

Title	IVRの被ばくとその対策-放射線科医の立場から
Author(s)	石口, 恒男
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2002, 62(7), p. 356-361
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/18603
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

IVRの被ばくとその対策 -放射線科医の立場から

石口 恒男

愛知医科大学放射線医学講座

Radiation Exposure in Radiological Clinics

Radiation Protection for Patient and Operator in Interventional Radiology

Tsuneo Ishiguchi

While interventional radiological procedures are minimally invasive and beneficial to patients, some complex and lengthy fluoroscopically guided procedures may cause radiation-induced skin injuries. Interventional radiologists should be aware of threshold doses, actual dose rates of specific X-ray equipment, and practical techniques to control the patient's cumulative skin dose. The International Commission on Radiation Protection recommends that the maximum dose to the skin be recorded when it approaches 1 Gy (for procedures that may be repeated) or 3 Gy (for any procedure) and that patient follow-up be provided in the latter situation. To reduce operator exposure, it is essential to avoid direct exposure of the primary beam to the hands in procedures such as transhepatic biliary drainage. During vascular interventions, the majority of operator exposure is caused by scatter radiation from the patient. Almost every effort to reduce patient dose secondarily reduces scatter radiation to the operator as well. The overcouch X-ray tube system is associated with higher exposure to the hands and eyes, and should not be used for complicated procedures. Appropriate shields help in reducing scatter to the operator.

Research Code No.: 302.1

Key words: Interventional procedures, Fluoroscopy,
Radiation injury

Received June, 5, 2002

Department of Radiology, Aichi Medical University

本論文は、日本医学放射線学会編集委員会が企画し、執筆依頼した。

別刷請求先

〒480-1195 愛知県愛知郡長久手町21
愛知医科大学医学部放射線医学教室
石口 恒男

はじめに

X線透視をガイドとするinterventional radiology (IVR)は低侵襲性を特長として多くの疾患の治療に用いられている。種々の新技術の発展と共に、最近ではより長時間に及ぶ複雑な手技が施行されるようになった。Wagnerら¹⁾は1994年、いくつかのIVR手技で高線量の被ばくによる放射線皮膚障害の発生を報告し、米国食品医薬品安全局 (FDA) が警告を発した²⁾、その後も発症は増加している^{3,4)}。わが国では95年に日本医学放射線学会が同様の警告を行っている⁵⁾、90年代後半から主に冠動脈のIVRによる放射線皮膚障害が報告されている⁶⁾。

一方、IVRを施行する際の医師の被ばくは一般の放射線診断医に比べ大きく、欧米では不適切なオーバーチュープのX線装置の使用による水晶体混濁の事例も報告されている⁷⁾。本章では、IVRを施行する放射線科医の立場から患者および術者の被ばく低減策について述べる。

患者の被ばくとその対策

1. IVRによる放射線皮膚障害とリスク要因

IVRを受ける患者の被ばくで最も重要な点は、X線が入射する皮膚の吸収線量である。放射線皮膚障害には2~3Gyの線量で発生する初期紅斑や一過性脱毛など比較的軽度の障害から、18Gy以上で発生する皮膚壊死、皮膚潰瘍などの重篤な障害まで、一定のしきい値が存在する。またこれらの障害は、被ばく後数時間から1年以上の期間をおいて発症する (Table 1)。IVRにおいて、これら皮膚障害のしきい値を越えないよう注意が必要である。

放射線皮膚障害のリスクを増加させる要因として、過去のIVRによる被ばく、抗癌剤の併用、ataxia teleangiectasia、膠原病、混合性結合組織疾患、糖尿病などがある³⁾。まれではあるが、混合性結合組織疾患と糖尿病を合併した患者で、比較的軽度の被ばくにもかかわらず重篤な皮膚反応の発生が報告されている⁸⁾。IVRの術前にこれら合併疾患の有無を確認する必要がある。また以前にIVRを施行された患者では、皮膚に異常があれば、X線の入射方向を変え同一部位への

Table 1 Potential effects of fluoroscopic exposures on the reaction of skin¹⁰⁾.

Effect	Approximate threshold dose (Gy)	Time of onset	Minutes of fluoroscopy at typical normal dose rate of 20 mGy/min	Minute of fluoroscopy at typical high dose rate of 200 mGy/min
Early transient erythema	2	2-24 hours	100	10
Main erythema	6	~1.5 weeks	300	30
Temporary epilation	3	~3 weeks	150	15
Permanent epilation	7	~3 weeks	350	35
Dry desquamation	14	~4 weeks	700	70
Moist desquamation	18	~4 weeks	900	90
Secondary ulceration	24	>6 weeks	1200	120
Late erythema	15	8-10 weeks	750	75
Ischemic dermal necrosis	18	>10 weeks	900	90
Dermal atrophy	10	>52 weeks	500	50
Telangiectasis	10	>52 weeks	500	50
Dermal necrosis (delayed)	>12	>52 weeks	750	75
Skin cancer	not known	>15 weeks	N/A	N/A

Without knowing the actual dose rate (s) of various modes off operation, an interventionist can inadvertently reach the thresholds. Column 4 and 5 show the impact of typical (realistic) dose rates in terms of minutes required by specific equipment. Any 'rule of thumb' e.g. 100minutes, should not be used, unless it represents the impact of actual dose rates¹⁰⁾

照射を避けるなどの工夫を行う。

放射線皮膚障害の発生が報告された手技は、冠動脈形成術(PTCA)、ステントなどの冠動脈領域のIVRが最も多く、次いでラジオ波による心臓の刺激伝導系のアブレーション、門脈圧亢進症に対する門脈肝静脈シャント術(TIPS)および脳神経系の血管塞栓術などである^{3,4)}。手技が複雑で長時間に及ぶこと、および繰り返し施行されることなどが被ばくの増加に関係している。

多くの事例で医師に皮膚障害に関する認識が少なく、患者への説明も不十分である。病変の多くは背部に生じるため発見が遅れる。掻痒感、疼痛などを訴える患者はIVR施行医ではなく皮膚科を受診し、IVRの情報を持たない皮膚科医が診断に苦慮することも少なくない。米国では訴訟に発展した事例が報告されている⁹⁾。IVR医は線量を把握し、皮膚障害発生の可能性について患者に説明を行うことが必要である。国際放射線防護委員会(ICRP)は、繰り返し施行する可能性のある手技では1 Gy、その他の手技では3 Gyの被ばくを生じた際に、被ばく部位と範囲および線量を診療録に記載し、3 Gy以上の場合には皮膚障害の発生に注意し経過観察を行うよう勧告している¹⁰⁾。

2. 患者の皮膚線量の評価

IVRにおける患者の被ばくは透視と撮影によって生じ、それらの被ばく量および比率は手技の内容やX線装置の設定によって大きく異なる。また、最近のX線装置は、常に最適な画像が得られるよう、X線の条件を絶えず自動的に調節している。被ばく線量の評価には、熱蛍光線量計(TLD)やリアルタイム線量計による実測、ファントム実験などに基づく算出、およびX線装置に装備された線量計などが用いられるが、X線の照射部位と方向、および照射野のサイズを変えながら行うIVR手技のなかで、皮膚の最大累積線量とその照射

範囲を正確に評価することは必ずしも容易でない。最近では、X線の出力と照射野サイズ、透視時間、透視・撮影のパルス数などの情報からオンラインで皮膚線量を計算するシステム¹¹⁾や、さらにテーブルの位置、X線の方向などの情報を含め、皮膚線量の分布をリアルタイムに表示するシステムが開発され¹²⁾、今後の普及が期待される。

IVRを施行する医師は、自らが使用するX線装置について、少なくとも代表的な条件における線量率(mGy/min)など基本的な数値を知っておく必要がある。国際原子力機関(IAEA)は、透視におけるX線入射面の線量率のガイダンスレベルとして、通常モードで25 mGy/min、ハイレベル(IVRで使用するオプションの高線量率モード)の場合100mGy/minを勧告している¹³⁾。ICRPは通常の線量率として20mGy/min、典型的な高線量率として200mGy/minを例示している¹⁰⁾。仮に20mGy/minで同一部位の透視を行った場合、100分で皮膚線量が確定的影響(一過性紅斑)のしきい値である2Gyに達するが、200mGy/minの場合はわずか10分で到達することになる(Table 1)。障害の予防には実際の装置の線量率を知ることが重要である。

筆者らがTLDとリアルタイム線量計を用いて行った多施設における肝動脈塞栓術の被ばく実測調査¹⁴⁾では、透視1分間あたりの患者の皮膚吸収線量率は平均16.5 mGy/min(2.7~64.5mGy/min)であった。Digital subtraction angiography(DSA)の撮影1回あたりの線量は平均90.3mGy(10.4~165.9mGy)であった。また、全被ばく量のうち56%がDSA、44%が透視による被ばくであった。一般に、IVRの被ばく低減には透視と撮影双方の考慮が必要である。

文献上、IVRにおける患者のX線入射部位の皮膚線量として、選択的卵管造影・卵管再開通術40mGy¹⁵⁾、下肢の血管形成術260~270mGy¹⁶⁾、子宮筋腫の子宮動脈塞栓術480mGy¹⁷⁾、肝癌の肝動脈塞栓術970mGy(Table 3)¹⁴⁾、TIPS 400~1,700mGy¹⁸⁾、冠動脈形成術(PTCA)1,000mGy、冠動

Table 2 Dose limits for occupational exposure²⁰⁾

Dose limits	
Effective dose	20 mSv in a year averaged over a period of 5 years
Annual equivalent dose	Lens of the eyes 150 mSv
	Skin 500 mSv
	Hands and feet 500 mSv

脈ステント留置術1,500~2,500mGy¹⁹⁾, 不整脈治療のための心臓のラジオ波アブレーション810~3,200mGy²⁰⁾, 頸動脈形成術510mGy(側面)および1,000mGy(正面), 脳動脈瘤・動静脈奇形の塞栓術1,400mGy(側面)および2,100mGy(正面)¹¹⁾などが報告されている。ただし, これらの数値は, 管理体制の整った施設での一連の手技における平均値または最大値であり, 装置の設定および手技内容によって大きく変化する可能性がある。

3. 患者の被ばく対策

患者の被ばく低減のための手技上の留意点を以下に示す。これらの多くは, 術者の被ばく低減にも有効である^{4), 10)}。

1) 透視時間を最小限に

透視のon-offはフットスイッチを使用する。漫然と透視を行わず, last image hold(X線を切った後もモニターに透視画像が表示される)やroadmappingを活用する, カテーテルや器具の操作に習熟する, ガイドワイヤーを挿入する際はカテーテル長の2/3から3/4を挿入した時点でスイッチを踏む, などにより透視時間を短縮するよう留意する。

2) 線量率の低い透視モードを使用する

低被ばくの透視モードには, パルスX線を使用する方法, または1/2程度の低出力の連続X線で画像のupdate間隔を開ける方法などがある。パルス透視の場合, 通常の透視を毎秒30パルスとすれば, 手技の内容によって, 毎秒15パルスあるいは7.5パルスでも操作は可能である。一般に秒間パルス数を下げれば皮膚線量率が減少するが, 実際の減少率は装置によって異なる。

3) 拡大透視を多用しない

血管撮影装置では, 蛍光増倍管(image intensifier)の有効視野径を3~4段階に切り替え, 拡大透視を行うことができる。拡大透視は精密なIVR手技には不可欠であるが, 拡大率が大きいほど線量率が増加するため, その使用, および拡大率は必要最小限とすべきである。モニター画面を術者が観察しやすい位置に配置する, 室内の照明を調節するなどの配慮も有効である。

4) 撮影記録のフレーム数を減らす

透視とともに, DSAおよびデジタル撮影による被ばくの低減も重要である¹⁴⁾。DSAの秒間フレーム数は撮影部位, 目的によって必要最小限に調整する。また静止画像の撮影は必要なものに限定し, 高画質を必要としない場合はlast image holdの画像での代用²¹⁾も考慮する。

Table 3 Absorbed skin dose of patient and radiologist during transcatheter arterial embolization for hepatocellular carcinoma¹⁴⁾.

Position	Dose (mGy)			
	Minimum	Maximum	Mean	Median
Patient				
Skin	185	3543	97	832
Radiologist				
Head	0*	0.15	0.04	0.02
Abdomen				
Over the apron	0*	0.89	0.15	0.06
Under the apron	0*	0.05	0.01	0*

*: not detected

5) 患者を蛍光増倍管に近づけ, X線管球から離す。

患者の体がX線管球に近いと, 皮膚線量は線源からの距離の二乗に反比例して増加する。操作の妨げにならない範囲で, 患者をできるだけ蛍光増倍管に近づけ, X線管球をできるだけ患者から離す必要がある。また, これは術者への散乱線の減少にも役立つ(Fig. 1)。

6) 患者の体厚とX線の通過距離に注意する

体の大きな患者は体内でのX線吸収が大きく, 入射線量率は高くなる。さらにX線束が斜位や側面の場合, X線通過距離が増加しX線出力が高くなるとともに, X線管球と皮膚の距離が近くなり皮膚線量が増加する(Fig. 2)。冠動脈インターベンションの皮膚障害の8割以上はX線方向が急角度の場合に発生している⁴⁾。急な角度に固定した長時間の透視は避けるべきである。また, 患者の腕や乳房など, 余分な組織が照射野に入らないよう注意が必要である。

7) 照射野を絞り, 皮膚面での照射野の重複を避ける

手技に必要な領域のみが照射されるよう, X線コリメータを操作して, 照射野を絞るよう心がけるべきである。照射野を絞る効用は, 障害組織が回復し易いこと, X線が異なった角度から照射された場合, 照射野の重なりを防止できること(Fig. 3), および散乱線が減ることなどである。ただし, 極端に狭いコリメーションを行うと, 蛍光増倍管への散乱線も減少し画像の明るさが低下する。これを補うためX線装置が自動的に線量率を増加させ照射野皮膚への線量が大きくなるので注意が必要である。

8) X線装置の品質管理

X線装置の保守管理は重要である。透視および撮影時のX線出力の精度, モニターの輝度, イメージインテンシファイアの劣化などを定期的に点検, 調整する必要がある。

術者の被ばくとその対策

1. 術者の被ばくの原因

術者の被ばくには, 直接X線(直接線)による被ばくと散乱X線(散乱線)による被ばくがある。血管系IVRでは, 患者の体表および体内から生じる散乱線が主な被ばくの原因であ

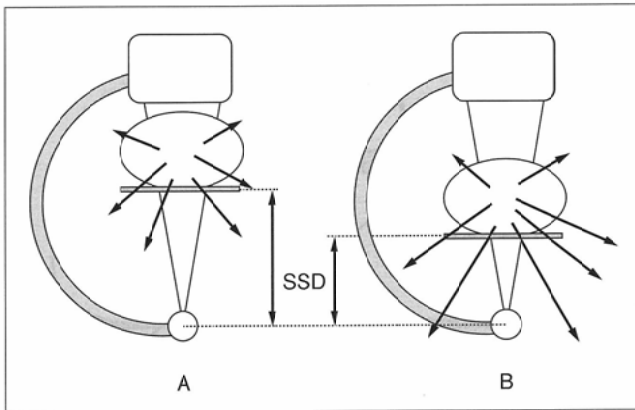


Fig. 1 Source-to-skin distance.
A: Normal position. The operator should place the patient as far from the X-ray tube as possible and as close as possible to the image intensifier. As a function of the inverse square law, the patient's skin dose decreases as the distance between the X-ray source and the skin (source-to-skin distance, SSD) increases.
B: Short SSD increases patient skin dose and scatter radiation to the operator.

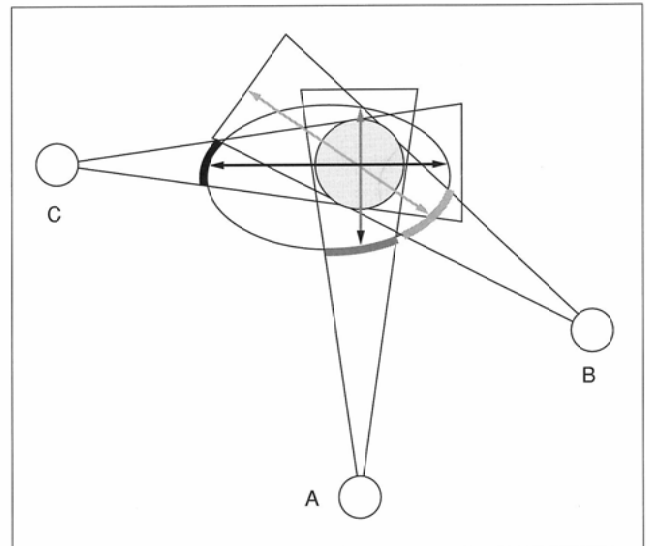


Fig. 2 Beam angulation.
A: The dose rate is least when a posteroanterior projection is used.
B and C: Angulation of the beam results in longer paths (arrows) for the X-rays to travel through the patient's body; this in turn drives up the dose rates. Angulation may also decrease SSD and increase the skin dose. Therefore, prolonged fluoroscopy from a single beam entry site at a steep angle should be avoided.

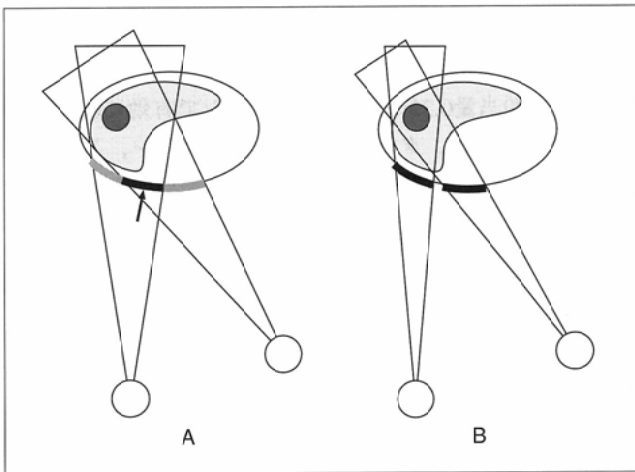


Fig. 3 Field collimation.
A: When large fields are exposed from two different beam angles, the accumulated dose to the region of overlap of the fields is high (arrow).
B: Collimation can reduce the accumulated dose to the skin by eliminating the overlap of the fields.

る。散乱線の強さは直接線の約1,000分の1であるが、X線入射部位の至近で長時間の手技を頻回に行うと、条件によっては線量限度を超える可能性もある。適切な手技の訓練と個人モニターによって、職業被ばくの線量限度(Table 2)を遵守すれば、確定的影響である水晶体混濁(白内障)や皮膚障害、および確率的影響である発がんなどを含め、術者の放射線障害を実質的に防止することができる²²⁾。

2. 術者の被ばく量

肝動脈塞栓術における測定の結果をTable 3に示す¹⁴⁾。1例あたりの最大線量は、術者の腹部防護衣内側で0.05mGy、術者の頭部で0.15mGyであり、それぞれ職業被ばく限度の1/400および1/1,000に相当する。また、胆道ドレナージやステントなど胆道系IVRについて行った調査の結果では、透視時間が平均11分の手技における平均吸収線量は、術者の防護衣内側で0.02mGy、手指3mGy、頭部0.2mGyであった。オーバーチューブの装置に限ると、手指で5mGy、頭部で0.4mGyであった²³⁾。手指の被ばくは、条件によっては100件

程度の手技で線量限度に達する可能性がある。

標準的な肝動脈塞栓術や胆道系IVR 1回あたりの術者被ばくは容認できる範囲と考えられるが、IVR専門医が年間数百件の手技を施行する状況はまれではなく、また症例によっては手技が長時間に及ぶこともあるため、常に被ばく低減の注意が必要である。

3. 術者の被ばく対策

直接線の被ばくを避けるには、照射野の絞りりとX線の方が重要である。散乱線による被ばくには、患者の照射部位を発生源と想定し、外部被ばく防護の三原則、すなわち時間、距離、遮蔽に関する対策が基本となる。

1) 患者への照射線量を減らす。

患者から発生する散乱線は照射線量に関係するため、前項の患者の被ばく低減策は術者の被ばく低減にも有効である。

2) 直接線による手の被ばくを避ける。

X線透視中に術者の手や指が照射野に入りやすい手技として、胆道系IVR(PTCD、内瘻化、ステントなど)、透析チャン

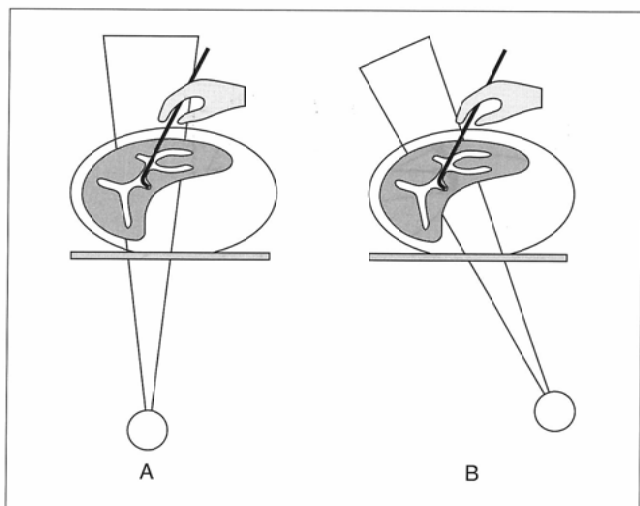


Fig. 4 Avoiding hand exposure
A: Hand exposure to the primary X-ray beam should be avoided.
B: Field collimation and beam angulation will keep the hand out of the beam.

トの拡張術、経皮的針生検などがある。カテーテル操作が照射野の近くで行われるが、テーブル位置とコリメータ(絞り)を操作し、常に照射野を絞って手に直接線が当たらないようにする。長めのシースの使用も有効である。穿刺部位が病変に近い場合、X線束を傾けると直接線の被ばくを避けることができる(Fig. 4)。これはCアームの装置では容易であり、固定式の透視装置でも患者の体を傾けることで可能である。

3) オーバーチューブ装置を使用しない。

血管系IVRは殆どX線管球がテーブルの下にあるアンダーチューブ装置(undercouch X-ray tube system)で行われるが、胆道系や消化管のIVRには管球がテーブルの上方にあるオーバーチューブ方式のX線TV装置(overcouch X-ray tube system, またはoverhead tube system)もしばしば使用される。オーバーチューブ装置は患者の体の前面の空間が広く操作がしやすい反面、X線入射方向の散乱線が強く、術者の手および頭部(眼)への被ばくはアンダーチューブ装置の10倍以上大きい(Fig. 5)。オーバーチューブ装置を使用して年間数百例の検査やIVRを行った医師と看護婦に水晶体混濁を生じた事例も報告されており⁷⁾、ICRPはオーバーチューブ装置をIVRに使用すべきでない¹⁰⁾と勧告している。少なくとも、長時間の透視を要する手技にはアンダーチューブ装置を使用すべきである。

4) X線入射部から離れた位置に立つ

散乱線は距離の二乗に反比例して減弱するため、患者のX線入射部から離れた位置で作業を行う。側面透視の際は、X線管球側は散乱線が強いため、蛍光増倍管の側に立つとよい。またDSA撮影時の被ばくは大きい¹¹⁾ため、造影剤注入には可能な限り自動注入器を使用すべきである。

5) 適切な防護用具の使用

a. 防護エプロン

IVRには防護エプロンの着用が必須である。通常の血管

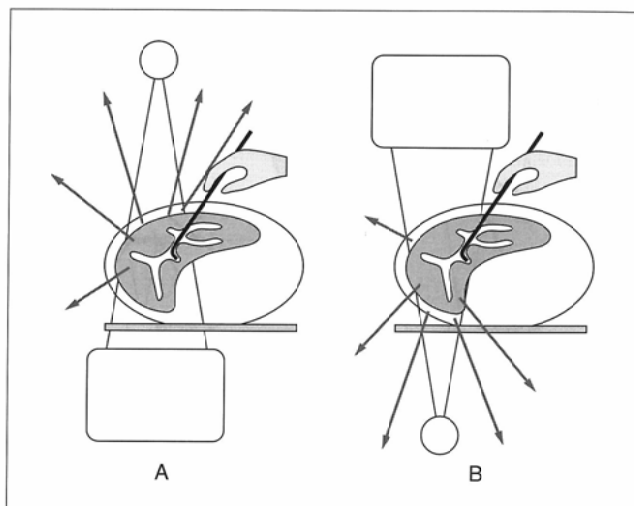


Fig. 5 Geometry of the equipment.
A: Equipment with an overcouch (overhead) X-ray tube results in high scatter radiation in the vicinity of the patient, and hence operator doses to the eyes and hands are higher. Such configurations are sub-optimal for interventional procedures.
B: C-arm fluoroscopy should be used with the X-ray tube under the patient and the image intensifier over the patient.

系IVRでは鉛当量0.25mm以上のエプロンで有効に散乱線を遮蔽できる。また、タングステン、アンチモン、スズなどを使用した軽量エプロンも有用で、診断領域のエネルギーのX線に対し鉛と同等の遮蔽能力をもつ。

エプロンは脊椎に負担をかけず正しく着用しなければならない。筆者らは必ず腰にベルトのあるエプロンを使用し、着用する際に両肩を上げながらベルトをしっかりと締めてエプロンの重量を骨盤で支え、脊椎に負担がかからないよう工夫している。モニター画面、ペダル、テーブル移動のハンドルなどを術者が無理な姿勢をとらずに操作できる位置に配置することも重要である。

b. 防護眼鏡

オーバーチューブ装置を日常的に使用する術者には、水晶体の被ばく防止のため防護眼鏡の着用を勧める。この場合、少し外側までレンズが回り込んでいるものが望ましい。アンダーチューブ装置では頭部への被ばくは多くないが、眼鏡の着用は血液汚染の防止にも有効である。

c. 防護手袋

オーバーチューブの装置で胆道系IVRを施行する場合など、手指の被ばくは無視できない。タングステンなどを含む手袋を着用することによって約80%の散乱線を防護できる²⁴⁾。しかし、これらの手袋は直接線を遮蔽するものではなく、手袋を着用しているからといって直接線に手を入れてはならない。

d. 頸部の防護

頸部(甲状腺)の防護の必要性については議論のあるところである。原子力発電所の大規模な事故の後などに甲状腺癌の発生が報告されているが、これは主に¹³¹Iのβ線による内部被ばくが原因で、多くは小児である。成人の甲状腺は発がんの感受性は骨髄などに比べると高くない。従って、アンダーチ

ューブ装置では甲状腺防護は必ずしも必要ないと思われるが、エプロンの首周りが開いている場合には頸椎、胸骨の骨髄を防護する意味がある。一方、オーバーチューブ装置では頭頸部への被ばくが多いため、着用が勧められる。

e. 装置に付属の遮蔽用具

X線装置に付属した遮蔽用具として、つり下げの含鉛アクリル板、テーブルの脇に取り付ける遮蔽カーテン、床置き含鉛ガラスまたはアクリル性衝立などがある。これらを手技の妨げにならず、また清潔が保たれるよう利用すれば術者への散乱線の減少に有効である。

f. 患者の体に置く防護ドレープ

腹部のIVRを施行する際、下腹部からそけい部にピスマスなどX線を遮蔽する素材で作成した減菌ドレープを置くことにより、患者の体から術者に向かって射出する散乱線

が遮蔽できる。実験では術者の上半身への被ばくが1/10～1/30に減少するとされている²⁵⁾。

6) 個人モニターによる線量評価

個人モニターは放射線診療従事者の被ばく管理の基本となるものであり、常に正しく装着する必要がある。通常は1個のモニターを胸部または腹部のエプロンの内側に、もう1個を頭部に装着する。

おわりに

放射線科医の立場から患者と術者の被ばく低減策について解説した。これらを日常診療において常に実践し、より安全なIVR手技を実施するよう心がけることが重要である。

文 献

- 1) Wagner LK, Eifel PJ, Geise RA: Potential biological effects following high-x-ray dose interventional procedures. *J Vasc Intervent Radiol* 5: 71-84, 1994
- 2) FDA Public Health Advisory: Avoidance of serious x-ray-induced skin injuries to patients during fluoroscopically-guided procedures. FDA Center for Devices and Radiological Health, 1994, <http://www.fda.gov/cdrh/fluor.html>
- 3) Koenig TR, Wolff D, Mattler FA, et al: Skin injuries from fluoroscopically guided procedures: Part 1, Characteristics of radiation injury. *AJR* 177: 3-11, 2001
- 4) Koenig TR, Mattler FA, Wagner LK: 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
- 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ばくに関する警告. *日本医放会誌* 55: 367-368, 1995
- 6) 松本千穂, 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: 18-24, 1999
- 7) Vano E, Gonzalez L, Beneytez F, et al: Lens injuries induced by occupational exposures in non-optimized interventional radiology laboratories. *Br J Radiol* 71: 728-733, 1998
- 8) Wagner LK, Mcneese MD, Marx MV, et al: Severe skin reactions from interventional fluoroscopy: case report and review of the literature. *Radiology* 213: 773-776, 1999
- 9) Berlin L: Radiation-induced skin injuries and fluoroscopy. *Am J Roentgenol* 177: 21-25, 2001
- 10) Valentin J, ed: Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Pub 85. *Annals of the ICRP* Vol30, No 2, 2000
- 11) O'Dea TJ, Geise RA, Ritenour ER: The potential for radiation-induced skin damage in interventional neuroradiological procedures: a review of 522 cases using automated dosimetry. *Med Phys* 26: 2027-2033, 1999
- 12) den Boer A, de Feijter PJ, Serruys PW, et al: Real-time quantification and display of skin radiation during coronary angiography and intervention. *Circulation* 104: 1779-1784, 2001
- 13) IAEA Safety Series No.115-I: International basic safety standards for protection against ionizing radiations and for the safety of radiation sources. 1994, IAEA, Vienna
- 14) 石口恒男, 中村仁信, 岡崎正敏, 他: 肝細胞癌の動脈塞栓療法における患者と術者の被ばく測定. *日本医放会誌* 60(14): 839-844, 2000
- 15) Nakamura K, Ishiguchi T, Maekoshi H, et al: Selective fallopian tube catheterization in female infertility: clinical results and absorbed radiation dose. *Eur Radiol* 6: 465-469, 1996
- 16) Ruiz-Cruces R, Perez-Martinez M, Martin-Palanca A, et al: Patient dose in radiologically guided interventional vascular procedures: conventional versus digital systems. *Radiology* 205: 385-393, 1997
- 17) Nikolic B, Spies JB, Campbell L, et al: Uterine artery embolization: reduced radiation with refined technique. *J Vasc Interv Radiol* 12: 39-44, 2001
- 18) Zweers D, Geleijns J, Aarts NJ, et al: Patient and staff radiation dose in fluoroscopy-guided TIPS procedures and dose reduction, using dedicated fluoroscopy exposure settings. *Br J Radiol* 71: 672-676, 1998
- 19) Hwang E, Gaxiola E, Vlietstra RE, et al: Real-time measurement of skin radiation during cardiac catheterization. *Cathet Cardiovasc Diagn* 43: 367-370, 1998
- 20) McFadden SL, Mooney RB, Shepherd PH: X-ray dose and associated risks from radiofrequency catheter ablation procedures. *Br J Radiol* 75: 253-265, 2002
- 21) Murase E, Ishiguchi T, Ikeda M, Ishigaki T: Is lower-dose digital fluorography diagnostically adequate compared with higher-dose digital radiography for the diagnosis of fallopian tube stenosis? *Cardiovasc Intervent Radiol* 23(2): 126-130, 2000
- 22) ICRP: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, *Annals ICRP* 21, 1990
- 23) 日本血管造影・Interventional Radiology放射線防護委員会: 胆道系IVRの被ばく調査(未発表資料)
- 24) Vano E, Fernandez JM, Delgado V, et al: Evaluation of tungsten and lead surgical gloves for radiation protection. *Health Phys* 68: 855-858, 1995
- 25) King JN, Champlin AM, Kelsey CA, et al: Using a sterile disposable protective surgical drape for reduction of radiation exposure to interventionalists. *AJR* 178: 153-157, 2002