臨床技術

論文受付

2016年7月20日

論文受理

2017年5月17日

Code Nos. 621

822

コリメータカバーを含鉛シートで覆った
血管撮影装置における散乱線低減効果の検討宮川 潤¹ 窪田寛之¹ 松原孝祐² 越田吉郎²¹ 信州大学医学部附属病院放射線部² 金沢大学医薬保健研究域保健学系

緒言

医療スタッフの職業被ばくは、線量限度以下で可能な限り低いレベルに保つように適正な措置を講じて放射線防護を行うべきであり、医療従事者の被ばく低減に関するさまざまな研究が行われている^{1~10)}。2011年における国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection: ICRP) の勧告で、水晶体の線量限度を5年間平均20 mSv/年かつ単一年度で50 mSvを超えないようにすべきとの新たな声明が発表され¹¹⁾、これは現行の線量限度 (150 mSv/年) より大幅な低減である。インターベンショナルラジオロジー (interventional radiology: IVR) に携わる術者の被ばく線量は他の放射線業務従事者に比べ多いこと¹²⁾ から、白内障の危険性^{13, 14)} や近年ではIVRにお

ける術者の頭頸部癌の危険性の報告¹⁵⁾ もあり、より一層放射線防護の最適化が求められている。血管撮影におけるスタッフの被ばくは直接X線以外に検査テーブル、検出器、コリメータなどの機器および被検者からの散乱X線により被ばくを受ける可能性が高く¹⁶⁾、頭頸部被ばく線量の半数はコリメータ方向からの散乱線によるものといわれている⁷⁾。これはベッドサイドに設置する防護クロスによる遮蔽が可能であるが、この場合、術者側のみの遮蔽に限定されてしまい、患者看護や容態観察のために患者の頭側付近に位置する看護師には効果を発揮しない。また装置に装備されている放射線防護具が、使用に際し術者の作業性を阻害してしまうなどの欠点もあることから使用されないことの方が多い^{17, 18)}。防護用具が備えなければならない条

Investigation of Scattered Radiation Reduction Effect by Use of Collimator Cover Covered with Lead Sheet in Angiography Equipment

Jun Miyagawa,^{1*} Hiroyuki Kubota,¹ Kosuke Matsubara,² and Kichiro Koshida²¹ Department of Radiology, Shinshu University Hospital² Faculty of Health Sciences, Institute of Medical, Pharmaceutical and Health Sciences, Kanazawa University

Received July 20, 2016; Revision accepted May 17, 2017

Code Nos. 621, 822

Summary

The purpose of this study was to investigate the effect of scattered radiation reduction to medical staff by attaching the leaded sheet on the collimator cover of the angiography equipment. Ambient dose equivalent was measured to compare the rate of scattered radiation reduction between with and without the leaded sheet. Shielding effect was confirmed for scattered radiation in all directions, especially 27% of shielding ratio in the head and neck area when angiography equipment installed with small detector, and more than 40% of shielding ratio when adjusting a cut portion of leaded sheet to the field size. However, it decreased when the dose area product meter was not attached. Therefore, our proposed leaded sheet can reduce radiation dose to medical staff during angiographic and interventional procedures.

Key words: angiography equipment, scatter radiation reduction, absorbed dose rate, shielding effect, dose area product meter

*Proceeding author

Fig. 1 Our proposed leaded sheet.

(a) For 8 inch

(b) For diagonal 48 cm

(c) Equip leaded sheet on collimator cover of angiography equipment

a | b | c

件として術式を妨げず、さまざまな撮影角度に対応が可能であるなど、術者および医療スタッフの被ばく線量低減に有効でなければならない¹⁹⁾。そこで本研究では、血管撮影装置のコリメータカバーを含鉛材料で覆う形状の含鉛シートを作成し、場のモニタリングを踏まえて散乱線低減効果の検証を行ったので報告する。

1. 使用機器

1-1 血管撮影装置

装置は以下の2機種を用いた。

- ・血管撮影装置：Infinix Celeve-I INFX-8000V/JC(東芝メディカルシステムズ株式会社, 装置A)
- ・血管撮影装置：Artis Zee BA Twin(シーメンス旭メディテック株式会社, 装置B)

両装置共にアンダーテーブル方式の flat panel detector (FPD)で、最大照射野は装置Aで8インチ(20.3 cm 相当)の正方形、装置Bで対角48 cm(18.9インチ相当)の長方形サイズである。このときの装置A、Bの20 cm 厚 polymethyl methacrylate (PMMA)ファントムを使用した患者照射基準点における、自動輝度調整機構を用いた透視線量率は装置Aで20.3 mGy/min、装置Bで8.7 mGy/minである。

1-2 線量計

線量計は以下の3機種を用いた。

- ・指頭型電離箱線量計：model 9015(Radcal 株式会社)
- ・電離箱式サーベイメータ：ICS-321(アロカ株式会社)
- ・面積線量計：DIAMENTOR K2S(PTW 社)

Model 9015は日本品質保証機構、ICS-321は千代田テクノル株式会社、DIAMENTOR K2Sはfree in airの条件下においてmodel 9015で校正されたものを使用した。

Fig. 2 Upper and lower Pb protection cross and leaded sheet.

1-3 ファントム

ファントムは20 cm 厚 PMMA ファントム(縦30 cm, 横30 cm, 厚さ1 cm×20枚)および短径20 cm, 長径30 cm, 全長45 cmの楕円型の胸・腹部用X線水ファントム(日本工業規格 Z4915-1974 準拠, 京都化学株式会社)を使用した。

1-4 防護用具

防護用品に関して、含鉛シート(Fig. 1)と装置に設置する防護用具の散乱線低減効果を比較するため、下部防護クロス(0.25 mmPb)と上部防護クロス(0.35 mmPb：ともにクラレトレーディング株式会社)(Fig. 2)を使用した。また含鉛シートの作成方法は即座に着脱可能とするため、コリメータカバーの型をシェルESS-15(エンジニアリングシステム株式会社)で作成し、使用不能となったX線防護衣の傷や破損などがない使用可能な含鉛材料部分(0.175 mmPb)を切り取ってシェルの全周に貼り付け、最大照射野サイズかつ焦点受像面間距離(source image receptor distance: SID)を最短とした場合のコリメータカバー上縁の一

Fig. 3 Geometrical setup for measuring absorbed dose rate distributions.

(a) Side view
(b) Upper view

次 X 線照射領域を増感紙で確認し、その領域のみ切り取った。これにより、装置 A、B で使用する含鉛シートの重量はともに約 700 g、厚さを 2.5 mm とした。なお、装置 B は FPD を 90 度回転させることにより寝台に対し長手方向または左右方向に照射野を広くすることが可能であるが、X 線管はそうのように回転させることができない。すなわち含鉛シートの一次 X 線照射部分は正方形に作成しなくてはならず、最大照射野においても一次 X 線束と含鉛シートとの間には隙間が生じる形状である。

2. 方法

2-1 血管撮影室内の空間線量率測定

装置 A が設置されている血管撮影室内において測定を行った。幾何学的条件を Fig. 3 に示す。IVR に伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドラインの測定マニュアル²⁰⁾を参考とし、患者照射基準点の高さに寝台をあわせ、20 cm 厚 PMMA ファントムを寝台の上に載せてこれを散乱体とし、含鉛シート装着時と未装着時において、電離箱式サーベイメータを用いて透視時における周辺線量当量(空間線量)率測定を行った。照射野サイズは 8 インチを使用した。このとき、含鉛シート未使用時の線量率を D_0 、含鉛シート使用時の線量率を D とし、遮蔽率は次式にて算出²¹⁾した。

$$\text{遮蔽率(\%)} = \frac{D_0 - D}{D_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

すなわち遮蔽率が高いほど、遮蔽効果は優れている。測定位置は照射野中心から患者右側、頭側、左側

の 100 cm 離れた位置と、患者右側のみ 50 cm 離れた位置の床面より高さ 130 cm (頭頸部)、80 cm (下腹部)、40 cm (膝部) を想定した床上 3 ポイントで 3 回測定を行い、平均値を算出した。この床面からの高さは日本人の女性平均値²²⁾を参考に決定した。ハレーション防止用の補償フィルタと絞りは全開とし、X 線束の中心はファントム中心とした。また空間線量率低減量は、次式にて算出した。

$$\text{空間線量率低減量}(\mu\text{Sv/hr}) = D_0 - D \quad \dots\dots\dots (2)$$

2-2 術者方向(患者右側)の空間線量率測定

照射野中心から 100 cm 離れた患者右側(術者方向)における空間線量率測定を、幾何学的条件を変化させ、装置 A、B にて以下の測定を行った。

照射野サイズに関する測定は 20 cm 厚 PMMA ファントムを使用し、寝台高さは患者照射基準点、SID は 90 cm 固定とし、装置 A ではインチサイズ 5 (対角サイズ 12.7 cm 相当)、6 (15.2 cm)、7 (17.8 cm)、8 (20.3 cm) インチと 4 段階、装置 B では対角サイズ 11 (4.3 インチ相当)、16 (6.3 インチ)、22 (8.7 インチ)、32 (12.6 インチ)、42 (16.5 インチ) cm と 5 段階変化させて測定した。このときの装置 A の照射条件を Table 1 に、装置 B の照射条件を Table 2 に示す。なお、装置 B の対角サイズ 48 cm (18.9 インチ) に関しては、今回使用したサイズの PMMA ファントムでは照射野をカバーしきれないため、本実験からは除外した。

C アームの角度変化に関しては、冠動脈造影を想定

Table 1 Exposure condition of Infinix Celeve-I by changing inch size

Inch size (inch)	Tube voltage (kV)	Tube current (mA)	Pulse width (ms)	Filter (mmCu)	Source image receptor distance (cm)
5	73	144	10.2	0.3	90
6	73	128	9.5	0.3	90
7	73	110	8.6	0.3	90
8	73	88	7.5	0.3	90

Condition: Fluoroscopy, Fluoro detail: Middle, Pulse rate: 15 pulse/second

Table 2 Exposure condition of Artis Zee BA by changing diagonal size

Diagonal size (cm)	Tube voltage (kV)	Tube current (mA)	Pulse width (ms)	Filter (mmCu)	Source image receptor distance (cm)
11	68	183	8.6	0.3	90
16	65	213	12.7	0.6	90
22	65	136	12.6	0.6	90
32	63	215	12.7	0.9	90
42	63	147	12.6	0.9	90

Condition: Fluoroscopy, Pulse rate: 10 pulse/second

Table 3 Exposure condition by changing C-arm angle using a chest abdomen water phantom (Infinix Celeve-I)

C-arm angle	Tube voltage (kV)	Tube current (mA)	Pulse width (ms)	Source image receptor distance (cm)
Postero-Anterior (0°)	73	55	5.7	90
RAO30° CAU30°	73	120	9.1	95
RAO40° CRA40°	73	189	12.0	100
LAO55° CRA30°	78	200	12.2	95
LAO55° CAU35°	76	200	12.4	95

Condition: Fluoroscopy, Fluoro detail: Middle, Pulse rate: 15 pulse/s

すると C アームの角度が頻繁に変化するため^{23, 24)} 胸・腹部用 X 線水ファントムを使用し、循環器専用装置である装置 A が設置されている検査室内において、C アームの角度を変化させて測定した。このときの照射条件を Table 3 に示す。照射野は冠動脈造影で主に用いている 7 インチを使用した。また含鉛シートがずれずに臨床上使用可能か検討を行った。

装置に設置する防護用品を使用した空間線量率測定に関しては、装置 A にて 20 cm 厚 PMMA ファントムを使用し、術者方向のベッドサイドに設置する下部防護クロスと、下部・上部防護クロス両方を使用した状態における測定を、照射野サイズ 8 インチを使用して行った。

含鉛シートの切り取り面積は最大照射面積の大きさで固定されているため、照射野サイズを小さくすることにより一次 X 線束と含鉛シートの間には隙間が生じる。この影響を評価するため、照射野サイズ毎に含鉛シートの一次 X 線通過部分の切り取り部の面積を調整し、含鉛シートを照射野サイズに合わせ空間線量率を測定した。なお、測定は隙間が大きく生じる装置

B を使用し、最大照射野である対角 48 cm もカバーできる胸腹部用水ファントムを用い、床上 130 cm の位置にて評価した。

面積線量計の有無による空間線量率測定に関しては、装置 A の照射野サイズ 8 インチにて 20 cm 厚 PMMA ファントムを使用し、面積線量計により散乱線がどれだけ発生し、影響を及ぼしているかについて、面積線量計を装着時と未装着時での床上 130 cm 位置における空間線量率を測定することによって評価した。

3. 結果

3-1 血管撮影室内の空間線量率測定

照射野中心から各方向へ 100 cm と、患者右側方向へ 50 cm 離れた床上 3 点での含鉛シート有無における装置 A の空間線量率を Table 4 に示す。患者の全周において同様な傾向がみられ、最も線量率が高かった位置は床上 40 cm で、続いて 80 cm, 130 cm の順であり、空間線量率低減量は床上 40 cm で最も低く、80 cm と 130 cm では近い値を示した。これらの遮蔽

Table 4 Scattered radiation rate around patient using a 20 cm PMMA phantom without and with additional leaded sheet (Infinix Celeve-I)

Position	Right side						Head side			Left side		
Distance from center of field (cm)	50			100			100			100		
Height (cm)	40	80	130	40	80	130	40	80	130	40	80	130
without	2227	2220	1007	713	477	408	730	508	365	770	526	394
with	2163	1760	766	674	376	298	675	395	291	720	407	285
Subtraction	64	460	241	39	101	110	55	113	74	50	119	109

($\mu\text{Sv/hr}$)

Fig. 4 Comparison of shielding effect around patient each height from the floor (Infinix Celeve-I).

Fig. 5 Comparison of shielding effect by changing inch size or diagonal size.

(a) Infinix Celeve-I

(b) Artis Zee BA

率を Fig. 4 に示す。患者の全周において遮蔽効果が確認でき、患者右側方向の照射野中心から 100 cm の点における床上 40 cm で 6%, 80 cm で 22%, 130 cm で 27%であった。ただし患者頭側において、床上 130 cm で 80 cm よりも遮蔽率が低下した。照射野中心から 50 cm 離れた患者右側の床上 130 cm 位置においてはわずかではあるが、100 cm と比較して遮蔽率は低下した。

3-2 術者方向(患者右側)の空間線量率測定

照射野サイズ変化による散乱線遮蔽率を Fig. 5 に示す。装置 A において遮蔽率が高い床上の点は 130 cm であり、各インチサイズで値の変動はないことに対し、装置 B で遮蔽率が一番高い床上の点は 80 cm であり、130 cm では装置 A より値が顕著に低下しているが、対角サイズが大きくなるほど遮蔽率は上昇した。

C アームの角度変化による装置 A の空間線量率低

Fig. 6 Comparison of scattered radiation rate reduction by changing C-arm angle (Infinix Celeve-I).

Fig. 7 Comparison of shielding effect by changing C-arm angle (Infinix Celeve-I).

減量を Fig. 6 に、遮蔽率を Fig. 7 に示す。すべての角度において空間線量率は低減しており、その低減量は left anterior oblique 55°/caudal 35° の各床上の点で最大値を示したのに対して正面では値が低い。遮蔽率に換算すると正面での床上 130 cm の点で 44% と最大値を示した。また含鉛シートのずれは確認されなかった。

装置に設置する防護用品を使用した装置 A の空間線量率を Fig. 8 に示す。含鉛シート有無ともに同じ傾向がみられ、床上 40 cm と 80 cm の点では下部防護クロスで、130 cm の点では上部防護クロスを装着することにより散乱線を低減していた。また 130 cm の点における含鉛シートのない状態 (a) と含鉛シートによりコリメータカバーを覆った状態 (b) を比較した結果、上下部防護クロスを装着した状態でも含鉛シ

トにより 13% の遮蔽効果が得られる結果となり、防護クロスの有無にかかわらず含鉛シートを装着した方が散乱線を低減可能であった。

含鉛シートの切り取り面積を固定にて使用した場合と、照射野サイズ毎に合わせて使用した場合での装置 B における散乱線遮蔽率を Fig. 9 に示す。固定サイズと比較し、含鉛シートを照射野サイズに合わせて使用した場合では、すべての対角サイズにおいて遮蔽率は上昇し、対角サイズが小さくなるにつれて効果が大きくなり、16 cm 以下では遮蔽率 40% を超えた。

面積線量計の有無による装置 A の空間線量率を Fig. 10 に示す。面積線量計装着時の含鉛シートによる遮蔽率は 26% であったのに対し、面積線量計非装着時の遮蔽率は 7% であった。

Fig. 8 Results of scattered dose rate with and without upper and lower Pb protection cross (Infinix Celeve-I).
(a) Without lead sheet
(b) With lead sheet

Fig. 9 Comparison of shielding effect with and without manual X-ray beam limiting device by changing diagonal size at 130 cm height from the floor (Artis Zee BA).

DAP : dose area product meter

Fig. 10 Comparison of scattered radiation rate with and without dose area product meter at 130 cm height from the floor (Infinix Celeve-I).

4. 考 察

4-1 血管撮影室内の空間線量率測定

床面からの高さ方向における空間線量率を検討した文献^{3, 8, 25, 26)}と、本研究における結果(Fig. 4)はほぼ一致していた。患者頭側において床上 80 cm の点よりも 130 cm の点で遮蔽率が低下した原因は、130 cm 位置における X 線管方向からの散乱線はテーブルを透過したものが到達したためであると考えられる。

含鉛シートの効果においては、Postero-anterior 方向での術者頭頸部被ばく線量の半数は可動絞りの散乱線によるものであるという文献⁷⁾からもわかるように、頭頸部方向に対する散乱線の遮蔽に優れている。また全周において遮蔽効果があるため、すべての

医療スタッフの職業被ばく低減が期待できる。床上 130 cm における、照射野中心から 50 cm 離れた位置で 100 cm 離れた位置よりも遮蔽率が低下した原因は、線束に近付くほどコリメータ方向からの散乱角度は小さくなることから、自作の含鉛シートと一次 X 線束との間のわずかな隙間からの散乱線を検出したためであると考えられる。

4-2 術者方向(患者右側)の空間線量率測定

使用した装置はオートコリメーション機能が作動しているため、照射野サイズが変化することにより、自動で線束の大きさも変化する。線束が狭くなると含鉛シートと一次 X 線束との間に隙間が生じ、空間線量

率も増加すると考えられるが、照射野が狭くなる分、後方散乱係数は小さい値となる²⁷⁾。すなわち遮蔽率が変化しない部分に関してはX線管方向からの散乱線は増加するが、患者からの散乱線は減少するというトレードオフが成り立っているものと考えられる。

装置Bに関しては、Fig. 5より床上130 cmの点よりも80 cmの点で遮蔽率が高い結果であった。これは1-4項でも述べたが、最大照射野においても一次X線束と含鉛シートとの間には隙間が生じる形状であること、また大口径装置であることなどから130 cm位置では装置Aよりも散乱線を遮蔽できないためであると考えられる。

Cアームの角度変化による空間線量率低減量(Fig. 6)と遮蔽率(Fig. 7)に関しては、Cアームを斜位にした場合、管電圧が上昇することによって線質が硬化し、散乱X線のエネルギーが上昇して遮蔽率が低下する点や、線量増加にともない散乱X線の発生割合が増加する点、更にX線管の位置により術者位置での散乱X線量が増加する点が影響を及ぼしあって空間線量率低減量、散乱線遮蔽率が変化したと考えられる。また含鉛シートはシェルで確実に固定されていることや軽量、薄厚に抑えたことから装置の負担を最小限に抑え、含鉛シートのずれがなくベッドとの干渉を最低限にすることができ、臨床上使用可能と考える。またアンダーテーブルのコリメータカバーに装着するため、清潔野に影響を与えることもない。ただし、Japanese Industrial Standards Z 4701²⁸⁾では装置の改造は禁止されている。臨床での使用を想定し、不測の事態に備えて即座に着脱可能なデザインとしたが、臨床上での使用に際してはメーカーからの承諾を得ることが望ましい。

装置に設置する防護用品を使用した空間線量率に関して、Fig. 8より防護クロスは空間線量率の低減に重要な役割を果たしている^{2, 7, 8, 18)}。しかし、特に上部防護クロスは臨床での使用に際し不都合となるために使用されない場合が多いことを考えると⁴⁾、下部防護クロスは術者方向の下部空間における線量率を下げる効果がある一方で、上部空間の散乱線遮蔽効果は不十分であり、含鉛シートを装着することにより上部空間の線量率を下げるができる。また上部防護クロスと含鉛シートを同時に使用しても130 cm位置でわずかながら空間線量率の低減がみられ、散乱X線の遮蔽効果が期待される。

含鉛シートの切り取り面積を照射野サイズ毎に合わせて使用した場合での散乱線遮蔽率に関しては、一次X線束と含鉛シートの隙間をなくしたため散乱線を

十分に遮蔽でき、Fig. 9の結果が得られたものと考えられる。特に隙間の面積がより大きくなる対角サイズが小さい時により効果を発揮できるため、大型検出器を搭載した装置にはこの方式が有効であるが、実現させるには面積線量計の上面位置で照射野サイズ、SIDの変更により作動する自動コリメーション機能を搭載せねばならず、それには製造メーカーの莫大な設備投資が必要と考えられ、実現は容易ではない。

面積線量計の有無による空間線量率の変化(Fig. 10)に関しては、面積線量計から散乱線が発生していることに起因した結果が得られたといえる。面積線量計は患者の被ばく線量を把握するうえで欠かせない線量計であるが^{29~31)}、装備した結果、術者等の医療スタッフの被ばく線量を増加させる可能性がある。面積線量計を外して手技を施行することで、スタッフへの散乱線を低減することが可能であるが、含鉛シートは面積線量計から発生する散乱線を遮蔽する効果があり、含鉛シートの使用によりこのトレードオフを解消することができる。

4-3 コリメータカバーの遮蔽に関する今後への提言

本研究では、即座に着脱可能とするためにコリメータカバー外側に含鉛シートを装着したが、内側に鉛を貼り付ける対策等遮蔽をしっかりとコリメータカバーのデザインを施すことにより、X線作業環境の改善が期待される。面積線量計の上部に線束の面積にあわせて自動で可動するコリメータが装備されれば、より実用性が高くなるであろう。ただし、現時点で2メーカーの装置のみを使用しての評価であり、その他メーカーの装置を用いた評価は行っておらず、今後の検討課題である。しかしながら、装置メーカーは開発、更には標準装備への努力を切望する。

5. 結 語

血管撮影装置のコリメータカバー上縁を一次X線照射領域のみ切り取った含鉛シートを製作し、術者および医療スタッフの被ばく低減が可能かファントムを用いた測定を施行し、検討を行った。その結果、患者の全周において散乱線低減効果があり、特に小型検出器を搭載している装置では頭頸部領域で効果が高かった。大型検出器を搭載している装置では効果が低かったものの、面積線量計から発生した散乱線を遮蔽する効果を有していることも確認された。以上より、製作した含鉛シートを用いることによって、医療スタッフの被ばく線量を低減することが可能である。

謝 辞

本研究に際し、各測定にご協力いただきました信州大学医学部附属病院放射線部の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 才田壽一, 吉岡孝之, 奥西孝弘, 他. 新しい血管撮影用放射線防護具の開発. 日放技学誌 1997; 53(1): 1-7.
- 2) 熊谷道朝, 新谷光男, 倉西 誠. X線防護前掛のX線遮へい性能の測定評価. 日放技学誌 1999; 55(4): 379-384.
- 3) 飯田泰治, 上田伸一, 清水 満, 他. 血管造影検査における透視環境の違いによる術者の被曝線量. 日放技学誌 2000; 56(4): 610-618.
- 4) 飯田泰治, 茶島光浩, 清水 満, 他. 血管撮影領域における術者に対する放射線防護. 日放技学誌 2001; 57(12): 1548-1555.
- 5) Vano E. Radiation exposure to cardiologists: how it could be reduced. Heart 2003; 89(10): 1123-1124.
- 6) 大登邦充, 栗井一夫, 鶴田隆雄. IVRで使用する天井懸垂型含鉛アクリル防護板と散乱線の相互作用に関する考察. 日放技学誌 2004; 60(12): 1694-1703.
- 7) 飯田泰治, 堀井純清, 茶島光浩, 他. 血管造影検査における術者の被曝線量評価と放射線防護用具による被曝低減. 日放技学誌 2004; 60(12): 1713-1722.
- 8) 森 泰成, 越田吉郎, 藤井友則, 他. IVRに従事する看護師の被ばく形態の把握と管理手法の検討. 日放技学誌 2007; 63(4): 401-411.
- 9) 千田浩一. IVR術者被曝の計測評価と防護. 日放技学誌 2008; 64(8): 1009-1014.
- 10) Artschan RE, Brett DS, Chase K, et al. An investigation of the radiation doses to the lower legs and feet of staff undertaking interventional procedures. Br J Radiol 2014; 87 (1038): 20130746.
- 11) International Commission on Radiological Protection. ICRP Statement on tissue reactions/early and late effects of radiation in normal tissues and organs - threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 2012; 41(1-2): 1-322.
- 12) 全国循環器撮影研究会. 循環器被ばく低減技術セミナーテキスト. 東京, 2006.
- 13) Ciraj-Bjelac O, Rehani MM, Sim KH, et al. Risk for radiation-induced cataract for staff in interventional cardiology: is there reason for concern? Catheter Cardiovasc Interv 2010; 76(6): 826-834.
- 14) Vañó E, González L, Beneytez F, et al. Lens injuries induced by occupational exposure in non-optimized interventional radiology laboratories. Br J Radiol 1998; 71(847): 728-733.
- 15) Roguin A, Goldstein J, Bar O, et al. Brain and neck tumors among physicians performing interventional procedures. Am J Cardiol 2013; 111(9): 1368-1372.
- 16) 越田吉郎, 曾田卓実, 能登公也, 他. 腹部血管造影検査におけるX線防護衣の遮へい評価. 日放技学誌 2005; 61(7): 989-996.
- 17) 栗井一夫, 青木雄二, 伊藤敏夫, 他. 最近のX線診断領域における従事者の被曝の問題点と防護衣の在り方検討班報告. 日放技学誌 1998; 54(5): 687-696.
- 18) 飯田泰治, 上田伸一, 魚山義則, 他. 血管撮影装置に対する放射線防護具の規格化に関する研究. 日放技学誌 1998; 54(1): 195.
- 19) 水谷 宏, 小林幸雄, 才田壽一, 他. 血管撮影における標準的な術者防護用具検討班報告. 日放技学誌 2001; 57(12): 1469-1478.
- 20) 医療放射線防護連絡協議会ブックレット作成ワーキンググループ. IVRに伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン—Q&Aと解説—第1章 IVRにおける患者皮膚線量の測定マニュアル. 医療放射線防護連絡協議会, 東京, 2004; 5-6.
- 21) 坂本 肇, 池川博昭, 小林 寛, 他. 血管撮影時における術者手指被曝線量低減方法に関する検討. 日放技学誌 2009; 65(1): 25-34.
- 22) 河内まき子, 持丸正明, 岩澤 洋, 他. 日本人人体寸法データベース 1997-98. 通商産業省工業技術院くらしとJISセンター. 2000.
- 23) 若松 修, 福地達夫, 関口博之, 他. 血管造影撮影系の実態調査. 日放技学誌 2001; 57(8): 953-961.
- 24) 中澤靖男, 加藤京一, 山本桂一, 他. 心臓カテーテル検査の実態と被曝線量測定. シネ撮影研究 1991; 7: 3-17.
- 25) Goldstein JA, Balter S, Cowley M, et al. Occupational hazards of interventional cardiologists: prevalence of orthopedic health problems in contemporary practice. Catheter Cardiovasc Interv 2004; 63(4): 407-411.
- 26) 森 泰成, 越田吉郎, 市川勝弘, 他. 個人線量計の特性をふまえたIVR従事者の被ばく線量評価. 日放技学誌 2007; 63(8): 852-861.
- 27) 西谷源展. 3.5 後方散乱係数について. 医療被ばく測定テキスト(放射線医療技術学叢書 25). 日本放射線技術学会, 京都, 2006: 16-18.
- 28) (社)日本画像医療システム工業会 QA 委員会: 医用 X 線装置通則 JIS Z 4701-1997 ガイド. 1998.
- 29) Le Heron JC. Estimation of effective dose to the patient during medical x-ray examinations from measurements of the dose-area product. Phys Med Biol 1992; 37(11): 2117-2126.
- 30) 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 2000; 56(10): 1256-1265.
- 31) 越田吉郎, 清水幸三, 宮地利明, 他. 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 2001; 57(12): 1541-1547.

問合先

〒390-8621 松本市旭3丁目1番1号
信州大学医学部附属病院放射線部 宮川 潤

なお、本研究の一部は第42回日本放射線技術学会秋季学術大会(2014年, 札幌)にて発表した。