

令和7年度厚生労働科学研究費補助金（地域医療基盤開発推進研究事業）
「放射線診療の発展に対応する放射線防護の基準策定のための研究」
（研究代表者：細野 眞）

分担研究報告書
「放射線診断・IVRにおける放射線防護の基準作成」

研究分担者	赤羽 正章	国際医療福祉大学医学部 放射線医学
研究協力者	小林 育夫	福井大学附属国際原子力工学研究所
	五十嵐 隆元	国際医療福祉大学成田病院放射線技術部

1. 研究目的

2011年4月に国際放射線防護委員会（ICRP）が発表したソウル声明では、水晶体のしきい線量が従来考えられていたよりも低いこと、職業被ばくについて水晶体の等価線量限度を5年間の平均で20mSv/年かつ年間最大50mSvまで引き下げること、が述べられ、2012年にはICRP Publication 118が発行された。我が国においても2021年4月から水晶体等価線量限度が引き下げられた。これを受けて、X線透視を用いた治療手技の術者については天吊り防護板や防護メガネなど防護デバイスの活用が推奨され、特に高い水晶体等価線量が懸念される術者の水晶体等価線量算定に眼近傍の線量計を用いる機会が増えている。

天吊り防護板の物理的な遮蔽性能は高く、従事者の水晶体線量の大幅な低減が期待される一方で、実質的な遮蔽効果、すなわち実際に天吊り防護板が使用される状況における水晶体線量の低減率については実験環境でも臨床でもバラツキが大きく、使用方法によって効果変動するものと考えられている。しかし適切な使用方法に関する検討は十分とはいえず、このため各種ガイドラインにおける具体的な記述やその根拠となるエビデンスの記載は乏しい。こうした状況を勘案し、本研究ではファントムを用いて散乱線を発生させる実験系にて天吊り防護板の配置や撮影条件による遮蔽効果の違いを検討し、今後のガイドライン改訂に資するエビデンスの蓄積を目的とする。昨年度までは照射野や人体ファントムの条件を固定してジャングルジム法で空間線量分布を測定し、天吊り防護板の位置の変化の影響を検討した。今年度は照射野サイズが与える影響を検討する。

天吊り防護板と併用することにより遮蔽効果を向上する防護デバイスとして、患者の体を覆う防護シートが期待されており、市販品も複数存在する。昨年までの検討においても、体幹部の治療手技で大腿部を防護デバイスで覆うことが遮蔽効果を上乘せすることが確かめられている。しかし、防護シートの使用方法が遮蔽効果に与える影響の検討は十分でない。本研究では、防護シートが大腿を覆う範囲の変化が術者の水晶体線量に与える影響を検討し、将来のガイドライン改訂に資するデータを蓄積する。

2. 研究方法

2.1. 天吊り防護板の遮蔽効果に照射野サイズが与える影響の検討

右大腿動脈経由の腹部透視手技を想定し、散乱線発生源となる患者ファントムとして腰部ファントム（京都科学 セクショナルファントム 41926-080 腰部）を血管撮影装置の寝台に配置し、この腰部ファントムの大腿部断面の全体を覆うように 20×20×14cm アクリル板を近接して配置した。ジャングルジムは昭和丸筒製の 30cm 紙筒+プラスチックジョイントを用いて作成し、血管撮影装置の寝台を跨いで患者下肢の上方へ配置した。天吊り防護板を配置する場合の位置は、患者の体軸方向については検出器直近で、患者の左右方向は中心、高さ（患者の前後方向）は防護板下縁と人体ファントムが近接するようにした（図 1）。

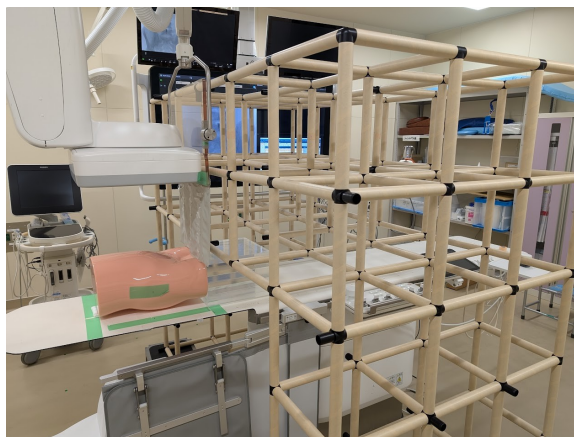


図 1

照射野と天吊り防護板配置との組み合わせは、(1)照射野絞りなし（0%絞り）・防護板なし、(2)照射野 60%絞り・防護板なし、(3)照射野絞りなし（0%絞り）・防護板あり、(4)照射野 60%絞り・防護板あり、の 4 条件とした。使用する血管撮影装置は フィリップス社製 Azurion 7 C20、照射条件は 80 kV, SID 120 cm, フィルタ 0.1mmCu+1mmAl, 検出サイズ 19 inch、撮影 6 フレーム/秒 × 30 秒、とした。自動露出調節機構を無効にできない装置であったので、照射野絞りなし（0%絞り）よりも 60%絞りの方が高い管電流となる状況であったが、客観的な管電流値は得られなかった。

線量計として nanoDot を、高さがジャングルジムの寝台より高い領域について、各ジョイント直近の紙筒部分に体軸方向へ直交する向きで貼付した。33cm 間隔で、患者の体軸方向 4 列×左右方向 7 列×前後方向（高さ）3 列の配置となった。術者の水晶体位置を想定した位置は、防護板より 70cm 尾側、患者から見て左右中心から 33cm 右、高さは 3 列のうち中段と定めたが、この位置の床面からの高さは 145cm であった。バックグラウンドの線量測定のため、3 個の nanoDot をコントロールとして保存～運搬の際に同梱した。nanoDot の読み出しは 3 回行って平均値を算出し、そこからコントロールの線量を差し引いた値が 0 以上であればそれを測定値とし、負であれば 0 を測定値とした。遮蔽率=1－（防護板ありの測定値）／（防護板なしの測定値）とした。

2.2. 防護シートの長さが術者水晶体線量に与える影響の検討

ジャングルジムを用いて、術者の水晶体位置を想定した位置に指頭型電離箱（容積 6 cc）を固定した。頭部および腕部を外した全身ファントム（京都科学社）を寝台に配置し、天吊り鉛カーテン付防護板を患者長軸に垂直な向きでフラットパネルディテクタ（FPD）に近接、防護板の下縁がファントムに近接するよう配置した。大腿動脈穿刺による手技を想定し、防護シートを穿刺部から患者尾側（下肢）に配置した。穿刺部より尾側の防護シートの長さを、0, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 17.5, 20, 25, 30, 40, 50, 60 cm

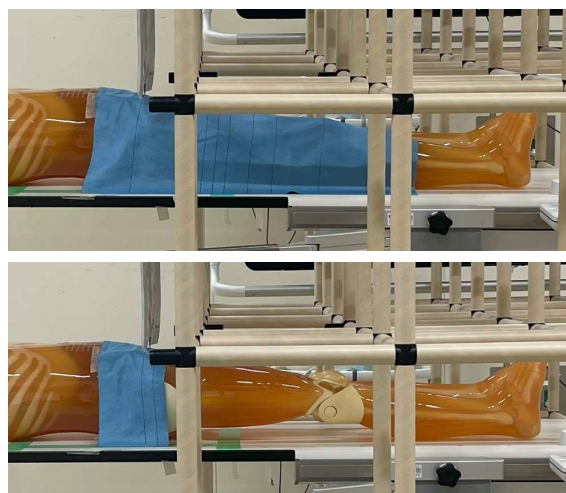


図 2

と変更し、術者水晶体位置（高さ 145cm）の線量をそれぞれ測定した（図 2）。照射部位は上腹部とし、その他の照射条件は 2.1.と同様の条件とした。

3. 結果

3.1. 天吊り防護板の遮蔽効果に照射野サイズが与える影響の検討

3.1.1. 絞り（照射野サイズ減少）による遮蔽効果

天吊り防護板なしの状態にて、照射野絞りなし（0%絞り）の場合と 60%絞った場合の線量を比較すると、照射野を絞ることによる遮蔽率は全測定点の平均で 85%（73～95%）、術者水晶体位置では 80%であった。

天吊り防護板ありの状態と同様に比較すると、遮蔽率は平均 87%（72～100%）で、術者水晶体位置では 92%であった。

表 1 照射野を絞ることによる線量低減率の比較

（照射野絞りなし（0%絞り）を基準とした 60%絞りによる線量低減率）

天吊り防護板の有無	全測定点の平均低減率（範囲）（%）	術者水晶体位置の低減率（%）
なし	26（73～95）	80
あり	87（72～100）	92

3.1.2. 天吊り防護板による遮蔽効果

照射野絞りなし（0%絞り）の状態にて、天吊り防護板なしとありを比較すると、天吊り防護板による遮蔽率は平均 26%（－23～96%）で、術者水晶体位置では 60%であった。遮蔽率が 50%を超える測定点の全測定点に対する割合は 25%であった。

照射野を 60%絞った状態にて、天吊り防護板なしとありを比較すると、天吊り防護板による遮蔽率は平均 34%（－33～100%）で、術者水晶体位置では 83%であった。遮蔽率が 50%を超える測定点の全測定点に対する割合は 40%であった。

表 2. 天吊り防護板の有無による遮蔽率の比較

照射野絞りの有無	全測定点の 平均遮蔽率（%）	術者水晶体位置の 遮蔽率（%）	遮蔽率 50%以上の 点の割合（%）
なし（0%）	26（－23～96）	60	25
あり（60%）	34（－33～100）	83	40

3.2. 防護シートの長さが術者水晶体線量に与える影響の検討

測定値は放射線防護シートなしでは 11.97 μ Gy、放射線防護シートの長さが 10, 20, 30, 40, 60 cm では 10.09, 8.79, 8.24, 7.81, 7.93 μ Gy であった。

放射線防護シートなしを基準とした時の遮蔽率は、図 3 に示す通り。

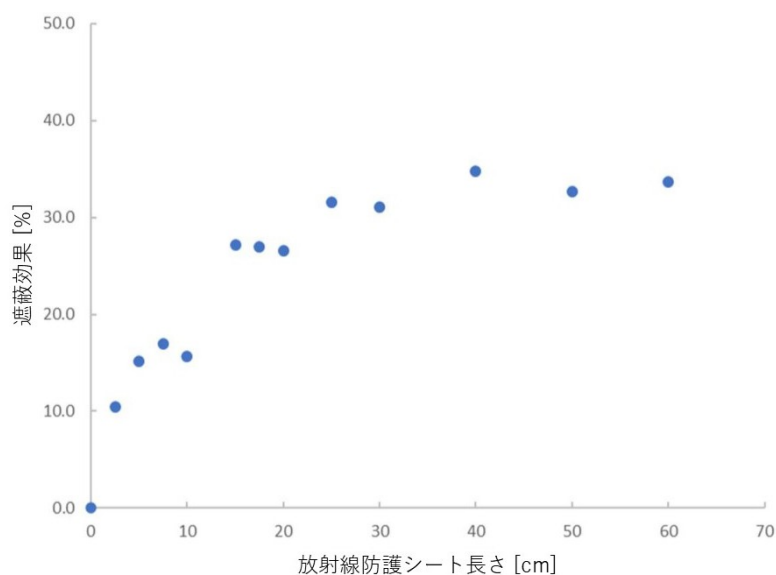


図 3

4. 考察

天吊り防護板の遮蔽効果が及ぶ領域は限定的なので、術者の水晶体線量を減らす効果は術者頭部の位置によって大きく異なる。照射野近くに配置された天吊り防護板が線量を50%以上減らす領域は、照射野を60%絞った場合、本研究の測定領域のうち40%であった。しかし照射野を絞りなし（0%絞り）にすると、線量を50%以上減らす領域は25%まで減少した。X線透視下手技中の術者頭部は頻繁に移動するので、それに合わせて天吊り防護板の位置を常に最適位置に調整することは現実的でないことを勘案すると、遮蔽効果が及ぶ範囲が25%に減ることは、実臨床での術者水晶体線量低減効果を損ねるだろう。また、助手に対する防護の効果についても悪い影響を与えることが懸念される。更に言えば、典型的な術者水晶体位置の遮蔽率は、照射野を絞った場合の83%に対して絞りなし（0%絞り）の場合は60%に低下しており、例えば術者の頭部位置が動かなかつたとしても照射野を広げることは防護板の遮蔽効果を損ねることがわかる。天吊り防護板の効果を発揮するには、照射野を絞った方が有利である。

照射野を60%絞ると自動露出調節機構が働いてX線管の出力は上昇していたが、それにも関わらず線量は73～95%低下しており、どの測定点でも大きな遮蔽効果が得られていた。天吊り防護板の遮蔽効果が及ばない領域にも有効なことは、大きな利点である。職業被ばく低減において、照射野を絞ることと天吊り防護板の組み合わせが重要と考えられる。

本実験にて測定値が負の値となった測定点があり、バックグラウンドとの差が測定誤差の範囲内となるほど線量が低いことを意味する。この測定点は、照射野の絞りが60%で天吊り防護板ありの状態で、左右方向中央のX線管装置から最も遠い位置であり、最も線量が低くなって然るべき位置であった。このような低線量領域の線量を正確に測定するためには、管電流や曝射時間を増やして全体の線量を上げるか、より測定誤差の少ない線量計を用いる必要がある。しかし、装置の管球容量の上限に近い曝射条件であったので、これ以上の線量増加は困難であった。また多くの測定点に対応できる線量計の選択肢は他になく、少ない数の線量計で多数回の曝射を実施することは管球容量の面で逆に不利となるので不適切である。

術者被ばくをもたらす散乱線源は天吊り防護板だけで覆い切れるほど小さくないので、鉛入り防護シートの有効性に疑問の余地はない。特に、防護メガネの弱点である下からの散乱線を減らすよう防護シートを配置する場合、防護メガネとの相補的な効果が期待される。それにも関わらず防護シートの活用が進まない理由として、手間や費用の問題がまずは挙げられるが、その背景にはシートでどの程度まで覆うべきなのかが不明確なため費用対効果のバランスのよいシート使用方法が不明確なことがあるかもしれない。今回の検討で、大腿動脈経路で腹部の手技を行うのであれば、シート延長が有効なのは概ね20～30cmまでで、それ以上に伸ばしても遮蔽効果が頭打ちとなることがわかった。20～30cm覆うような小さなシートで十分、ということならば、活用のハードルが下がるものと期待する。

5. 結論

X線透視診断装置の照射野を絞らず全開で用いると、空間全体の線量上がるだけでなく、天吊り防護板の遮蔽効果や遮蔽範囲も減少する。職業被ばく低減のためには、天吊り防護板の活用だけでなく、照射野を絞ることも組み合わせるべきである。

患者の体を覆う防護シートは散乱線の遮蔽に有効だが、照射野から遠ざかるほど効果は減弱する。大腿動脈経由の腹部手技で天吊り防護板と併用するなら、頭尾方向に概ね30cm程度のシートで十分だろう。

6. 参考文献

1. ICRP Statement on Tissue Reactions. <http://www.icrp.org/page.asp?id=123>
2. ICRP, 2012. 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 41(1/2).
3. 2021 年改訂版 循環器診療における放射線被ばくに関するガイドライン
https://www.j-circ.or.jp/cms/wp-content/uploads/2021/03/JCS2021_Kozuma.pdf
4. 医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン～水晶体の被ばく管理を中心に～
<https://www.kyoto-msc.jp/news/suishoutai2020/>