

IVR における被検者の被曝線量測定と被曝低減対策

松山赤十字病院 水谷 宏

(愛媛アンギオ研究会)

1. 緒言

IVR (Interventional Radiology) は、他の診療手技と比べ比較的低侵襲で高い治療効果が得られ、大きな成果を上げていることは周知の通りである。しかし、その一方で透視時間が長くなることや撮影回数が増えることにより、被験者の皮膚に確定的な影響を及ぼす線量を与える事もある。現に皮膚科学会等において、IVR による放射線皮膚傷害例が数多く報告されている^{1) ~9)}。IVR が被験者に多大な利益を与えるものであっても、真にやむをえない事例を除き確定的な影響の発現は容認されるものではない。IVR を安全でより有効性の高いものにするためには、確定的影響の発現を防止し、確率的影響の発現リスクを容認できる水準にする必要がある^{10) ~13)}。そのためには、被験者の皮膚線量等の測定が必須である。

本講座では、実用的であり、かつ多くの施設で臨床時に実施可能な測定方法について述べる。なお、本講座は日本放射線技術学会学術委員会「IVRにおける被験者被曝線量の測定と防護に関する研究」班(班長：松山赤十字病院 中央放射線室 水谷 宏、班員：九州大学医学部附属病院 放射線部 梅津芳幸、山形大学医学部附属病院 放射線部 江口陽一、自治医科大学 RIセンター 菊地 透、山梨医科大学医学部附属病院 放射線部 坂本 肇、大阪大学医学部附属病院 放射線部 山口和也)の班活動の成果を元にしたものである。

被曝線量のレベル区分	
インフォームド・コンセントの重要性	
レベル0 : 1Gy以下	「特別な説明は不用」
レベル1 : 1Gy以上で2Gyを越えず	「脱毛あるいは色素沈着が起こるかもしれない」
レベル2 : 2Gy以上で5Gyを越えず	「脱毛、発赤、色素沈着が起こるかもしれない」
レベル3 : 5Gy以上	「脱毛、発赤、色素沈着、びらん、 潰瘍形成(10Gy以上)」

ICRPのドラフトに対する医療放射線防護連絡協議会からのコメント

会長 古賀 佑彦

Table1 被曝線量のレベル区分

2. IVR における被験者被曝線量の問題点

確定的影響を防止するためには皮膚面において最大線量が入射した部位の皮膚吸収線量 (Peak Skin Dose: 以下 PSD) を把握しなければならない。ところが、循環器領域の撮影や透視は多方向から行われ、また病変部位等によって撮影角度も異なるため、事前にどの部位に最も多く被曝するのかを予測することは困難である。さらに、確定的影響が予想される線量に達したときには、検査施行医に対して警告を出すとともに、IVR 終了後カルテに線量や皮膚面上の部位を記載し、被験者に対して Table1 に示す被曝線量のレベル区分に応じた説明ができなければならない。従って、リアルタイムに測定結果が表示されることが重要である。

3. 各種被曝線量測定方法とその問題点

3-1 TLD (Thermoluminescence Dosimeter)

被験者の背中に TLD を多数貼り付ければ PSD を測定することが可能であり、高精度の測定が期待できる。しかし、その処理には相当の時間と労力を要するため、臨床の現場において全ての被験者¹⁵⁾に実施することは事実上不可能である。

3-2 スキンドースモニタ (Skin Dose Monitor : 以下 SDM)

SDM は簡便に皮膚吸収線量を測定することができ、ある程度の精度も担保できる。しかし、あらかじめ最も線量の高い部位を予測して貼り付けておくことは困難である。また、検査中に検出部を照射野内に移動させることは煩雑であり、すべての症例に適応することは困難である。

3-3 NDD 法 (Non Dosimeter Dosimetry Method) ¹⁴⁾

NDD 法は、特別な機器を必要としないため、X 線装置の品質管理ができていれば、多くの施設で測定することが可能である。しかし、計算時に撮影や透視の X 線条件や X 線管焦点-皮膚間距離が必要なため、それらをすべて記録しておく必要があり、非常な労力を要する。さらに、循環器撮影装置は自動露出を使用しており、常に X 線条件が変動する。また、その条件に応じて自動的に附加フィルタも変更される装置がある。その上、パルス透視の場合はパルスレートの変更等もあり、その評価は複雑となる。NDD 法の多くの問題を解決してくれるツールとして、当研究会のホームページ <http://plaza.umin.ac.jp/~zen-jun/> で公開している Windows 上のアプリケーションがある。しかし、このツールも基本的には手入力であるので同様の問題は残る。このアプリケーションに自動的に必要な情報を送るシステムを構築することができれば非常に有望と考える。

3-4 フィルム法 ^{15) ~18)}

被験者の背中に密封したフィルムを置き、検査終了後に濃度を特性曲線によって皮膚吸収線量に変換して最大被曝部位と吸収線量の特定を行うものである。しかし、感度や現像の問題があるので、フィルムの選択が重要である。

3-5 面積線量計 (Dose Area Product Meter) ^{19) ~21)}

面積線量計は、被験者に接触することなく簡便に測定することができる。しかし、その測定表示値は Dose Area Product ($\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$) であり Gy とは単位が異なる。また、X 線管から放出されたすべての X 線量を反映するため、PSD の推計には工夫を要する。

4. 臨床の現場で実施可能な吸収線量測定法

以上に述べた測定方法にはそれぞれ問題点があり、現状では、全ての検査に適応できる決定的なもの

はない。各測定法の特徴や汎用性を討論した結果、臨床の現場で実施可能な皮膚吸収線量測定法は面積線量計を用いるのが妥当であると考えた。

面積線量計は、その簡便性とリアルタイムに測定が可能であるという点において優れている。しかし、測定対象量が Dose Area Product ($\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$) であり、その測定結果から PSD を推定するには工夫が必要なこと、および照射野内のすべての X 線量を反映するので PSD を測定することが困難である。そこで、我々は次に示す方法で面積線量から PSD へ変換することを試みた。

4-1 単位の換算

IEC (International Electrotechnical Commission) は、IEC60601-2-43 (インターベンショナルプロセジャー用 X 線装置の安全に関する個別要求事項) において Interventional Reference Point (以下 IVR 基準点) をアームの回転中心から X 線管装置側に 15cm 移動した点であり、そのポイントを被験者の皮膚面と仮定して線量率を表示し評価する点であると規定している。我々は、Fig.1 に示す幾何学的配置によって IVR 基準点に電離箱線量計を設置し、後方散乱を含んだ状態で様々な X 線条件のもとで面積線量計の読み値との比較を行い、 $\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$ から Gy の単位に変換する変換係数を求めた。

- (1) カテーテルテーブルの上に 20cm の水ファントムを用意し、その間に線量計を設置する。なお、線量計は電離箱線量計を推奨するが、ガラス線量計などの個人被曝管理用測定器でも可能である。
- (2) X 線管絞りは開放にする。
- (3) I.I. サイズは通常の冠動脈撮影時に使用するものとする。
- (4) テーブルを上下させて、アイソセンタから X 線管側に 15cm づけた位置に線量計を移動させる。
- (5) X 線条件はオートとして単位時間あたりの吸収線量と面積線量を測定する。
- (6) 線量計の読み値 Gy を面積線量計の読み値 $\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$ で除して変換係数を求める。

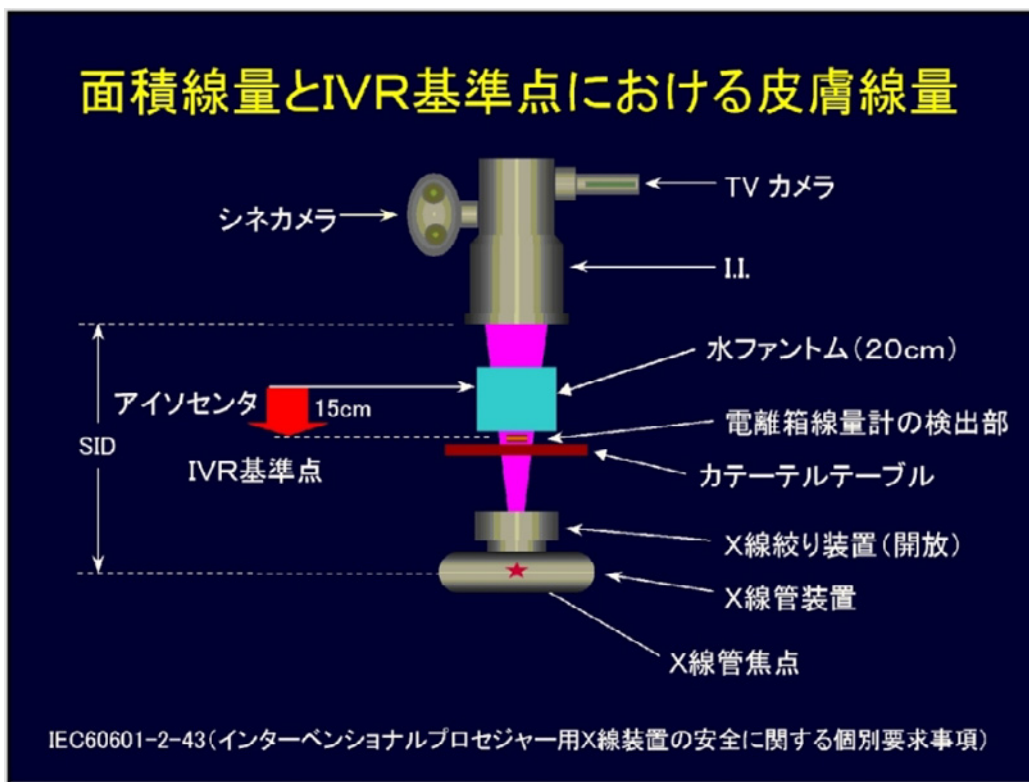


Fig.1 面積線量と IVR 基準点における皮膚線量


4-2 アーム角度の補正

検査時のアームの角度と SID およびテーブルの高さを記録して、検査終了後に位置関係を再現し、被験者皮膚面に照射された面積を測定した。この面積と IVR 基準点での面積の比を取ってアーム角度の補正係数とした。

39 例の測定結果により、アーム角度の補正係数は、P-A および RAO30°では 0.7、LAO60°では 1.0、Cranial25°では 1.1、Caudal25°では 1.0 であった。また、これらの複合角度の場合は、それぞれの数値をかけ合わせることで補正できた。

4-3 全線量に占める PSD の割合

アームの角度と皮膚面での照射野の大きさの関係を Fig.2 に示す方法で測定した。まず、人体ファントムの周りにメジャーを置き、7 インチ相当の I.I.サイズで心臓が画面中央に位置するように寝台を移動させて撮影を行った。さらに、LAO-RAO 方向および Cranio-Caudal 方向または Caudo-Cranial 方向にアームの角度を 10 度ずつ回転させて撮影を行い、画面の端に写ったメジャーの数値を読み取った。このメジャーの数値がそのアームの角度における被験者の皮膚面上に照射される範囲である。その結果、7 インチモードの場合 LAO-RAO 方向、Cranio-Caudal 方向および Caudo-Cranial 方向とも、40 度以上アームを回転させると、皮膚面上での照射野の重複がなくなることが分かった。

次に、臨床における撮影時のアームの角度情報から、の検査で最も多い角度を調べ、その角度に対して 40 度以内で撮影されたものを重複して照射されたものとしその回数を調べた。全撮影回数に対する重複照射の割合を 2 施設において調査したところ、平均値が 71%と 74%とほぼ同様の結果が得られた。また、90%を超える症例も多く存在した。さらに、このデータは撮影時の角度情報のみであるので、透視を含めると同一の部位に照射される線量の割合はさら増加すると考えられる。したがって、IVR ではすべての X 線が同一部位に照射されると仮定して計算しても容認できると判断した。

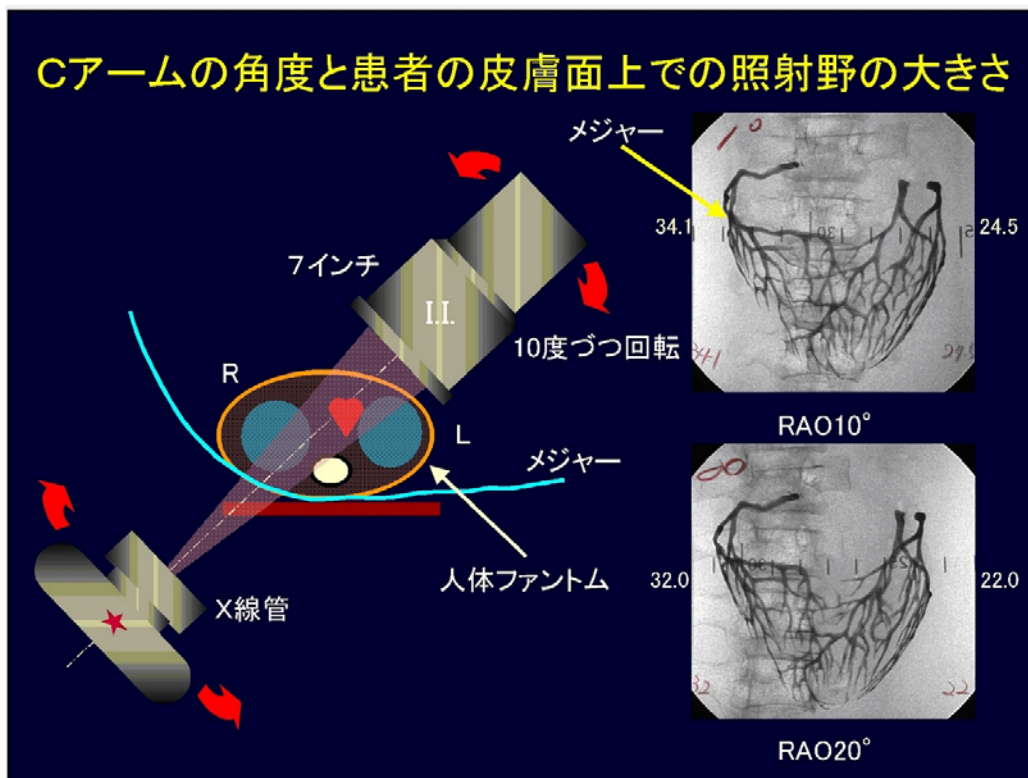


Fig.2 Cアームの角度と患者の皮膚面上での照射野の大きさ

4-4 面積線量計による測定方法のまとめ

Fig.3 に面積線量計による測定法のフローチャートを示す。

- (1) 各施設で装置ごとに IVR 基準点での皮膚吸収線量を測定し、Dose Area Product ($\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$) から入射面における被験者皮膚吸収線量 (Gy) への変換係数を求める。
- (2) 最も頻繁に使用されたアーム角度情報から補正係数を求める。
- (3) 面積線量計に表示される Dose Area Product ($\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$) の値に (1) および (2) を乗算して被験者の皮膚吸収線量とする。

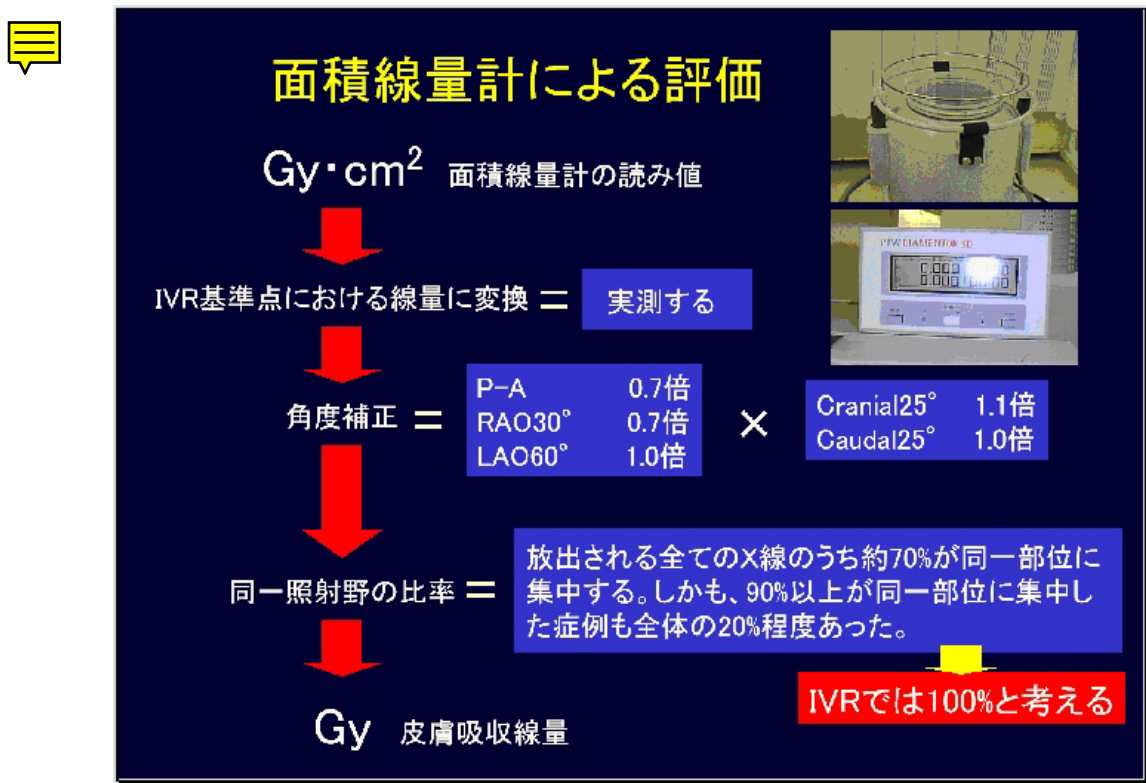


Fig.3 面積線量計による評価

5. カテーテル検査の被曝低減のための環境整備

被験者の確定的な影響の発生を未然に阻止するためには、皮膚吸収線量の測定とともに被曝低減のための有効な対策を講じなければならない。その為には、使用している装置の線量がどのように制御されているかを理解し、その性能の維持に努めなければならない。

班員の所属するそれぞれの施設の循環器撮影システムを Fig.1 の幾何学的配置で撮影条件と透視条件をオートにして出力測定を行った。それらの結果を比較して被曝低減のための環境整備に関する具体的な方法を検討した。

5-1 附加フィルタの最適化

法令改正によって医療法施行規則第 30 条第 1 項(2)で総濾過が 2.0mmAl から 2.5mmAl に変更された。また、現在販売されている装置は、附加フィルタについて十分な考慮がなされている。しかし、過去に購入した装置の中には不十分なものも見受けられる。Fig.4 に示すように、2.5mmAl の固有濾過に 0.1mmCu

の附加フィルタを加えることによって、診断能を損なうことや装置に過大な負荷を与えることなく、皮膚吸収線量を 1/2 以下にすることが可能である。また、比較的新しい装置でも附加フィルタの材質や厚みを確認し、低エネルギー領域の光子カット能力を明らかにしておくことは重要である。

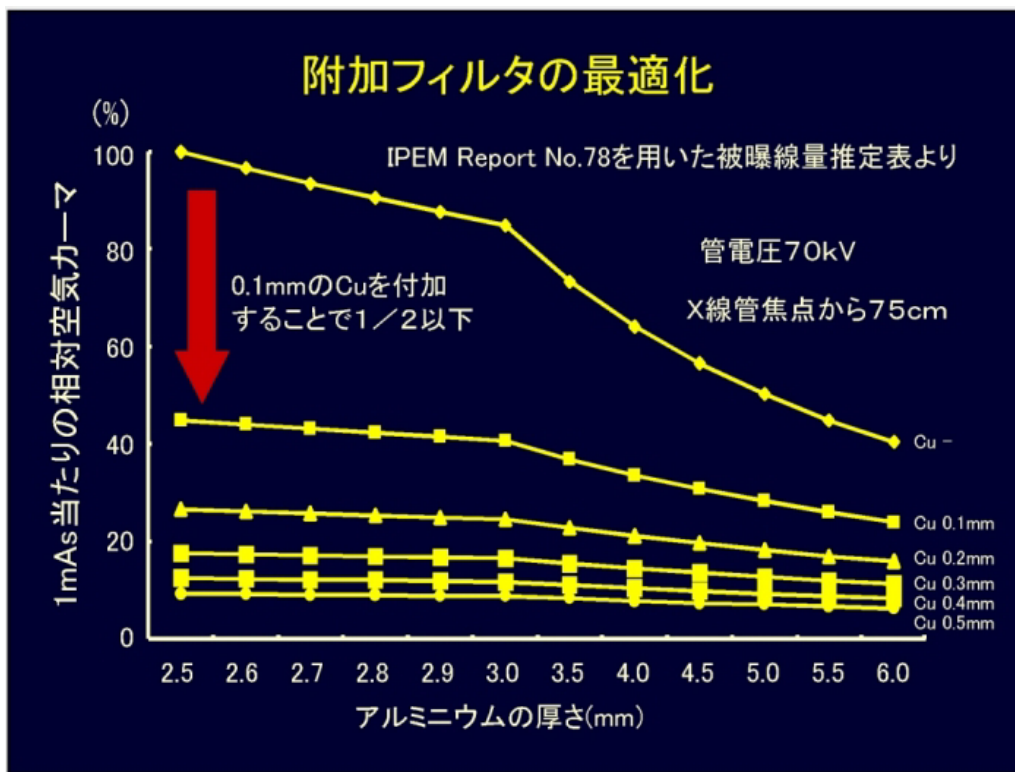


Fig.4 附加フィルタの最適化

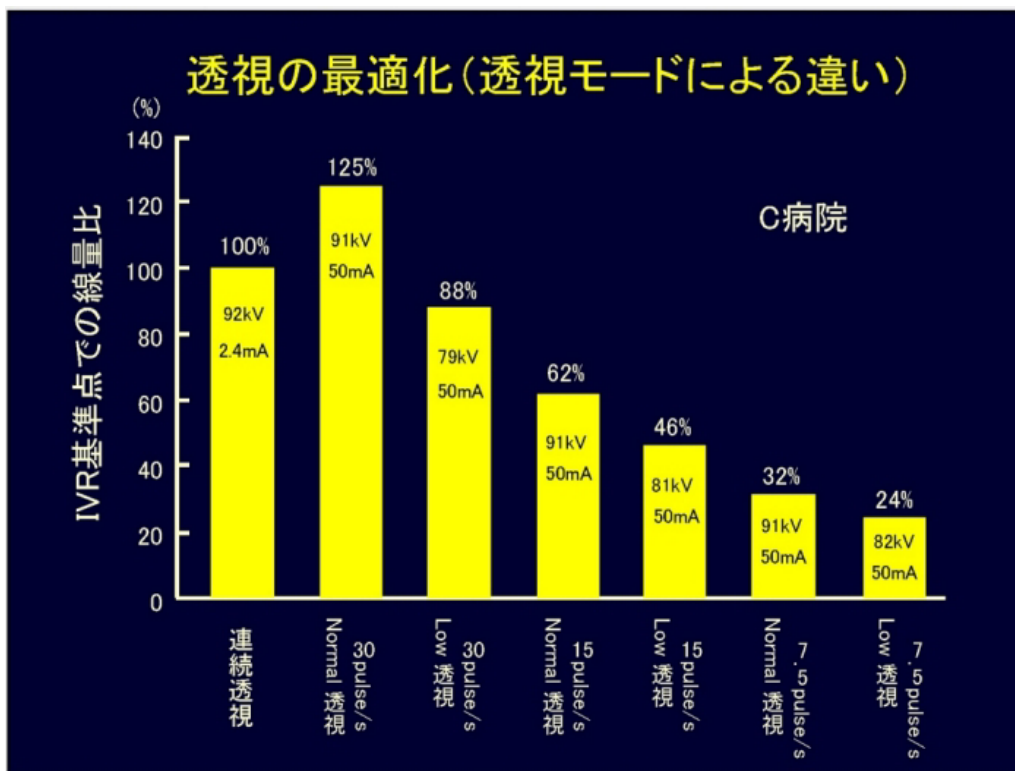


Fig.5 透視の最適化 (透視モードによる違い)

5-2 透視の最適化

Fig.5 に示すように、同一の装置でも連続透視 (92kV、2.4mA) と低線量パルス透視 7.5pulse/sec (82kV、50mA) には約 4 倍もの差があった。さらに施設間の線量を比較すると、Fig.6 に示すように同じパルスレート (30pulse/sec) であっても約 2 倍の差があった。これらのことから、X 線条件を低減することを基本として、状況に応じてパルスレート等を使い分ける必要がある。

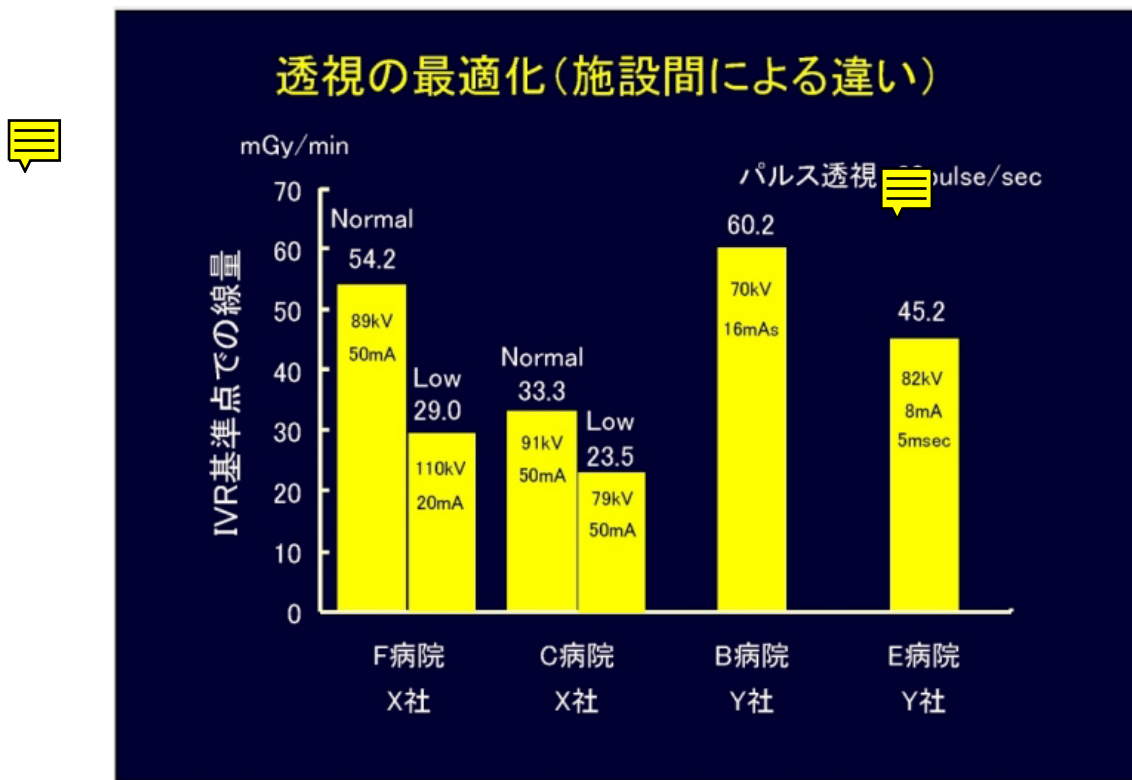


Fig.6 透視の最適化(施設間による違い)

5-3 シネ撮影の最適化

シネ撮影での線量を比較すると Fig.7 に示すように施設間で約 3 倍の差があった。撮影においても X 線条件やパルスレートの検討が必要である。特に、シネフィルムを使用している施設では、撮影の条件はシネフィルムの感度によってほぼ決定されるので、出来る限り高感度のフィルムを使用するなど被曝低減の努力をしなければならない。

5-4 システムの性能維持管理

現在、使用している装置が意図する性能に保たれているかを確認することは、無駄な被曝を防ぐ上で非常に重要である。定期的にファントム等を撮影するなどして、システムの X 線条件や画質をチェックして性能維持管理をしなければならない。特に I.I.輝度の劣化は被曝増加の大きな要因であるので、定期的に輝度を測定し、I.I.等の交換を計画的に実施しなければならない。

5-5 術中におけるアーム角度の変更

被験者に確定的な影響が出現する線量に達したと予測される場合には、診療放射線技師が検査施行医にその旨を伝えて、確定的影響を最小限にする努力を図る必要がある。しかし、一般的には IVR を検査途中に中止することはできない。そこでアームの角度を変更して被験者の皮膚面での照射部位を異なっ

た位置に移動すれば、取り敢えず確定的影響の発生を防止できる。4-3によって、7インチモードの場合、角度を40°以上変更すれば皮膚面での重複がなくなることが確認できている。IVRは病変部位を最も把握しやすい角度で施行するので、途中から角度を変更することは難しいが、被験者の安全担保の見地から診療放射線技師が検査施行医とコミュニケーションを図り、各施設の状況に合った方法を検討しなければならない。

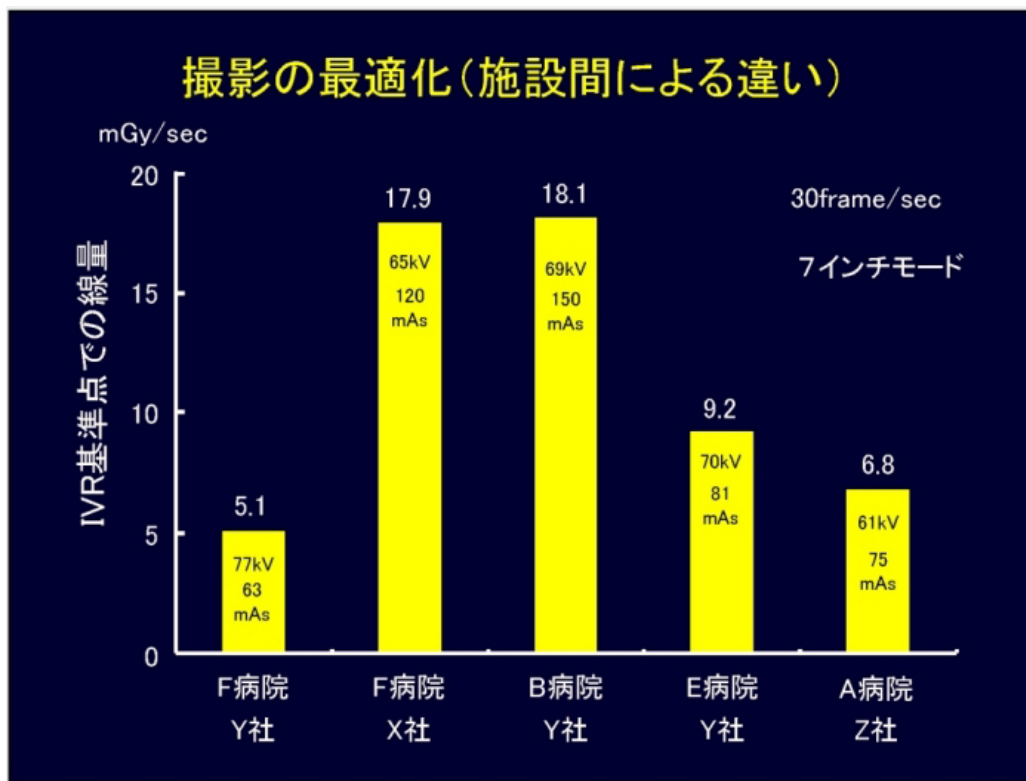


Fig.7 撮影の最適化(施設間による違い)

6. 確定的影響の可能性のある被曝があった場合の対処方法²²⁾

被験者に確定的影響の可能性のある被曝があったと推定される場合には、診療放射線技師が皮膚吸収線量を評価し、被曝部位の位置や範囲とともに検査施行医に報告する。検査施行医は、カルテに記載するとともに被験者および家族に説明し、皮膚科医とも連携をとって対応しなければならない。さらに、診療放射線技師と検査施行医が十分話し合い、なぜその様な状況に至ったのかも調査しなければならない。

6-1 被験者および家族への説明

IVR や診断目的の心臓カテーテル検査の被験者および家族へのインフォームドコンセント時に、皮膚障害の可能性が起り得る旨の説明が実施されていなければならない。さらに、承諾書の文面にこのことが記載されているという前提の元で、検査前の診療時に以下のような説明を検査施行医が主治医の同席のもとで被験者に行い、文書を渡すことが望ましい。

- (1) 治療が必要不可欠なものであったことを説明する。
- (2) 皮膚傷害が起こる可能性のある部位を被験者自身に教え、1週間後に検査施行医に見せるように説明する。

- (3) 皮膚傷害が起こる可能性のある部位は、擦ったり掻いたりせずに、お風呂でも刺激の強い入浴剤や刺激の強い石鹸は使用しない。また、絆創膏や湿布類は使用してはならないことを説明する。
- (4) 皮膚に何らかの変化があった場合には、主治医に連絡するよう説明する。

6-2 皮膚科医への説明

あらかじめ困難な手技が予想される場合や検査後皮膚障害の発生が予想される場合は、主治医が皮膚科に共同観察願いを出す。当然、関係診療科間のカンファレンス等でこの件に関する情報を共有してもらう。

- (1) 皮膚傷害を起こす可能性がある部位を的確に伝える。
- (2) 生検が原因で潰瘍になることもあるので、絶対に生検をしないよう伝える。
- (3) 基底層の破壊を伴う傷害であることを理解してもらう。

7. まとめ

IVR における被検者の被曝線量の測定と被曝低減対策について述べた。今回の測定方法は誤差が少ないとは言えないが、被験者の皮膚の確定的影響を評価するという観点に立てば十分容認できると考える。また、面積線量計を持たない施設においては、他の有効な測定方法で被験者の被曝線量を把握しておかなければならない。特に測定器を持たない施設においては、少なくとも透視時間と撮影回数は記録しなければならない。

被験者被曝線量の把握においては、普段から被験者の被曝を意識し、システムの性能維持管理を定期的に行うことが重要である。また、循環器撮影システムの出力測定は 6 ヶ月に 1 度以上実施しなければならない。性能維持管理によって被曝低減を実践することが可能となり、被験者に対する過度の被曝を防止することができる。

面積線量計は欧州では IVR 対応の装置には必須のものであるが、我が国での普及率は高くない。また、設置してあっても Dose Area Product であるため、その評価が分からず放置してある施設も多いと聞く。本講座によって面積線量計を有効利用し、確定的影響が発生しない環境が整えられれば幸いである。

参考文献

- 1) 松本千穂, 市野直樹, 荒木祥子, 他: 経皮的冠動脈形成術 (PTCA) の長時間の X 線透視およびシネ撮影で放射線皮膚障害を生じた 2 例, 皮膚, 41 (1), 18-24, (1999).
- 2) 速水 誠: PTCA に伴う放射線皮膚炎の 4 例, 皮膚科の臨床, 42 (5), 745-748, (2000).
- 3) 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期に生じた放射線皮膚炎, 臨床皮膚科, 54 (5 増), 7-10, (2000).
- 4) 宋 寅傑: IVR 施行時の X 線照射による放射線皮膚障害の診断と治療, 心血管インターベンション, VOL.17, NO.4, 357-360, (2002) .
- 5) 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 (4), 361-364, (2000).
- 6) 西谷 弘: 医療被曝の現状と対策, 新医療, 28 (10), 64-66, (2001).
- 7) Titus R. Koenig, Detlev Wolff, Fred A. Mettler, et al: Skin Injuries from Fluoroscopically Guided Procedures: Part 1, Characteristics of Radiation Injury, AJR, 177, 3-11, (2001) .
- 8) Titus R. Koenig, Fred A. Mettler, Louis K. Wagner, et al: Skin Injuries from Fluoroscopically Guided Procedures: Part 2, Review of 73 Cases and Recommendations for Minimizing Dose Delivered to Patient, AJR, 177, 13-20, (2001) .
- 9) Leonard Berlin: Radiation-Induced Skin Injuries and Fluoroscopy/Malpractice Issues in Radiology, AJR, 177, 21-25, (2001) .
- 10) 粟井一夫編: 血管撮影領域における放射線被曝と防護, 放射線医療技術学叢書 (17), 22-25, (1999).
- 11) 富樫厚彦: IVR に伴う放射線皮膚障害報告症例から放射線防護を考える. 日放技学誌, 57 (12), 1444-1450, (2001).
- 12) 江口陽一, 木村 均, 土佐鉄雄, 他: 被曝低減へのアプローチ. 東北循環器撮影研究会, 1998
- 13) 山口和也, 佐藤和彦, 中西省三: IVR における被曝と対策—診療放射線技師の立場から. 日本放医会誌, 62 (7), 352-355, (2002) .
- 14) 森剛彦, 鈴木光昭, 佐藤斉: X 線診断領域における患者の皮膚入射線量簡易換算式—NDD 法—, (社) 茨城県放射線技師会, (社) 茨城県放射線技術学会茨城支部 被曝低減委員会 (1996) .
- 15) E VANO, J GUIBELALDE, M FERNANDEZ, et al: Patient dosimetry in interventional radiology using slowfilms, The British Journal of Radiology, 70, 195-200, (1997)
- 16) E VANO, J GOICOLEA, C GALVAN, et al: Skin radiation injuries in patients following repeated coronary angioplasty procedures, The British Journal of Radiology, 74, 1023-1031, (2001) .
- 17) 天野雅史, 西谷 弘, 河野信吾, 他: X 線により発色を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. 日放技学誌, 58 (3), 420-423 (2002) .
- 18) 山本泰司, 高橋司伸, 小松明夫: GAF chromic dosimetry の特性と PDD, OCR 曲線への利用. 日放技学誌, 57 (11), 1357-1364 (2001) .
- 19) B J MCPARLAND: Entrance skin dose estimates derived from dose-area product measurements in interventional radiological procedures, The British Journal of Radiology, 71, 1288-1295, (1998) .
- 20) 坂本 肇, 中村 修, 弓削 誠, 他: 面積線量計による患者被曝管理の検討, 日放技学誌, 56 (10), 1256-1265 (2000) .
- 21) 越田吉郎, 清水幸三, 宮地利明: 面積線量計の特性解析と空気カーマへの検討, 日放技学誌, 57 (12),

1541-1547 (2001) .

- 22) 大野和子 : X線透視下の治療行為による皮膚障害 : その 1, 放射線皮膚障害の特徴. 医療放射線防護 NEWSLETTER,33.72-74, (2002) .