

【原著】

IVR 室内における鉛板使用による床からの 散乱線量低減効果の検討

阿保淳*1 工藤幸清*2 荒井僚太*1 坂本颯*1 千田真由香*1 野呂朝夢祐*3
小山内暢*2 對馬恵*2 小宮睦弘*4 葛西慶彦*5 成田将崇*5

(2022年12月3日受付, 2023年2月21日受理)

要旨 : Interventional radiology (IVR) 室内における術者の足部の被ばく低減を目的とし, 鉛板使用による床からの散乱線量低減効果の検討を行った。IVR 室の床に鉛板を置かない場合と置いた場合での術者の足部位置における散乱線量をモンテカルロシミュレーションソフト Particles and heavy ion transport code system (PHITS) により算出した。同様に, ガラス線量計ならびにサーベイメータによる実測を行った。その結果, 鉛板使用による散乱線量の低減率は, シミュレーションの場合において約7割, 実測の場合において約3割となった。このことから, 鉛板使用は術者の足部の被ばく低減に有効であることが示唆された。

キーワード : IVR, 散乱線, 鉛板

I. はじめに

Interventional radiology (IVR) のような長時間被ばくを伴う作業を行う場合には, 寝台から垂らした鉛カーテンの使用によって, 術者の下半身の被ばく低減に役立つとされており, 中村らの報告によると, 術者の生殖腺の線量率は鉛カーテン不使用の場合は 0.46mSv/h であり, 鉛カーテン使用の場合は 0.18mSv/h であることが示されている¹⁾。しかし, 鉛カーテンと床との間に隙間が空いているものが多く, 寝台や患者からの散乱線が床に当たることでさらに散乱し, 床と鉛カーテンの隙間を通ることで, 術者の足部の被ばくが考えられる。放射線業務従事者の足部の被ばく線量は通常測定されず, どの程度の線量であるか不明瞭である。Artschan らは, 鉛カーテンの使用により, 下肢への被ばくは減少するが, つま先の線量は年間 110mSv に達する場合があると報告している²⁾。

一方, コンクリートと鉛ではコンクリートの方が後方への散乱(後方散乱)は多く, 斎藤らは, コンクリートの散

乱成分を100とした場合, 鉛の散乱成分は²⁴¹Amでは6.25, ¹⁷⁰Tmでは27.5であると報告している^{3),4)}。そのため, コンクリートの床であるIVR室内においても, コンクリートの上に鉛板を置くことで, 後方散乱線を低減させる可能性がある。

IVRに使用するX線の散乱線による足部の被ばく低減に関する報告はされていない。そこで本研究では, モンテカルロシミュレーションソフト Particles and heavy ion transport code system (PHITS)⁵⁾を用いて, 後方散乱の影響を評価した後, IVRを模擬し, 十分に後方散乱の影響が少なくなる厚さ2.0mmの鉛板を床に置かない場合と置いた場合での術者の足部位置における空間線量をシミュレーションによって算出した。また, 実際の透視装置を用いて, 鉛板の有無による術者の足部位置での散乱線量を測定した。シミュレーション結果と実測結果より, 鉛板の有無による散乱線の低減率を算出し, 床からの後方散乱による術者の足部の被ばく低減を検討した。

II. 方法

1. 使用機器

1) シミュレーション

- ・モンテカルロシミュレーションソフト : PHITS ver.3.24.
- ・平板デジタルファントム (Water) : 30cm×30cm×20cm.
- ・人体デジタルファントム (身長 163cm, 体重 60kg) : ICRP Publication 110, 女性モデル⁶⁾。

2) 実測

- ・診断用 X 線透視装置 : TOSHIBA 社製, Ultimax-I DREX-UI80, Tokyo, Japan.
- ・ガラス線量計素子 : AGC テクノグラス株式会社製,

*1 弘前大学医学部保健学科 Hirosaki University School of Health Science
〒036-8564 青森県弘前市本町 66-1 TEL:0172-33-5111
66-1, Honcho, Hirosaki-shi, Aomori, 036-8564, Japan

*2 弘前大学大学院保健学研究科
Hirosaki University Graduate School of Health Sciences
〒036-8564 青森県弘前市本町 66-1 TEL:0172-33-5111
66-1, Honcho, Hirosaki-shi, Aomori, 036-8564, Japan

*3 弘前大学大学院保健学研究科博士前期課程
Hirosaki University Graduate School of Health Science (Master Course)
〒036-8564 青森県弘前市本町 66-1 TEL:0172-33-5111
66-1, Honcho, Hirosaki-shi, Aomori, 036-8564, Japan

*4 弘前総合医療センター Hirosaki General Medical Center
〒036-8545 青森県弘前市富野町 1 TEL:0172-32-4311
1, Tominocho, Hirosaki-shi, Aomori, 036-8545, Japan

*5 弘前大学医学部附属病院 Hirosaki University Hospital
〒036-8563 青森県弘前市本町 53 TEL:0172-33-5111
53, Honcho, Hirosaki-shi, Aomori, 036-8563, Japan
Correspondence Author kohsei@hirosaki-u.ac.jp

GD-352M, Shizuoka, Japan.

- ・ガラス線量計リーダー：AGC テクノグラス株式会社製, FDG-1000, Shizuoka, Japan.
- ・アニーリング装置：日陶科学株式会社製, NHK-210-BS2, Aichi, Japan.
- ・プレヒート装置：ヤマト科学株式会社製, DKN302, Tokyo, Japan.
- ・ハイブリットサーベイメータ（半導体式測定器, GM 管式測定器）：Unfors 社製, RaySafe 452, Billdal, Sweden.
- ・平板ファントム（Tough Water, 30cm×30cm×20cm）：京都科学株式会社製, Kyoto, Japan.
- ・人体ファントム（身長 165cm, 体重 50kg）：京都科学株式会社製, PBU-50, Kyoto, Japan.

2. IVR 室のシミュレーション体系

PHITS により, (X, Y, Z) = (650cm, 400cm, 300cm), (-250~400, -200~200, -100~200) の IVR 室を 10cm 間隔の格子で模擬した。C アームはアンダーテーブルチューブ型とし, X 線源や鉛カーテン (0.5mmPb) 等の体系を図 1 に示す。図 1 より, (X, Y, Z) = (0, 0, 0) を平板ファントムの中心, 人体ファントムの正中肝臓レベルとした。後述の実験方法 5 と 6 の実測の体系では, シミュレーションの体系と同様に (X, Y, Z) = (0, 0, 0) を平板ファントムの中心, 人体ファントムの正中肝臓レベルに合わせ, 鉛カーテンの大きさは同一として床との隙間を 20cm, 床から寝台の上面までを 87.8cm とした。

3. 後方散乱の影響評価のための係数の算出

図 2 に示す体系によって PHITS の統計誤差が 1% 以下になるよう計算回数を 10^{10} 回とし, 粒子フルエンスを求め, 下式より, 検出器位置での後方散乱の係数を算出した。

$$\text{後方散乱の係数} = \frac{\text{散乱体ありにおける粒子フルエンス}}{\text{散乱体なしにおける粒子フルエンス}}$$

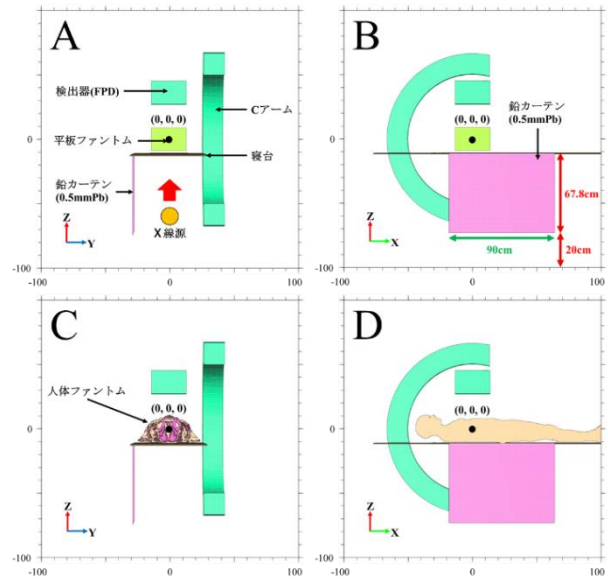


図 1 IVR 室のシミュレーション体系図

A, B : 平板ファントム使用時の y-z 平面, x-z 平面
C, D : 人体ファントム使用時の y-z 平面, x-z 平面

散乱体として使用したコンクリートは厚さ 20cm, 鉛は厚さ 0mm, 0.1mm, 0.5mm, 2.0mm の 4 種類である。後方散乱の係数は, 散乱体なしにおける線源からの光子 1 本当たりの粒子フルエンスを基準にして, 散乱体あり（コンクリート+鉛 0mm, コンクリート+鉛 0.1mm, コンクリート+鉛 0.5mm, コンクリート+鉛 2.0mm）の粒子フルエンスを算出し, 計算した。照射条件は IVR 装置を想定し, 管電圧 80kV, 固有ろ過 3.5mmAl 当量, 付加フィルタ 0.2mmCu とし, X 線スペクトル近似計算ソフト X-Tucker⁴⁷⁾にて算出したものを 1 次線のスペクトルとして使用した。X 線スペクトルから求められた半価層より, 実効エネルギーは 40.6keV であった。

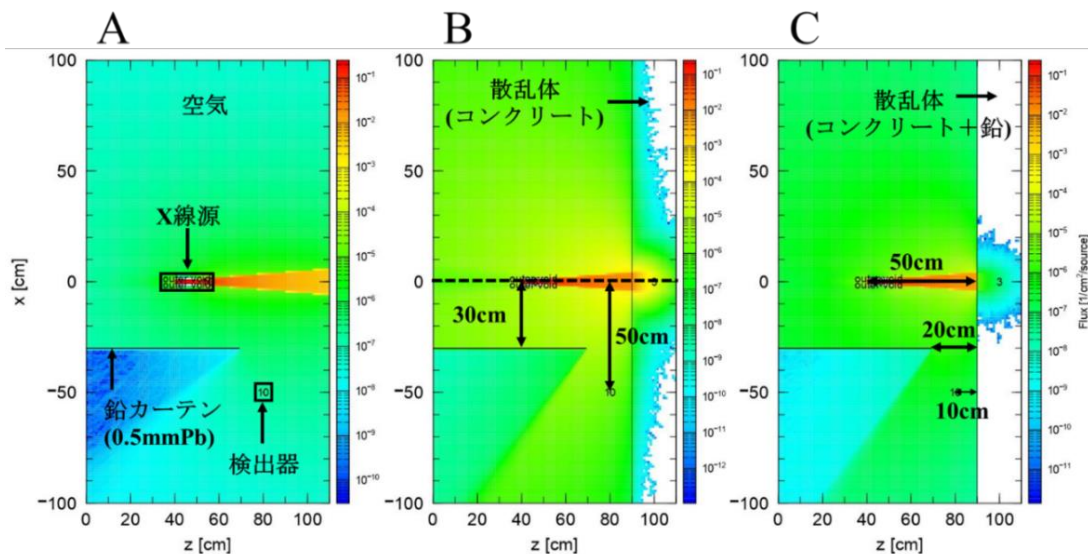


図 2 後方散乱の係数算出の体系図

A: 散乱体なし, B: 散乱体あり (コンクリート+鉛 0mm), C: 散乱体あり (コンクリートの表面に鉛 0.1, 0.5, 2.0mm)

4. 鉛板の有無による散乱線量のシミュレーション

平板, 人体ファントムについて, 2.0mm の鉛板を IVR 室内の床全域に置かない場合と置いた場合の床から高さ 10cm の位置における空間線量分布 (x-y 平面) をシミュレーションした。測定点は (40, -50, -90), (50, -50, -90), (60, -50, -90) の 3 箇所とした。PHITS の統計誤差を 1%以下にするには計算に長時間を要するため, 統計誤差が 10%以下になるよう計算回数を 10^7 回とした。なお, 本研究に使用した PC (Intel core i5, 9th Gen.) での計算時間は約 2 時間であった。線量は PHITS の粒子フルエンスに光子フルエンス当たりの換算係数⁸⁾を乗じて周辺線量当量 $H^*(10)$ を算出した。照射条件を表 1 に示し, 鉛板の有無によるシミュレーション体系を図 3 に示す。シミュレーションでは, 光子 1 本当たりの検出器位置での粒子フルエンスが算出されるため, 管電流や照射時間に関しては設定していない。また, 固有ろ過と付加フィルタは 3.5mmAl と 0.2mmCu の IVR 装置を想定した。

表 1 シミュレーションにおける照射条件

管電圧	80kV
照射野	16cm × 16cm (SID100cmでの検出器面)
管球角度	0° (床から天井方向)
固有ろ過	3.5mmAl
付加フィルタ	0.2mmCu

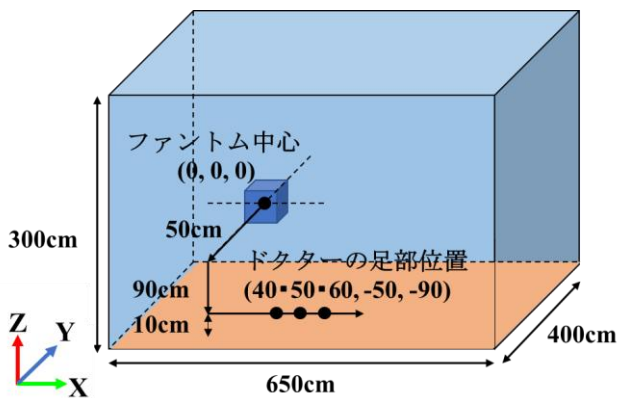


図 3 鉛板の有無によるシミュレーション体系

5. ガラス線量計による散乱線量の実測

平板, 人体ファントムについて, 2.0mm の鉛板を X 線管の下に置かない場合と置いた場合の床から高さ 5cm と高さ 10cm の位置における積算線量をガラス線量計で測定した。鉛板は寝台の長軸方向に約 160cm, 寝台の短軸方向に約 180cm の大きさのものを使用した。測定点は床から高さ 5cm の位置を (40, -50, -95), (50, -50, -95), (60, -50, -95) の 3 箇所, 床から高さ 10cm の 3 箇所, 計 6 箇所とした。照射条件を表 2 に示し, 体系を図 4 に示す。ガラス線量

計はスラブファントム上にあるため, 1cm 線量当量は個人線量当量 $H_p(10)$ ⁹⁾を表す。また, 測定される最小単位は $1\mu\text{Sv}$ である。250mA, 2sec, 50 回照射の理由として, 透視条件での照射では数時間の照射が必要になるためである。250mA, 2sec (250mA×2sec=500mAs) の 50 回照射は 500mAs × 50 回=25000mAs に相当する。一方, 透視条件として, 管電流 2mA の場合は 25000mAs÷2mA=12500sec (約 3.5 時間) の照射が必要になり, 測定が困難である。また, 固有ろ過と付加フィルタは 1.2mmAl と 1.2mmAl の透視装置を使用した。

ガラス線量計素子は 400°C, 20 分のアニーリングを行った後, ガラス線量計リーダーで初期値を測定した。照射時は Sn フィルタを装着して使用した。照射後は 70°C, 30 分のプレヒートを行った後, ガラス線量計リーダーで測定し, 正味の線量を算出した。ガラス線量計の素子間のばらつきの変動係数は 4.5%以内, リーダーの読取値の変動係数は 5%以内である¹⁰⁾。

表 2 ガラス線量計による実測時の照射条件

管電圧	80kV	50回照射
管電流	250mA	
照射時間	2sec	
照射野	16cm × 16cm (SID100cmでの検出器面)	
管球角度	0° (床から天井方向)	
固有ろ過	1.2mmAl	
付加フィルタ	1.2mmAl	

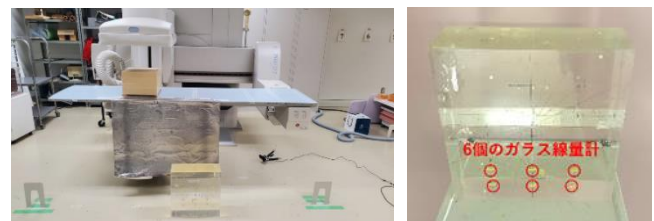


図 4 ガラス線量計による実測時の体系 (左図: 全体像, 右図: ガラス線量計の位置)

6. サーベイメータによる散乱線量の実測

ファントム, 鉛板については実験方法 5 と同様にし, 測定点 (50, -50, -90) の積算線量を測定した。測定はハイブリットサーベイメータを用い, Gy 単位と Sv 単位の設定で行った。実測時の体系を図 5 に示す。Sv は 1cm 線量当量の周辺線量当量 $H^*(10)$ である⁹⁾。

サーベイメータの変動係数は 3%未満であり¹¹⁾, 最小単位は 0.1nSv である。そのため, ガラス線量計による実測よりも照射時間を短く設定し, 照射を 250mA, 2sec, 10 回照射とした。それ以外は表 2 と同様の条件とした。

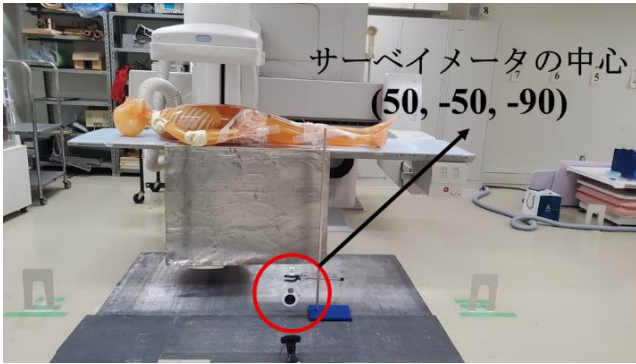


図 5 サーベイメータによる実測時の体系

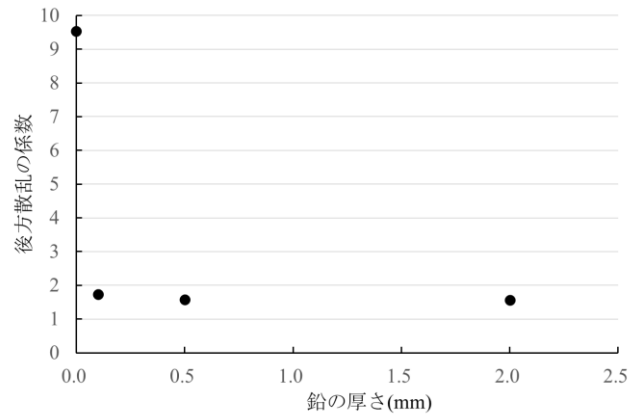


図 7 鉛の厚さによる後方散乱の係数の変化

7. 寝台の厚さによる散乱線量の低減率の違い

IVR 装置の寝台では透視装置よりも X 線吸収の少ないものが使用される。そこで、寝台による散乱線の影響を評価するため、寝台の厚さが 0.85mmAl 当量と、2.0mmAl 当量についてシミュレーションを行い、散乱線量の低減率を比較した。

8. C アームの向きによる散乱線量の低減率の違い

C アームの向きによる散乱線の影響を評価するため、C アームの向きが図 6-A のときを 0° 、図 6-B のときを 90° としてシミュレーションを行い、散乱線量の低減率を比較した。

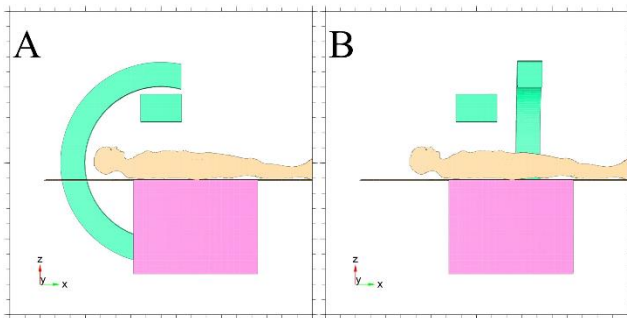


図 6 C アームの体系

A : C アームの向き 0° , B : C アームの向き 90°

表 3 鉛板の有無による散乱線量と低減率 (シミュレーション)

A 平板ファントム 使用時の 測定点	線源からの光子1本 当たりの線量 $H^*(10)$ ($\times 10^{-14}\mu\text{Sv}$)		鉛板による 低減率
	鉛板なし	鉛板あり	
(40, -50, -90)	12.8	3.4	73%
(50, -50, -90)	9.9	2.7	73%
(60, -50, -90)	8.4	1.6	81%

B 人体ファントム 使用時の 測定点	線源からの光子1本 当たりの線量 $H^*(10)$ ($\times 10^{-14}\mu\text{Sv}$)		鉛板による 低減率
	鉛板なし	鉛板あり	
(40, -50, -90)	11.5	3.4	70%
(50, -50, -90)	8.9	2.3	74%
(60, -50, -90)	8.5	1.8	79%

III. 結果

1. 後方散乱の影響評価のための係数の算出

PHITS により得られた後方散乱の係数算出結果を図 7 に示す。鉛 0, 0.1, 0.5, 2.0mm の後方散乱の係数はそれぞれ 9.5, 1.7, 1.6, 1.6 であった。この結果より、0.5mm と 2.0mm の鉛板の後方散乱の係数に差はなく、厚さ 0.5mm 以上の鉛板では後方散乱の影響は同等であり、本研究では 2.0mm の鉛板を用いた。

2. 鉛板の有無による散乱線量のシミュレーション

2.0mm の鉛板の有無による測定点の線量と鉛板による低減率を表 3-A, B に示す。平板、人体ファントムともにすべての測定点で、鉛板なしに比べ鉛板ありの方が線量は低く、鉛板による低減率は 70% から 81% であった。

3. ガラス線量計による散乱線量の実測

2.0mm の鉛板の有無による測定点の積算線量と鉛板による低減率を表 4-A, B に示す。平板、人体ファントムともにすべての測定点で、鉛板なしに比べ鉛板ありの方が線量は低く、鉛板による低減率は 20% から 36% であった。

4. サーベイメータによる散乱線量の実測

2.0mm の鉛板の有無による測定点の積算線量と鉛板による低減率を表 5 に示す。平板、人体ファントムともに、鉛板なしに比べ鉛板ありの方が線量は低く、鉛板による低減率は 29% から 38% であった。

表 4 鉛板の有無による散乱線量と低減率
(ガラス線量計による実測)

A 平板ファントム 使用時の測定点		積算線量 $H_p(10)$ (μSv)		鉛板による 低減率
		鉛板なし	鉛板あり	
床から 10cm の高さ	(40, -50, -90)	59	39	34%
	(50, -50, -90)	50	32	36%
	(60, -50, -90)	44	32	27%
床から 5cm の高さ	(40, -50, -95)	52	36	31%
	(50, -50, -95)	43	31	28%
	(60, -50, -95)	39	29	26%

B 人体ファントム 使用時の測定点		積算線量 $H_p(10)$ (μSv)		鉛板による 低減率
		鉛板なし	鉛板あり	
床から 10cm の高さ	(40, -50, -90)	70	48	31%
	(50, -50, -90)	62	45	27%
	(60, -50, -90)	58	44	24%
床から 5cm の高さ	(40, -50, -95)	63	47	25%
	(50, -50, -95)	55	44	20%
	(60, -50, -95)	53	42	21%

表 5 鉛板の有無による散乱線量と低減率
(サーベイメータによる実測)

	平板ファントム		人体ファントム	
	積算線量 空気カーマ (μGy)	積算線量 $H^*(10)$ (μSv)	積算線量 空気カーマ (μGy)	積算線量 $H^*(10)$ (μSv)
鉛板なし	5.7	7.7	7.0	9.4
鉛板あり	3.6	4.8	5.0	6.5
鉛板による 低減率	37%	38%	29%	31%

5. 寝台の厚さによる散乱線量の低減率の違い

寝台の厚さを 0.85mmAl 当量と 2.0mmAl 当量について、鉛板の有無による低減率を表 6 に示す。0.85mmAl 当量の場合の低減率は 70% から 81% であり、2.0mmAl 当量の場合の低減率は 74% から 82% であった。このことから、寝台の厚さによる低減率に大きな差はなかった。

6. C アームの向きによる散乱線量の低減率の違い

C アームの向きを 0° と 90° について、鉛板の有無による低減率を表 7 に示す。 0° の場合の低減率は 70% から 81% であり、 90° の場合の低減率は 68% から 78% であった。このことから、C アームの向きによる低減率に大きな差はなかった。

表 6 寝台の厚さによる低減率

術者の 足部位置	散乱線量の低減率			
	0.85mmAl 当量		2.0mmAl 当量	
	平板	人体	平板	人体
(40, -50, -90)	73%	70%	74%	77%
(50, -50, -90)	73%	74%	76%	78%
(60, -50, -90)	81%	79%	79%	82%

表 7 C アームの向きによる低減率

術者の 足部位置	散乱線量の低減率			
	0°		90°	
	平板	人体	平板	人体
(40, -50, -90)	73%	70%	68%	75%
(50, -50, -90)	73%	74%	77%	77%
(60, -50, -90)	81%	79%	77%	78%

IV. 考察

1. シミュレーションと実測での低減率の違い

本研究の結果より、鉛板の使用によって術者の足部に相当する位置での散乱線量は低減できると言える。しかし、鉛板による低減率に着目すると、シミュレーションでは約 7 割 (70~81%)、実測では約 3 割 (ガラス線量計: 20~36%、サーベイメータ: 29~38%) の散乱線量低減効果であり、シミュレーション結果と実測結果に大きな差が見られた。この要因について、寝台からの散乱線の影響と C アームからの散乱線の影響を確認するため、寝台の厚さと C アームの向きを変化させ、シミュレーションを行った。その結果、寝台の厚さによる影響 (表 6) と C アームの向きによる影響 (表 7) はほとんどなかった。

齊藤らによれば、 ^{241}Am と ^{170}Tm の光子によるコンクリートの後方散乱成分を 100 とすると、鉛の後方散乱成分はそれぞれ 6.25 と 27.5 であると報告されている³⁾⁴⁾ (表 8 参照)。本研究では、管電圧 80kV の連続エネルギー X 線を想定しており、実効エネルギーは 40.6keV である。齊藤らは放射性同位元素を用いており、本研究の光子エネルギーとは必ずしも一致しないが、 ^{241}Am と ^{170}Tm の光子エネルギー範囲に近く、後方散乱の低減率は ^{241}Am 93.75%、 ^{170}Tm 72.5% であり、本研究でのシミュレーションの低減率は 70% から 81% であったため、シミュレーションの統計誤差 10% を考慮すると、齊藤らの結果に近いと考えられた。

実測での低減率が低いと考えられたため、X 線管につい

て着目した。シミュレーションでは、X線の出力の際にターゲットを用いておらず、点線源から直接光子を照射しているため、X線管からの散乱線を考慮していない体系である。これに対し実測では、多重絞りからの散乱線や漏れX線の影響があり、X線管からの散乱線が線量に付与されていると考えられた。飯田らは、IVRにおいて術者が受ける散乱線の多くは可動絞り器と被写体からの散乱線であると報告している¹²⁾。また、JIS Z 4701 医用X線装置通則¹³⁾では、X線源装置の焦点から1mの距離において、1時間当たりの積算値は1.0mGyを超えないこととされており、本研究の実測値はμGyオーダーである。このことから、鉛板の有無に関係なく、X線管からの漏洩線量が付加されており、実測での鉛板による散乱線の低減率が低くなったと考えられた。

表 8 文献^{3),4)}による²⁴¹Amと¹⁷⁰Tmの後方散乱成分

	主な光子エネルギー(keV) (放出割合)	コンクリートの 散乱成分	鉛の 散乱成分
²⁴¹ Am	26.3 (2.4%)	100	6.25
	59.5 (35.9%)		
	16.1 (37.9%) Np-L		
¹⁷⁰ Tm	84.3 (2.5%)	100	27.5
	52.1 (2.6%) Yb-Kα		
	59.8 (0.66%) Yb-Kβ		
	78.7 (0.0035%)		

主な光子エネルギー (keV), 放出割合 (%) は
アイントープ手帳¹⁴⁾より掲載。

2. ガラス線量計とサーバイメータでの 1 回照射当たりの実測値の違い

測定点を (50, -50, -90) としたとき、ガラス線量計とサーバイメータにより測定した 1 回照射当たりの線量 $H_p(10)$, $H^*(10)$ および鉛板の有無による低減率を表 9 に示す。表 9 より、鉛板の有無で約 3 割 (27~38%) の低減率が得られ、かつガラス線量計の線量はサーバイメータの線量に比べ高値を示した。ここで、ガラス線量計はスラブファントム上での測定であり、個人線量当量 $H_p(10)$ を表すのに対し、サーバイメータは周辺線量当量 $H^*(10)$ を表す。散乱線の方法は一定ではないため、 $H_p(10) < H^*(10)$ の関係となる⁹⁾。しかし、本研究では逆の関係となったため、これらの原因についての考察を行った。

1) エネルギー特性の違い

ガラス線量計の測定範囲は 25keV 以上¹⁵⁾、サーバイメータの測定範囲は 16keV 以上¹¹⁾であった。ここで、IVR における後方散乱線は患者や寝台からの散乱線がさらに床で後方散乱を起こすことによって発生するものである。このように散乱を繰り返したものであるため、散乱線のエネルギーは小さくなる。このことから、より低い光子エネルギー

の測定が可能なサーバイメータの方が指示値は高くなる。しかし、結果はガラス線量計の方が指示値は高いため、エネルギー特性が原因とは考えられなかった。

表 9 ガラス線量計とサーバイメータでの
1 回照射当たりの実測値

		ガラス線量計	サーバイメータ
		50回照射中の1回 照射当たりの線量 $H_p(10)$ (μSv)	10回照射中の1回 照射当たりの線量 $H^*(10)$ (μSv)
平板	鉛板なし	1.00	0.77
	鉛板あり	0.64	0.48
	低減率	36%	38%
人体	鉛板なし	1.24	0.94
	鉛板あり	0.90	0.65
	低減率	27%	31%

2) レスポンスの違い

レスポンスは測定すべき値に対する指示値を示し、感度とも呼ばれるもので、ガラス線量計のレスポンスは 25keV に対して 1.2¹⁰⁾、サーバイメータのレスポンスは 16keV に対して 1.6¹¹⁾である。レスポンスが大きいほど測定器の感度が良いため、線量が高値になる傾向がある。しかし、本研究ではガラス線量計の方が線量は高いため、レスポンスが原因とは考えられなかった。

3) 測定位置の違い

ガラス線量計素子の寸法はφ1.5×12mm (ホルダー寸法: φ4.3×14.5mm)¹⁵⁾であり、素子の寸法が小さく、ピンポイントでの線量を指示している。一方、サーバイメータの測定部の寸法はφ12cmであり、床から高さ4~16cmの範囲を測定していることになる。サーバイメータの全体像を図 8 に示す。A は半導体検出器の固体センサー、B は GM 管である。X, γ 線測定時は固体センサーにより測定される¹¹⁾。また、表 4 より、床からの高さによって線量は違うが、サーバイメータではその違いが反映されない。そのため、ガラス線量計とサーバイメータで 1 回照射当たりの実測値に違いが見られたと考えられた。



図 8 サーバイメータの全体像

A : 半導体検出器の固体センサー, B : GM 管

V. おわりに

本研究におけるシミュレーション結果ならびに実測結果より、鉛板の使用によって床からの後方散乱が減少した。床からの後方散乱による術者の足部の被ばくを低減するため、鉛カーテンと床との隙間を無くすることはもとより、鉛カーテンを床まで垂らすことができない場合は鉛板を床に敷くことが有効である。鉛カーテンと床との隙間が空いている場合には床からの後方散乱による術者の足部の被ばくが避けられないため、鉛板の使用によって約3割の線量低減効果が見られ、防護の最適化に寄与することが示唆された。

利益相反 開示すべき利益相反はありません。

謝辞 本研究にあたってご協力くださった弘前大学医学部保健学科卒業生の大里翔馬様、星野優歩様ならびに弘前大学医学部附属病院医療技術部放射線部門の皆様へ深く感謝いたします。また、本研究はJSPS 科研費 JP19K10705, JP21K10366, JP22K10435 の助成を受けたものです。

引用文献

- 1) 中村浩人, 曾根啓司, 南京貴広, 他: フラットパネルディテクタ搭載型血管撮影装置における術者被曝の検討. 松江市立病院医学雑誌, 12(1): 37-41, 2008.
- 2) Artschan RER, Brettle DS, Chase K, et al.: An investigation of the radiation doses to the lower legs and feet of staff undertaking interventional procedures. *The British Journal of Radiology*, 87:1-8, 2014.
- 3) 齊藤秀雄, 佐藤乙丸: コンクリートからの後方散乱ガンマ線を低減させる表面材の研究(2). *生産研究*, 32(9): 16-18, 1980.
- 4) 齊藤秀雄, 佐藤乙丸: コンクリートからの後方散乱ガンマ線を低減させる表面材の研究(3). *生産研究*, 32(10): 36-39, 1980.
- 5) Sato T, Iwamoto Y, Hashimoto S, et al.: Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02. *J. Nucl. Sci. Technol.*, 55(5-6): 684-690, 2018.
- 6) The International Commission on Radiological Protection and The International Commission on Radiation Units and Measurements: Adult Reference Computational Phantoms. ICRP Publication 110, 39(2): 39, 2009.
- 7) 加藤秀起: X-Tucker-4, <https://www.soft222.com/x-tucker/>, (2022-11-29).
- 8) The International Commission on Radiological Protection: Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Publication 74, 26(3-4): 179, 1996.
- 9) 黒澤忠弘: ICRP/ICRU による新しい実用量の提案について. *FBNews*, 501: 1-5, 2018.
- 10) AGC テクノグラス株式会社: 蛍光ガラス線量計・小型素子システム Dose Ace 基本特性資料. 1-3, 2014.
- 11) Fluke Biomedical: RaySafe 452 Radiation Survey Meter Users Manual (Multilingual): https://www.raysafe.com/sites/default/files/5000195-RaySafe_452-Manual-1.10.pdf. (2022-12-2).
- 12) 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. *日本放射線技術学会雑誌*, 57(12): 1548-1555, 2001.
- 13) 日本工業規格 (JIS): 医用 X 線装置通則. Z 4701, 1997.
- 14) 日本アイソトープ協会: アイソトープ手帳 12 版. 丸善出版, 東京, 2021.
- 15) AGC テクノグラス株式会社: 蛍光ガラス線量計・小型素子システム Dose Ace 哲明資料. 5-16, 2014.

【Original article】

Effect of using a lead plate to reduce the scattered dose from the floor in the interventional radiology room

JUN ABO^{*1} KOSEI KUDO^{*2} RYOTA ARAI^{*1} HAYATE SAKAMOTO^{*1}
MAYUKA CHIDA^{*1} TOMUHIRO NORO^{*3} MINORU OSANAI^{*2}
MEGUMI TSUSHIMA^{*2} NOBUHIRO KOMIYA^{*4} YOSHIHIKO KASAI^{*5}
MASATAKA NARITA^{*5}

(Received December 3, 2022 ; Accepted February 21, 2023)

Abstract: In order to reduce radiation exposure to the operator's feet in the interventional radiology (IVR) room, we investigated the effect of using lead plates to reduce the amount of scattered radiation from the floor. The amount of scattered radiation at the operator's foot was calculated using the Monte Carlo simulation software PHITS with and without a lead plate on the floor of the IVR room. Further, measurements were taken using a glass dosimeter and a survey meter. It was found that the reduction rate of scattered radiation due to the use of lead plates was about 70% in the simulation and about 30% in the actual measurement. This suggests that the use of lead plates is effective in reducing radiation exposure to the operator's feet.

Keywords: IVR, Scatter, Lead plate