

令和3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）
「新規及び既存の放射線診療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
塚本 篤子 NTT 東日本関東病院放射線部

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、が述べられている。これを受けて、2012年にはICRP Publication 118 “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”が発行され、国際原子力機関や欧州連合の新しい安全基準にも、新たな水晶体等価線量限度が盛り込まれる流れとなっている。

我が国においても新たな水晶体等価線量限度が法令へ取り入れられ、令和3年4月に施行された。特に水晶体等価線量の高さが懸念されるX線透視を用いた治療手技の術者について、水晶体等価線量を推測する手段について基礎的データ集積の重要性が更に高まっている。防護メガネ着用時の水晶体線量実態調査の結果を適切に解釈し、防護メガネ着用を前提とした水晶体等価線量推定や基準策定に利用するためには、防護メガネの種類や線量計の位置によるばらつきの程度を知る必要がある。

昨年度までの検討で、X線防護メガネの種類により被ばく低減効果が異なること、頭部の方向が防護メガネの効果に影響を与えること、防護メガネ内面から水晶体にかけての線量分布が不均一となるため線量の実測値が線量計の位置に影響されること、実臨床における防護メガネの効果はばらつきが大きいこと、防護グラスと顔面の隙間が大きいと遮蔽効果が低下すること、防護グラスと顔面の隙間を減らすデザインは遮蔽効果を向上すること、サージカルマスク着用で防護メガネの遮蔽効果がやや低下すること、防護メガネと顔面の間の空間線量分布を小型線量計の積層配置により測定できること、防護メガネ着用時のこめかみ付近の空間線量分布は急激に変化しうること、がわかった。今年度は引き続き防護メガネと顔面の間の空間線量分布について検討を進め、頭部の向きや防護メガネの種類を増やして測定する。

2. 防護メガネと顔面との空間線量分布の測定

2.1. 方法

2.1.1. 人体ファントム、患者ファントム

頭部人体ファントムに防護メガネを取り付け、右大腿動脈経由の体幹部透視手技を模して配置した。透視時の術者医師の立ち位置（アイソセンターから患者尾側へ 72cm、患者右側へ 50cm）にアクリルの台を設置、身長 170cm 相当の位置に頭部人体ファントムを配置し、頸部プロテクタを装着した。患者を模したファントムとして、血管撮影装置の寝台に JIS 水ファントム（楕円）を置いた（図 1）。術者から見て X 線管や患者ファントムは左側に位置する。防護メガネは、0.07 mmPb のガラスを用いたパノラマシールド HF-380（東レ）（図 2）、および 0.15 mmPb のガラスを用いたアイケアエックスレイ EC-10 XRAY（エリカ オプチカル）（図 3）を用いた。HF-380 のテンプル角度調整は最大屈曲に設定するとともに、頭部ファントムに合わせて鼻当て部分も調整し、ガラス下縁ができるだけ顔面に近接するように着用させた。

図 1



図 2



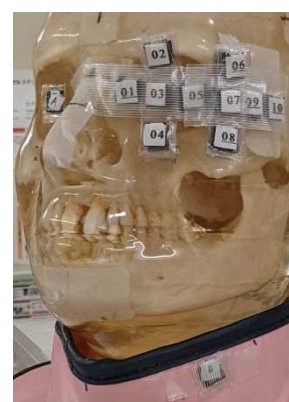
図 3



2.1.2. 線量計の配置

防護メガネ装着状態の測定における線量計は、左眼の周囲 10 箇所（目頭、眼窩上縁、眼球表面、眼窩下縁、目尻、こめかみ上、こめかみ、こめかみ下、こめかみ外側 1、こめかみ外側 2）に 4 層の nanoDot を積み上げた。加えて右眼球表面、ガラス左下の内面、左頸部、に 1 個の nanoDot を貼付した。合計 43 個の配置となった。昨年度よりも左右の間隔を狭め、その分だけこめかみ外側を 1 つ増やした形となっている（図 4）。

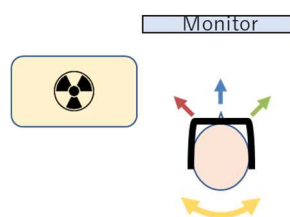
図 4



2.1.3. X線照射

使用した血管撮影装置は シーメンス社 Artis Q TA、照射条件は透視 30 パルス/秒 × 60 秒 + 撮影 30 フレーム/秒 × 20 秒 × 8 回（総装置表示空気カーマ 345.3 mGy）。頭部ファントムの方向は、モニターを正面視する方向に加えて左右 45 度、計 3 方向とした（図 5）。

図 5

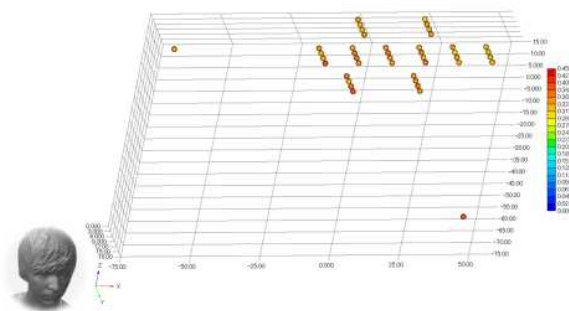


2.2. 結果

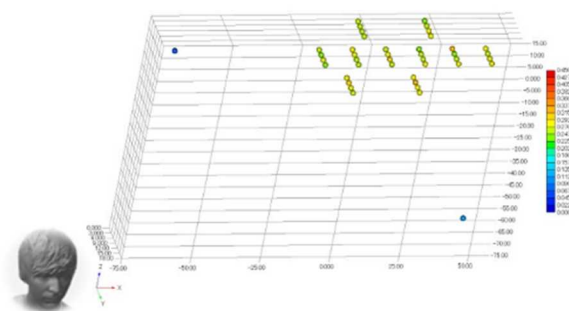
防護メガネ装着状態の各線量計の測定値をカラースケールで表現し、線量計の空間的な位置を 3D で表示した。x 軸が左右（-がファントムの右眼方向、+がファントムの左眼方向）、y 軸が前後（0 がファントムの表面、+が nanoDot の積み上げ方向）、z 軸が頭尾方向（-がファントムの首方向、+がファントムの頭方向）。本来は頭部表面に沿って彎曲した配置であるが、平面に均した状態として表示している。

2.2.1. 防護メガネなしの線量

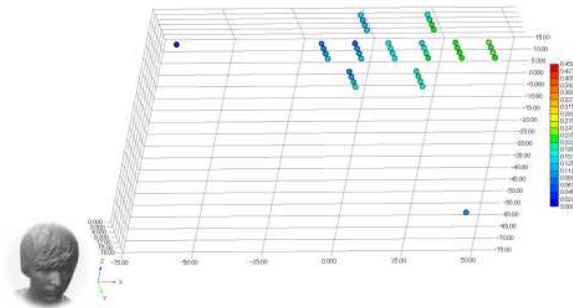
なし 左 線量



なし 正面 線量



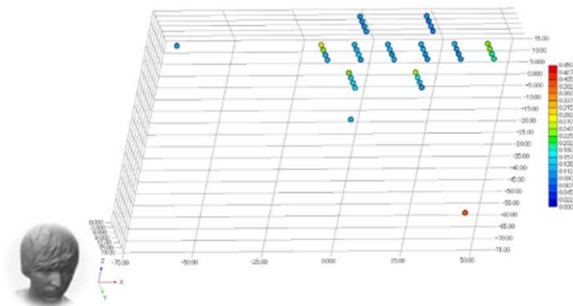
なし 右線量



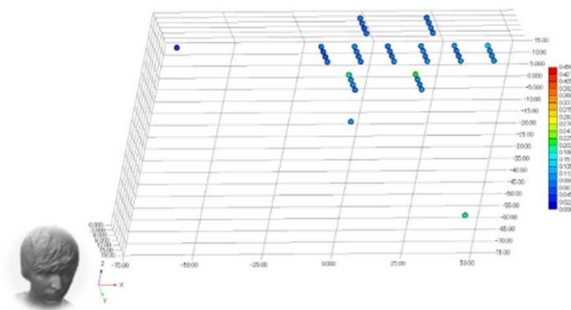
左向きでは左眼と右眼の差がなく、正面や右向きでは左眼より右眼の線量が低かった。左から右へ向くに従って、全体の線量は低下した。昨年までの結果と一致していた。nanoDot自体の吸収や、頭部ファントムからの二次散乱線などの影響は、それほど大きくないことがわかる。

2.2.2. HF-380 着用時の線量

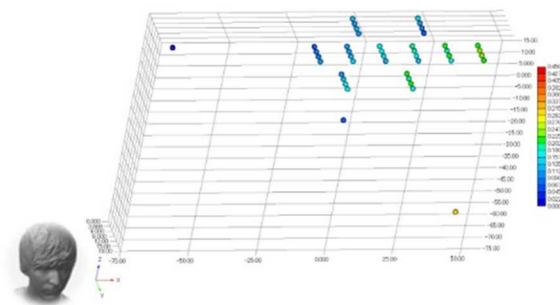
HF-380 左線量



HF-380 正面線量



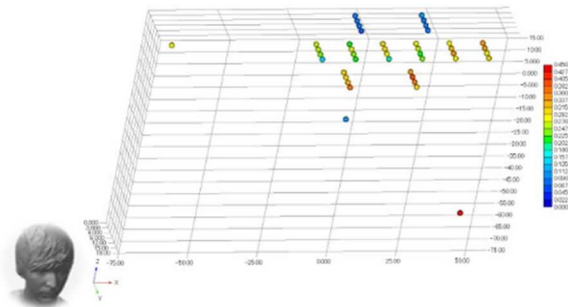
HF-380 右線量



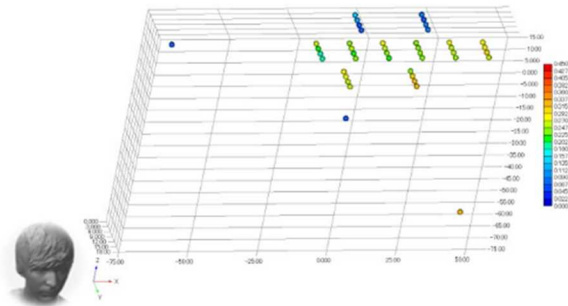
正面での空間線量分布は比較的均一だが、左向きや右向きでは目頭やこめかみの線量がやや高い傾向がみられる。防護メガネなしの状態とは異なり、正面より右向きの方がむしろ線量が高い。

2.2.3. EC-10 XRAY 着用時の線量

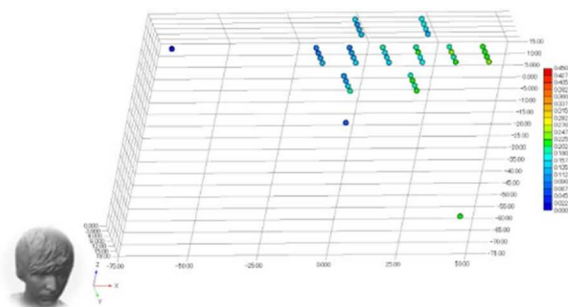
EC-10 左 線量



EC-10 正面 線量



EC-10 右 線量



全体に線量が高めで、ガラス内面の線量との乖離が大きかった。顔面からガラス側へ近付くと線量が低下する傾向が観察された。尾側ほど線量が高まる傾向が強い他、こめかみへ近付くほど線量が高まる傾向もあった。左向きでは正面よりもこめかみの線量が高まるが、HF-380 とは異なり目頭の線量はそれほど上がらなかった。

2.2.4. 線量計装着想定位置と線量

左眼球表面の線量を正解とみなすと、ガラス内面の線量は、高線量時すなわち防護メガネの遮蔽効果が低い状況で過小評価する傾向が、こめかみの線量は、低線量時すなわち防護メガネの遮蔽効果が高い状況で過大評価する傾向が、それぞれ観察された（図 6）。

こめかみから下方ないし外側へそれぞれ 12mm 偏位した場合の線量は、こめかみでの測定より低くなる傾向があり、こめかみから上方へ 12mm 偏位した場合はこめかみより高くなる傾向が観察された（図 7）。上方への偏位によって過大評価から過小評価に転じた測定が 2 点あり、これらは EC-10 の左向きと正面であった。

図 6

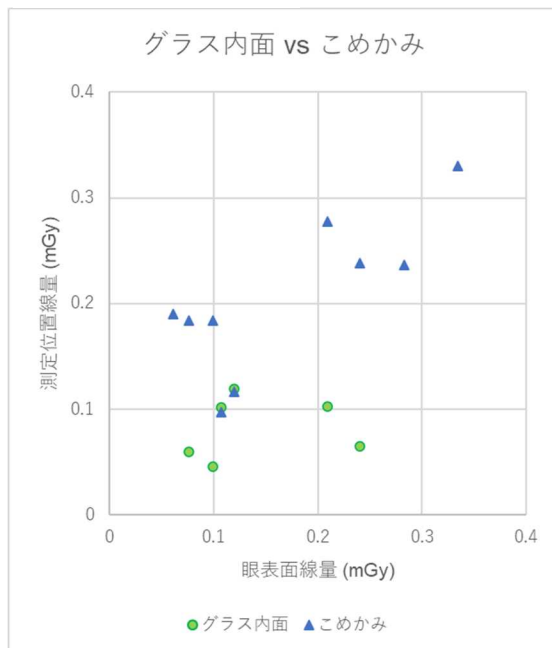
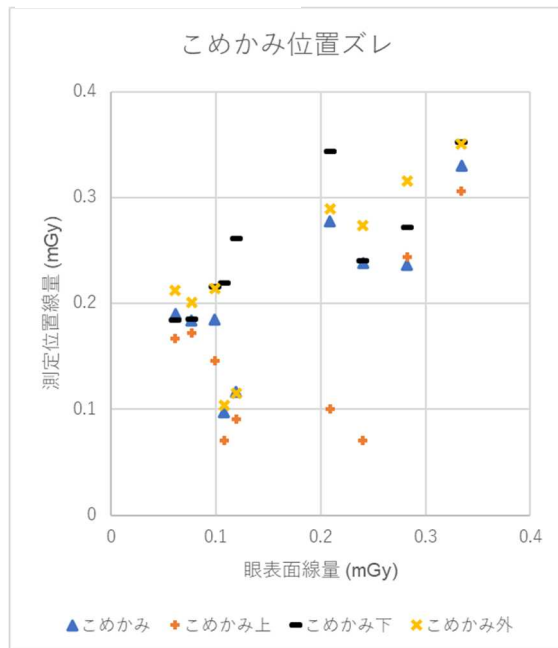


図 7



3. 考察

防護メガネ着用下の線量分布は、ガラスの下縁および左外縁に近付くと線量が上昇する傾向と、顔面からガラス側へ近付くと線量が低下する傾向が観察された。ガラスと顔面の隙間から入り込む散乱線の影響の大きさが部位により異なることを反映した結果と考えられる。水晶体の効果的な防護には、ガラスの下縁や左外縁と水晶体との距離が長い方が有利であろうことが示唆される。

眼球表面の線量を上下左右の顔面の線量と比較すると、特に EC-10 において、左右の較差の方が上下の較差よりも小さかった。左下方から入射する散乱線を現在のデザインのメガネで防護する条件においては、ガラス左外縁と顔面の隙間から入り込む散乱線よりもガラス下縁と顔面の隙間から入り込む散乱線の方が高線量な傾向にあると考えられる。

水晶体用の線量計を装着する位置としては、ガラス内面やこめかみが提案されている。今回の条件では、ガラス内面の線量は左眼表面の線量よりも一貫して低かった。防護メガネの遮蔽効果が低い状況での過小評価が目立つ一方、防護メガネの遮蔽効果が高い状況では比較的正確に評価されていた。一方、防護メガネ着用下のこめかみ付近の線量は、左眼表面の線量より概ね高い傾向にあったが、一部では逆に低かった。防護メガネの遮蔽効果が高い状況での過大評価が目立つ一方、防護メガネの遮蔽効果が低い状況では比較的正確に評価されていた。測定位置がこめかみから約 1cm 上方へ偏位しただけで過大評価から過小評価に転ずる現象が EC-10 で観察され、HF-380 では観察されなかった。過小評価や過大評価の傾向はメガネのデザインや散乱線の入射角によって変わるものと考えられるので、他の防護メガネでどのような傾向となるかを予測することは難しいが、まずはこめかみでも常に安全側の測定ができるとは限らないことに留意する必要があるだろう。

HF-380 にて左向きや右向きよりも正面の方がこめかみや目頭の空間線量分布のばらつきが少なかったのは、鼻とガラスの隙間や、頬側面とガラスの隙間からの漏れが影響しているものと考えられる。HF-380 にて正面より右向きの方がむしろ線量が高かったのは、右向きでは防護メガネの遮蔽効果が低いことが反映されている。HF-380 の角度調節機構は顔の前面とガラスの隙間を最小化するが、鼻や側面の隙間は減らさないの、このような不均等が生じたものと考えられる。EC-10 でも左向きでこめかみの線量上昇が観察されたが、目頭の線量上昇は見られなかったのは鼻パッドに 0.3 mmPb のシートが貼られているためであろう。

昨年度は同じ HF-380 の正面での検討であったが、角度調節機構は用いず 0 度の設定で着用させていた。昨年度観察されたこめかみの空間線量分布の急激な変化が、今回はそれほど急激でなかったのは、角度調節による隙間の減少や微妙な位置の変化の影響かもしれない。今回も防護メガネの鉛当量の大小と実際の遮蔽効果が相関しない結果となり、顔面とガラスの隙間を減らすことの重要性が改めて確認された。

4. まとめ

防護メガネ着用時の空間線量分布を測定し、眼近傍に線量計を配置して測定する際の留意点を検討した。こめかみでの測定結果は過大評価傾向となるが上方へのわずかな位置ズレで過小評価に転じうること、ガラス内面での測定結果は防護メガネの遮蔽効果が低い場合に過小評価となること、が判明した。過小評価を避けるためには、防護メガネのガラスと顔面の隙間を減らすこと、こめかみの線量計では目の高さと同揃えること、が役立つかもしれない。

5. 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).