

令和6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策定」

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、それに伴い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で述べられ、2012年にはICRP Publication 118が発行された^{1,2)}。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や助手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、特に高い水晶体被ばく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、従事者の水晶体被ばく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被ばく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が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^{3,4)}。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ウム法⁵⁾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。今年度は更に解析を進め、天吊り防護板の配置が線量分布や術者と助手への被ばくに与える影響を、防護板直近や術者頭部付近に注目して詳細に検討した。

2. 研究方法

2.1. 患者ファントムとジャングルジム

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単純 X 線撮影用トレーニングモデルの全身ファントム（京都科学製 PBU-50）の体幹部～下肢を据置型デジタル式循環器用 X 線透視診断装置（以下「血管撮影装置」という。）の寝台に配置した。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（図 1）。術者から見て前方向かつ左右方向の平面の空間線量分布を測定するものとし、術者の水晶体の高さを想定して地上 110～176cm の高さで



図 1

前方向 200cm、左右方向 100cm を測定範囲とした。nanoDot 線量計はジョイント部に 33cm 間隔で配置し、更に防護板直近について密な配置となるよう、紙筒に沿って線量計を追加した（図 2）。

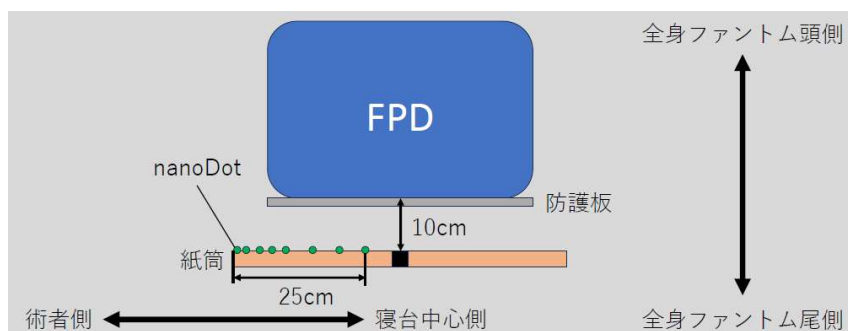


図 2

2.2. 天吊り防護板の配置

使用した天吊り防護板は、透明アクリル部分と、その下縁に4枚の短冊状防護カーテンを隙間なく配置した部分から構成されていた。配置は、①なし、②検出器（FPD）近接、高さ（寝台から天吊り防護板下縁まで）25cm、③FPD 近接、高さ 15cm、④ FPD 近接、高さ 5cm、下縁の防護カーテンを患者足側へ沿わせる（図 3）、⑤FPD から 30cm 足側、高さ 25cm、⑥FPD から 30cm 足側、高さ 15cm、⑦FPD から 66cm 足側かつ術者から見て 30cm 手前、高さ 25cm、の7条件で測定した（図 4）。条件⑦は術者頭部のすぐ左に配置した状態を想定している。

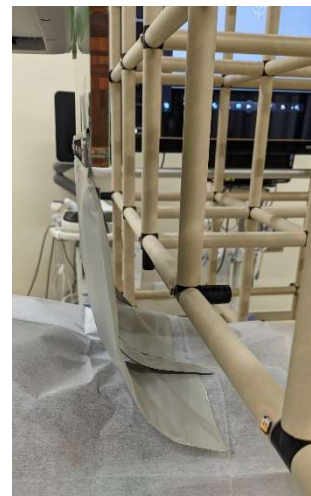


図 3

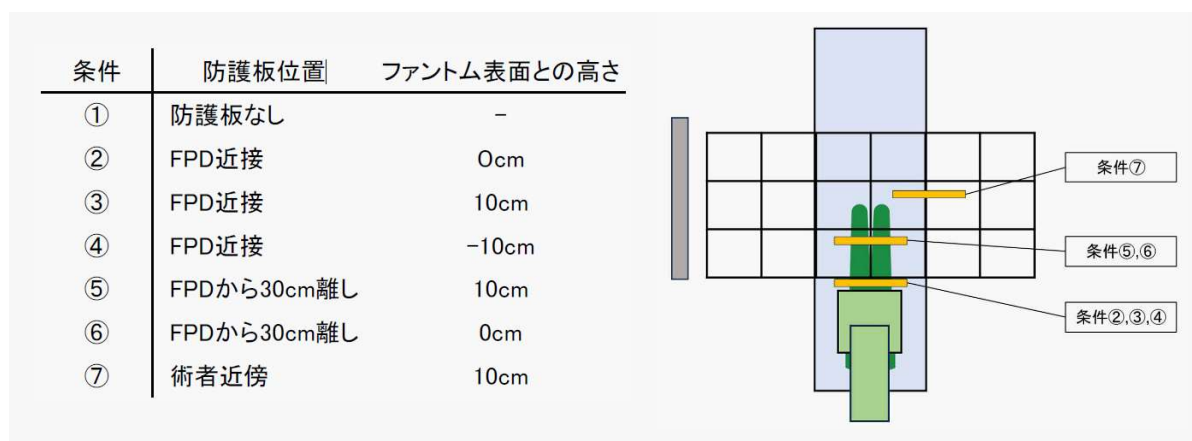


図 4

2.3. 照射条件、線量計読み出し、線量分布図作成

使用した血管撮影装置はフィリップス社製、照射条件は 80 kV, 12mAs, SID 120cm, フィルタ 0.1mmCu+1mmAl, 撮影 8 フレーム/秒 × 30 秒とした。

各 nanoDot について 3 回の読み出しの平均を測定値とし、Graph-R（株式会社エスネクト）を用いて線量分布図を作成した。

3. 結果

3.1. 防護板直近の線量分布

FPD に近い位置で防護板の高さを 3 段階に変更した条件②、③、④について防護板直近の線量を比較した結果を、防護板なしの線量とともに図 5 に示す。線量計の配置は図 2 のとおり術者側の防護板範囲外を原点とし、防護板辺縁の位置は 5 cm 付近に相当する。防護板下縁とファントム前面の隙間が 0 cm の条件③（グラフ凡例: 0 cm）より、更に 10cm 下げて下縁の防護シートを足側へ沿わせた条件④（グラフ凡例: -10 cm）の方が、防護板中央寄りでは低い線量を示したが、防護板辺縁近くや更に外側においては高い線量を示し逆転していた。

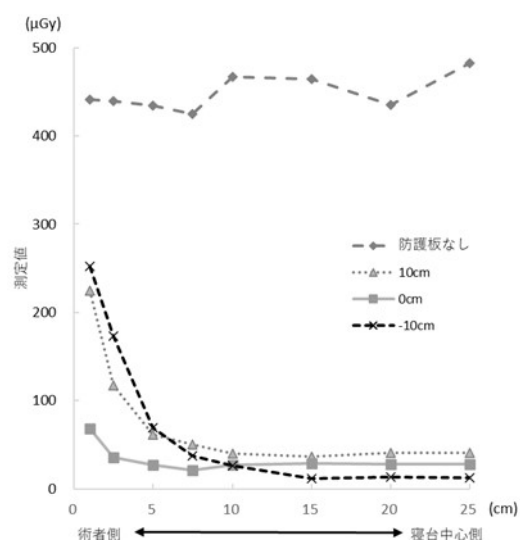


図 5

3.2. 術者頭部位置の線量

術者が真っ直ぐ立ってモニターを向いた状態での眼の水晶体の位置における線量は、天吊り防護板の配置位置の違いによって図 6 のように変化した。

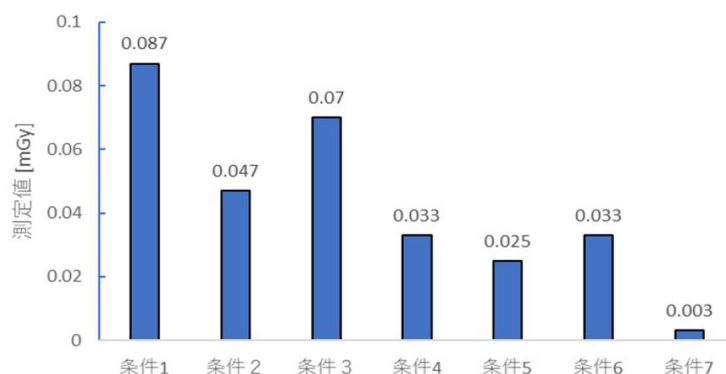


図 6

条件①の防護板なしと比較して、天吊り防護板により線量が 50%以上下がった測定点の数は、天吊り防護板の配置位置の違いによって図 7 のように変化した。

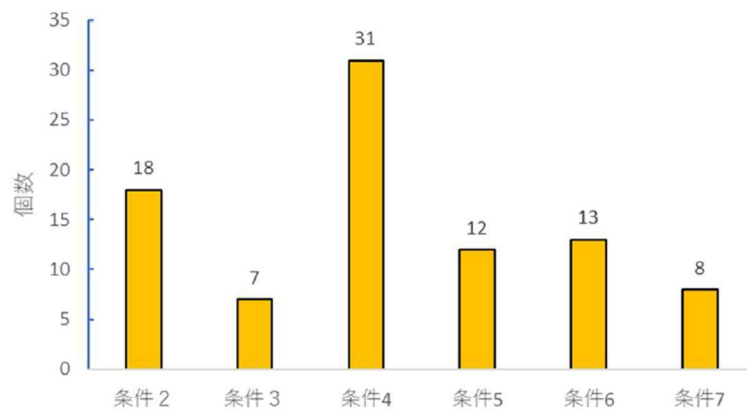


図 7

条件⑦の術者近傍に天吊り防護板を配置した状態での遮蔽効果は下記（図 8）の通りで、防護板近くで線量上昇が観察された。

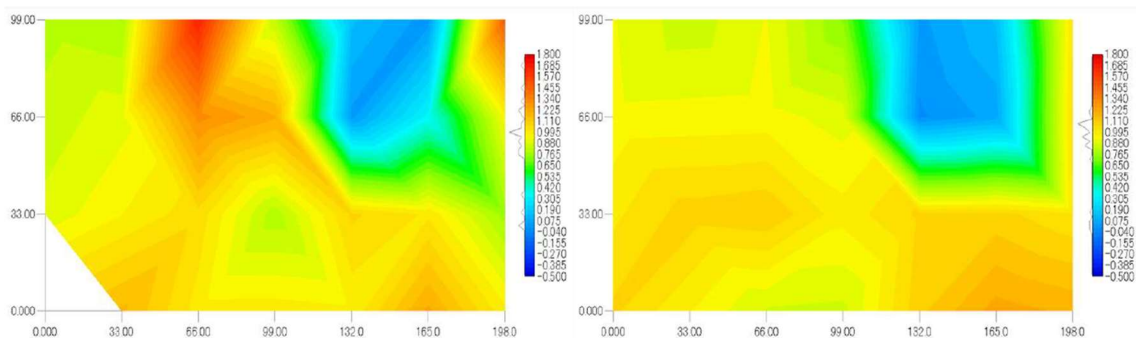


図 8（上下左右の方向は図 4 と同様）

4. 考察

4. 1. 防護板直近の線量分布

防護板を下げて防護シートを足側へ沿わせる条件④では、大腿からの散乱線が遮蔽され、他の条件よりも全体に線量が下がることを想定していた。しかし、防護板中央寄りでは想定通りの結果となったのに対して、防護板辺縁寄りではむしろ線量が高まる結果となった。この原因を考察するため、条件④におけるジャングルジム低層全体の線量分布（図 9）を参照すると、防護板

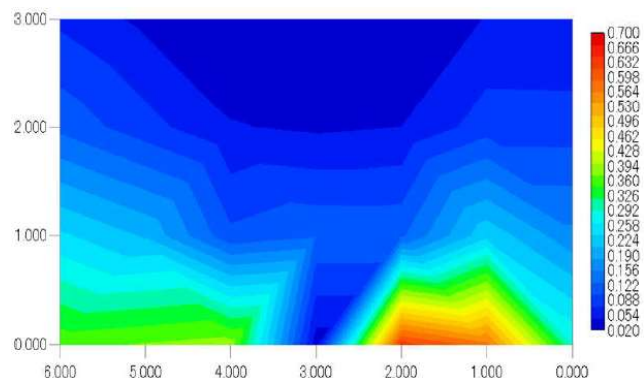


図 9（上下左右の方向は図 4 と同様）

の両側で線量に差が生じており、術者側が高いことがわかった。原因として、4つの短冊が

わずかに重なるよう配置された防護シートは、ファントムに接していない状態では隙間の無い状態であるが、ファントムに接する状態では短冊がたわんでスリットが開く形となり、今回使用した製品ではスリットが術者側へ向けて開いていることから、スリットから漏洩した散乱線が線量を高めたものと考えられた。患者の右に術者が立つことが多い現状を考慮すると、スリットが逆向きの左へ開くよう、防護シートの重ね方を逆向きにした方が術者側の遮蔽効果が高まり都合がよいであろう。

4.2. 術者頭部位置の線量

天吊り防護板の遮蔽効果は、防護板を術者頭部近くに配置することで大幅に向上することが確認された。一方で、術者に近い配置は遮蔽効果の及ぶ範囲が狭く、防護板近傍では恐らく二次散乱線により線量が上昇していたことから、術者頭部の移動により期待通りの効果が得られない可能性や、助手の防護が不十分となることが懸念された。水晶体等価線量限度を超える恐れが高まった術者など、短期で大幅に線量を下げ必要がある場合、術者の頭が遮蔽範囲に収まっていることをこまめに確認し必要に応じて位置調整できるならば、術者頭部近くの配置が効果的であろう。

検出器に近い位置に防護板を配置することで、遮蔽効果は下がるものの、遮蔽範囲を広げることができた。線量限度まで余裕がありかつ助手も防護したい場合は、このような運用が有効だろう。しかし、検出器にごく近い位置に防護板を配置する場合は、防護板下縁と患者表面との間が 10cm を越えると遮蔽効果が殆ど無くなってしまうので、隙間を皆無とするか、それが適わない場合は防護板を検出器から少し離れた方がよいだろう。防護板下縁にカーテンがある場合、カーテンを患者の足側に沿わせられれば、50%以上の線量低減が広い範囲で得られるので、できるだけこのような配置を目指すべきである。例えば肝細胞癌 TACE であれば、穿刺から親カテーテル留置までは検出器から少し離して防護板を配置し、マイクロカテーテルを進める段階に入ったら穿刺部を覆うようにカーテンを配置する、という段取りが考え得る。

5. 結論

天吊り防護板は、術者頭部近くに配置すると遮蔽効果が最大となり、検出器近くに配置すると遮蔽範囲が最大となるので、用途に応じて使い分けるとよいだろう。術者頭部近くに配置する場合、頭部位置に応じたこまめな調整が必要だろう。検出器近くに配置する場合、防護板下縁と体表部の隙間を皆無とすべきで、それが適わないなら検出器から少し離れた方がよいだろう。防護板下縁の鉛カーテンを患者の体に沿って尾側へ広げることで遮蔽効果や範囲は向上するが、スリットが術者側へ開かないようなデザインが望ましい。

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/>
5. Nakamura T, Suzuki S, Takei Y, et al. Simultaneous measurement of patient dose and distribution of indoor scattered radiation during digital breast tomosynthesis. Radiography (Lond). 2019 Feb;25(1):72-76.