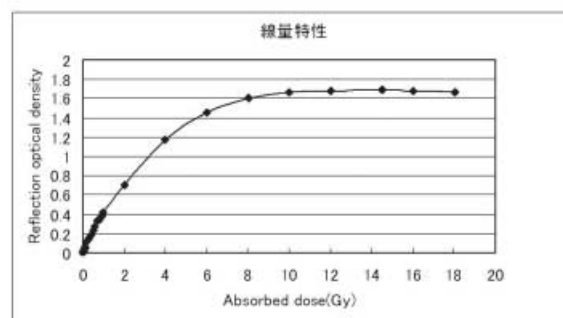


図4 X線照射による反射型フィルムの入射線量に対する濃度変化。10Gyくらいまでは問題なく測定できる。

GAFCHROMIC XR Type R

反射型、不透明
診断域X線により発色
反応瞬時
現像処理不要
可視光線に反応せず



図5 反射型フィルムの特徴

頭部AVM症例測定例

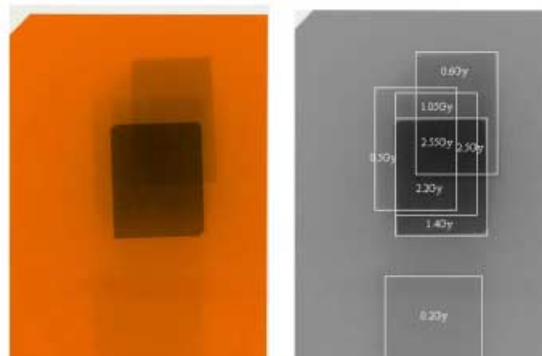


図6 反射型フィルムを用いた皮膚線量の測定例

患者線量測定比較法

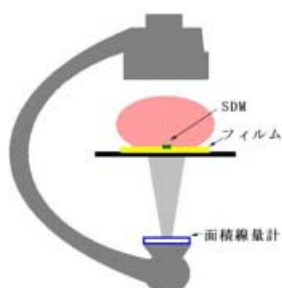


図7 面積線量計，SDM，各種フィルムの患者皮膚被曝線量比較測定の方法

た(図8)。唯一の問題は、価格がX線フィルムに比較して高価な点である。

患者線量測定比較結果

症例	部位	透視時間 (分)	照射線量 (mGy)	SDM線量 (mGy)	発色反射型 (mGy)	自現透過型 (mGy)	デュープ用 (mGy)
1	H	30	677	418	1,260	1,510	1,223
2	H	14		167	408	672	565
3	H	22	340		505	672	686
4	H	20		130	361	525	538
5	H	45			946	1,180	1,137
6	H	45	642	1,250	1,228	1,595	1,223
7	C	24	676	53	661	672	770
8	C	14	352	38	581	672	812
9	C	30	452	4	505	672	784
10	C	40	581	200	634	672	812
11	C	26	746	5	1,748	1,566	
12	C	6	292	57	148	0	185
13	C	31	507	29	408	525	438
14	C	23		31	1,099	1,250	1,137
15	C	32	613	18	168	0	120
16	C	20		23	480		
17	C	33	343	230	361	0	455

図8 面積線量計，SDM，各種フィルムの患者皮膚被曝線量比較測定結果

2) CT 検査における医療被曝

日本では診断用 X 線によってがんが3.2% (年間7587件) 増える可能性があるという論文¹⁵がメディアでも報道されて注目を集めた。この論文に対して日本医学放射線学会では、次のようなコメントを発表している¹⁶。この論文では、X 線診断は大きな利益をもたらすこと、診断による被曝量は通常少なく、個別のがんのリスクはきわめて小さいことが最初に記されているが、診断用 X 線の被曝によって、9種のがん(食道、胃、結腸、肝臓、肺、甲状腺、乳房、膀胱、白血病)など放射線で誘発され得るすべてのがんが75歳までの期間に発生する確率を、

英国と先進14か国について推定している。この論文の根拠は、公表されている X 線診断の頻度、線量データ等を用い、英国の年齢別データ等に当てはめて計算した集団実効線量から、発がんのリスクを、放射線防護体系において採用されている直線しきい値なし仮説に基づいて推定したものである。しかしながら、X 線診断のように、10~50mSv 以下の低線量被曝による発がんの可能性、および発がん率の推定法には、いまだ定説がない。すなわち、あくまでも仮説に基づく推定であり、実際の放射線発がんのデータに基づいた論文ではないし、X 線診断や CT などの低線量被曝により発がんが実際に増加したという実データはない。この論文が指摘した重要な点は、日本の X 線検査数が世界でも飛び抜けて多いこと、日本の CT 台数は、人口あたりの比較で他の14か国の平均の3.7倍も多いことである。CT 装置の普及率が高いこと、および健康保険制度による医療機関受診の容易さが検査数の増加をもたらしているのは事実であり、それだけに利益を受ける人々の数も多いと考えられるが、やはり証拠はないとしても安全のため不必要な検査の増加は避けなければならない。個々の X 線検査のリスクはきわめて小さいが、検査を依頼する医師を含め、放射線診断に関わるすべての医師および医療従事者は、放射線が発がんのリスクを増やす可能性があることを正しく認識し、撮影の条件、範囲、回数などに留意し、可能な限り線量低減に努力すること、そして X 線検査を受ける個人に、より大きな利益がもたらされるよう、適切な診療を行うことが必要である。これは特に小児や若年者の検査において重要である。

日本医学放射線学会、日本放射線技術学会、小児放射線学会では、2005年2月21日付けで小児 CT ガイドライン - 被曝低減のために - を発表している¹⁷。それを要約すれば、(1)小児は放射線に対する感受性が成人の数倍高い、(2)小児は体格が小さいため、成人と同様の撮影条件では、臓器あたりの被曝量は2倍から5倍になる、(3)CT 検査に当たっては、適応を厳密に検討し、小児のための撮影プロトコルを適用する。また、CT 装置の品質管理に努める、(4)医師は検査の必要性を患児、家族に十分説明する、になる。

しかし、一方、過剰な心配は重大な問題を引き起こすので注意しなければならない。特に最近日本医学放射線学会への質問で多いのは、妊娠に気が付かず X 線検査や CT 検査を受けた女性から、胎児への影響を心配した、妊娠継続の可否に関しての問い合わせである。胎児の奇

形に関してはしきい値があり, 100mSv 以上でなければ奇形は起こらないことが知られている。いくら骨盤部を含むとしても, 一度くらいの X 線検査や CT で胎児に奇形が起こることはないというのが現在では世界中のコンセンサスであり, 妊娠の継続は問題ないので, 無用な心配を母親に与える言動は慎まなければならない。

CT 検査における医療被曝の問題は, 利益とリスクのバランスをとりながら検討を継続すべき大きな課題である。

おわりに

放射線診断機器を利用した IVR や心疾患治療などの発達により長時間の被曝を患者が受けるようになった。思いもかけない大線量医療被曝が起こりうる。放射線皮膚潰瘍ができて命を救う必要がある場合もあるが, できるだけ技術を磨き線量の軽減をはかるとともに, 正確な線量を把握し, 十分に患者の理解を得ることが重要である。

謝 辞

反射型フィルムの研究は, 徳島大学病院放射線部天野雅史, 国金大和技師他の技師諸君, 徳島大学医学部保健学科八木浩史助教授, 徳島大学アイソトープ総合センター三好弘一助教授などとの研究によるものである。

文 献

- 1) 吉澤康雄: 実地医家に必要な放射線防護の知識 日経メディカル開発発行, 1992
- 2) <http://www.fda.gov/cdrh/radinj.html>
- 3) Shope, T. B.: Radiation-induced skin injuries from fluoroscopy. *Radiographics*, 16(5): 1195-9, 1996
- 4) Wagner, LK., Eifel, PJ., Geise, RA.: Potential Biological Effects Following High X-ray Dose Interventional Procedures. *JVIR*, 5: 71-84, 1994
- 5) 日本医学放射線学会放射線防護委員会: IVR に伴う患者および術者の被曝に関する警告. 日本医学放射線学会雑誌 55(5): 367-368, 1995
- 6) 神谷秀喜, 雄山瑞栄, 北島康雄: 経皮的冠血管拡張術 (PTCA) 施行後に生じた放射線潰瘍の 1 例. 皮膚臨床 40: 1927-1930, 1998
- 7) 稲岡峰幸, 早川和人, 塩原哲夫, 吉野秀朗, 石川恭三: 経皮的冠動脈形成術後に生じた放射線皮膚炎の 3 例. 皮膚臨床 41: 1561-1564, 1999
- 8) 松本千穂, 政田佳子, 大和谷淑子: PTCA の長時間透視シネ撮影で生じた放射線皮膚障害. 皮膚病診療 22: 361-364, 2000
- 9) 速水 誠: PTCA に伴う放射線皮膚炎の 4 例. 皮膚臨床 42: 745-748, 2000
- 10) 宋 寅傑, 石川牧子, 飯島正文: 心臓カテーテルおよび肝動脈塞栓術の施行後に生じた放射線皮膚炎. 臨皮 54: 7-10, 2000
- 11) 久米麻里子, 出月健夫, 藤田悦子, 五十嵐敦之: カテーテルアブレーション後に右上腕に生じた放射線潰瘍. 皮膚臨床 45(8): 895-898, 2003
- 12) 古屋敷美野子, 服部ゆかり, 武内英二, 玉井秀雄: 心臓カテーテル治療後の放射線皮膚炎より発生した悪性線維性組織球腫の 1 例. 皮膚臨床 46: 2063-2065, 2004
- 13) 天野雅史, 西谷 弘, 河野信吾, 安友基勝 他: X 線により発色する反射型フィルム素材を用いた IVR 手技時の患者皮膚線量測定. 日本放射線技術学会雑誌 58: 420-423, 2002
- 14) 天野雅史, 西谷 弘, 河野信吾, 安友基勝 他: 反射型線量測定用フィルムを用いた IVR 手技時の患者皮膚線量. 日本放射線技術学会雑誌, 59: 121-129, 2003
- 15) Amy, Berrington de Gonzalez., Sarah, Darby.: Risk of cancer from diagnostic X-rays; estimates for the UK and 14 other countries. *Lancet*, 363: 345-351, 2004
- 16) <http://www.radiology.jp/modules/news/article.php?storyid=106>
- 17) <http://www.radiology.jp/modules/news/article.php?storyid=118>

Current topics on radiation exposure to patients (medical exposure)

Hiromu Nishitani

Department of Radiology, Institute of Health Biosciences, The University of Tokushima Graduate School, Tokushima, Japan

SUMMARY

Interventional radiology (fluoroscopically-guided) techniques are being used by an increasing number of clinicians not adequately trained in radiation safety or radiobiology. In 1994, Food and Drug Administration of the United States first gave warning to the risk of serious X-ray-induced skin injuries including intractable ulcers among patients who received fluoroscopically-guided procedures. The Japan Radiological Society reacted promptly, and gave a warning in 1995, and the first report on radiation skin injury during prolonged fluoroscopy in Japan appeared in 1998 on a dermatological journal. Since then many cases have been reported on dermatological journals. Radiation skin injuries occurred mainly during cardiac studies, but cases of abdominal studies also have been reported. Recently there was a case report of skin malignancy in a long standing radiation induced ulcer. The international commission on radiation protection published "Publication 85 Avoidance of Radiation Injuries from Medical Interventional Procedures" in 2000. This document can be summarized in the following three major points: 1) The risk of radiation injury should be explained to the patient prior to IVR (informed consent. 2) Protocols should be prepared to define the number of images to be taken and the fluoroscopy time for each procedure of IVR so that standard radiation doses can be calculated. 3) If the cumulative absorbed dose to the patient's skin exceeds 3 Gy (1 Gy for procedures likely to be repeated) the site and dose of radiation given should be recorded in the patient's record. If the dose is more than 3 Gy, the patient should be followed up 10 to 14 days after the procedure.

It is very important to measure the cumulative absorbed dose of the skin, but very difficult. We developed a very reliable system for the measurement using a self-developing reflecting-type sheet film and reported their usefulness.

CT examinations also have been increasing dramatically in Japan. There was a report of estimation of possible risk of cancer after CT examination based on a hypothesis. Although there has been no evidence of real risk of low dose radiation exposure such as CT reported, we should try to use CT appropriately. Especially we must try to reduce CT dose to children or young adults, because they are more sensitive to radiation and live longer than adults.

Key words : radiation risk, medical radiation exposure, X-ray-induced skin injury, IVR, CT