労災疾病臨床研究事業費補助金

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究

令和４年度 総括・分担研究年度終了報告書

研究代表者 千田 浩一

令和５年（2023 年）３月

Ⅰ. 総括研究年度終了報告

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための
多角的研究
千田　浩一・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5

Ⅱ. 分担研究年度終了報告

1. リアルタイム線量評価：水晶体被ばく線量の解析
千田　浩一・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 27
2. 新型リアルタイム線量計を用いたインターベンショナルラジオロジーに従事する
医療スタッフの水晶体線量と頸部線量に関する検討
千田　浩一・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 31
3. 長期間測定による看護師の水晶体被ばくに関する検討
千田　浩一・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 35
4. PET 検査における看護師の水晶体被ばくに関する基礎検討
千田　浩一・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 41
5. 水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査
佐々木　洋・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 47
6. 水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査
雑賀司珠也・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 51
7. 眼の水晶体の放射線防護に資する実態調査
黒坂大次郎・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 55
8. 術者の水晶体被ばくを低減するための試作放射線防護具の開発
千田　浩一・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 59
9. 最適な被ばく低減システム・放射線防護機器の提案
盛武　　敬・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 63
10. 防護眼鏡改良研究
赤羽　正章・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 77
11. 水晶体用線量計 DOSIRIS®の改良試作型ヘッドセットに関する初期検討
千田　浩一・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 83
12. インターベンショナルラジオロジー医師に対する術前ブリーフィングが
個人線量計および個人保護装具の使用に与える影響
盛武　　敬・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 91
13. 頭部から発生する後方散乱線が水晶体被ばくに及ぼす影響
千田　浩一・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・109
14. 放射線診療従事者向け放射線防護教育コンテンツの開発
藤淵　俊王・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・113
15. 国内外の開発上の技術的課題等の情報についての調査・収集
赤羽　恵一・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・123

Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・143

Ⅰ. 総括研究報告

令和 4 年度(2022 年度)労災疾病臨床研究事業費補助金

総括研究年度終了報告書

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究【総 括】

研究代表者　千田 浩一（東北大学・災害科学国際研究所/大学院医学系研究科・教授）

研究要旨

標記千田班 3 年目の研究要旨について以下に示す。

眼の水晶体の新しい等価線量限度取入れ運用に際し医療分野は特に課題が多い。本研究は医療施設の従事者が受けている眼の水晶体被ばくの防護状況の実態を詳細に把握すること、さらに本研究課題は医療施設の労働者の水晶体被ばく低減を図るため、放射線防護機材に求められるニーズ等の情報を収集し、今後の防護機材開発に資する検討、すなわち放射線防護機材開発の推進のための課題整理を行うことを目的とする。

そのために、放射線防護機材の技術的課題等の情報について調査・収集に関して臨床研究を実施する。さらに放射線防護機材の改良等に関する研究および水晶体線量計等の改良等に関する研究を実施する。また並行して関係学会及び団体との連携研究および国内外の開発上の技術的課題等の情報について調査・収集を行う。そして最終的には、分析結果を踏まえ、多角的視点から、放射線防護機材の開発等に資する検討を行い、体系的に取りまとめる。 具体的に千田班 3 年目の研究は、昨年度に引き続き下記の項目について主に取り組んだ。

(1)　放射線防護機材の技術的課題等の情報について調査・収集（臨床的研究）
(2)　放射線防護機材等の改良などに関する研究
(3)　水晶体線量計等の改良等に関する研究
(4)　放射線防護教育研究
(5)　国内外の開発上の技術的課題等の情報について調査・収集

以下に主な結果を記す。

新型リアルタイム線量計 i3 は IVR 臨床おいて有用であり、本検討により、防護板の位置の適切配置の重要性を確認できた。本研究の結果のフィードバックなどを行い、天吊り防護板の位置調節を含めた放射線防護教育を改めて行う必要があると考える。また術者水晶体と頸部の線量の傾向には、防護板による遮蔽の差や撮影透視の角度等によって大きな差が見られ、頸部線量から水晶体線量の推定は難しいと思われた。

長期間測定による IVR 看護師の水晶体被ばく線量調査結果から、年間 20mSv を超える看護師はいなかったが、看護師間の手技中の意識差や行動差が明らかになった。したがって、

看護師への放射線防護教育が重要である。PET 検査における看護師の水晶体被ばくに関する基礎検討結果から、PET 検査を行う看護師が線量限度の 1 年平均値である 20mSv/年を超過する可能性は低いと考えられる。しかし件数や投与量といった条件の違いによっては水晶体の線量がさらに高くなることが想定される。また左眼水晶体位置に装着した DOSIRIS と左頸部に装着したガラスバッジとでは計測値に違いが生じたが、PET 薬剤投与時の水晶体位置と頸部の防護状況の違いが大きく影響していると考えられる。

日本 IVR 学会で 165 名の眼科調査を行った結果、医師 107 名での後嚢下白内障の有病率は低かったが、初期病変とされる後嚢中心の VC の有病率が左眼で 12.1%と高く、右眼に比べても高くなる傾向を示した。全対象のうち水晶体混濁および微小変化があった 43 名の 9 割以上は視力良好であり、顕著な視力低下をともなう白内障は認められなかった。しかし後嚢下 VC の有病率は高く、今後視力低下をともなう後嚢下白内障を発症する可能性もあり、長期での調査が必要である。また眼科医師による OCT 検査等の有用性をアピールすることで参加者の満足度を上げ調査希望者を増加させることにつながることが期待できる。さらに医療従事者には、通常よりも緑内障などの有病率が高い可能性がある。検診参加者を増やすためには、本検診が緑内障などの重篤な眼疾患の早期発見につながる可能性の啓蒙が重要と思われた。

開発した試作放射線防護具（前方突出型）は、心血管 IVR に従事する術者に対し、効果的に水晶体を防護できることが確認できた。試作放射線防護具は、頭部に固定するため、放射線防護眼鏡のような重さや視界への影響がない上、他の放射線防護具や感染防護用フェイスシールド、外科用ルーペ、外科用ヘッドライト等の併用が可能なため、さまざまな領域で利用可能と考える。なお開発した試作放射線防護具（前方突出型）について、特許出願を行うことができた。

放射線防護の手順は、線源から距離をとる、透視パルスレートや撮影フレームレートを調整するなど、放射線発生源対策を第一に実施したうえで、それでもリスクが残る場合、残りの危険に対して防護具を使用するという考えが基本となる。したがって、手順が間違っていた場合、紹介した防護具を使用したからといって、十分な効果が期待通りに得られないことは言うまでもない。

血管撮影室で用いられている防護デバイスの中で最も有用なもののひとつであり防護メガネと相補的に働く天吊り防護板について、位置による遮蔽効果の変化を検討した。天吊り防護板（下縁鉛カーテン付属）と患者の隙間が小さいほど遮蔽効果が高いこと、防護板を更に下げる場合に弛んだ鉛カーテンを患者頭側に配置すると遮蔽効果が低下すること、隙間が空いてしまう場合はそれに応じて防護板を術者側に移動することで遮蔽効果が高まること、が示された。既存の防護メガネと併用するアタッチメント、目の下で支えるタイプ、鼻の下で支えるタイプ、自分のメガネに装着するタイプ、などを試作した。デバイス下縁については顔面と隙間を最小限にすることや、より広い範囲を覆うことが望ましい。一方、上縁については、覆う範囲はせいぜい目の高さまでで十分であり、顔面との距離は離した方が矯正メガネとの干渉や曇りを避ける上で有利である。高い遮蔽効果と快適な使用感を両立した、次世代のデバイス開発が期待される。

DOSIRIS®の改良試作型ヘッドセットの使用感に関する初期検討を行った結果、改良試作型ヘッドセットでは、特に圧迫感及び違和感を覚えにくい構造へと変化しており、使用感の向上が見られた。このように、改良試作型ヘッドセットの有用性について示されたが、臨床現場の意見から、改善点もいくつか示された。

インターベンショナルラジオロジー医師に対する術前ブリーフィングが個人線量計および個人保護装具の使用に与える効果について検討した結果、IVR 開始直前にブリーフィングを行い、医師が個人線量計と個人保護装具を正しく装着されているかを確認すると、それらの装着率は劇的に上昇した。しかし、介入により、水晶体等価線量率（水晶体等価線量/透視時間）等が有意に被ばく量が増加した。これは、これまで見逃されていた被ばくが加算されるようになったことと、個人線量計の管理方法が 1 個管理から 2 個管理へ変更されたことに伴う線量算定法の違いが影響していると考えられた。

頭部から発生する後方散乱線が水晶体被ばくに及ぼす影響について検討した結果、水晶体被ばく線量における後方散乱線含有率は約 20%であり、含有率は管電圧の増大に伴い増加した。また、防護眼鏡の放射線防護効果を評価する際は、後方散乱線の影響を考慮するために、人体等価ファントムを使用したうえで線量計を眼の近傍に装着するべきである。発泡スチロールファントムを使用した場合、放射線防護効果を過大評価してしまう可能性がある。

仮想現実（VR：virtual reality）放射線防護教材を看護学専攻 2 年生に使用してもらい教材内容の学習効果と有効性について評価した結果、正答率が優位に上昇した。教材使用者の授業に対するモチベーションへの影響を評価するために ARCS モデルを利用したアンケート 36 問で評価した結果、最大値5の全ての項目において平均値が 4 以上の高評価となった。教材を使用した自由記載の感想として、「理解」「放射線」「距離」という単語が多く使用されていた。これらの結果から、VR システムの利用が教育内容の理解に重要な役割を果たしたと考えられる。そして、「感じる」「見る」という言葉も含まれていることから、WebXR システムは放射線の初学者にとって直感的・視覚的に理解しやすいツールといえる。

国内外の開発上の技術的課題等の情報について調査・収集に関しては、眼の水晶体の新等価線量限度が国際基準や各国の関連規制法令に取り入れられてから、被ばくの現状に関する多くのデータが報告され、防護方法の検討もなされてきている。防護と線量評価が業務で求められるようになってきており、実務的・効果的な防護方法及び線量評価法への関心が高いと言える。

【研究体制】 **代表者**　千田　浩一　東北大学・災害科学国際研究所/医学系研究科・教授

研究分担者

盛武 敬	量子科学技術研究開発機構・放射線規制科学研究部・部長
赤羽 正章	国際医療福祉大学・医学部・教授
佐々木　洋	金沢医科大学・眼科学講座・教授
雑賀 司珠也	和歌山県立医科大学・眼科学講座・教授
黒坂 大次郎	岩手医科大学・眼科学講座・主任教授
藤淵 俊王	九州大学・医学研究院・教授
赤羽 恵一	量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所・研究統括

主な研究協力者

欅田　尚樹	産業医科大学・産業保健学部・教授
稲葉　洋平	東北大学・災害科学国際研究所・助教
初坂　奈津子	金沢医科大学・眼科学講座・助教
喜多村 紘子	産業医科大学産業医実務研修センター・准教授
茂呂田　孝一	新小文字病院 技師長
加藤　守	秋田県立循環器・脳脊髄センター 技師長
山田　雅亘	国立循環器病センター 主任技師
芳賀　喜裕	仙台厚生病院 主任技師
江口　陽一	日本血管撮影 IVR 専門放射線技師認定機構 監事(前理事長)
栗山　智子	産業医科大学 大学院生
松崎　賢	産業医科大学 大学院生
永元　啓介	産業医科大学 大学院生
中上　晃一	産業医科大学 大学院生
大野　紗耶	東北大学 大学院生
曽田　真宏	東北大学 大学院生
山田　歩実	東北大学 大学院生
今田　聡恵	東北大学 大学院生
加藤　聖規	東北大学 大学院生
進藤　僚太	東北大学 大学院生
藤沢　昌輝	東北大学 大学院生
服部　兼進	東北大学 大学院生　ほか

さらに放射線防護機材の開発等を行う事業場の担当者として、日本画像医療システム工業会（JIRA）から保科匠氏（グローバルエンブレイスメディカル）、前田賢氏（株マエダ）、尾池千穂氏ら（東レ・メディカル）らが参画。

A. 研究目的

眼の水晶体の新しい等価線量限度取入れ運用に際し医療分野は特に課題が多い。本研究は医療施設の従事者が受けている眼の水晶体被ばくの防護状況の実態を詳細に把握すること、さらに本申請課題は医療施設の労働者の水晶体被ばく低減を図るため、放射線防護機材に求められるニーズ等の情報を収集し、今後の機材開発に資する検討、すなわち機材開発の推進のための課題整理を行うことを目的とする。

そのために、放射線防護機材の技術的課題等の情報について調査・収集に関して臨床研究を実施する。さらに放射線防護機材の改良等に関する研究および水晶体線量計等の改良等に関する研究を実施する。また並行して放射線防護教育研究を実施し、さらに関係学会及び団体との連携研究および国内外の開発上の技術的課題等の情報について調査・収集を行う。そして最終的には、分析結果を踏まえ、多角的視点から、放射線防護機材の開発等に資する検討を行い、体系的に取りまとめる。　具体的には、千田班 3 年目の研究は昨年度に引き続き下記の項目について主に取り組んだ。

(1)　放射線防護機材の技術的課題等の情報について調査・収集（臨床的研究）
(2)　放射線防護機材等の改良などに関する研究
(3)　水晶体線量計等の改良等に関する研究
(4)　放射線防護教育研究
(5)　国内外の開発上の技術的課題等の情報について調査・収集

B. 研究方法

(1) 放射線防護機材の技術的課題等の情報について調査・収集（臨床的研究）

①リアルタイム線量評価、②放射線業務における被ばく線量の実態調査、そして③白内障の実態調査について、主に実施した。

① リアルタイム線量評価（IVR 術者の初期臨床研究）

様ざまなシチュエーションでの医療施設従事者（特に IVR 従事者）の眼の水晶体被ばくの防護状況の実態を詳細確実に把握するためには、リアルタイム線量測定が必要でる。すなわち IVR 従事者の被ばく線量に影響する因子である、撮影条件や術者の立ち位置のように手技の間で変化するものについては、経時的なリアルタイム評価が必要である。IVR においてどのような行為が術者被ばくのリスクを高めているのか検討するため、新型リアルタイム個人線量計 RaySafe i3 を実際の IVR 術者に使用して、初期的な臨床検討を昨年度に引き続き行った。そして術者被ばく線量を高めるリスク因子となりえる行動について検討した。

心臓 IVR での術者（医師）の IVR 手技中の水晶体と頸部の線量の測定を、RaySafe i3 を用いてリアルタイムに行った。水晶体の線量測定の際は、IVR 術者の頭部にヘアバンドを装着し、その上に i3 を術者の左眼近傍に取り付けた（すなわち鉛防護眼鏡の外側の線量を測定)。頸部位置の場合は、IVR 術者の左頚部付近のプロテクターの上に i3 を装着した。IVR 手技中の経時的な線量データを取得し、手技中の動画と合わせて

解析を行った。そして医療スタッフの水晶体と頸部の被ばく線量の関係についても調査した。

② 放射線業務における被ばく線量の実態調査

心血管 IVR に従事する看護師において長期間測定による水晶体被ばくの実態把握を行った。本研究では、8 名の IVR 看護師の眼の線量の職業被ばくについて、18 か月～24 か月間測定した。水晶体用線量計（DOSIRIS）を看護師の左眼近傍、頸部線量計（ガラスバッジ）を左頸部に装着した。また、線量と同時に装置に記録された患者線量パラメータのデータを収集分析し、水晶体線量・頸部線量と患者線量パラメータの相関も調査した。

さらに PET 検査における看護師の水晶体被ばくに関する基礎検討、実態調査を行った。調査対象はPET検査を担当する看護師4名とし、6か月間の線量測定を実施した。線量計は水晶体線量計と個人線量計を用い、両者の違いについても検討した。看護師が担当した PET 検査の件数と患者に投与した薬剤投与量も記録し、水晶体被ばくとの関係を調査した。さらに年間水晶体線量と線量限度の 1 年平均である 20 mSv を超過する件数を推定した。

③ 白内障の実態調査

医療施設で放射線業務に従事する医師、診療放射線技師、看護師等が受けている眼の水晶体被ばくの実態を詳細に把握し、白内障（水晶体混濁）との関連を明らかにすることを目的とし、令和 4 年度(2022 年度)は、第 51 回日本 IVR （Interventional Radiology）学会において、日本白内障学会の協力体制のもとで眼科検診を実施した。

本調査では、視力検査、散瞳下での細隙灯顕微鏡検査ならびに簡易型徹照カメラでの水晶体撮影を行った。それらの所見から、白内障は視機能低下につながるとされている 3 主病型（皮質、核、後嚢下）および 2 副病型（Retrodots（RD)、Waterclefts (WC))、放射線白内障の初期病変である微小混濁（Vacuoles （VC)）の計 6 病型について検討した。白内障以外の眼疾患については OCT 眼底所見および細隙灯顕微鏡により眼科医が診断した。問診による聞き取り調査も行い、職歴、放射線に係る手技についての経験年数、年間あたりの手技件数、作業歴等を聴取した。また放射線被ばく以外の白内障発症リスクとなる喫煙歴、糖尿病の有無、ステロイド内服の有無、紫外線被ばく歴についても合わせて聴取した。。3 日間で 165 名（男性 135 名、女性 30 名）が参加し、対象者の職種別では医師 108 名、診療放射線技師 24 名、看護師 13 名、その他 20 名であった。

(2) 放射線防護機材の改良等に関する研究

①IVR 術者の水晶体被ばくを低減するための試作放射線防護具(前方突出型)の開発、②最適な被ばく低減システム・放射線防護機器の提案、③防護眼鏡等の改良研究について主に実施した。

① IVR 術者の水晶体被ばくを低減するための試作放射線防護具の開発

本研究は、「放射線防護機材の改良等に関する研究」に直接かかわるものであり、

側方下方の散乱線から水晶体を防護することをコンセプトに、心血管 IVR に従事する術者（医師）の水晶体被ばくを低減する試作放射線防護具(前方突出型)を開発し、装着方法と鉛当量の違いによる防護効果について検討した。素材は、プラスチック板（前面高さ 11cm×後面高さ 7cm×長さ 17cm）と鉛等を含有した塩化ビニル樹脂等の放射線遮へいシート（前面高さ 11cm×後面高さ 8.5cm×長さ 9cm)、ヘアバンドを利用し作製した。新たに開発試作した放射線防護具は、装着方法に関しては 0.175mmPb の放射線遮へいシートを用い、顔面から 2、4、6cm 前方に突出するように配置し、防護効果を検討した。また、放射線遮へいシートの鉛当量に関しては、0.175mmPb と 0.25mmPb で防護効果を検討した。

② 最適な被ばく低減システム・放射線防護機器の提案

主として眼の水晶体防護に関連する放射線防護機器として以下の 5 つを提示し、使用する意義や特徴について検討した。1.放射線防護眼鏡（東レ・メディカル株式会社)、2.天井懸架型放射線防護板（MAVIG 社)、3.甲状腺プロテクタ（ディーブイエックス株式会社)、4.X 線 TV 装置散乱線防護クロス（X 線透視装置用散乱線防護ロングカーテン)、5.X線TV装置散乱線防護クロス（X線透視装置用散乱線防護ショートカーテン)。

③ 防護眼鏡等の改良研究

天吊り防護板（下縁鉛カーテン付属）の位置と遮蔽効果の検討と、新たな防護メガネのデザイン試作に関して研究した。天吊り防護板（下縁鉛カーテン付属）の位置と遮蔽効果は患者ファントムと術者ファントムを用いて測定した。防護板下縁との距離を変化させてそれぞれ測定し比較した。なお防護板下縁の鉛カーテン部分を患者頭側に折り返した状態と患者尾側に折り返した状態の両方を測定した。

新たな防護メガネのデザイン試作については、グラス上縁は高さを抑制する一方できるだけ顔面から離すこと、グラス下縁はできるだけ下方へ伸ばし顔面に近づけること、を念頭にデザインについて検討した。

(3) 水晶体線量計等の改良等に関する研究

①水晶体用線量計 DOSIRIS®の改良試作型ヘッドセットに関する初期検討、②インターベンショナルラジオロジー医師に対する術前ブリーフィングが個人線量計および個人保護装具の使用に与える影響、そして③頭部から発生する後方散乱線が水晶体被ばくに及ぼす影響、について主に実施した。

① 水晶体用線量計 DOSIRIS®の改良試作型ヘッドセットに関する初期検討

水晶体用線量計 DOSIRIS®の改良試作型ヘッドセットの使用感に関するアンケート調査を行い、その有用性について検討した。DOSIRIS®は、長時間装着後に装着感に不満を訴える従事者が少なくないことが問題点としてあるため、ヘッドセット部分の形状が変更された改良試作型 DOSIRIS®が開発された。そこで本研究では、ポータブル X 線撮影及び血管撮影に従事する診療放射線技師 7 名を対象とし、DOSIRIS®の従来型及び改良試作型ヘッドセットを装着した際の使用感について、アンケートに回答してもらい、改良試作型ヘッドセットの有用性について評価した。

② インターベンショナルラジオロジー医師に対する術前ブリーフィングが個人線量計および個人保護装具の使用に与える影響

インターベンショナルラジオロジー（IR）を行う医師は、個人線量計と個人保護装具を装着しなければならないが、適切な装着がなされていないことが多い。そこで、それらの装着率を向上させるための実践的な方策が、臨床の IR 医師の被ばく線量の減少にどのような影響を与えるかを検証した。まず、調査者が医師の個人線量計と個人保護装具の装着を目視で確認し、実態を調査した。次に、実践的な方策（介入）として術前ブリーフィングを実施し、個人線量計と個人保護装具を適切に装着していない医師には装着を促した。最後に介入の効果を、個人線量計と個人保護装具の装着率、ならびに個人被ばく線量の観点から検証した。

③ 頭部から発生する後方散乱線が水晶体被ばくに及ぼす影響

水晶体被ばくについて、自身の頭部から発生する後方散乱線の影響を評価した。本研究では、発泡スチロールと人体等価ファントムの左眼位置に蛍光ガラス線量計を装着して実験を行った。また、0.07mm 鉛当量の防護眼鏡を使用して、後方散乱線が防護眼鏡の放射線防護効果に与える影響についても検討した。

(4) 放射線防護教育研究

放射線診療従事者向け放射線防護教育コンテンツの開発について主に実施した。これまでに作成した仮想現実（VR：virtual reality）放射線防護教材を、今年度は異なる職種での教育効果を明らかにするため、保健学科看護学専攻 2 年生に使用してもらい、教材の学習効果と有効性について評価した。まず授業の 1 か月前に WebVR を用いずに演習問題を解いてもらい集計した。その 1 か月後に放射線技術科学専攻の学生と同様の流れで授業を行った。演習問題は 1 か月前と同じ問題を解いてもらい集計した。看護学専攻の学生の追加演習では、放射線防護具の体験は行わず、AR アプリによる散乱線の広がりの観察のみを行った。そのため放射線技術科学専攻の学生よりも長い時間 AR アプリを使用していた。また、AR アプリを使用できるタブレット端末が複数台あったため、3～5 人のグループごとで使用、観察してもらった。WebXR の使用前後での正答率の違いや、放射線技術科学専攻の学生の結果と比較してどのような違いがあるのかを調べた。

(5) 国内外の開発上の技術的課題等の情報について調査・収集

昨年度に引き続き、国内外における眼の水晶体の防護および科学的知見等に関する情報を収集した。インターネット上に公開された、関連団体等のガイドライン等の情報を収集した。また、PubMed 等により文献を検索した。更に、ウェブでも開催された国内外の国際学会に参加し、発表内容の情報を得た。

具体的には、次の通りである。

・国内学会等

◯第 78 回日本放射線技術学会総会学術大会

◯第 124 回日本医学物理学会学術大会
◯第 50 回日本放射線技術学会秋季学術大会
◯第 4 回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会
・国際学会等
◯UNSCEAR 2020/2021 Report
◯International Conference on Occupational Radiation Protection (IAEA)
◯Regulatory Implementation of the Equivalent Dose Limit for the Lens of the Eye for Occupational Exposure (OECD/NEA)
上記の眼の水晶体関連研究情報を得た。
・文献調査
眼の水晶体の放射線防護に関する文献を調査した。

（倫理面への配慮）
本研究・調査にあたっては、厚生労働省・文部科学省の「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」の基づき、各研究分担者等の機関における倫理委員会に申請・承認を経て実施した。
利益相反情報は必要に応じて各研究機関の COI 委員会の審査を受けた。

C. 研究結果

(1) 放射線防護機材の技術的課題等の情報について調査・収集（臨床的研究）

① リアルタイム線量評価（IVR 術者の初期臨床研究）

経皮的冠動脈インターベンション(PCI)で、被ばく線量が増加していた行動として一番多かったものは、前かがみになることであった。また、X 線管の角度によっても被ばく線量率に違いがみられた。RAO-Caudal(右前斜位-尾頭)方向を含んだX線照射の場合に線量率が低くなる傾向にあった。天吊り防護板の位置による線量率差も生じていた。天吊り防護板の位置が適切な位置に調整されるにつれて、被ばく線量率が低減されていた。

術者、助手の双方において水晶体線量が頸部線量を上回る傾向が見られており、術者の水晶体線量と頸部線量の間の相関係数は 0.51 であった。助手の水晶体線量と頸部線量の間の相関係数は 0.84 であった。

② 放射線業務における被ばく線量の実態調査

長期間測定による IVR 看護師の水晶体被ばくに関する検討結果から、測定期間において年間 20mSv を超える看護師はいなかったが、看護師により線量差が認められた。手技件数や透視時間、AK がほぼ同等の看護師を比較した場合にも看護師で線量差が認められたため、看護師間の手技中の意識や行動の差が明らかになった。このことから、看護師への放射線防護に関する教育が重要であると考えられる。

PET 検査における看護師の水晶体被ばくに関する基礎検討結果から、PET 検査を担当する看護師が水晶体等価線量限度を超過する可能性は低いと考えられる。また水晶体線量と担当検査数および薬剤投与量には相関が認められた。

③ 白内障の実態調査

両眼とも眼内レンズ挿入眼 1 例を除外した 164 名の平均年齢は 43.9±10.6 歳（22-72 歳）で、白内障有病率は主病型の皮質白内障（右眼：1.8%、左眼：3.0%)、核白内障（1.2%、0.0%)、後嚢下白内障（1.8%、1.2%)、副病型の Retrodots（1.2%、1.8%)、Waterclefts（2.4%、1.8%）であり、左右眼で差はなかった。放射線白内障の初期変化とされる微小混濁 Vacuoles は（11.0%、15.2%）であり、後嚢下白内障に移行する可能性が高い後嚢下中心の Vacuoles は（7.3%、11.0%）とやや左眼で高くなる傾向を示した。今回、水晶体変化（微小混濁も含む）があった対象者 43 名のうち 1 名のみ矯正視力が 0.6 以下であったが、その他は矯正視力 1.0 以上の視力良好眼であり、今回の対象者では視力低下を生じる白内障眼はほとんど確認されなかった。個人の被ばく線量の提供があった５１名の直近５年の線量平均は、実効線量：5.4±6.8mSv、水晶体：18.2±21.5mSv、直近１年の線量平均は実効線量：1.6±2.1mSv、水晶体：5.6±7.6mSv であった。これら被ばく線量と白内障各病型との関連をロジスティック回帰分析により検討した結果、左右眼とも線量との有意な関連は認められなかった。

(2) 放射線防護機材の改良等に関する研究

① IVR 術者の水晶体被ばくを低減するための試作放射線防護具の開発

新たに開発試作した放射線防護具(前方突出型)は、装着方法は顔面から前方へ 4cm 以上突出させることによって、80%以上の防護効果が確認できた。前方に突出させることで、前面への重みが増し、ヘアバンドの固定では不安定感が確認された。IVR はさまざまな態勢で手技を行うため、安定した固定具が必要と考える。放射線遮へいシートの鉛当量は、0.175mmPb と 0.25mmPb ともに 80%以上の防護効果を認めた。しかし、防護効果が約60%の放射線防護眼鏡とほぼ同等の0.075mmPbの差にもかかわらず、4.2%しか違いが見られなかったことより、0.175mmPb が妥当と考える。

② 最適な被ばく低減システム・放射線防護機器の提案

防護眼鏡は性能が異なる。装着時にずれないことや長時間の着用でも疲れない適度な軽さは重要な要素である。その上で適切な遮蔽率と、前方だけでなく側方からの防護も考慮され、さらに顔にフィットする形状も大切である。これらの条件を満たす防護眼鏡として、東レのパノラマシールドがある。特長は、適切な遮蔽効果を有しながらも軽量で、眼鏡のアングルを任意に調節でき、隙間なく顔にフィットする点である。有効な防護機器として、主に頭頚部を防護する天井懸架型放射線防護板があげられる。これを正しく使用することで、特に頭頚部では散乱線を 2～10 分の 1 に低減できる。このように効果的な防護機器でありながら、全く使用されなかったり、適切に使用されなかったりするために効果が得られていない事例が報告されている。甲状腺の放射線感受性は高い。一方で、甲状腺被ばくに関して線量限度は決まっていない。概ね 40

歳を超える医療従事者の甲状腺防護は必要ないように思われるかもしれない。しかし、甲状腺機能に対する影響について調査した結果、線量と有意に関連し、甲状腺機能低下症のリスクが高まる可能性を示唆している。したがって、IVR など長時間に及ぶ手技を施行する従事者は、年齢に関係なく甲状腺防護のために頚部プロテクタを使用するべきである。X 線透視装置 (オーバーチューブ型)用散乱線防護ロングカーテン(以下、ロングカーテンと記載)は、その構造から、X 線管と照射野をすっぽりとカバーし、患者の体に密着し隙間を極力開けないよう設計されている。散乱線遮蔽率は約 90%となっており、寝台の直ぐ横に立つ医師や看護師の被ばく防護に効果を発揮する。立位や座位で作業する場合、懸垂式の鉛カーテンを応用したロングカーテンでは、照射野に鉛カーテンが入り込み、視野の妨げになることから使用することができない。この点で X 線透視装置用散乱線防護ショートカーテン (以下、ショートカーテンと記載)が有効である

③ 防護眼鏡等の改良研究

天吊り防護板（下縁鉛カーテン付属）の位置と遮蔽効果について検討した結果、患者前縁と防護板下縁との距離が 15cm, 10cm, 5cm, 0cm, -5cm（尾側折り返し)、 -10cm（尾側折り返し)、 -5cm（頭側折り返し)、 -10cm（頭側折り返し）のときの線量は、遮蔽板無しの状態と比較してそれぞれ、92.1%, 66.0%, 44.6%, 27.4%, 17.5%, 14.7%, 31.7%, 31.4%であった。

新たな防護メガネのデザイン試作については、市販の防護シールドの改造や、針金等を用いて、既存の防護メガネと併用するアタッチメント、目の下で支えるタイプ、鼻の下で支えるタイプ、自分のメガネに装着するタイプ、などを試作できた。

(3) 水晶体線量計等の改良等に関する研究

① 水晶体用線量計 DOSIRIS®の改良試作型ヘッドセットに関する初期検討

アンケート調査の結果から、改良試作型ヘッドセットでは、従来型に比べ圧迫感や違和感が少ない構造へと変化していることが分かった。これは、改良試作型ヘッドセットの形状の変更により、肌に触れる面積が減少している点や、βチタンの伸縮性のある材質により、様々な頭のサイズに適合しやすい点が理由として考えられる。さらに、シリコンの滑り止めが付属されていることにより、髪の毛とのずれが軽減されていることも考えられる。一方で、線量計部分に関し、改良試作型と従来型で評価に大きな差異は見られなかった。これは、双方の型で、同じ線量計のアタッチメントを装着しているため、使用感向上には寄与しなかったことが考えられる。また、装着感に関する自由記述回答においても、改良試作型の使用感向上に言及する意見が多数得られたが、一方で、少数ではあったが、改善点もいくつか挙げられた。

② インターベンショナルラジオロジー医師に対する術前ブリーフィングが個人線量計および個人保護装具の使用に与える影響

介入前期間では、防護衣の装着率は高かったが、それ以外の装着率は総じて低かった。介入により、装着率は顕著に改善され、ほぼ 100%となった。しかし、介入によ

り、実効線量率（実効線量/透視時間）、水晶体等価線量率（水晶体等価線量/透視時間）ともに、統計学的有意に被ばく量が増加した（実効線量率: p = 0.033、水晶体等価線量率: p = 0.003)。これは、これまで見逃されていた被ばくが加算されるようになったことと、個人線量計の管理方法が 1 個管理から 2 個管理へ変更されたことに伴う線量算定法の違いが影響していると考えられた。

③ 頭部から発生する後方散乱線が水晶体被ばくに及ぼす影響

頭部から発生する後方散乱線が水晶体線量に与える影響は小さくなく、その影響は管電圧の増大に伴い大きくなった。また、発泡スチロールファントムを使用して防護眼鏡の性能評価を行った場合、放射線防護効果を過大評価してしまった。防護眼鏡の放射線防護効果をファントム実験によって評価する際は、後方散乱線の影響を考慮するために人体等価ファントムを使用するべきである。

(4) 放射線防護教育研究

看護学生において、Web ブラウザ上で動作する WebVR を利用した放射線防護演習の前後で、外部放射線防護の原則に関する演習問題を実施したところ、演習前の正答率 45%に対し、演習後は 85%に向上した。教材使用者の授業に対するモチベーションへの影響を評価するために ARCS モデルを利用したアンケート 36 問で評価した結果、最大値５の全ての項目において平均値が 4 以上の高評価となった。教材を使用した自由記載の感想として、「理解」「放射線」「距離」という単語が多く使用されていた。これらの結果から、VR システムの利用が教育内容の理解に重要な役割を果たしたと考えられる。そして、「感じる」「見る」という言葉も含まれていることから、WebXR システムは放射線の初学者にとって直感的・視覚的に理解しやすいツールと考えられる。

(5) 国内外の開発上の技術的課題等の情報について調査・収集

国内外の学会等では、調査による実態把握や、防護用具の効果に関する発表が見られた。具体的には、水晶体被ばくのアンケート調査や線量計を用いた測定、モンテカルロシミュレーションによる検討の他、防護メガネの形状や防護効果などである。

国際学会等では、UNSCEAR が Report 2020/2021 を出している。世界各国のデータが載っているが、職業被ばくサーベイで得られたデータは限られている。放射線診療・獣医学の眼の水晶体の平均等価線量は 20mSv 未満であり、診断では 7mSv、治療で 0.1mSv、獣医学で 1mSv 程度であると報告されている。しかしながら、一部の文献データでは、一部の作業者が 20mSv を超える可能性があるとも述べられている。データ数が少なく、世界全般に外挿することは困難であるが、高い被ばくを受けている作業者がいることが推測される。

D. 考察

(1) 放射線防護機材の技術的課題等の情報について調査・収集（臨床的研究）

① リアルタイム線量評価（IVR 術者の初期臨床研究）

新型リアルタイム個人線量計 i3 を用いて IVR 実臨床時の検討を行った。まだ症例は少ないものの、前かがみなることで被ばく線量率が増加すること、X 線管の角度によって線量率が変化すること、天吊り防護板の位置によって線量率が変化することなどがわかった。特に前かがみになることが多かったのは、X 線画像モニターを確認する際であった。これらは無意識下での行動であることも考えられるため、フィードバックを行うなどして、術者に被ばく線量を増加する行動であると意識してもらうことが重要である。

また術者において水晶体線量と頸部線量の相関係数は 0.51、助手については 0.84 と正の相関がみられた。そのことから症例や手技の血管、アプローチ経路、使用装置等で細かく条件を分けることができれば頸部の線量から水晶体の線量を推定することができる可能性がある。助手については相関係数0.84 と優位に正の相関がみられており、線量の推定が可能であると考えられる。

② 放射線業務における被ばく線量の実態調査

長期間測定による IVR 看護師の水晶体被ばく線量調査結果から、水晶体線量と頸部線量にはあまり相関が認められなかったこと、看護師や処置（状況）により結果が異なる可能性があることが分かり、よって頸部線量から水晶体線量を推定することは困難であると考えられる。したがって、心臓血管系 IVR に従事する看護師の水晶体線量を正確に評価するためには、眼に直接水晶体用線量計を装着することが望ましい。水晶体線量と患者線量パラメータに相関は認められなかったため、患者線量パラメータから水晶体線量を推定することは難しいと考えられる。

PET 検査における看護師の水晶体被ばくに関する基礎検討結果から、水晶体線量と担当検査数および薬剤投与量には相関が認められたため水晶体被ばくを低減するためには業務のローテーションを定期的に行うなどして看護師一人当たりの担当検査数を少なくすることが有効であると考える。水晶体用線量計と個人線量計の比較については、個人線量計での水晶体線量の過小評価の可能性が示唆される結果となった。これは薬剤投与時の防護状況が影響していると考えられ、薬剤投与時の線量の変化を今後調査していく必要がある。

③ 白内障の実態調査

今回の対象者のうち、水晶体の変化（微小混濁も含む）があった 43 名の中で 1 名のみ矯正視力が 0.6 以下であった。前回の JSNET での調査結果と同様に、視力低下につながるような白内障眼はほとんど確認されなかった。しかし放射線白内障の特徴である後嚢下中心の VC について、右眼に比べて左眼の有病率が高い傾向を示し、特に医師のみで検討するとより左右差の傾向が強かった。後嚢下中心にある VC は後嚢下白内障へ変化する可能性があり、重要な初期変化である。今後も長期での詳細な調査が必要と考える。線量提供があった 51 名に関しては、直近 1 年の水晶体線量平均は 5.6mSv であり、回答を得た対象者の線量は比較的低いことがうかがえる。最も線量が大きかった対象者の水晶体線量は 31.7mSv であり、高度の水晶体被ばくがあった対象者は少

なかったと考える。今回被ばく線量と各種白内障病型に有意な関連は認められなかった。被ばく線量と白内障との関連については、線量の提供件数が全対象の 1/3 と少なかったため、正確な評価が出来ていない可能性も否定できない。

(2) 放射線防護機材の改良等に関する研究

① IVR 術者の水晶体被ばくを低減するための試作放射線防護具の開発

新たに開発試作した放射線防護具(前方突出型)は、顔面から前方へ 4cm 以上突出させることによって、80%以上の防護効果が発揮することを確認できた。前方に突出させることで、前面への重みが増し、ヘアバンドの固定では不安定感が確認された。IVR はさまざまな態勢で手技を行うため、安定した固定具が必要と考える。放射線遮へいシートの鉛当量に関しては、0.175mmPb と 0.25mmPb ともに 80%以上の防護効果を認めた。しかし、両者は0.075mmPb (防護効果 60%程度の放射線防護眼鏡とほぼ同等の鉛当量) も鉛当量が違うにもかかわらず、4.2%しか違いが見られなかったことより、0.175mmPb が妥当と考える。

② 最適な被ばく低減システム・放射線防護機器の提案

東レのパノラマシールドは顔の輪郭にぴったりとフィットすることは眼の防護に重要とされ、装置の構造(X 線管が寝台の上または下に配置)に起因する散乱線の発生方向に対し、アングルを調節することで対応できる。

天井懸架型放射線防護板は有用であるが、使用時の注意点は、以下の 3 点に留意することが重要である。1) 患者の X 線照射部位と術者の立ち位置を結ぶ線上に配置し、2) 方向は寝台と垂直方向とする。さらに重要な点として、3) 配置する高さは、術者の頭部に近づけるのではなく、隙間をなくすよう患者に近づけることである。

甲状腺プロテクタは鉛製と非鉛製の製品が存在するが前者は硬くて重い。非鉛製のラドネックは、遮蔽材料に酸化セリウムを用い、カタログ上の散乱線遮蔽率は約 93%を有し、鉛製と同等である。柔らかく約 78 g と軽量のため不快感が軽減され、長時間の作業でも疲れない。また、ディスポーザブルカバーの交換により複数名での使い回しにも対応できるため、衛生面についても問題ない。

X 線 TV 装置散乱線防護クロスはオーバーテーブル型の X 線透視装置にて有用である。オーバーテーブル型の X 線透視装置は、汎用型として国内導入施設も多い。また、その構造上の特徴として、術者の上半身の被ばくが大きくなる。特に、眼の水晶体等価線量も高くなりやすく、防護眼鏡の使用のみでは年間線量限度を超える可能性が高い。このことから、全ての手技に適応できるショートカーテンを使用する意義は大きい。

③ 防護眼鏡等の改良研究

天吊り防護板 (下縁鉛カーテン付属) の位置と遮蔽効果について検討した結果、防護板の高さが低いほど線量は低下した。防護板が患者から 15 cm離れた状態では 1 割も線量を低減できないのに対し、防護板の高さを 0cm すなわち患者と近接させると 7 割以上の線量低減が得られた。高さを更に下げて、弛んだ防護板下縁の鉛カーテン部分を患者尾側に折り返すと 8 割以上の線量低減が得られたが、患者頭側に折り返した状

態だと線量低減効果が薄れ、高さ 0cm よりもむしろ高線量となった。尾側へ折り返すと大腿からの散乱線の一部が遮蔽される一方、頭側に折り返すと大腿からの散乱線が遮蔽されないだけでなく、鉛カーテンの湾曲によって防護板直下に隙間が生じる形となるため、高さ 0 cmよりも遮蔽効果が劣る結果を招いたと考えられる。臨床状況ではしばしば天吊り防護板と患者の間がどうしても離れてしまう状況がありうる。隙間が生じる場合は防護板を術者側へ移動することで、隙間から漏れ出る散乱線の角度を制限し、術者頭部への散乱線を遮ることで水晶体線量を下げられる可能性がある。

新たな防護メガネのデザイン試作に関して、防護メガネの上縁については、覆う範囲はせいぜい目の高さまでで十分であり、顔面との距離は離した方が矯正メガネとの干渉や曇りを避ける上で有利である。従来型のメガネを踏襲したデザインや、これに追加するアタッチメントでもこれらの要件を満たすことができるであろうが、より自由な発想が求められる。大きな遮蔽グラスには強度や重さの面での不利が予想されるが、遮蔽範囲すべてが透明でなくともよいことを考慮すれば現実的な形に落とし込めるものと期待する。

(3) 水晶体線量計等の改良等に関する研究

① 水晶体用線量計 DOSIRIS®の改良試作型ヘッドセットに関する初期検討

ヘッドセット部分において、改良試作型の方が有意に評価は高い。これは、改良試作型では、ヘッドセット部分の末端が少し開いている構造により、肌に触れる面積が減少している点や、βチタンの伸縮性のある材質により、様々な頭のサイズに適合しやすい点が理由として考えられる。さらに、シリコンの滑り止めが付属されていることにより、髪の毛とのずれが軽減されていることも予想できる。DOSIRIS®の重量は従来型で約 12g、改良試作型で約 15g であり、双方で重量に大きな差はなく、装着感の差に寄与しなかったと思われる。また、安定感に関しても大きな差異は認められなかった。線量計部分において、いずれに関しても有意な差は見られなかった。これは、双方の型で、同じ線量計のアタッチメントを装着しているため、使用感向上には寄与しなかったことが考えられる。従来型及び改良試作型 DOSIRIS®の全体評価について、改良試作型の方が従来型よりも優位に評価が高かった。これより、全体を通した評価においても、改良試作型の使用感の向上が認められた。

② インターベンショナルラジオロジー医師に対する術前ブリーフィングが個人線量計および個人保護装具の使用に与える影響

医師が追加個人線量計を装着し忘れる理由として、「外来や病棟では必要ない追加個人線量計を、机の引き出しに入れたままにしていた」という回答が多くある。しかし、介入前期間から手術室のラックに主個人線量計と追加個人線量計を 2 つ並べて保管しており、2 個管理されている医師が追加個人線量計を装着し忘れるということはなかった。

また、調査病院独自の取り組みとして、病院内の複数カ所で放射線診療を行う医師に対しては、個人線量計をラックで保管するのではなく、主個人線量計と追加個人線

量計を連結するストラップを用意して両者を常時携行させていたため、追加個人線量計の装着忘れを防ぐことができたと考える。また、実効線量率と水晶体等価線量率の値はいずれも介入により大きくなったが、その原因はこれまで見逃されていた被ばくが加算されるようになったことと、個人線量計の管理方法が 1 個管理から 2 個管理への変更されたことに伴う線量算定法の違いが影響を及ぼしたものと考えられる。

③ 頭部から発生する後方散乱線が水晶体被ばくに及ぼす影響

頭部から発生する後方散乱線が水晶体線量に与える影響は無視できない。その影響は管電圧の増大に伴い大きくなった。また、発泡スチロールファントムを使用して防護眼鏡の性能評価を行った場合、放射線防護効果を過大評価してしまった。防護眼鏡の放射線防護効果をファントム実験によって評価する際は、後方散乱線の影響を考慮するために人体等価ファントムを使用するべきである。本研究の結果から、自身の頭部を防護することにより後方散乱線の発生量を低減でき、それが水晶体被ばくの低減につながる可能性が示唆された。また、防護具の性能評価をする際には後方散乱線の影響を考慮することが必要である。

(4) 放射線防護教育研究

看護学専攻の学生において WebVR を使用することで、使用前より演習問題の正答率が有意に向上していた。また、今回 WebVR の使用前の演習問題の正答率が 45%と低いことから、放射線防護の知識が比較的少ない使用者であった。そのことから WebVR を用いることで、放射線防護に関する知識が比較的少ない使用者に対して、放射線防護に関する理解が向上すると考えられる。ARCS モデルの評価は、すべての項目で平均点が 4 以上と高く、WebVR を用いた放射線防護教材が授業への関心や意欲を高めたことがわかった。同様に放射線技術科学専攻の学生でも評価が高かったことから使用者の習熟度によらず、WebXR は使用者の放射線防護教育への関心や意欲を高めると考えられる。テキストマイニングの結果 、まず頻出語に関して、看護学専攻の学生の感想において「理解」「放射線」「距離」という単語が多く使われていた。「理解」という単語から WebVR を用いたことで、放射線に対する理解に対して影響があったと考えられる。「距離」という単語は放射線技術科学専攻の学生の感想には無かった。これは看護学専攻の学生の講義で、実物大での散乱線の可視化アプリケーションを用いた時間が放射線技術科学専攻の学生よりも長く、より印象を与えたためと考えられる。

(5) 国内外の開発上の技術的課題等の情報について調査・収集

国内外の学会等では、モダリティとしては、X 線 CT 撮影、IVR など、比較的線量が高い手技に対するものが多かった。国際学会等では、IAEA の職業被ばくに関する国際会議でも、眼の水晶体関連の発表があり、各国における被ばくの状況の紹介の他、線量計に関するものもあった。OECD/NEA の報告書では、各国の新等価線量限度への取り組みが紹介され、経験を共有できるものとして、個人モニタリング・線量測定が挙げられ、β線・中性子線、β・光子混在場や相互比較の課題が示された。文献調

査では、全体的な傾向として、関連キーワードに合致する文献数の経時的増加が認められるが、やや減少しているものもある。防護メガネや線量評価など、国内外学会や国際機関等で取り上げられている項目については、増加傾向が維持されているように見える。

E. 結論

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究を昨年度に引き続き実施した。

新型リアルタイム線量計 i3 は IVR 臨床おいて有用であり、本検討により、防護板の位置の適切配置の重要性を確認できた。本研究の結果のフィードバックなどを行い、天吊り防護板の位置調節を含めた放射線防護教育を改めて行う必要があると考える。また術者水晶体と頸部の線量の傾向には、防護板による遮蔽の差や撮影透視の角度等によって大きな差が見られ。

長期間測定による IVR 看護師の水晶体被ばく線量調査結果から、年間 20mSv を超える看護師はいなかったが、看護師間の手技中の意識差や行動差が明らかになった。したがって、看護師への放射線防護教育が重要である。PET 検査における看護師の水晶体被ばくに関する基礎検討結果から、PET 検査を行う看護師が線量限度の 1 年平均値である 20mSv/年を超過する可能性は低いと考えられる。しかし件数や投与量といった条件の違いによっては水晶体の線量がさらに高くなることが想定される。また左眼水晶体位置に装着した DOSIRIS と左頸部に装着したガラスバッジとでは計測値に違いが生じたが、PET 薬剤投与時の水晶体位置と頸部の防護状況の違いが大きく影響していると考えられる。

日本 IVR 学会で 165 名の眼科調査を行った結果、医師 107 名での後嚢下白内障の有病率は低かったが、初期病変とされる後嚢中心の VC の有病率が左眼で 12.1%と高く、右眼に比べても高くなる傾向を示した。全対象のうち水晶体混濁および微小変化があった 43 名の 9 割以上は視力良好であり、顕著な視力低下をともなう白内障は認められなかった。しかし後嚢下 VC の有病率は高く、今後視力低下をともなう後嚢下白内障を発症する可能性もあり、長期での調査が必要である。また眼科医師による OCT 検査等の有用性をアピールすることで参加者の満足度を上げ調査希望者を増加させることにつながることが期待できる。さらに医療従事者には、通常よりも緑内障などの有病率が高い可能性がある。検診参加者を増やすためには、本検診が緑内障などの重篤な眼疾患の早期発見につながる可能性の啓蒙が重要と思われた。

開発した試作放射線防護具(前方突出型)は、心血管 IVR に従事する術者に対し、効果的に水晶体を防護できることが確認できた。試作放射線防護具は頭部に固定するため、放射線防護眼鏡のような重さや視界への影響がない上、他の放射線防護具や感染防護用フェイスシールド、外科用ルーペ、外科用ヘッドライト等の併用が可能なため、

さまざまな領域で利用可能と考える。なお開発した試作放射線防護具(前方突出型)について、特許出願を行うことができた。

放射線防護の手順は、線源から距離をとる、透視パルスレートや撮影フレームレートを調整するなど、放射線発生源対策を第一に実施したうえで、それでもリスクが残る場合、残りの危険に対して防護具を使用するという考えが基本となる。したがって、手順が間違っていた場合、紹介した防護具を使用したからといって、十分な効果が期待通りに得られないことは言うまでもない。

血管撮影室で用いられている防護デバイスの中で最も有用なもののひとつであり防護メガネと相補的に働く天吊り防護板について、位置による遮蔽効果の変化を検討した。天吊り防護板（下縁鉛カーテン付属）と患者の隙間が小さいほど遮蔽効果が高いこと、防護板を更に下げる場合に弛んだ鉛カーテンを患者頭側に配置すると遮蔽効果が低下すること、隙間が空いてしまう場合はそれに応じて防護板を術者側に移動することで遮蔽効果が高まること、が示された。

既存の防護メガネと併用するアタッチメント、目の下で支えるタイプ、鼻の下で支えるタイプ、自分のメガネに装着するタイプ、などを試作した。デバイス下縁については顔面と隙間を最小限にすることや、より広い範囲を覆うことが望ましい。一方、上縁については、覆う範囲はせいぜい目の高さまでで十分であり、顔面との距離は離した方が矯正メガネとの干渉や曇りを避ける上で有利である。高い遮蔽効果と快適な使用感を両立した、次世代のデバイス開発が期待される。

DOSIRIS®の改良試作型ヘッドセットの使用感に関する初期検討を行った結果、改良試作型ヘッドセットでは、特に圧迫感及び違和感を覚えにくい構造へと変化しており、使用感の向上が見られた。このように、改良試作型ヘッドセットの有用性について示されたが、臨床現場の意見から、改善点もいくつか示された。

IVR 医師に対する術前ブリーフィングが個人線量計および個人保護装具の使用に与える効果は、IVR 開始直前にブリーフィングを行い、医師が個人線量計と個人保護装具を正しく装着されているかを確認すると、それらの装着率は劇的に上昇した。しかし、介入により、水晶体等価線量率（水晶体等価線量/透視時間）等が有意に被ばく量が増加した。これは、これまで見逃されていた被ばくが加算されるようになったことと、個人線量計の管理方法が 1 個管理から 2 個管理へ変更されたことに伴う線量算定法の違いが影響していると考えられた。

頭部から発生する後方散乱線が水晶体被ばくに及ぼす影響について検討した結果、水晶体被ばく線量における後方散乱線含有率は約 20%であり、含有率は管電圧の増大に伴い増加した。防護眼鏡の放射線防護効果を評価する際は、後方散乱線の影響を考慮するために、人体等価ファントムを使用したうえで線量計を眼の近傍に装着するべきである。発泡スチロールファントムを使用した場合、放射線防護効果を過大評価してしまう可能性がある。

VR 放射線防護教材を看護学専攻 2 年生に使用してもらい教材内容の学習効果と有効性について評価した結果、正答率が優位に上昇した。教材使用者の授業に対するモチ

ベーションへの影響を評価するために ARCS モデルを利用したアンケート 36 問で評価した結果、最大値５の全ての項目において平均値が 4 以上の高評価となった。教材を使用した自由記載の感想として、「理解」「放射線」「距離」という単語が多く使用されていた。これらの結果から、VR システムの利用が教育内容の理解に重要な役割を果たしたと考えられる。そして、「感じる」「見る」という言葉も含まれていることから、WebXR システムは放射線の初学者にとって直感的・視覚的に理解しやすいツールとといえる。

国内外の開発上の技術的課題等の情報について調査・収集に関して、眼の水晶体の新等価線量限度が国際基準や各国の関連規制法令に取り入れられてから、被ばくの現状に関する多くのデータが報告され、防護方法の検討もなされてきている。防護と線量評価が業務で求められるようになってきており、実務的・効果的な防護方法及び線量評価法への関心が高いと言える。

F. 論文報告等

1) 加藤聖規、藤沢昌輝、服部兼進、山田歩実、 芳賀喜裕、加賀勇治、阿部美津也、稲葉洋平、千田浩一. PCI 術者の水晶体線量のリアルタイム測定に関する初期検討. *日本放射線安全管理学会誌*, 2023 年 印刷中

2) 藤沢昌輝，芳賀善裕，曽田真宏，加賀勇治，阿部美津也，稲葉洋平，鈴木正敏，細井義夫，千田浩一.　PET 検査に従事する看護師の水晶体被ばく線量に関する基礎検討.　*臨床放射線*，67 巻 10 号 1075-1083，2022 年 10 月

3) 茂呂田 孝一 (2022): 被ばく低減システム・放射線防護機器はコレがベスト！. ***Rad Fan***. Vol.20 (8) : 65-68

4) 中上　晃一（2022）：最終結論！放射線防護眼鏡の使い方と選び方. ***Rad Fan.*** Vol.22 (10)：71-74

5) S. Matsuzaki, T. Moritake, L. Sun, K. Morota, K. Nagamoto, K. Nakagami, T. Kuriyama, G. Hitomi, S. Kajiki, N. Kunugita, The Effect of Pre-Operative Verbal Confirmation for Interventional Radiology Physicians on Their Use of Personal Dosimeters and Personal Protective Equipment, ***International Journal of Environmental Research and Public Health*** 19(24) (2022) 16825.

6) Chida K. What are useful methods to reduce occupational radiation exposure among radiological medical workers, especially for interventional radiology personnel? ***Radiol Phys Technol.*** 2022 Jun;15(2):101-115. doi: 10.1007/s12194-022-00660-8.

7) Hattori K, Inaba Y, Kato T, Fujisawa M, Yasuno H, Yamada A, Haga Y, Suzuki M, Zuguchi M, Chida K. Evaluation of a New Real-Time Dosimeter Sensor for Interventional Radiology Staff. ***Sensors.*** 2023 Jan 3;23(1):512. doi:10.3390/s23010512.

G. 研究発表

1) 藤沢昌輝, 加藤聖規,服部兼進,山田歩実,芳賀喜裕,加賀勇治,阿部美津也,稲葉洋平,千田浩一.バイプレーン型血管撮影装置使用時の IVR 術者におけるリアルタイム水晶体線量測定.第50回日本放射線技術学会秋季学術大会.2022年10月
2) 加藤聖規,藤沢昌輝,服部兼進,山田歩実,芳賀喜裕,加賀勇治,阿部美津也,稲葉洋平,千田浩一.被ばく防護の実際と実践 - 水晶体被ばく線量のリアルタイム解析について -.第12回東北放射線医療技術学術大会. 2022年11月
3) 加藤聖規,藤沢昌輝,服部兼進,山田歩実,芳賀喜裕,加賀勇治,阿部美津也,稲葉洋平,千田浩一. 心臓IVR術者における水晶体等価線量のリアルタイム測定に関する基礎的検討.第4回日本保健物理学会・日本放射線安全管理学会合同大会. 2022年11月
4) 山田歩実, 芳賀喜裕, 曽田真宏, 加賀勇治, 阿部美津也, 稲葉洋平, 千田浩一. 心臓・血管系IVR看護師の長期間測定による水晶体被ばく線量評価に関する検討. 日本放射線技術学会第50回秋季学術大会. 2022年10月.
5) 初坂奈津子、柴田哲平、岩西宏樹、田中才一、喜多村紘子、盛武敬、千田浩一、雑賀司珠也、黒坂大次郎、佐々木洋. 脳神経血管造影検査・血管内治療従事者の放射線白内障、第76回日本臨床眼科学会、2022/10/13-16、東京
6) 初坂奈津子、柴田哲平、宮下久範、武田峻、渋谷恵理、三田哲大、清田優希也、水戸毅、久保江理、佐々木洋. AIを使った水晶体Vacuoles検出モデルの開発と評価、第61回日本白内障学会総会・第48回水晶体研究会、2022/8/27-28、宇都宮
7) 初坂奈津子、柴田哲平、岩西宏樹、盛武敬、千田浩一、雑賀司珠也、黒坂大次郎、佐々木洋；インターベンショナル・ラジオロジー従事者の放射線白内障と水晶体被ばく線量との関係、第127回日本眼科学会総会（2023年4月、東京）で発表予定
8) 今田聡恵, 芳賀喜裕, 曽田真宏, 阿部美津也, 加賀勇治, 稲葉洋平, 千田浩一. 水晶体用線量計DOSIRIS®の改良型ヘッドセットに関する初期検討. 第4回日本保健物理学会・日本放射線安全管理学会合同大会. 2022年11月

H. 知的所有権の取得状況

1) 芳賀喜裕, 千田浩一ほか. 放射線防護具.特願 2022-144770, 令和 4 年 9 月 12 日（前方突出型の特許）
2) 加賀勇治、千田浩一ほか. 放射線防護具.特願 2023-072373, 令和 5 年 4 月 26 日

II. 分担研究報告

令和 4 年度(2022 年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究

【リアルタイム線量評価：水晶体被ばく線量の解析(放射線防護機材の技術的課題等の情報について調査・収集)】

研究分担者　千田 浩一（東北大学・災害科学国際研究所/大学院医学系研究科・教授）

研究要旨

令和 4 年度(2022 年度)のリアルタイム線量評価を用いた研究のうち、本稿では新型リアルタイム個人線量計 i3 を使用し、IVR 臨床時の水晶体被ばく線量を解析した結果について報告する。

Interventional Radiology (IVR)は手技により被ばく線量が変化し、撮影条件や、術者の立ち位置が絶えず変化するため、従来の積算線量を用いた被ばく評価では、被ばく線量増加因子を特定することは難しく、経時的なリアルタイム評価が必要となる。そこで本研究では、心臓 IVR において術者被ばくのリスクを高めている行動を評価するため、新型リアルタイム個人線量計 i3 を、心臓 IVR を行う実臨床において使用して、検討および解析を行った。

心臓 IVR を行う術者（医師）の、IVR 手技中における水晶体の被ばく線量測定を、リアルタイムに行うため、i3 を用いた。水晶体の被ばく線量測定の際は、IVR 術者の頭部にヘアバンドを装着し、その上に新しいリアルタイム個人線量計 RaySafe i3 を術者の左眼近傍に取り付け、防護眼鏡の外側の線量を測定した。i3 は 1cm 線量当量を計測しているが、これを水晶体線量とした。

今回の研究結果より、VR 臨床の現場において、被ばく線量が増加する恐れのある行動が確認できた。X 線モニターを確認する際に前かがみになり、被ばく線量が増加する傾向がみられた。これは、前かがみになることで散乱線源である患者との距離が近づいたためであると考えられ、注意が必要である。照射方向の違いで被ばく線量率に違いがみられた。特に、RAO-Caudal(右前斜位-尾頭)方向を含んだ X 線照射の場合に被ばく線量率が低減されていた。また、天吊り防護板を適切に使用している割合が少ない傾向にあった。手技の邪魔になり、一度天吊り防護板を移動させるが、その後に天吊り防護板の位置を調節しなおさないことが原因であると考えられる。意識的に天吊り防護板の位置を調整するために、放射線防護教育や術者以外の医療従事者が注意を向ける必要がある

*主な研究協力者：芳賀 喜裕（仙台厚生病院 主任）

A. 研究目的

眼の水晶体における新等価線量限度の取入れに際し、特に課題が多いものとして医療放射線分野があげられている。当研究課題は、医療施設に従事する労働者の水晶体被ばく低減を図るため、例えば放射線防護機材に求められるニーズ等の情報を収集し、今後の機材開発に資する検討、すなわち機材開発の推進のための課題整理を行う。

本研究では「放射線防護機材の技術的課題等の情報について調査・収集に関する研究」のなかで、リアルタイム線量評価について取り上げる。本稿では新型リアルタイム個人線量計 i3 を使用し、IVR 臨床時の水晶体被ばく線量の解析について報告する。

Interventional Radiology (IVR)は、様々な角度からX線を照射し、IVR 術者の立ち位置なども都度変化することから、被ばく線量の正確な検証は難しく、被ばく箇所も変化するため、放射線防護具の適切な使用が難しくなり、放射線防護効果が低減してしまう状況が考えられる。IVR において、リアルタイムに被ばく線量を測定することで放射線防護具の使用状況等の詳細な結果を得ることができる。それらを基に、新たな放射線防護機材の製品開発やその一助となること、および適切な放射線被ばく防護方法の検証を可能にすることなどができると考えられる。

透視撮影条件や術者の立ち位置などは IVR 術者の被ばく線量に大きく影響すると考えられるが、これらは手技の間で変化するものである。そこでリアルタイム評価を行った。

そこで本研究では、IVR において術者の水晶体被ばく線量の増加に繋がる行動を検討するため、新型リアルタイム個人線量計 i3 を IVR 臨床で使用して、検討を行った。

B. 研究方法

主な使用機器

- RaySafe i3 システム(RaySafe 社)
  個人線量計・ディスプレイ・解析ソフトなど
- C アーム型 X 線血管装置:
  Infinix Celeve-I INFX-8000V(東芝メディカルシステムズ社)

測定方法

心臓 IVR を行う術者(医師)の IVR 手技中の水晶の被ばく線量の測定を、i3 を用いてリアルタイムに行った。水晶体の被ばく線量測定の際は、IVR 術者の頭部にヘアバンドを装着し、その上に i3 を術者の左眼近傍に取り付けた(すなわち防護眼鏡の外側の線量を測定している)。また、i3 は 1cm 線量当量を計測しているが、これを水晶体被ばく線量として、解析を行った。

IVR 手技後に i3 とパソコンを接続し、専用の解析ソフト(RaySafe Dose Viewer)を用いて、個人線量計に記録されている線量データを確認できる。この線量データと手技の様子を合わせて評価することで、手技中に被ばく線量が増加している行動を検討した。

C. 研究結果

i3 を使用して解析した、IVR 手技中の被ばく線量が増加していた行動の一例を以下に記す。本研究で測定を行った手技はすべて心臓 IVR、特に経皮的冠動脈インターベンション(PCI)であった。透視パルスレートは 7.5p/s、撮影フレームレートは 10f/s で手技を行った。

被ばく線量が増加していた行動として一番多かったものは、前かがみになることであった。また、X 線管の角度によっても被ばく線量率に違いがみられた。RAO-Caudal(右

前斜位-尾頭)方向を含んだ X 線照射の場合に線量率が低くなる傾向にあった。天吊り防護板の位置による線量率差も生じていた。天吊り防護板の位置が適切な位置に調整されるにつれて、被ばく線量率が低減されていた。

D. 考察

IVR は、手技中に X 線管角度が変化することや、検査室内の立ち位置が手技によって異なること、手技中の状況によって放射線防護具の最適な使用が出来ない場合があることなど、IVR に従事するスタッフの被ばく状況は大変複雑である。よってリアルタイム解析を用いることは、スタッフの行動と被ばく線量を紐づけて解析することができるため防護の最適化に大変有用であると考える。防護の最適化だけでなく、眼の水晶体の放射線防護のための放射線防護機材を開発することにも繋がるため、今後の研究、開発推進のためにも不可欠な研究課題であるといえる。

本研究は、リアルタイム線量評価を利用することで、天吊り防護板をはじめとした放射線防護具の使用状態や放射線業務に従事するスタッフの行動を確認することができる。これにより、様々なシチュエーションでの被ばく状況を把握することができ、その状況に即した放射線防護上の改善点を抽出できることが期待される。

そこで、本研究では新型リアルタイム個人線量計 i3 を使用し、心臓 IVR 臨床時での術者水晶体線量を計測し、解析を行った。

その結果、前かがみなることで被ばく線量率が増加すること、X 線管の角度によって線量率が変化すること、天吊り防護板の位置によって線量率が変化することがわかった。前かがみになることで線量率が増加したのは、散乱線源である患者に近づいたためであると考えられる。また、前かがみになることで天吊り防護板からはずれてしまうことも原因の一つと考えられる。特に前かがみになることが多かったのは、X 線画像モニターを確認する際であった。これらは無意識下での行動であることも考えられるため、フィードバックを行うなどして、術者に被ばく線量を増加する行動であると意識してもらうことが重要である。手技中は X 線管の角度が変化するが、特に、RAO-Caudal を含んだ照射の場合に線量率が低下する傾向にあった。これは、RAO-Caudal 方向にしている X 線管に対応するフラットパネルディテクタ(FPD)が遮蔽体となったことが考えられる。患者からの散乱線が FPD によって遮蔽されたことが、被ばく線量率が減少したと原因であると考えられる。天吊り防護板が適切に使用されていると被ばく線量率が低下していた。前かがみになることでも示されたように、天吊り防護板の重要性が示された結果となった。手技の邪魔になり、一時的に天吊り防護板を移動させるが、その後位置を再調節することなく手技を続行していたため、線量率が増加してしまうことがあった。天吊り防護板の適切な使用方法を含めて、改めて放射線防護教育を行う必要があると考える。

E. 結論

新型リアルタイム個人線量計 i3 を用いて、IVR 手技を行う術者の水晶体被ばく線量が増加する行動を確認できた。

前かがみになることで患者に近づいてしまい、被ばく線量率が増加することがわかった。X 線管の角度によって線量率が変化していた。特に RAO-Caudal を含んだ照射では線量率が低下する傾向にあった。今後、本研

究の結果のフィードバックなどを行い、天吊り防護板の位置調節を含めた放射線防護教育を改めて行う必要があると考える。また、本研究で確認できたこと以外にも被ばく線量を増加する行動はあると考えられるため、検討を続けていく必要がある。

F. 論文報告

1）加藤聖規、藤沢昌輝、服部兼進、山田歩実、 芳賀喜裕、加賀勇治、阿部美津也、稲葉洋平、千田浩一. PCI 術者の水晶体線量のリアルタイム測定に関する初期検討. 日本放射線安全管理学会誌, 2023 年 印刷中

G. 研究発表

1) 藤沢昌輝, 加藤聖規, 服部兼進, 山田歩実, 芳賀喜裕, 加賀勇治, 阿部美津也, 稲葉洋平, 千田浩一. バイプレーン型血管撮影装置使用時の IVR 術者におけるリアルタイム水晶体線量測定. 第 50 回日本放射線技術学会秋季学術大会 2022 年 10 月
2) 加藤聖規, 藤沢昌輝, 服部兼進, 山田歩実, 芳賀喜裕, 加賀勇治, 阿部美津也, 稲葉洋平, 千田浩一. 被ばく防護の実際と実践 － 水晶体被ばく線量のリアルタイム解析について. 第 12 回東北放射線医療技術学術大会. 2022 年 11 月
3) 加藤聖規, 藤沢昌輝, 服部兼進, 山田歩実, 芳賀喜裕, 加賀勇治, 阿部美津也, 稲葉洋平, 千田浩一. 心臓 IVR 術者における水晶体等価線量のリアルタイム測定に関する基礎的検討. 第 4 回日本保健物理学会・日本放射線安全管理学会合同大会. 2022 年 11 月

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

令和 4 年度(2022 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究

新型リアルタイム線量計を用いたインターベンショナルラジオロジーに従事する医療スタッフの水晶体線量と頸部線量に関する検討

研究分担者　千田浩一（東北大学・災害科学国際研究所/大学院医学系研究科・教授）

研究要旨

令和 4 年度(2022 年度)は、インターベンショナルラジオロジー（IVR）に従事する医師の水晶体線量と頸部線量について、新型リアルタイム線量計を用いて検討を行った。現状多くの施設では頸部のガラスバッジ等の線量計を用いて水晶体の線量の管理を行っている。しかし頸部の線量は水晶体線量と乖離があることが知られている。本研究では新型リアルタイム線量計を IVR を行う術者と助手の水晶体近傍と頸部に装着し、IVR 手技中の経時的な線量データを取得し、手技中の動画と合わせて解析を行うことで医療スタッフの水晶体と頸部の被ばく線量の関係について調査した。

その結果、総線量で見たとき水晶体と頸部の線量の関係には正の相関がみられたが、1 秒刻みの詳細な解析を行った結果、全体の傾向とは異なり、、水晶体線量と頸部線量の傾向が逆転する場面が多数確認された。累積線量からみると IVR 術者、助手において条件をわけることができれば頸部線量から水晶体線量を推定できる可能性が示唆された。その一方で、術者において同じ手技内でも水晶体と頸部の線量関係が異なる場面が多数存在しており、正確な線量推定は難しい。したがって高い線量を被ばくする IVR 術者においては専用の線量計を用いた正確な線量管理を推奨する。

*主な研究協力者：芳賀　喜裕（仙台厚生病院　主任）

A. 研究目的

2011 年の ICRP ソウル声明により水晶体の白内障のしきい線量が見直され、水晶体の等価線量限度が見直された。また、近年 IVR 等の手技の高度化に伴う手技時間の増加により、医療従事者の被ばく線量が増加している。そのため IVR に従事する医療従事者の線量評価、管理は重要である。現状、多くの施設では頸部のガラスバッジを用いて水晶体の被ばく線量を管理しているが、国際原子力機関（IAEA）は水晶体の被ばく線量の評価をできる限り目の近傍で３㎜ 線量当量を測定して行うことを推奨している。そのため水晶体の正確な被ばく線量を計測するには DOSIRIS（IRSN, France）等の専用の水晶体線量計が必要となる。頸部の線量から水晶体の線量を推定できることが示唆されている研究が多数あるが、その一方で推定に関して否定的な研究も存在する。これらの研究では累積線量での評価であり、手技中の詳細な線量が分からず、明確な結論を出せていない。この原因を明らかにするため、1 秒刻みで線量の解析を行うことができる新型リアルタイム線量計、RaySafe i3（Unfors RaySafe 社）を用いて医療従事者の医療従事者の水晶体と頸部の被ばく線量の計測、検討を行った。

B. 研究方法

測定対象は心臓血管系 IVR に従事する術者と助手に該当する医師で、無作為に抽出された 17 症例にて解析を行った。使用した血管撮影用 X 線装置はシングルプレーン装置とバイプレーン装置で透視のパルスレートは 7.5p/s で撮影の際のフレームレートは 10f/s で手技を行った。リアルタイム線量計としては RaySafe i3 を用いた。術者と助手の頭部にヘアバンドを装着し、その上から左側頭部に i3 を装着し水晶体の被ばく線量を、放射線防護プロテクターの左の頭頚部位置にも i3 を装着し、頸部線量を 1cm 線量当量で測定した。。水晶体と頸部の線量関係を解析するために、統計解析ソフト JMP Pro 16.2(SAS Institute 社)を使用し、ピアソンの積率相関を用いた相関係数を算出、p 値 0.05 未満である場合、有意差ありと判断した。外れ値は Microsoft Excel(Office 2019)を用いて散布図より算出した。

また、手技中には透視や撮影の時間や条件、i3 の測定値を記録し、手技終了後には専用の解析ソフトを用いて i3 の詳細な線量データと撮影した手技の動画を比較、検討した。

C. 研究結果

術者、助手の双方において水晶体線量が頸部線量を上回る傾向が見られており、術者の水晶体線量と頸部線量の間の相関係数は 0.51、p 値が 0.054 であった。助手の水晶体線量と頸部線量の間の相関係数は 0.84、p 値 0.001 であった。

術者において水晶体線量と頸部線量の関係がほかの手技と比較して異なり外れ値として除外した症例で、動画と経時的線量データの取得が行えた手技について動画と経時的線量データを用いて解析を行った。水晶体線量が 118μSv で頸部線量が 162μSv とほかの手技とは異なり頸部で高い線量であった。水晶体の被ばく線量における撮影と透視の線量の割合は撮影が 64μSv で透視は 54μSv であった。それに対して頸部の被ばく線量における撮影と透視の線量の割合は撮影が 46μSv で透視が 116μSv であった。

最後に、バイプレーンを用いた手技で水晶体線量が頸部線量を上回っていた症例の中で、動画取得を行うことができた 12 症例において、動画を用いて水晶体線量と頸部線量の関係について解析を行った。その結

果、撮影で前かがみになった場面と一部のLAO-CRA方向からの透視、撮影を行った場面で頸部においてより線量が増加するという全体の傾向とは異なる場面が確認された。

D. 考察

今回計測を行った手技内では、術者において水晶体線量と頸部線量の相関係数は0.51、助手については0.84と正の相関がみられた。そのことから症例や手技の血管、アプローチ経路、使用装置等で細かく条件を分けることができれば頸部の線量から水晶体の線量を推定することができる可能性がある。助手については相関係数 0.84、p 値 0.001 と優位に正の相関がみられており、線量の推定が可能であると考えられる。助手は X 線管側から見て、術者の後ろに隠れる形となり、防護板に加えて術者自身が壁となり、頸部と水晶体で一様に散乱線を受けたものと考えられる。

術者の水晶体線量における撮影と透視の線量の割合が撮影:透視＝64μSv:54μSv であった一方で、頸部線量においては撮影:透視＝46μSv:116μSv と線量の割合に大きな差が見られた。これは LAO-CRA 方向からの透視において防護板が十分に作用しておらず、患者に近い頸部においてより高い線量を検出したと考えられる。

また、LAO-CRA方向からの透視ではX線管が術者に近い位置となり、防護板よりも術者側に位置する場合がある。そのため防護板の配置が難しく、X線管からの散乱線の影響も大きく受け、頸部においてより被ばく線量が高くなったと考えられる。この頸部線量が水晶体線量を上回る傾向は防護板を外して行われた、最後の確認造影での撮影、透視の際の線量と同じ傾向である。そのため、今回のバイプレーンの手技においては片方のプレーン（RAO方向）に対しては防護板が適切に働いているが、もう片方のプレーン（LAO方向）に対しては防護板が外れており、頸部でより高い線量を被ばくしたと考えられる。

また、総線量において、水晶体線量が頸部線量を上回る手技の間にも、頸部線量率が水晶体の線量率を上回る場面が確認された。撮影で前かがみになった際に頸部において水晶体と比較してかなり高い線量を被ばくしたことから、用いられた防護板の形状により、水晶体においては前かがみになっても防護板により遮蔽されていたが、頸部では防護板から外れ、遮蔽されなかったものと考えられる。

また、LAO-CRA方向からの透視、撮影において水晶体より頸部で高い線量を被ばくする場合があることが確認された。これはLAO-CRA方向からの透視、撮影ではX線管が術者に近い位置になること、防護板より内側に X 線管が位置する場合があることにより、防護板により散乱線があまり遮蔽されず、患者により近い頸部において高い線量を被ばくしたと考えられる。そのため、撮影、透視の角度を変えた際にはその都度、天吊り防護板を適切に動かす必要があると考えられる。

これらの結果から、バイプレーン装置を用いて多種多様な角度から撮影、透視を行う現代の IVR において、角度が変わるごとに術者が意識して防護板を適切な位置に動かすことが重要であるのは言うまでもないが、現代の防護板ではそもそも散乱線を防護しきることが難しいのではないかと考えられる。そのため現状の装置に合った防護機構を開発する必要があると考える。

E. 結論

心臓血管系 IVR に従事する医師において、総線量から見ると術者、助手ともに線量の推定ができる可能性が示唆されたが、1 秒刻みの詳細な解析を行うと、水晶体と頸部の線量の傾向には、前かがみになった際の防護板による遮蔽の差や撮影、透視の角度等によって大きな差が見られ、線量の推定は難しいと考えられる。そのため、高い線量を被ばくする IVR 術者においては水晶体用線量計を用いた正確な線量管理を推奨する。

F. 論文報告

該当なし

G. 研究発表

該当なし

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

令和 4 年度(2022 年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究

【長期間測定による看護師の水晶体被ばくに関する検討】

研究代表者　千田 浩一（東北大学・災害科学国際研究所/大学院医学系研究科・教授）

研究要旨

令和4年度（2022 年度）は、心臓血管系インターベンショナルラジオロジー（IVR）に従事する看護師の長期間測定による水晶体被ばくの実態調査および看護師の水晶体被ばく線量測定の簡便化を図るために看護師の水晶体線量と頸部線量の相関および水晶体線量と患者線量パラメータ(透視時間、Air Kerma(AK))の相関を、3mm線量当量を直接測定可能な水晶体用線量計を用いて検討した。

本研究では、8 名の IVR 看護師の眼の線量の職業被ばくについて、18 か月～24 か月間測定した。水晶体用線量計を看護師の左眼近傍、頸部線量計を左頸部に装着した。また、線量と同時に装置に記録された患者線量パラメータのデータを回収し、水晶体線量・頸部線量と患者線量パラメータの相関も調査した。

その結果、測定期間において年間 20mSv を超える看護師はいなかったが、看護師により線量差が認められた。手技件数や透視時間、AK がほぼ同等の看護師を比較した場合にも看護師で線量差が認められたため、看護師間の手技中の意識や行動の差が明らかになった。このことから、看護師への放射線防護に関する教育が重要であると考えられる。水晶体線量と頸部線量にはあまり相関が認められなかったこと、看護師や処置により結果が異なる可能性があることから、頸部線量から水晶体線量を推定することは困難であると考えられる。したがって、心臓血管系 IVR に従事する看護師の水晶体線量を正確に評価するためには、眼に直接水晶体用線量計を装着することを推奨する。水晶体線量と患者線量パラメータに相関は認められなかったため、患者線量パラメータから水晶体線量を推定することは難しいと考えられる。

本研究の結果において、年間 20mSv を超える看護師はいなかったが、看護師間の手技中の意識差や行動差が明らかになった。したがって、看護師への放射線防護教育が重要である。本研究は 1 施設のみの検討であり、IVR 施行施設や手技内容により結果が異なる可能性があるため、今後さらに対象施設を増やした検討を行いたい。

*主な研究協力者：芳賀 喜裕（仙台厚生病院 主任）

A. 研究目的

眼の水晶体の新等価線量限度取入れ運用に際し医療分野は特に課題が多い。また、IVR 分野において装置や技術の進歩による手技の高度化に伴い、透視時間の延長や撮影回数の増加による被ばく線量増加が問題となっている。IVR に従事する看護師の多くが職業被ばくに対して何かしら不安を抱えていることが明らかになっており、看護師の正確な線量評価の重要性が高まっている。

本研究では心臓血管系 IVR に従事する看護師の長期間線量測定による水晶体被ばくの実態調査について述べる。

IVR において、看護師は医師を除く医療従事者の中で最も被ばく線量が多いことが明らかになっているが、看護師の水晶体線量に関する報告のほとんどが 1 か月間もしくは 6 か月間の検討である。また、一般的に頸部線量を用いて水晶体線量を評価する方法が主流であるが、水晶体線量と頸部線量の相関を長期間調査した報告はない。患者や医師の皮膚および水晶体の被ばく線量と患者線量パラメータ(透視時間、Air Kerma(AK))の関係を報告したものは多く見られるが、看護師の水晶体被ばく線量と患者線量パラメータの関係はほとんど報告されていない。患者線量パラメータは一般的に装置に記録されているため、水晶体線量との相関が明らかになれば水晶体線量評価の簡便的な指標になることが期待される。

そこで本研究では、心血管 IVR に従事する看護師において長期間的な水晶体被ばくの実態を明らかにするために 18 か月～24 か月の長期間測定を行った。併せて、水晶体線量と頸部線量および水晶体線量と患者線量パラメータの相関についても検討した。

B. 研究方法

測定対象はカテーテル室所属の看護師 8 名、測定期間は 18 か月～24 か月間であった。手技は無作為に選択し、診断目的、治療目的様々な手技が行われた。水晶体用線量計 DOSIRIS™(IRSN、フランス)を看護師の左眼近傍、頸部用線量計 頸部ガラスバッチ(千代田テクノル)を看護師の左頸部に装着し測定した【図 1】。

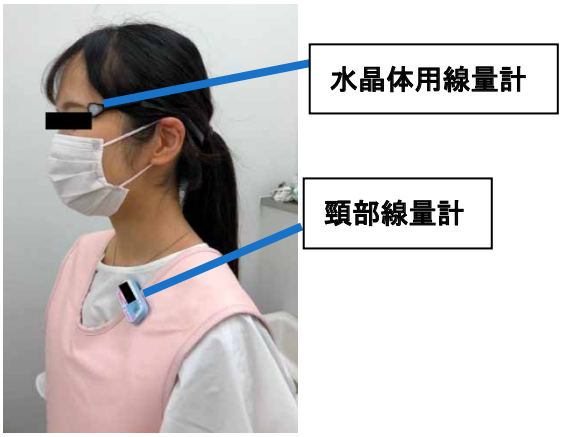


図 1　線量計装着図

看護師はどの手技においても患者右側上方 2m の場所において、鉛防護衝立の後ろ側に位置していた。なお、看護師は患者の様子を伺うために患者に接近する場合も存在した。看護師は常に鉛防護エプロン(0.35mmPb 当量)を身につけ、放射線防護メガネは使用していなかった。患者線量パラメータは、手技ごとに装置に記録されているものを使用し、1 か月間に行われた手技の記録を累算することで、月ごとの値に換算した。

統計解析には JMP Pro 15.0 (SAS Institute 製)を使用した。3 群間以上の比較には正規分布を仮定しない Kruskal-Wallis 検定を使用し、p 値が 0.05 未満であった場合に有意差があると判断した。また Kruskal-Wallis 検定で有意差が認められた場合には、多重比較法として Steel-Dwass 検定を実施した。2 群間の比較は正規分布を仮定しない Wilcoxon 検定を実施し、p 値において評価を行った。Wilcoxon 検定は順位に基づいているため、外れ値の影響を受けにくい特徴がある。水晶体線量と頸部線量の相関は、JMP Pro 15.0 における線形近似から算出した。

C. 研究結果

心血管系 IVR 看護師における 2 年間線量測定(水晶体および頸部線量)の実態

看護師ごとの手技件数及び手技内容の内訳を表 1 に示す。診断目的は 3120 件、治療目的は 2762 件と合計 5882 件であった。表 2 に看護師ごとの測定期間、実施された手技の透視時間および AK (Air Kerma) の月平均を示す。看護師 g において透視時間が最も長くなり、看護師 b において AK が最も高い結果となった。表 7 に看護師ごとの水晶体線量・頸部線量の月平均・測定期間全体の累積線量、および水晶体線量・頸部線量それぞれで算出した 1 年あたりの線量を示す。水晶体線量において最も高線量であったのは月平均で看護師 g、累積線量で看護師 c であった。頸部線量において最も高線量であったのは月平均で看護師 g、累積線量も看護師 g であった。1 年あたりの線量では水晶体および頸部どちらにおいても看護師 g が最も高線量であった。

看護師間の水晶体線量比較を Kruskal-Wallis 検定において水晶体線量、頸部線量どちらにおいても $p<0.0001$ となり有意差が認められた。Steel-Dwass 検定において多重比較を行ったところ、水晶体線量・頸部線量どちらにおいても有意差が認められた組み合わせが多数存在した。

水晶体線量と頸部線量の相関と比較

水晶体線量と頸部線量の相関においては r =0.5492 とあまり相関は認められなかった。1 か月あたりの水晶体線量と頸部線量の分布・比較では、Wilcoxon 検定において $p<0.0001$ となり、有意差が認められ、頸部線量のほうが水晶体線量より高い結果となった。

水晶体線量と患者線量パラメータの相関

水晶体線量と患者線量パラメータの相関係数(r)は透視時間で 0.194、AK で 0.211 と透視時間、AK どちらにおいても相関は認められなかった。

D. 考察

本研究は１年半から２年間という長期間で心血管系 IVR に従事する看護師の水晶体線量および頸部線量を測定したのは初めての研究である。２年間の測定を行うことで、１か月や６か月間の測定を行った研究と比較して、より実情に即した結果が得られると考えられる。水晶体線量において最も高線量であったのは月平均で看護師 g、累積線量で看護師 c であった。看護師 g が最も高線量となった理由として、測定期間が 20 か月

と短いにもかかわらず、月当たりの手技件数が最も多かったこと、1か月あたりの平均透視時間および平均 AK が比較的大きかったことが考えられる。一方で累積線量が最も高線量となった看護師 c は、同じ測定期間である看護師 a、看護師 b と比較しても高線量であり、ほぼ同等の手技件数である看護師 f と比較しても高線量となった。この理由として看護師の意識や行動の差が挙げられる。看護師によって患者の様子を伺いに X 線管や寝台に近づく頻度は異なる。近づいた際に患者、X 線管および寝台からの散乱線により線量が高くなったのだと考えられる。この対策として、X 線透視が出ている間は不用意に患者に近づかず、X 線透視が止まっているときに様子を見に行くようにすることや、医師や診療放射線技師等の他の職種と連携することで透視・撮影のタイミングを被ばくを少なくする方向へずらすことなどが挙げられる。1 年あたりの線量では看護師 g が水晶体および頸部どちらにおいても最も高線量であったが、水晶体線量限度である年間 20mSv より低線量であった。また、医療従事者における水晶体職業被ばくに関する知識の不足や医療従事者への教育の必要性を明らかにしている論文もあり、看護師への放射線防護に関する教育も重要であると考えられる。

心血管系 IVR に従事する看護師の 1 か月当たりの水晶体線量と頸部線量にあまり相関は認められなかった理由として看護師の行動の差が挙げられる。患者に接近した際に下側からの散乱線の影響を受け、頸部線量の方が水晶体線量より高くなる。その患者に近づく頻度が看護師により異なるため、水晶体線量と頸部線量の線量差も異なり相関が認められなかったのだと考えられる。また、水晶体線量と頸部線量を比較したところ、有意差が認められ、頸部線量が高い傾向となった。この理由は手技においてアンダーチューブ型 X 線管を使用しているためだと考えられる。したがって、心血管系 IVR における看護師においても頸部線量が水晶体線量を過大評価する可能性が明らかとなった。これらのことから、頸部線量から水晶体線量を推定することは困難であると考えられる。

今現在、看護師の水晶体線量と患者線量パラメータの相関を調査した研究の報告は少ない。水晶体線量と患者線量パラメータの相関を算出したところ、透視時間、AK どちらにおいても相関は認められなかった。水晶体線量と患者線量パラメータに相関が認められなかった理由として、透視や撮影時に、看護師が X 線管や患者、寝台の近くにいるとは限らないことが挙げられる。以上のことから、患者線量パラメータを看護師の水晶体線量および頸部線量の指標として使用するのは難しいと考えられる。

したがって、直接水晶体近傍に線量計を装着することが望ましい。

E. 結論

左眼左頸部の測定を 2 年間行い、長期的な水晶体職業被ばく線量の実態調査、水晶体線量と頸部線量の比較・相関についての検討を行った。長期間測定の結果として、水晶体線量限度である年間 20mSv を超える看護師はいなかったが看護師間で線量の差が認められた。看護師間の行動や放射線防護に対する意識の差をなくし被ばく線量を低減するために

は、看護師に対する十分な放射線防護教育が必要である。

また、頸部線量および患者線量パラメータから看護師の水晶体線量においてあまり相関が認められなかったこと、看護師の行動や処置の種類が異なることから、正確に推定することは困難であると考えられる。以上のことから、水晶体線量の評価ためには、水晶体用線量計を眼の近傍に直接装着して測定すること望ましい。

F. 論文報告

なし

G. 研究発表

１． 山田歩実, 芳賀喜裕, 曽田真宏, 加賀勇治, 阿部美津也, 稲葉洋平, 千田浩一. 心臓・血管系 IVR 看護師の長期間測定による水晶体被ばく線量評価に関する検討. 日本放射線技術学会第 50 回秋季学術大会. 2022 年 10 月.

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

次ページ以降に表１、表２および表３を示す。

表１　看護師ごとの手技内容内訳

看護師	a	b	c	d	e	f	g	h	合計
診断	508	215	352	414	151	355	714	411	3120
治療	394	259	348	437	213	348	495	268	2762
合計	902	474	700	851	364	703	1209	679	5882

表２　測定期間および手技情報の詳細（平均±標準偏差）

看護師	測定期間(月)	透視時間（分/月）	Air Kerma（mGy/月）
a	24	507.8±150.7	21573.4±7410.5
b	24	304.0±147.2	11704.3±5576.0
c	24	444.9±150.9	18028.7±7183.1
d	22	527.9±177.5	21534.2±9031.5
e	21	276.0±87.4	11217.8±7270.3
f	21	488.7±139.0	22436.1±17712.9
g	20	759.4±483.2	46238.8±32868.4
h	18	451.9±220.3	21883.0±8852.8

表３　心臓血管系ＩＶＲに従事する看護師の１月当たりの線量（平均±標準偏差）

看護師	月平均線量(mSv)		累積線量（mSv）		年間平均線量(mSv)	
	水晶体線量	頸部線量	水晶体線量	頸部線量	水晶体線量	頸部線量
a	0.11±0.07	0.35±0.14	2.63	8.41	1.32	4.21
b	0.23±0.12	0.36±0.18	5.55	8.73	2.78	4.37
c	0.26±0.16	0.42±0.22	6.30	10.16	3.15	5.08
d	0.09±0.11	0.29±0.11	1.89	6.35	1.03	3.46
e	0.23±0.10	0.25±0.16	4.80	5.27	2.74	3.01
f	0.21±0.22	0.47±0.27	4.43	10.01	2.53	5.72
g	0.28±0.31	0.70±0.36	5.57	14.79	3.34	8.87
h	0.08±0.09	0.36±0.13	1.47	6.46	0.98	4.31

令和 4 年度(2022 年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究

【PET 検査における看護師の水晶体被ばくに関する基礎検討（放射線防護機材の技術的課題等の情報について調査・収集）】

研究分担者　千田　浩一（東北大学・災害科学国際研究所/大学院医学系研究科・教授）

研究要旨

本研究では「放射線防護機材の技術的課題等の情報について調査・収集に関する研究」の一例として、核医学検査における看護師の水晶体被ばくおよび水晶体の被ばく防護の状況について調査した。

核医学検査では看護師などの医療従事者が放射性医薬品を取り扱い、また薬剤を投与され放射線源となった患者の介助を行うため、職業被ばくの多い業務の一つとされている。その中でも Positron Emission Tomography（PET）検査は装置の普及や保険適用の拡大といった背景から検査数も増加し、それに伴い医療スタッフの被ばく線量の増加が懸念される。さらに水晶体被ばくと関係が大きい業務としても核医学検査は挙げられており、核医学検査と医療従事者の水晶体被ばくについては詳細な調査が必要であるが、Interventional Radiology（IVR）などと比較して十分に研究が進んでいないのが現状である。そこで本研究では PET 検査を担当する看護師の水晶体被ばくの状況を明らかにし、適切な防護方法を講じるための基礎検討を行った。

調査対象は PET 検査を担当する看護師 4 名とし、6 か月間の線量測定を実施した。線量計は水晶体線量計と個人線量計を用い、両者の違いについても検討した。看護師が担当した PET 検査の件数と患者に投与した薬剤投与量も記録し、水晶体被ばくとの関係を調査した。さらに年間水晶体線量と線量限度の 1 年平均である 20 mSv を超過する件数を推定した。

今回の結果から PET 検査を担当する看護師が水晶体等価線量限度を超過する可能性は低いと考えられる。また水晶体線量と担当検査数および薬剤投与量には相関が認められた。そのため水晶体被ばくを低減するためには業務のローテーションを定期的に行うなどして看護師一人当たりの担当検査数を少なくすることが有効であると考える。水晶体用線量計と個人線量計の比較については、個人線量計での水晶体線量の過小評価の可能性が示唆される結果となった。これは薬剤投与時の防護状況が影響していると考えられ、薬剤投与時の線量の変化を今後調査していく必要がある。

*主な研究協力者：芳賀　善裕（仙台厚生病院　主任）、曽田　真宏（仙台厚生病院）

A. 研究目的

2011 年に The International Commission on Radiological Protection（ICRP）により勧告された声明を受け、令和 3 年 4 月より日本においても目の水晶体の等価線量限度が改正された。本申請課題は医療施設の労働者の水晶体被ばく低減を図るため、例えば放射線防護機材に求められるニーズ等の情報を収集し、今後の機材開発に資する検討、すなわち機材開発の推進のための課題整理を行う。

当研究は「放射線防護機材の技術的課題等の情報について調査・収集に関する研究」のなかで、看護師の水晶体被ばくについて取り上げる。本稿では PET 検査を担当する看護師の水晶体被ばくの現状と水晶体被ばくの要因に関する基礎検討について報告する。

核医学検査は放射性医薬品を患者に投与し、体内における薬剤の動態と放出される放射線を用いて画像を取得する検査である。核医学検査を担当する医療従事者は放射性医薬品を取り扱い、また放射性医薬品を投与され放射線源となった患者の介助を行うため、核医学検査は職業被ばくの多い部門の一つである。その中で Positron Emission Tomography（PET）検査は装置の普及や保険適用の拡大といった背景から検査数も増加し、それに伴い医療スタッフの被ばく線量の増加が懸念される。また International Atomic Energy Agency（IAEA）は医療業務の中で水晶体被ばくと関係が大きいと業務の一つとして核医学検査を挙げており、核医学検査における医療従事者の水晶体被ばくについて詳細に調査する必要がある。

そこで本稿では今後さらに需要が増えていくことが予想される PET 検査に焦点を絞り、PET 検査を担当する看護師の水晶体線量を長期間、水晶体近傍にて 3㎜ 線量当量で評価することにより、より正確に水晶体線量の評価および年間水晶体線量を推定することを目的とした。さらに担当検査数や薬剤投与量と水晶体線量の関係を解析し、PET 検査における具体的な水晶体被ばくの要因についても検討した。

B. 研究方法

PET 検査を担当する女性の看護師 4 名を対象として 6 か月間測定を行った。水晶体線量は左眼水晶体近傍に水晶体用線量計（DOSIRIS™）、左頸部に個人線量計（ガラスバッジ）を装着して測定した。また各看護師が担当した検査数と患者へ投与した PET 薬剤の投与量を記録し、水晶体線量との関係を調査した。

6 か月間の線量から 1 年あたりの推定値を算出し、線量限度である 5 年間で 100mSv の 1 年あたりの平均線量 20mSv/年を超過するのかを検討した。年間水晶体線量は以下の式より算出した。年間担当検査数、年間投与量も同様に算出した。

$$\begin{aligned} &\textit{年間水晶体線量} \\ &= \quad 6\,\textit{か月間の水晶体線量} \times 2 \end{aligned}$$

また 6 か月間の線量および従事した検査数から、1 年間で 20 mSv を超過する検査数を以下の式を用いて算出した.

$$\begin{aligned} &20\textit{mSv を超過する検査数} \\ &= 20/\textit{年間水晶体線量} \times \textit{年間検査数} \end{aligned}$$

さらに DOSIRIS™ とガラスバッジの相関、水晶体の線量と従事した検査数の相

関、水晶体の線量とPET薬剤の投与量の相関を調べるため、線形回帰分析を行った。また線量計を比較するためにWilcoxonの符号順位検定を行った。優位水準は0.05とした。

なおPET検査において看護師が行う業務は薬剤投与前の自動投与器の準備、PET薬剤の投与、検査室までの患者の介助である。被ばく低減策として患者への薬剤投与時に鉛防護板を使用したが、防護メガネのような水晶体の防護を目的とした防護具は使用していない。

C. 研究結果

C-1 年間水晶体線量の推定

6か月間の測定値を平均するとDOSIRIS™で0.47±0.06 mSv、ガラスバッジで0.33±0.08 mSv、担当検査数は284±31.1 件、薬剤投与量は91.7±10.3 GBqとなった（Table1）。なおDOSIRIS™は3mm線量当量、ガラスバッジは1cm線量当量による評価である。これらから年間推定値を算出すると、DOSIRIS™で0.93±0.13 mSv/year、ガラスバッジで0.66±0.17 mSv/year、担当検査数は568±62.2 件、薬剤投与量は183.4±20.6 GBqとなった。ガラスバッジの線量はDOSIRIS™よりも0.27 mSv低い数値であった。また20 mSvを超過する検査数を算出すると、DOSIRIS™の値で年間12215件となった。

C-2 線量計の比較

6か月間のDOSIRIS™の累積線量とガラスバッジの累積線量について線形回帰分析を行ったところ、正の相関はあまり認められなかった（$y = 0.26x + 0.38$、$R^2 = 0.11$）。また1か月ごとの両線量計の測定値についてWilcoxonの符号順位検定を行った結果、$p < 0.05$となり有意差が認められた。

C-3 水晶体線量と担当検査数の関係

6か月間のDOSIRIS™の累積線量と看護師の担当検査数について線形回帰分析を行ったところ、正の相関が認められた（$y = 370.3x + 111.8$、$R^2 = 0.58$）。

C-4 水晶体線量とPET薬剤投与量の関係

6か月間のDOSIRIS™の累積線量と患者に対して行った薬剤投与量について線形回帰分析を行ったところ、検査数と同様に正の相関が認められた（$y = 122.7x + 34.7$、$R^2 = 0.59$）。

D. 考察

DOSIRIS™の測定値から算出した年間水晶体等価線量は0.93±0.13mSvであった。これは20mSv/年を大きく下回る数値である。線量限度を超過する件数については、DOSIRIS™の測定値で約12000件であり、年間のPET検査担当件数の推定値が568件であったことを考えると年間12000件担当する可能性は低い。これらからPET検査を担当する看護師が水晶体の線量限度を超過する可能性は低いといえる。

DOSIRIS™とガラスバッジを比較すると，ガラスバッジの線量が全体的に低く、また両線量計に十分な相関は認められなかった（$R^2 = 0.11$）。 水晶体用線量計であるDOSIRIS™の線量を基準として考えると、核医学検査の従事者におけるガラスバッジを用いた水晶体の線量測定では過小評価している可能性がある。この原因の一つとしてPET薬剤を患者に投与するとき、水晶体近

傍と頸部で防護状況に違いがあったのではないかと考える。本研究では薬剤投与を自動投与機で行っており、投与時には鉛防護板を使用していた。しかし使用した防護板は構造上頸部までしか防護できないものとなっており、頸部位置に装着したガラスバッジでは十分に防護されていない水晶体位置の DOSIRIS™と比べ低線量になったと推測する。

DOSIRIS™の線量と看護師が担当した検査数には相関がみられた（R^2 = 0.58）。つまり PET 検査の担当検査数が増えるほど看護師の水晶体の被ばくも増加する。近年 PET/CT 装置の普及や保険適用の拡大など PET 検査の需要は増加しており、今後も各施設で PET 検査の件数が増えることが予想される。ゆえに定期的に看護師の業務をローテーションするなどして、看護師一人当たりの PET 検査担当件数を減らすことにより看護師の水晶体被ばくを抑えていく必要がある。

PET 薬剤投与量についても検査数と同様に DOSIRIS™の線量と相関が認められた（R^2 = 0.59）。患者への投与量は使用する装置の性能や患者の体格などを考慮して決められている。そのため被ばく防護を目的として投与量を減らすことはできない。ゆえに投与量と水晶体被ばくの観点においても看護師一人当たりの PET 検査担当件数を減らすことが最も有効な被ばく低減策であるといえる。

E. 結論

今回我々は PET 検査に携わる看護師の水晶体被ばく線量を評価した。本研究の結果から PET 検査を行う看護師が線量限度の 1 年平均値である 20mSv/年を超過する可能性は低いと考えられる。しかし件数や投与量といった条件の違いによっては水晶体の線量がさらに高くなることが想定される。

また左眼水晶体位置に装着した DOSIRIS と左頸部に装着したガラスバッジとでは計測値に違いが生じたが、PET 薬剤投与時の水晶体位置と頸部の防護状況の違いが大きく影響していると考えられる。

PET 検査を行う看護師の水晶体被ばくを少しでも低減するためには、業務のローテーションなどのように一人当たりの PET 検査担当件数を減らす必要がある。

F. 論文報告

1）藤沢昌輝, 芳賀善裕, 曽田真宏, 加賀勇治, 阿部美津也, 稲葉洋平, 鈴木正敏, 細井義夫, 千田浩一.　PET 検査に従事する看護師の水晶体被ばく線量に関する基礎検討. 臨床放射線, 67 巻 10 号 1075-1083, 2022 年 10 月

G. 研究発表

該当なし

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

Table1 各看護師の 6 か月間の測定値・担当検査数・薬剤投与量および年間推定値

	DOSIRIS (mSv/6 months)	ガラスバッジ (mSv/6 months)	担当検査数 (/6 months)	投与量 (GBq/6 months)
Ns. 1	0.57	0.35	321	104.1
Ns. 2	0.43	0.43	304	98.3
Ns. 3	0.40	0.20	240	77.3
Ns. 4	0.46	0.34	271	87.1
平均±標準偏差	0.47±0.06	0.33±0.08	284±31.1	91.7±10.3
年間推定値 (/year)	0.93±0.13	0.66±0.17	568±62.2	183.4±20.6

令和 4 年度(2022 年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究

水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査

（医療分野の放射線の計測評価と被ばく防護）

研究分担者　佐々木洋（金沢医科大学眼科学講座・主任教授/総合医学研究所環境原性視覚病態研究部・主任教授）

研究要旨

令和 4 年度(2022 年度)は、診療放射線従事者の白内障調査として、第 51 回日本 IVR (Interventional Radiology)学会において眼科検診を行った。3 日間で 165 名（男性 135 名、女性 30 名）が参加し、対象者の職種別では医師 108 名、診療放射線技師 24 名、看護師 13 名、その他 20 名であった。

両眼とも眼内レンズ挿入眼 1 例を除外した 164 名の平均年齢は 43.9±10.6 歳（22-72 歳）で、白内障有病率は主病型の皮質白内障（右眼：1.8%、左眼：3.0%）、核白内障（1.2%、0.0%）、後嚢下白内障（1.8%、1.2%）、副病型の Retrodots（1.2%、1.8%）、Waterclefts（2.4%、1.8%）であり、左右眼で差はなかった。放射線白内障の初期変化とされる微小混濁 Vacuoles は（11.0%、15.2%）であり、後嚢下白内障に移行する可能性が高い後嚢下中心の Vacuoles は（7.3%、11.0%）とやや左眼で高くなる傾向を示した。今回、水晶体変化（微小混濁も含む）があった対象者 43 名のうち 1 名のみ矯正視力が 0.6 以下であったが、その他は矯正視力 1.0 以上の視力良好眼であり、今回の対象者では視力低下を生じる白内障眼はほとんど確認されなかった。個人の被ばく線量の提供があった51名の直近 5 年の線量平均は、実効線量：5.4±6.8mSv、水晶体：18.2±21.5mSv、直近 1 年の線量平均は実効線量：1.6±2.1mSv、水晶体：5.6±7.6mSv であった。これら被ばく線量と白内障各病型との関連をロジスティック回帰分析により検討した結果、左右眼とも線量との有意な関連は認められなかった。

今回提供があった IVR 学会参加の対象者の多くは被ばく線量が低く、白内障発症との関連が得られなかった可能性がある。今後は被ばく線量の多い医療従事者を対象とした調査を行う必要があるとともに、線量評価の精度についても再度検討が必要である。

*主な研究協力者：初坂奈津子（金沢医科大学眼科学講座・助教）

A. 研究目的

本研究部グループでは、国内の診療放射線従事者（医師・技師・看護師）の水晶体所見および水晶体被ばくの実態を調査し、被ばく線量と白内障の関連を明らかにすることを目的とし、医療従事者の水晶体被ばく低減を図ることにつなげる。

B. 研究方法

眼科検診では眼屈折検査、視力検査、眼圧検査、散瞳下での水晶体撮影（徹照カメラおよびScheimpflug前眼部解析装置(AST03)）、眼底検査、細隙灯顕微鏡による診察を行った。白内障の判定は、同一医師による細隙灯顕微鏡での所見と水晶体撮影画像により行った。白内障は視機能低下につながるとされている3主病型（皮質、核、後嚢下）および2副病型（Retrodots（RD)、Waterclefts(WC)）、放射線白内障の初期病変である微小混濁（Vacuoles（VC））の計6病型について検討した。白内障以外の眼疾患についてはOCT 眼底所見および細隙灯顕微鏡により眼科医が診断した。問診による聞き取り調査も行い、職歴、放射線に係る手技についての経験年数、年間あたりの手技件数、作業歴等を聴取した。また放射線被ばく以外の白内障発症リスクとなる喫煙歴、糖尿病の有無、ステロイド内服の有無、紫外線被ばく歴についても合わせて聴取した。

本年度は第51回日本IVR学会（2022年6月4日～6日、神戸国際会議場）で白内障調査を主とする眼科検診を行った。検診会場は機械展示の一部のエリアに設置し、新型コロナウィルス感染予防も考え、検査もコンパクトにまとめて行った。一昨年、昨年度と同様に、対象者および検者が密にならないよう配慮した。

C. 研究結果

検診の参加者は3日間で165名（男性135名、女性30名）となり、対象者の職種別では医師108名、診療放射線技師24名、看護師13名、その他20名であった。そのうち1名は両眼とも白内障手術後である眼内レンズ挿入眼であったため除外し、164名の平均年齢は43.9±10.6歳（20代：9名、30代：57名、40代：46名、50代：39名、60代：12名、70代：1名）であった。白内障の評価は眼科医の細隙灯顕微鏡下の診断結果に追加してAIによる画像診断も行った。特に微小混濁であるVCについては局在についても評価し、後嚢下白内障の前駆病変である後嚢下中心VCの抽出と検討を行った。白内障病型別の有病率（右眼,左眼）を図1に示す。皮質白内障(1.8%, 3.0%)、核白内障(1.2%, 0.0%)、後嚢下白内障(1.8%, 1.2%)、RD(1.2%, 1.8%)、WC（2.4%, 1.8%)、VC全体（11.0%, 15.2%)、後嚢下中心にあるVC(7.3%, 11.0%)であった。IVR従事者の放射線白内障に関する既報では、後嚢下白内障の左眼の有病率が有意に高くなることが報告されているが、今回の対象者では全ての白内障病型で左右眼での有意差はなかった（カイ二乗検定)。図2に医師107名での白内障有病率を示す。これも左右眼で統計的に有意差はないが、微小混濁VCの有病率は左眼が高くなる傾向を示した。

今回の対象者のうち51名から被ばく線量の提供があった。直近5年および1年の線量（実効線量、水晶体線量）の平均を表1に示す。提供された直近5年の平均水晶体線量は18.2±21.5mSvであり、最小値0.0mSv、最大値96.7mSvであった。直近1年の平均水晶体線量は5.6±7.6mSv、最小値0.0mSv、最大値31.7mSvであった。提供された被ばく線量と白内障発症との関連をロジスティ

ック回帰分析により検討したが、左右眼とも線量との有意な関連は認められなかった。

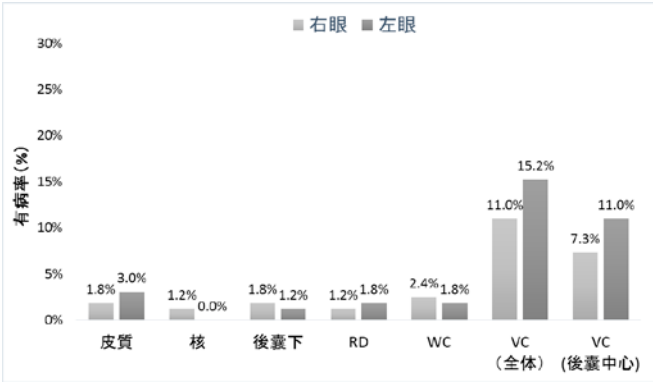


図 1. 対象者 164 名の白内障有病率

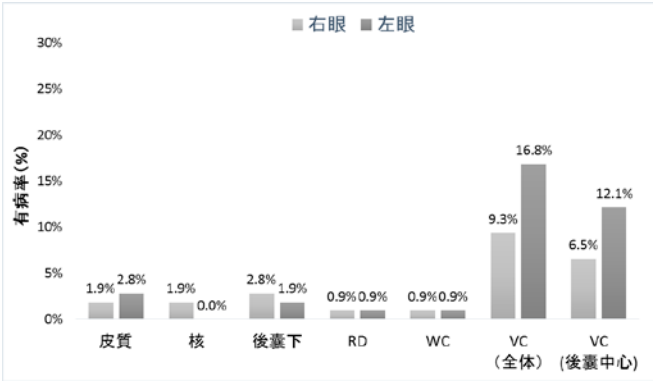


図 2. 医師 107 名の白内障有病率

表 1. 提供があった 51 名の線量平均値

	直近 5 年	直近 1 年
実効線量 mSv（最小-最大）	5.4±6.8（0.0-30.3）	1.6±2.1（0.0-8.3）
水晶体 mSv（最小-最大）	18.2±21.5（0.0-96.7）	5.6±7.6（0.0-31.7）

D. 考察

今回の対象者のうち、水晶体の変化（微小混濁も含む）があった 43 名の中で 1 名のみ矯正視力が 0.6 以下であった。その他は矯正視力 1.0 以上の視力良好眼であり、前回の JSNET での調査結果と同様に、視力低下につながるような白内障眼はほとんど確認されなかった。しかし放射線白内障の特徴である後嚢下中心の VC について、右眼に比べて左眼の有病率が高い傾向を示し、特に医師のみで検討するとより左右差の傾向が強かった。後嚢下中心にある VC は後嚢下白内障へ変化する可能性があり、重要な初期変化である。今後も長期での詳細な調査が必要と考える。

線量提供があった 51 名に関しては、直近 1 年の水晶体線量平均は 5.6mSv であり、回答を得た対象者の線量は比較的低いことがうかがえる。最も線量が大きかった対象者の水晶体線量は 31.7mSv であったが、1 年間の等価線量限度である 50mSv 未満となり、高度の水晶体被ばくがあった対象者は少なかったと考える。今回被ばく線量と各種白内障病型に有意な関連は認められなかった。被ばく線量と白内障との関連については、線量の提供件数が全対象の 1/3 と少なかったため、正確な評価が出来ていない可能性も否定できない。各所属機関での線量管理の在り方など、各施設での再度検証の必要があると考える。

E. 結論

放射線科の医師が多く参加する日本 IVR 学会で 165 名の調査を行った。医師 107 名での後嚢下白内障の有病率は低かったが、初期病変とされる後嚢中心の VC の有病率が左眼で 12.1%と高く、右眼に比べても高くなる傾向を示した。全対象のうち水晶体混濁および微小変化があった 43 名の 9 割以上は視力良好であり、顕著な視力低下をともなう白内障は認められなかった。しかし後嚢下 VC の有病率は高く、今後視力低下をともなう後嚢下白内障を発症する可能性もあり、長期での調査が必要である。昨年度と同様に、被ばく線量の回答が得られた対象者の

被ばく線量は低く、線量との有意な関連は認められなかった。回答が得られた被ばく線量はかなり低値であり、線量計測の精度に問題がないかについても再検討が必要と考えられた。

F. 論文報告

該当なし

G. 研究発表

1. 初坂奈津子、柴田哲平、岩西宏樹、田中才一、喜多村紘子、盛武敬、千田浩一、雑賀司珠也、黒坂大次郎、佐々木洋. 脳神経血管造影検査・血管内治療従事者の放射線白内障、第 76 回日本臨床眼科学会、2022/10/13-16、東京
2. 初坂奈津子、柴田哲平、宮下久範、武田峻、渋谷恵理、三田哲大、清田優希也、水戸毅、久保江理、佐々木洋. AI を使った水晶体 Vacuoles 検出モデルの開発と評価、第 61 回日本白内障学会総会・第 48 回水晶体研究会、2022/8/27-28、宇都宮

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

令和 4 年度(2022 年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究

水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査
(医療分野の放射線の計測評価と被ばく防護)

研究分担者　雑賀司珠也(和歌山県立医科大学眼科学講座・教授)

研究要旨

本研究では、国内の放射線医療従事者（医師・技師・看護師等）の水晶体被ばくの実態を詳細に把握し、白内障との関連を明らかにすることを目的とする。令和 4 年度(2022 年度)は、一昨年度および昨年度に引き続き、2022 年 6 月 4 日～6 日に開催された第 51 回 日本 IVR 学会総会において「IVR 従事者の白内障調査」を行った。

本調査では白内障調査を主とする眼科検診を行い、白内障の判定は金沢医科大学眼科学講座（佐々木洋教授）が担当された。事前協議の上で和歌山県立医科大学眼科学講座は、検診における視能訓練士による視力検査、眼底写真撮影および三次元の眼底データ、具体的には Optical Coherence Tomography（光干渉断層撮影；以下 OCT）の撮影、医師による検眼鏡的眼底検査と得られた検査結果から検診における眼底所見の判定と口頭での結果説明をおこなった。

本検診事業では、水晶体混濁の評価を点眼による散瞳処置下でおこなうために、眼底写真、OCT 検査、および医師による眼底観察という眼底検診内容は、まだまだ一般的ではない充実した内容であり、検診に参加された方からの満足度は高いものであった。

A. 研究目的

国内の放射線医療従事者（医師・技師・看護師等）の水晶体被ばくの実態を詳細に把握し、白内障との関連を明らかにすることを目的とした。

B. 研究方法

放射線被ばく量と放射性白内障の関連を明らかにする目的で、放射線医療従事者（医師・技師・看護師等）を対象に、今年度も白内障調査を主とする眼科検診を実施した。具体的には、第 51 回 日本 IVR 学会総会(2022 年 6 月 4 日～6 日、神戸)において「IVR 従事者の白内障調査」の題目で学会長の協力を得て検診事業をおこなった。

眼科検診は、眼屈折検査、視力検査、散瞳下での細隙灯顕微鏡検査、白内障カメラ（徹照カメラ)、Scheimpflug slit カメラでの水晶体撮影、眼底検査をおこなった。細隙灯顕微鏡での所見および水晶体撮影画像から、白内障判定を研究分担者の佐々木洋教授（金沢医科大学眼科学講座）が担当された。事前協議の上で和歌山県立医科大学眼科学講座は、検診における視能訓練士による視力検査、眼底写真撮影および三次元の眼底データ、具体的には Optical Coherence Tomography（光干渉断層撮影；以下 OCT）の撮影、医師による検眼鏡的眼底検査と得られた検査結果から検診における眼底所見の判定と口頭での結果説明を担当した。

C. 研究結果

放射線被ばく量と放射性白内障の関連については、研究分担者の佐々木洋教授（金沢医科大学眼科学講座）の研究結果に記載する。当教室は白内障調査において、視能訓練士による視力検査、眼底写真撮影、眼底 OCT 撮影、医師による検眼鏡的眼底検査と総合的な眼底異常所見の判定と口頭での説明を担当した。疑い病名を含めた眼底所見の検診結果をもとに、眼科受診したあとの診断結果をフィードバックしていない(本来の目的ではない)ために、直接的な研究成果はない。

D. 考察

本年度も当教室は、放射線医療従事者（医師・技師・看護師等）を対象に放射線被ばく量が多いと予測される被験者が出席する学会中に眼科検診（白内障調査）をおこなった。正確な白内障判定は散瞳下でおこなうのが望ましいために、眼底担当としては検診**参加者を増やす目的も兼ねて、充実した眼底検査体制で臨み**、また口頭での説明も併用した。眼底疾患の検出率の向上は明らかではないが、疑い病名を含め眼底疾患が複数検出された。

E. 結論

放射性白内障に限らず白内障判定は散瞳下でおこなうことが望ましい。散瞳処置による一定時間の見えにくさを理解した上で白内障調査に参加された方に対し、眼科医師による検眼鏡的眼底検査や OCT 検査の有用性をアピールすることで参加者の満足度を上げ調査希望者を増加させることにつながることが期待できる。

F. 論文報告

なし

G. 研究発表

初坂奈津子、柴田哲平、岩西宏樹、盛武敬、千田浩一、雑賀司珠也、黒坂大次郎、佐々木洋;インターベンショナル・ラジオロジー従事者の放射線白内障と水晶体被ばく線量との関係、

第 127 回日本眼科学会総会（2023 年 4 月、東京）で発表予定（演題採用済）である。

H. 知的所有権の取得状況

なし

令和 4 年度(2022 年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究

眼の水晶体の放射線防護に資する実態調査

研究分担者　黒坂大次郎(岩手医科大学眼科学講座・教授)

研究要旨

令和 4 年度(2022 年度)は、白内障の検診の参加者を増やすために、令和4年度日本 IVR 学会の参加者を対象として行った眼科検診のうち、白内障以外の他の眼疾患にどのようなものがあったのかを検討し、令和 2 年度と 3 年度に実施した日本脳神経血管内治療学会の参加者における白内障以外の眼疾患の実態と比較した。令和 4 年度の検診参加者のうち、白内障以外の疾患の検討ができた例は 142 名(平均年齢 43.8 歳)で、このうち白内障以外で精査が必要と思われる眼疾患は、緑内障疑い 17 例(11.2%)、その他網膜疾患など 17 例(11.2%)で両者で 32 例(2 例は両疾患を合併)22.5%に認められた。屈折異常は、平均屈折値が-4.4D であり、近視を多く認めた。さらに緑内障などにつながる高度近視例は、48 例 33.8%と多く認められた。

昨年までの日本脳神経血管内治療学会の参加者と比較してみると、昨年までのデータは、全参加者169名(平均年齢 45.7 歳)で、この中で緑内障疑い 24 例(14.2%)、その他網膜疾患など 21 例(12.4%)で両者で 44 例(1 例は両疾患を合併)26.0%であった。屈折値は、両年度とも平均-4.0D であった。これらのデータは、今年度のデータと大きな違いはないものと思われた。

医療従事者には、高度近視例が多く、通常よりも緑内障などの有病率が高い可能性がある。白内障の検診の参加者を増やすためには、本検診が緑内障などの重篤な眼疾患の早期発見につながる可能性の啓蒙が重要と思われた。

A. 研究目的

検診のデータを有効な情報にするには、検診参加者を増やす必要がある。昨年度までの２年間は、日本脳神経血管内治療学会の参加者を対象に行ったが、今年度は、日本IVR学会の参加者を対象とした。そこで、白内障以外の状況について、差があるか検討し、検診参加者と増やすための改善点を見出すこと

B. 研究方法

１．令和4年度日本IVR学会の参加者を対象として行った眼科検診のうち、白内障以外の他の眼疾患にどのようなものがあったのかを検討する。

２．令和２年度と3年度で行った日本脳神経血管内治療学会の参加者を対象とした眼科検診のデータと上記データを比較検討する。

C. 研究結果

1．令和４年度の検診参加者のうち、白内障以外の疾患の検討ができた例は142名(平均年齢43.8歳）であった。このうち白内障以外で精査が必要と思われる眼疾患は、緑内障疑い17例(11.2%)、その他網膜疾患など17例（11.2%）で両者で32例（2例は両疾患を合併）22.5%に認められた。

本邦の緑内障の有病率が、40歳以上で4%であり、本検診の参加者の平均年齢が40歳代である。今回の例はさらに精査を加えないと緑内障と診断することはできない疑い例が含まれてはいるものの、今回の緑内障疑いの比率11.2%は、高いものと思われた。

また、屈折異常は、平均屈折値が-4.4Dであり、近視を多く認めた。さらに緑内障などにつながる高度近視例は、48例33.8%と多く認められた。

２．上記データを昨年までの日本脳神経血管内治療学会の参加者と比較してみると、昨年までのデータは、全参加者１６９名（平均年齢45.7歳）で、この中で緑内障疑い24例（14.2%)、その他網膜疾患など21例（12.4%）で両者で44例（1例は両疾患を合併）26.0%であった。屈折値は、両年度とも平均-4.0Dであった。

これらのデータは、今年度のデータと大きな違いはないものと思われた。

D. 考察

日本脳神経血管内治療学会と日本IVR学会の参加者は、多くは異なると思われるが、白内障以外の屈折値・緑内障疑い・網膜疾患の有病率などには差が認められなかった。

緑内障や一部の網膜疾患は失明につながる病気であり、その早期発見は、視機能を維持するうえで重要である。白内障は、治療可能な病気として知られ、検診受診の強い動機にはならないかもしれないが、緑内障や一部の網膜疾患が見つかることを啓蒙することにより、検診への参加の動機になりうるものと思われる。また、これらの有病率は、年齢を考慮しても高く、近視が強い人が多いことが背景にあるのかもしれない。日本脳神経血管内治療学会と日本IVR学会ともに、高度近視の率が高く、医療従事者にこのことを啓蒙することでも検診の参加者を増やすきっかけになる可能性が考えられる。

E. 結論

医療従事者には、高度近視例が多く、通常よりも緑内障などの有病率が高い可能性がある。白内障の検診の参加者を増やすためには、本検診が緑内障などの重篤な眼疾患の早期発見につながる可能性の啓蒙が重要と思われた。

F. 論文報告

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的所有権の取得状況

なし

令和 4 年度(2022 年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究

【術者の水晶体被ばくを低減するための試作放射線防護具の開発】

研究分担者　千田 浩一（東北大学・災害科学国際研究所/大学院医学系研究科・教授）

研究要旨

本研究は、側方下方の散乱線から水晶体を防護することをコンセプトに、心血管 IVR に従事する術者（医師）の水晶体被ばくを低減する試作放射線防護具（突出型）を開発し、装着方法と鉛当量の違いによる防護効果について検討した。

装着方法に関しては、0.175mmPb の放射線遮へいシートを用い、顔面から 2、4、6cm 前方に突出するように配置し、防護効果を検討した。また、放射線遮へいシートの鉛当量に関しては、0.175mmPb と 0.25mmPb で防護効果を検討した。

装着方法は、顔面から前方へ 4cm 以上突出させることによって、80%以上の防護効果が確認できた。前方に突出させることで、前面への重みが増し、ヘアバンドの固定では不安定感が確認された。IVR はさまざまな態勢で手技を行うため、安定した固定具が必要と考える。放射線遮へいシートの鉛当量は、0.175mmPb と 0.25mmPb ともに 80%以上の防護効果を認めた。しかし、防護効果が約 60%の放射線防護眼鏡とほぼ同等の 0.075mmPb の差にもかかわらず、4.2%しか違いが見られなかったことより、0.175mmPb が妥当と考える。

本研究の結果から、試作放射線防護具（突出型）が心血管 IVR に従事する術者に対し、効果的に防護できることが確認できた。試作放射線防護具は、頭部に固定するため、放射線防護眼鏡のような重さや視界への影響がない上、他の放射線防護具や感染防護用フェイスシールド、外科用ルーペ、外科用ヘッドライト等の併用が可能なため、さまざまな領域で利用可能と考える。

*主な研究協力者:芳賀 喜裕（仙台厚生病院 主任）

A. 研究目的

医療において、眼の水晶体の新等価線量限度の取入れ運用は課題が多い。特に、IVR領域は、装置や技術の進歩による手技の高度化に伴い、透視時間の延長や撮影回数の増加し、被ばく線量の増加が問題である。

術者の水晶体被ばく防護には、放射線防護眼鏡が推奨されている。しかし、種類によっては、重量や歪み・曇り・変色により視界が悪くなる等の欠点があり、長時間の着用に支障をきたす可能性がある。

IVR では、通常、術者が手技を施す場合、側方下方の被写体から散乱線が当たりやすい。そこで、我々は心血管 IVR における被写体からの散乱線防護を目的に、図 1 のような頭部着用型の水晶体防護具を試作した。

本研究では、この試作放射線防護具（突出型）の防護効果について検討した。

B. 研究方法

素材は、プラスチック板（前面高さ 11cm×後面高さ 7cm×長さ 17cm）と鉛等を含有した塩化ビニル樹脂等の放射線遮へいシート（前面高さ 11cm×後面高さ 8.5cm×長さ 9cm）、ヘアバンドを利用し作製した（図 1）。

装着方法の検討は、0.175mmPb の放射線遮へいシートを用い、顔面から 2、4、6cm 前方に突出するように配置し、防護効果を測定した。

次いで、放射線遮へいシートの鉛当量の検討は、試作放射線防護具を顔面から 4cm 前方に突出するように配置し、0.175mmPb と 0.25mmPb の防護効果を測定した。

測定配置は、照射野中心から下方に 50cm、右方に 50cm、床から 160cm に発泡スチロール素材の頭部模型の眼の位置がくるように配置した（図 2）。血管撮影装置は、INFX-8000V（キヤノン）を使用し、散乱線測定には、DOSIRIS®（千代田テクノル）を頭部模型の左眼に配置し、試作放射線防護具の有りと無しで、各 3 回ずつ測定した。撮影条件は、管電圧 80kV、管電流 320mA、撮影時間 20sec×4 回、フレームレート 30f/s、照射野サイズ 6inch、SID95cm、テーブルの高さ 95cm、C アーム角度 0 度とし、人体ファントム（京都化学）に X 線照射し、その散乱線を評価した。

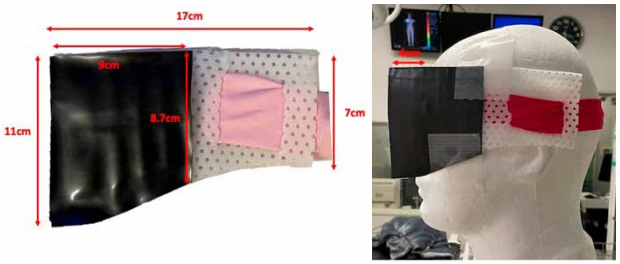


図 1　試作放射線防護具（突出型）の概要と装着方法

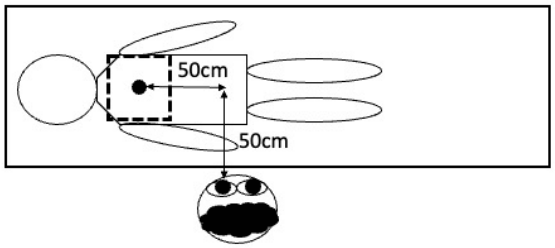


図 2　測定配置図

C. 研究結果

顔面から 2、4、6cm 前方に突出するように配置した時の防護効果を図 3 に示す。2cm 突出した場合の防護効果は 4.1%であったが、4cm では 84.7%、6cm では 86.1%となり、4cm 以上顔面から突出させた方が効果があった。

鉛当量が 0.175mmPb と 0.25mmPb の放射線遮へいシートの防護効果を図 4 に示す。鉛当量が 0.175mmPb では 84.7%、0.25mmPb では 88.9%となった。

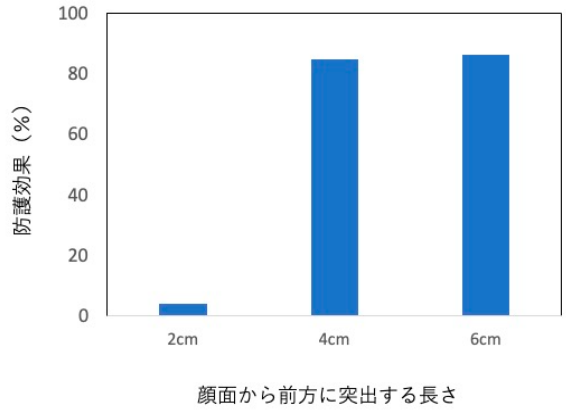


図 3　突出長の違いによる防護効果

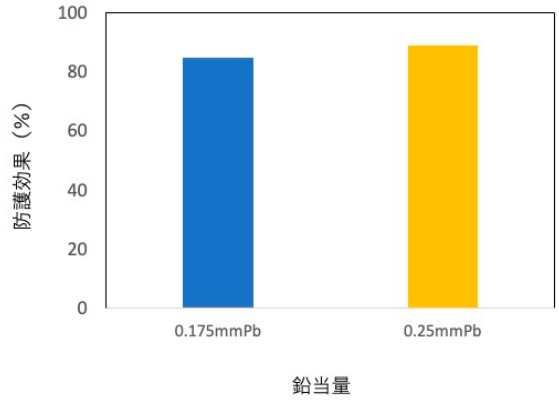


図 4　鉛当量の違いによる防護効果

D. 考察

IVR では、術者が手技を施す場合、側方下方の被写体から散乱線が当たりやすい。そこで、我々は、側方下方からの散乱線から術者の水晶体を防護する放射線防護具（突出型）を試作した。

装着方法に関しては、顔面から前方へ 4cm 以上突出させることによって、80%以上の防護効果が発揮することを確認できた。前方に突出させることで、前面への重みが増し、ヘアバンドの固定では不安定感が確認された。IVR はさまざまな態勢で手技を行うため、安定した固定具が必要と考える。

放射線遮へいシートの鉛当量に関しては、0.175mmPb と 0.25mmPb ともに 80%以上の防護効果を認めた。しかし、両者は 0.075mmPb（防護効果 60%程度の放射線防護眼鏡とほぼ同等の鉛当量）も鉛当量が違うにもかかわらず、4.2%しか違いが見られなかったことより、0.175mmPb が妥当と考える。

今回の研究では、C アームを 0 度方向での散乱線評価しか行わなかった。今後は臨床で使用する角度での評価も必要と考える。

E. 結論

IVR 領域において、術者の眼の水晶体を放射線から防護することは、重要である。本研究では、側方下方の散乱線から水晶体を防護することをコンセプトに放射線防護具（突出型）を試作した。水晶体の側面に密着するように配置し、顔面から 4cm 以上前面に突出させ、0.175mmPb の鉛当量を使用することで、効果的な防護が可能であることが確認できた。

試作放射線防護具（突出型）は、頭部に固定するため、放射線防護眼鏡のような重さや視界への影響がない上、他の放射線防護具や感染防護用フェイスシールド、外科用ルーペ、外科用ヘッドライト等の併用が可能なため、さまざまな領域で利用可能と考える。

今後は、臨床使用を考え、防護効果や耐久性等を再検討し、構造に修正していきたい。

F. 論文報告

該当なし

G. 研究発表

該当なし

H. 知的所有権の取得状況

芳賀喜裕，千田浩一ほか．放射線防護具.特願 2022-144770，令和 4 年 9 月 12 日

令和 4 年度(2022 年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究

最適な被ばく低減システム・放射線防護機器の提案

研究分担者　盛武 敬（国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構/量子生命・医学部門 放射線医学研究所 放射線規制科学研究部 部長）

研究要旨

国際放射線防護委員会（International Commission on Radiological Protection: ICRP）は、2011 年の声明で、白内障のしきい線量を 0.5 Gy とし、職業被ばくについては、定められた 5 年間の平均で 20 mSv/年、かついずれの 1 年においても 50 mSv を超えないようにする眼の水晶体等価線量限度を勧告している。それまでの線量限度 150 mSv/年に比べると大幅な下方修正であり、手技によっては年限度を超える恐れがあるため、適切な眼の防護を実施する必要がある。本邦においても、ICRP の 2011 年の声明が取り入れられ、2021 年 4 月 1 日に改正電離放射線障害防止規則が施行されている。そこで、主として眼の水晶体防護に関連する放射線防護機器として以下の 5 つを提示し、使用する意義や特徴について解説する。

1. 放射線防護眼鏡（東レ・メディカル株式会社）
2. 天井懸架型放射線防護板（MAVIG 社）
3. 甲状腺プロテクタ（ディーブイエックス株式会社）
4. X 線 TV 装置散乱線防護クロス（X 線透視装置用散乱線防護ロングカーテン）
5. X 線 TV 装置散乱線防護クロス（X 線透視装置用散乱線防護ショートカーテン）

放射線防護の手順は、線源から距離をとる、透視パルスレートや撮影フレームレートを調整するなど、放射線発生源対策を第一に実施したうえで、それでもリスクが残る場合、残りの危険に対して防護具を使用するという考えが基本となる。したがって、手順が間違っていた場合、紹介した防護具を使用したからといって、十分な効果が期待通りに得られないことは言うまでもない。

＊主な研究協力者: 茂呂田　孝一（新小文字病院・産業医科大学訪問研究員）

1. 放射線防護眼鏡
(東レ・メディカル株式会社)

現在市販されている防護眼鏡は、性能が異なる。装着時にずれないことや、長時間の着用でも疲れない適度な軽さは重要な要素である。その上で、適切な遮蔽率と、前方だけでなく側方からの防護も考慮され、さらに、顔にフィットする形状も大切である。これらの条件を満たす防護眼鏡として、東レのパノラマシールド（図1)[1]がある。特長は、適切な遮蔽効果を有しながらも軽量で、眼鏡のアングルを任意に調節でき、隙間なく顔にフィットする点である。顔の輪郭にぴったりとフィットすることは眼の防護に重要とされ[2]、装置の構造(X 線管が寝台の上または下に配置)に起因する散乱線の発生方向に対し、アングルを調節することで対応できる。

図 1 放射線防護眼鏡 東レ パノラマシールド(鉛当量:0.07 mmPb)。文献[1]より引用。

2. 天井懸架型放射線防護板
(MAVIG 社)

Interventional Radiology (IVR) における従事者の主な職業被ばくは、患者に照射されたX 線が患者の体内で相互作用することで放出される散乱線による。ここで有効な防護機器として、主に頭頚部を防護する天井懸架型放射線防護板（図 2)[3]があげられる。これを正しく使用することで、特に、頭頚部では散乱線を 2～10 分の 1 に低減できる[4]。このように効果的な防護機器でありながら、全く使用されなかったり、適切に使用されなかったりするために効果が得られていない事例が報告されている[3]。

使用時の注意点は、以下の 3 点に留意することが重要である。1) 患者の X 線照射部位と術者の立ち位置を結ぶ線上に配置し、2) 方向は寝台と垂直方向とする。さらに重要な点として、3) 配置する高さは、術者の頭部に近づけるのではなく、隙間をなくすよう患者に近づけることである。

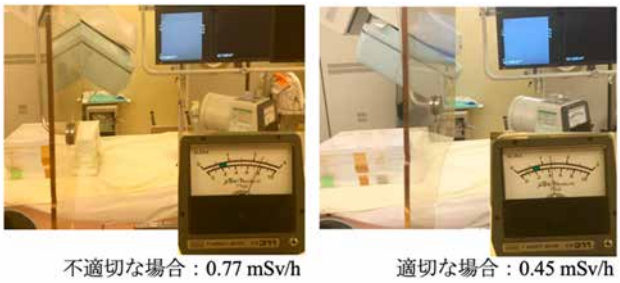


図 2 天井懸架型放射線防護板 マービック(鉛当量:0.5 mmPb)。不適切な使用により、術者への防護効果は低くなる。天井懸架型放射線防護板は可能な限り術者に近づけ、下縁を患者の身体に密着させるべきである。文献[3]より引用。

3. 甲状腺プロテクタ
(ディーブイエックス株式会社)

甲状腺の放射線感受性は高い。一方で、甲状腺被ばくに関して線量限度は決まっていない。

Ivanov らは、チェルノブイリ原発事故における、救急隊員の放射線被ばくによる甲状腺癌発症リスクを調査し、甲状腺癌発症率と線量の間に統計的に有意な関係は示されなかったと報告している[5]。また、ICRP は、甲状腺癌発症リスクは照射時の年齢に強く影響されるものの、30 歳を超える男性と 40 歳を超える女性のリスクは小さいと述べている[6]。これらの報告から、概ね 40 歳を超える医療従事者の甲状腺防護は、必要ないように思われるかもしれない。

しかし、Cioffi らは、医療従事者が受ける低線量放射線被ばくについて、年間 6 mSv 未満の群と年間 6–20 mSv の 2 つの群に分け、甲状腺機能に対する影響について調査した結果、線量と有意に関連し、甲状腺機能低下症のリスクが高まる可能性を示唆している[7]。したがって、IVR など長時間に及ぶ手技を施行する従事者は、年齢に関係なく甲状腺防護のために頚部プロテクタを使用するべきである。なお、NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements) は、若年者及び頚部レベルの個人線量計の値 (Hp(10)) が 4 mSv/月を超える全ての従事者について、甲状腺防護のため甲状腺プロテクタの使用を推奨している[8]。

甲状腺プロテクタは鉛製と非鉛製の製品が存在するが前者は硬くて重い。非鉛製のラドネック (図 3)[1]は、遮蔽材料に酸化セリウムを用い、カタログ上の散乱線遮蔽率は約 93% (管電圧 90 kV 時) を有し、鉛製と同等である。柔らかく約 78 g と軽量のため不快感が軽減され、長時間の作業でも疲れない。また、ディスポーザブルカバーの交換により複数名での使い回しにも対応できるため、衛生面についても問題ない。

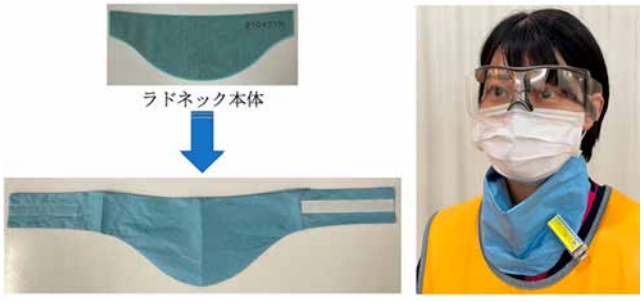


図 3 甲状腺プロテクタ ラドネック(鉛当量: 0.28 mmPb)。文献[1]より引用。

4. X 線 TV 装置散乱線防護クロス (X 線透視装置用散乱線防護ロングカーテン)

X 線透視装置 (オーバーチューブ型) を使用した内視鏡的逆行性胆管膵管造影 (endoscopic retrograde cholangiopancreatography: ERCP) では、比較的透視時間が長くなる傾向にあり、装置の特性を十分把握した防護対策が必要である。この点を無視した場合、少ない件数でも眼の水晶体等価線量の年限度を超えてしまう可能性がある[9]。

X 線透視装置用散乱線防護ロングカーテン(以下、ロングカーテンと記載)は、その構造から、X 線管と照射野をすっぽりとカバーし、患者の体に密着し隙間を極力開けないよう設計されている(図 4)[1]。メーカーが示すカタログ上の散乱線遮蔽率は約 90%となっており、寝台の直ぐ横に立つ医師や看護師の被ばく防護に効果を発揮する。寝台が水平の時しか使えない点がリミテーションではあるが、ERCP に従事する従事者の、特に眼の水晶体防護には、なくてならない防護機器と言える。

図 4 X 線透視装置用散乱線防護ロングカーテン(鉛当量:0.25 mmPb)。文献[1]より引用。

5. X 線 TV 装置散乱線防護クロス (X 線透視装置用散乱線防護ショートカーテン)

X 線透視装置は、立位から臥位まで任意の角度に可動する。立位や座位で作業する場合、懸垂式の鉛カーテンを応用したロングカーテンでは、照射野に鉛カーテンが入り込み、視野の妨げになることから使用することができない。この点で、Nakagami らが開発した X 線透視装置

用散乱線防護ショートカーテン（以下、ショートカーテンと記載）が有効である（図 5)[10]。

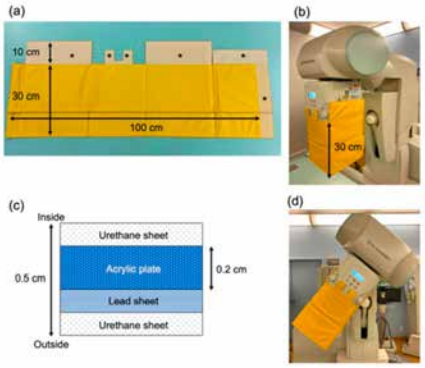


図 5 ショートカーテンの構成と構造（鉛当量：0.13 mmPb）。(a) ショートカーテンの構成。(b) X 線コリメーターに取り付けられた状態。(c) ショートカーテンのシールド材の断面。(d) ショートカーテンを取り付け、X 線管が傾いている状態。文献[10]より引用。

開発コンセプトは、オーバーテーブル型の透視装置を用いる全ての検査に対応可能であり、業務に従事する術者の眼の水晶体防護に特化していることである。同一検査でロングカーテンまたはショートカーテンを使用したときの術者の眼の水晶体線量は、ロングカーテンの方が効果的に低減できていた。一方で、ロングカーテンを使用可能な手技にのみ使用した群と、ショートカーテンのみを使用した群を比較したとき、集団水晶体等価線量低減率は 9.8%から最大 17.6%に上昇したと報告している[10]。

オーバーテーブル型の X 線透視装置は、汎用型として国内導入施設も多い。また、その構造上の特徴として、術者の上半身の被ばくが大きくなる。特に、眼の水晶体等価線量も高くなりやすく、防護眼鏡の使用のみでは年間線量限度を超える可能性が高い。このことから、全ての手技に適応できるショートカーテンを使用する意義は大きい。現在、製品化も検討中であり、今後に期待するところである。

引用文献

1. 茂呂田 孝一 (2022): 被ばく低減システム・放射線防護機器はコレがベスト！. Rad Fan. Vol.20 (8) : 65-68
2. ICRP (2018): Occupational radiological protection in interventional procedures. ICRP Publication 139. Ann. ICRP 47(2).
3. 欅田 尚樹 (2019): 十分な放射線防護を行っても、なお高い被ばく線量を眼の水晶体に受ける可能性のある労働者に関する実態調査について(フィージビリティ検証及び質的評価に係る結果). available from: https://wwwmhlwgojp/content/11201000/000519683pdf
4. Martin Colin J (2016): Eye lens dosimetry for fluoroscopically guided clinical procedures: practical approaches to protection and dose monitoring. Radiation protection dosimetry 169: 286-291
5. Ivanov VK, Chekin S Yu, Kashcheev VV, Maksioutov MA, Tumanov KA (2008): Risk of thyroid cancer among Chernobyl emergency workers of Russia. Radiation and environmental biophysics 47: 463-467
6. ICRP (2007): The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103 Ann ICRP 37: 1-332
7. Cioffi Dante Luigi, Fontana Luca, Leso Veruscka, Dolce Pasquale, Vitale Rosalba, Vetrani Ilaria, Galdi Aniello, Iavicoli Ivo (2020): Low dose ionizing radiation exposure and risk of thyroid functional alterations in healthcare workers. European Journal of Radiology 132: 109279
8. NCRP (2010): Radiation Dose Management for Fluoroscopically-Guided Interventional Procedures. NCRP Report No. 168. LWW
9. 欅田尚樹 (2020): 不均等被ばくを伴う

放射線業務における被ばく線量の実態調査と線量低減に向けた課題評価に関する研究 令和元年度 総括・分担研究年度終了報告書

10. Nakagami Koichi, Moritake Takashi, Nagamoto Keisuke, Morota Koichi, Matsuzaki Satoru, Kuriyama Tomoko, Kunugita Naoki (2021): Strategy to Reduce the Collective Equivalent Dose for the Lens of the Physician's Eye Using Short Radiation Protection Curtains to Prevent Cataracts. Diagnostics 11: 1415

著書

1. 茂呂田 孝一 (2022): 被ばく低減システム・放射線防護機器はコレがベスト！. Rad Fan. Vol.20 (8) : 65-68
2. 中上 晃一(2022):最終結論！放射線防護眼鏡の使い方と選び方. Rad Fan. Vol.22 (10):71-74

研究発表

なし

知的所有権の取得状況

なし

※ 次頁以降に参考資料を示す。

被ばく低減システム・放射線防護機器はコレがベスト!

茂呂田孝一 新小文字病院　放射線科

ベスト1 放射線防護眼鏡
パノラマシールド
東レ・メディカル株式会社

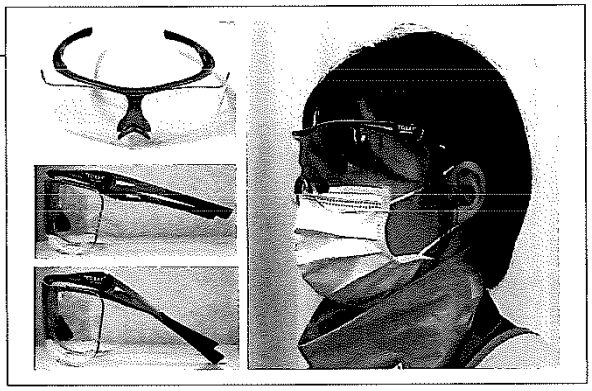


図1　放射線防護眼鏡 東レ パノラマシールド(鉛当量:0.07mmPb)

放射線防護の手順は、発生源対策（パルスレートやフレームレート調整等）を行ったうえで、残りの危険に対して防護具を使用するという考え方が基本となる。

国際放射線防護委員会（ICRP：International Commission on Radiological Protection）は、2011年の声明で、白内障のしきい線量を0.5Gyとし、職業被ばくについては、定められた5年間の平均で20mSv／年、かついずれの1年においても50mSvを超えないようにとする眼の水晶体等価線量限度を勧告している[1,2]。それまでの線量限度150mSv／年に比べると、大幅な下方修正となった。本邦においても、ICRPの2011年の声明が取り入れられ、2021年4月1日に改正電離放射線障害防止規則が施行されている[3]。

国内法令の取り入れは、放射線審議会や厚生労働省において検討され承認されたが、その過程で、医療分野における線量管理の不適切さが報告されている[4,5]。また、眼の水晶体被ばく調査では、冠動脈形成術（PCI：percutaneous coronary intervention）などの血管系IVR（Interventional Radiology）や、内視鏡的逆行性胆管膵管造影（ERCP：endoscopic retrograde cholangiopancreatography）などの非血管系IVR、CT介助者において、いずれの手技においても放射線防護眼鏡（以下、防護眼鏡と記載）の必要性が報告されている[5]。

現在市販されている防護眼鏡は、それぞれ性能が異なることから、購入時にどのような点に注意すべきか知っておく必要がある。まず、装着時にずれないことや、長時間の着用でも疲れない適度な軽さは重要な要素である。その上で、適切な遮蔽率と、前方だけでなく側方および下方からの防護も考慮され、さらに、顔にフィットする形状も大切である。

これらの条件を満たす防護眼鏡として、東レのパノラマシールド（**図1**）がある。特長は、適切な遮蔽効果を有しながらも軽量で、眼鏡のアングルを任意に調節でき、隙間なく顔にフィットする点である。顔の輪郭にぴったりとフィットすることは眼の防護に重要とされ[6]、装置の構造（X線管が寝台の上または下に配置）に起因する散乱線の発生方向に対し、アングルを調節することで対応できる。また、普段使用している眼鏡の上から装着できるタイプもある。唯一気になるところは、落下による破損が時々経験され、眼鏡が高価なことから、縁をつけるなど割れにくい改良をメーカーには期待するところである。

ベスト2 天吊り防護板
X線防護板
MAVIG社

X線透視ガイド下に施行される血管内治療などIVRにおいて、患者の防護を実践することを念頭におくことが大切である。職業被ばくは、患者の被ばくと関係が深く、患者を防護するほとんどの行為が従事者の防護にも繋がるためである[6]。

IVRにおける従事者の主な職業被ばくは、患者に照射されたX線が患者の体内で相互作用することで放出される散乱線によるものである。したがって、患者に近接する術者

が最も影響を受ける事になる。ここで有効な防護機器として、主に頭頸部を防護する天吊り防護板（**図2**）と、下肢を防護する寝台吊り下げ式の鉛カーテンがあげられる。これらは、新しいものではなく、血管撮影装置の普及当初から考案されたものである。天吊り防護板を正しく使用することで、特に、頭頸部では散乱線を2～10分の1に低減できる[7]。このように効果的な防護機器でありながら、全く使用されなかったり、適切に使用されなかったりするために効果が得られていない事例が報告されている[8]。

天吊り防護板では、正しく使用することで頭頸部（眼の水晶体被ばく防護にも大きく関係）の被ばく低減効果は大きい。使用時の注意点は、以下の3点を意識することが重要である。天吊り防護板は、①散乱源となる患者のX線照射部位と術者の立ち位置を結ぶ線上に配置し、②方向は寝台と垂直方向とする。さらに重要な点として、③配置する高さは、術者の頭部に近づけるのではなく、隙間をなくすよう患者に近づけることである。

血管系IVRでは、手技の際X線の入射方向が適時変更される。天吊り防護板は、その都度前述の3点を意識し術者自身が操作することになるが、この行為が術者の頭頸部及び眼の水晶体等価線量を効果的に低減する。特に、水晶体等価線量限度を超える可能性のある術者には実践が求められる。煩雑に感じるかもしれないが、筆者の施設では術者の負担になっていない。

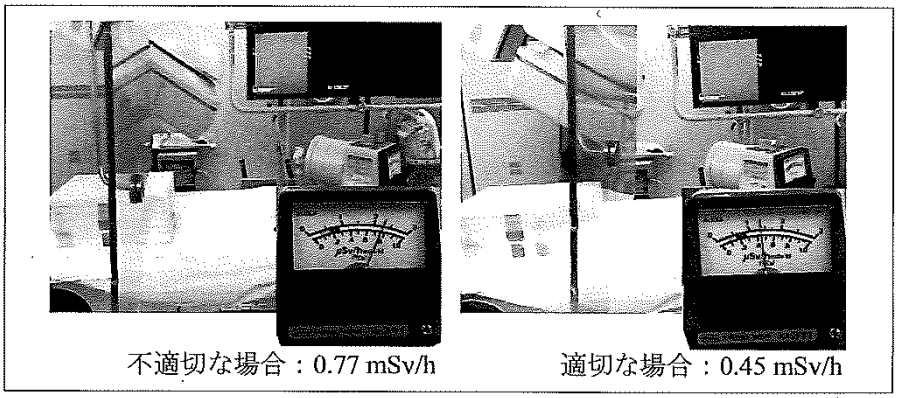


図2　天吊り防護板 マービック
（鉛当量：0.5 mmPb）
不適切な使用により、術者への防護効果も低くなる。天吊り防護板は可能な限り術者に近づけ、下縁を患者の身体に密着すべきである。

樺田尚樹：十分な放射線防護を行っても、なお高い被ばく線量を眼の水晶体に受ける可能性のある労働者に関する実態調査について：フィージビリティ検証及び質的評価に係わる結果.2019（Ref.8）より引用

ベスト3　頸部プロテクタ

ラドネック

ディーブイエックス株式会社

甲状腺の放射線感受性は高い。一方で、甲状腺被ばくに関して線量限度は決まっていない。

Ivanovらは、チェルノブイリ原発事故における、救急隊員の放射線被ばくによる甲状腺癌発症リスクを調査しているが、甲状腺癌発症率と線量の間に、統計的に有意な関係は示されなかったと報告している[9]。また、ICRPは、甲状腺癌発症リスクは照射時の年齢に強く影響されるものの、30歳を超える男性と40歳を超える女性のリスクは小さいと述べている[10]。ここだけを見ると、概ね40歳を超える医療従事者の甲状腺防護は、必要ないように思われるかもしれない。本当にそうであろうか。

Cioffiらは、医療従事者が受ける低線量放射線被ばくについて、年間6mSv未満の群 と年間6～20mSvの2つの群に分け、甲状腺機能に対する影響について調査した結果、線量と有意に関連し、甲状腺機能低下症のリスクが高まる可能性を示唆している[11]。したがって、IVRなど長時間に及ぶ手技を施行する従事者は、年齢に関係なく甲状腺防護のために頸部プロテクタを使用するべきである。なお、NCRP（National Council on Radiation Protection and Measurements）は、若年者及び頸部レベルの個人線量計の値（Hp(10)）が4mSv／月を超える全ての従事者について、甲状腺防護のため頸部プロテクタの使用を推奨している[12]。

頸部プロテクタは鉛製と非鉛製の製品が存在するが、前者は硬くて重い。ICRPは、頸部プロテクタを首に強くフィットすることは不快であり、快適さのため緩く着用されることが多いと述べている。そのため、喉仏より低い位置に着用された場合、甲状腺上部の約10mmが保護されないと報告している[6]。非鉛製のラドネック（**図3**）は、遮蔽材料に酸化セリウムを用い、カタログ上の散乱線遮蔽率は約93％（管電圧90kV時）を有し、鉛製と同等である。柔らかく約78gと軽量のため不快感が軽減され、長時間の作業でも疲れない。また、ディスポーザブルカバーの交換により複数名での使い回しにも対応し、衛生面についても問題なく使用できる。

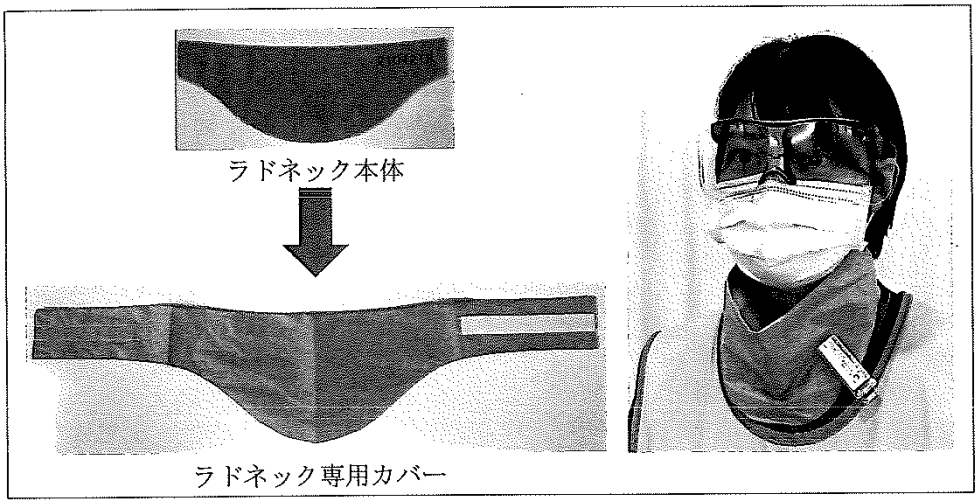


図3　頸部プロテクタ ラドネック(鉛当量:0.28mmPb)

ベスト4

X線TV装置　散乱線防護クロス

X線透視装置用散乱線防護ロングカーテン

株式会社保科製作所

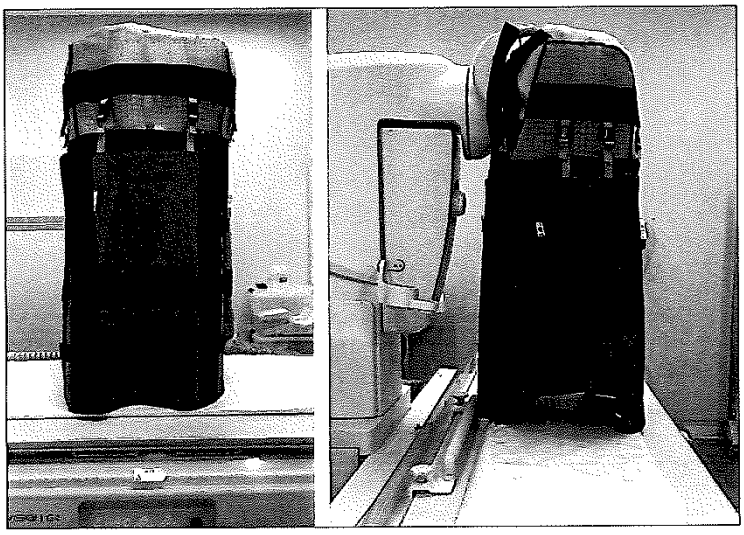


図4　X線透視装置用散乱線防護ロングカーテン(鉛当量:0.25mmPb)

近年、血管系IVRと同様に、非血管系IVRも増加傾向にある[13]。中でも、ERCPは、胆嚢や胆管及び膵管の疾患に対する診断や治療に大きく貢献している。

X線透視装置には、X線管が寝台の上に配置されたオーバーチューブ型と、下に配置されたアンダーチューブ型が存在する。一般的に、ERCPで用いられるX線透視装置は、オーバーチューブ型であることが多い。オーバーチューブ型は、患者とX線管の間のスペースが広いため患者を観察しやすく、様々な検査に対応でき汎用性が高いため、国内では多くの施設で使用されている。一方で、従事者の職業被ばくは、頭頸部や上半身への散乱線量が高くなる傾向にある。また、天吊り防護板は、ほとんど使用できない。筆者の施設において、術者の眼の水晶体線量を蛍光ガラス線量計を用いて測定した結果、血管撮影装置（アンダーチューブ型）を使用しPCIを1時間施行した術者と、X線透視装置（オーバーチューブ型）を使用し、数分の透視と数回の撮影を施行したとき、X線透視装置用散乱線防護ロングカーテン（以下、ロングカーテンと記載）を使用しなかった場合、1検査当たりの術者の水晶体等価線量は、ほぼ同等かそれ以上であった。

ERCPは、比較的透視時間が長くなる傾向にあることから、装置の特性を十分把握した防護対策の適応が必要であり、この点を無視した場合、少ない件数でも眼の水晶体等価線量の年限度を超えてしまう可能性が高くなる[5]。

図に示すロングカーテン（**図4**）は、その構造から、X線管と照射野をすっぽりとカバーし、患者の体に密着し隙間を極力開けないよう設計されている。メーカーが示すカタログ上の散乱線遮蔽率は約90％となっており、寝台の直ぐ横に立つ医師や看護師の被ばく防護に効果を発揮する。寝台が水平の時しか使えない点がリミテーションではあるが、ERCPに従事する従事者の、特に眼の水晶体防護には、なくてならない防護機器と言える。

ベスト5

X線TV装置　散乱線防護クロス

X線透視装置用散乱線防護ショートカーテン

オーバーテーブル型を使用する従事者の放射線防護では、ロングカーテンの散乱線遮蔽率は約90％となり使用する意義は大きい。したがって、全ての適応症例において使用したいところである。

X線透視装置は、立位から臥位まで任意の角度に可動する。立位や座位で作業する場合、懸垂式の鉛カーテンを応用したロングカーテンでは、照射野に鉛カーテンが入り込み、視野の妨げになることから使用することができない。さらに、鉛カーテンそのものがX線を遮蔽することで、透視輝度の自動調節機構により線量が増加することから、患者や術者の被ばく線量も増加する。つまり、臥位の特定の症例にしか使用できないということである。

今回紹介する防護機器は、Nakagamiらが開発したX線透視装置用散乱線防護ショートカーテン（以下、ショートカーテンと記載）である（**図5**）。開発コンセプトは、オーバーテーブル型の透視装置を用いる全ての検査に対応可能であり、業務に従事する術者の眼の水晶体防護に特化していることである。**図5**に示すような構造のため、同一検査でロングカーテンまたはショートカーテンを使用したときの術者の眼の水晶体線量は、ロングカーテンの方が効果的に低減できた。一方で、ロングカーテンを使用可能な手技にのみ使用し、それ以外はカーテンを用いなかった群と、ロングカーテンは使用可能な手技に使用し、それ以外の手技には全てショートカーテンを用いたとき、眼の水晶体の集団等価線量低減率は9.8%から17.6%に上昇したと報告している[14]。

オーバーテーブル型のX線透視装置は、汎用型として国内導入施設も多い。また、その構造上の特徴として、術者の上半身の被ばくが大きくなる。特に、眼の水晶体等価線量も高くなりやすく、防護メガネの使用のみでは年間線量限度を超える可能性が高い。このことから、全ての手技に適応できるショートカーテンを使用する意義は大きい。現在、製品化も検討中であり、今後に期待するところである。

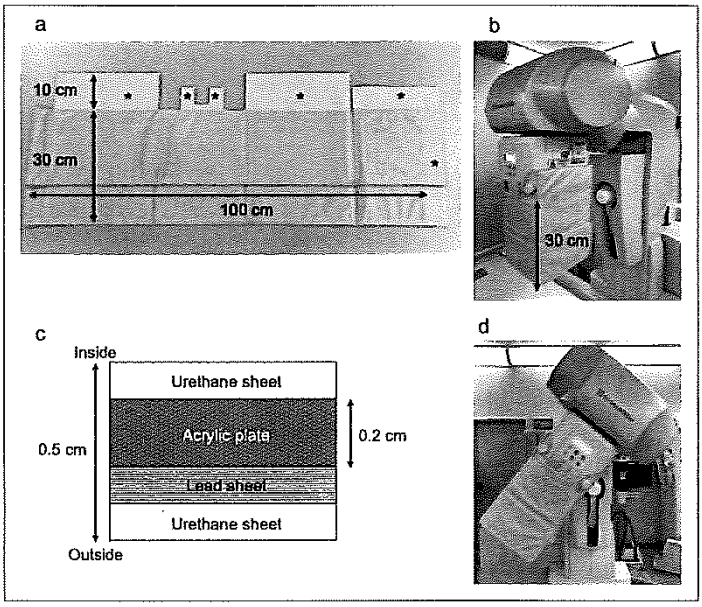


図5　ショートカーテンの構成と構造（鉛当量：0.13 mmPb）
a.ショートカーテン の構成。b.X線コリメーターに取り付けられた状態。c.ショートカーテンシールド材の断面。d:ショートカーテン を取り付け、X 線管が傾いている状態。
Nakagami K et al: Diagnostics 11(8): 1415,2021より引用

<文献>
1) ICRP:Statement on Tissue Reactions. 2011
2) ICRP: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 118:1-322,2012
3) 厚生労働省:【令和3年4月1日施行】改正電離放射線障害防止規則及び関連事業について. 2021 https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/roudoukijun/anzen/0000186714_00003.html
4) 樺田尚樹:不均等被ばくを伴う放射線業務における被ばく線量の実態調査と線量低減に向けた課題評価に関する研究. 平成30年度 総括・分担報告書 2019 https://www.mhlw.go.jp/content/000615097.pdf
5) 樺田尚樹:不均等被ばくを伴う放射線業務における被ばく線量の実態調査と線量低減に向けた課題評価に関する研究. 令和元年度 総括・分担研究年度終了報告書 2020 https://www.mhlw.go.jp/content/000680682.pdf
6) ICRP:Occupational radiological protection in interventional procedures. ICRP Publication 139,47(2):2018
7) Martin CJ:Eye lens dosimetry for fluoroscopically guided clinical procedures:practical approaches to protection and dose monitoring. Radiation protection dosimetry 169(1-4):286-291,2016
8) 樺田尚樹:十分な放射線防護を行っても、なお高い被ばく線量を眼の水晶体に受ける可能性のある労働者に関する実態調査について:フィージビリティ検証及び質的評価に係わる結果. 2019 https://www.mhlw.go.jp/content/11201000/000519683.pdf
9) Ivanov VK et al:Risk of thyroid cancer among Chernobyl emergency workers of Russia. Radiation and environmental biophysics 47(4):463-467,2008
10) ICRP:The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.ICRP Publication 103,37:1-332,2007
11) Cioffi DL et al:Low dose ionizing radiation exposure and risk of thyroid functional alterations in healthcare workers.European Journal of Radiology 132:109279,2020
12) NCRP:Radiation Dose Management for Fluoroscopically-Guided Interventional Procedures.NCRP Report 168,2010
13) ICRP:Radiological Protection in Fluoroscopically Guided Procedures outside the Imaging Department.ICRP Publication 117:1-102,2010
14) Nakagami K et al:Strategy to Reduce the Collective Equivalent Dose for the Lens of the Physician's Eye Using Short Radiation Protection Curtains to Prevent Cataracts.Diagnostics 11 (8):1415,2021

MY BOOKMARK
～本当に使いやすい製品がこの中に～

File No. 54

最終結論！ 放射線防護眼鏡の使い方と選び方

軽くて歪まない放射線防護眼鏡 ～パノラマシールド～

産業医科大学病院 放射線部
中上晃一

はじめに

日本における医療従事者の被ばく評価・研究では、水晶体等価線量は防護が適切でない場合に年間20mSvを超える事が明らかとなっている[1~4]。

水晶体等価線量限度を引き下げる電離放射線障害防止規則が2021年4月に施行され、水晶体被ばく低減に対する機運がこれまで以上に高まり多くの医療機関で対策が講じられるようになっている。

特に水晶体被ばくの低減が必要な業務や職種は、血管造影や内視鏡検査等のX線透視を長時間使用する業務に従事する医師や看護師[5]、CT介助を行う医師や診療放射線技師[4]ということが判明している。

水晶体被ばく低減方法として真っ先に示されることは、「放射線防護眼鏡の装着」であり、放射線防護眼鏡の装着を強く推奨している医療機関があるが、この考え方には落とし穴が存在する。

本来、放射線防護方法には「リスク低減措置の優先順位」という考え方が存在し放射線防護眼鏡は個人保護具であるため優先順位では最も低く設定されている[6]。

今回、放射線防護眼鏡の優先順位を加味した使用方法と使用する場合の選定方法について紹介する。読者の皆様にとって自施設の水晶体被ばく低減に繋がれば幸いである。

放射線防護眼鏡の優先順位を加味した使用方法

1. 放射線防護方法の理論

放射線防護方法の理論とは、ICRP publication 75に示されているリスク低減措置の優先順位である。まずは作業環境中の危険性又は有害性の除去や低減を行い、次に工学的対策である防護板や防護クロスといった防護具を使用して被ばく線量の低減を図る。そして、放射線業務従事者自身が作業を安全に行うための十分な技術を有し、訓練を受け知識を持つよう教育やマニュアル整備といった管理的対策が必要となる。それでもさらなる低減の必要性がある場合には、個人保護具として放射線防護眼鏡の使用を検討する（**表1**）[1,6]。

2. 理論に即した使用方法

①優先順位１

危険性又は有害性の除去や低減では、撮影条件や透視条件の見直しと線量の低い機器の使用が具体的対策となる。撮影条件や透視条件の見直しについては、DRLを参考にすることで適正な条件設定が可能となる。線量の低い機器の使用については、透視検査におけるアンダーテーブル透視装置の使用が当てはまる。アンダーテーブル透視装置では、オーバーテーブル透視装置と比較し透視手技での水晶体線量が40%ほど低減でき（0.3/0.75 = 0.4）[7,8]、術者の被ばくを低減するにはアンダーテーブル透視装置の使用が推奨されている[9]。

②優先順位２

工学的対策では、防護板や防護クロスの使用が具体的対策となる。血管造影で使用する防護板は約60%水晶体線量を低減することができる[4]。

透視検査でアンダーテーブル透視装置に使用する防護クロスは、1手技あたりの水晶体線量を約90%低減させることが可能な受像機全周に巻き付ける形状の丈の短いカーテン[10]と、水晶体線量を約65%低減させることが可能な受像機半周に巻き付ける形状の丈の短いカーテン[11]がある。

オーバーテーブル透視装置に使用する防護クロスは、1手技あたりの水晶体線量を約90%低減させることが可能なLong curtain[12,13]と１手技あたりの低減率は約18%と低いが汎用性の高く集団線量を低減できるShort curtain[14]がある。

③優先順位３

管理的対策の教育やマニュアル整備については、各医療施設

で独自に行っていると考えられる。教育については、講義形式をとりWebで視聴する方法を採用している医療機関もある。松崎らの研究では、IVRに従事するスタッフに拡張現実（AR）を用いた教育方法が提唱されている[15)]。

④ 優先順位４

個人用保護具の使用とは、放射線防護眼鏡の装着が具体的な対策となるが、個人保護具の使用は作業効率を低下させ、作業時間の延長に繋がるため、使用を決める際には本当に必要か（法令の線量限度を超えそうか等）を考慮する必要がある。

選定方法

水晶体被ばく低減の為に、危険性又は有害性の除去や低減・工学的対策・管理的対策を全て行った上で、それでも尚、法令の線量限度を超える場合に放射線防護眼鏡を装着する。放射線防護眼鏡の選定方法のポイントとして、厚生労働省の検討会資料をもとに放射線防護眼鏡の使用感と好感度について紹介する（**図1**）。

1.使用感を考える

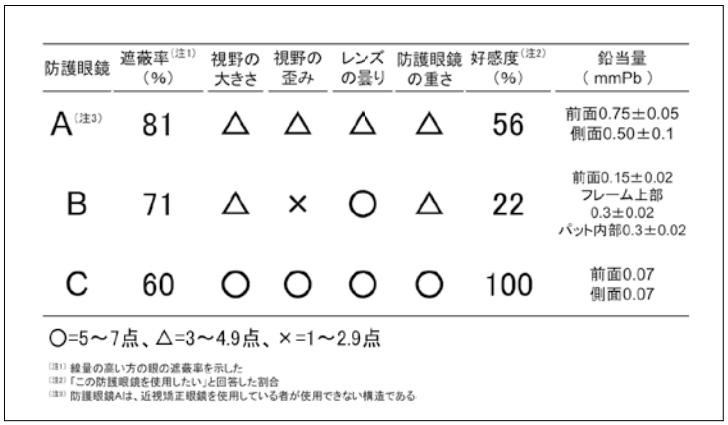
血管造影や透視検査の放射線業務従事者は放射線画像を見ながらデバイスを操作し患者を観察するため、視野が広い・視野の歪みがない・レンズが曇らない・軽いといった使用感が重要となるが、製造会社の違いで大きく異なることが判明している（**図2**）。また、水晶体被ばく低減率が高い製品であっても使用感が悪い製品もあるため、購入に際しては試着等を行い慎重に検討する必要がある。

2.好感度を考える

好感度とは、試着した放射線防護眼鏡を今後も使用したいかという問いを行った結果であり、様々な意見が報告されている。低減率が最も高い製品については、「フィット感が優れているが、閉鎖感が感じられ視力矯正眼鏡を使用している場合にこの放射線防護眼鏡は使用できない」といった意見があり、好感度は56％であった。

表1　リスク低減措置の優先順位

優先順位	リスク低減措置	具体的な対策
1	危険性又は有害性の除去・低減	線量の低い機器の使用 撮影・透視条件の見直し
2	工学的対策	防護板や防護クロスの使用
3	管理的対策	教育・マニュアル整備・訓練
4	個人用保護具の使用	放射線防護眼鏡の使用



防護眼鏡	遮蔽率(注1)（%）	視野の大きさ	視野の歪み	レンズの曇り	防護眼鏡の重さ	好感度(注2)（%）	鉛当量（mmPb）
A(注3)	81	△	△	△	△	56	前面0.75±0.05 側面0.50±0.1
B	71	△	×	○	△	22	前面0.15±0.02 フレーム上部 0.3±0.02 パット内部0.3±0.02
C	60	○	○	○	○	100	前面0.07 側面0.07

○=5～7点、△=3～4.9点、×=1～2.9点

(注1) 線量の高い方の眼の遮蔽率を示した
(注2)「この防護眼鏡を使用したい」と回答した割合
(注3) 防護眼鏡Aは、近視矯正眼鏡を使用している者が使用できない構造である

図1　高機能・最新型防護眼鏡の実臨床での遮蔽効果とその使用感に関する調査結果
（第5回　眼の水晶体の被ばく限度見直し等に関する検討会資料2）

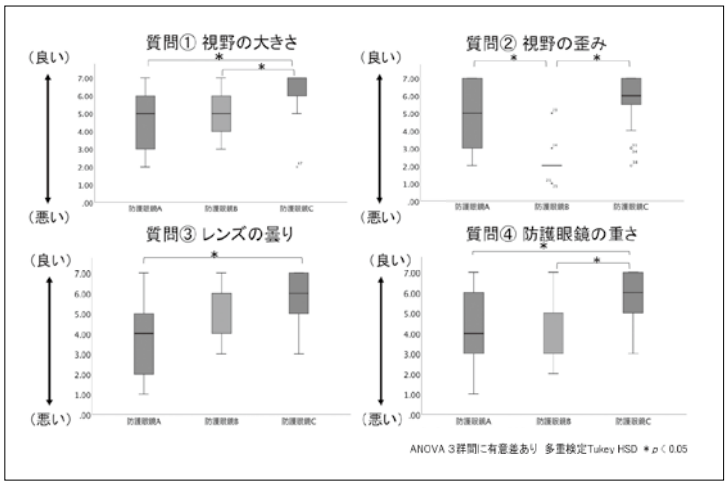


図2　高機能・最新型防護眼鏡の使用感調査結果
（第5回　眼の水晶体の被ばく限度見直し等に関する検討会資料2）

低減率が最も低い製品については、「軽くて安定している」「頬側もカバーされているが圧迫感がない」「視力矯正眼鏡をかけた上からでも装着できる」という意見があり、好感度は100％であった（**図3**）。

本当に使いやすい製品

前項の選定方法を加味した上で、私がお勧めする製品は「パノラマシールド」である（**図4**）。

1.使いやすい製品とその理由

この製品の使いやすさの理由は、軽量でかけ心地が良いという点である。パノラマシールドは約50gでありその他の製品は約80gと約70gがあった。視力矯正眼鏡が約20gであることを考えると、放射線防護眼鏡の20～30gの違いはかけ心地に大きく影響すると考えると考える。また、視力矯正眼鏡の上から装着できるという利点もある。私の職場では、血管造影に携わる医師の半数以上が視力矯正眼鏡を使用しているため、視力矯正眼鏡の上からでも装着できるということは重要な選定要素となる。

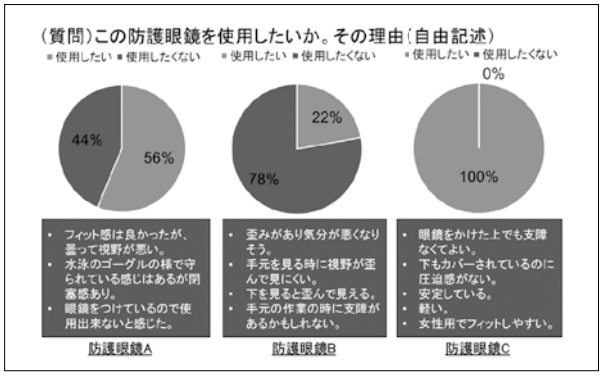


図3　高機能・最新型防護眼鏡の好感度（購入意欲）調査結果
（第5回　眼の水晶体の被ばく限度見直し等に関する検討会資料2）

図4　パノラマシールド

2.水晶体被ばく低減率

私が行ったパノラマシールドを使用した調査において、循環器内科医と脳血管内治療医が行う血管造影では、水晶体被ばく低減率がそれぞれ約56％と約47％であった。消化器内科医が行うオーバーチューブ透視装置を使用した透視検査では約70%の低減率であった。

3.弱点もある

パノラマシールドは、性能には申し分ないが、耐久性が弱点である。予期せず床に落とすと破損することがある。私も、落下させ破損した事例を数例経験しており、この点はメーカーへの改善を期待しているところである（**図5**）。また、パノラマ

図5　パノラマシールドの破損

図6　パノラマシールドに眼鏡バンドを使用

シールドは、タイトフィット・レギュラーフィット・オーバーグラスという3つのサイズを取り扱っているが、術者の顔とサイズが合っていない場合は下方にずれ下がるということが起こり得る。血管造影のように清潔操作で長時間の手技を行う場合は、眼鏡バンドを用意する必要がある（**図6**）。

最後に

放射線防護眼鏡を使用する前に、撮影や透視の照射条件を調整し工学的対策を講じ放射線防護教育を行うことが重要である。放射線防護眼鏡は、被ばく低減率だけで選定するのではなく、視野が広い・視野の歪みがない・レンズが曇らない・軽いといった使用感も検討し、装着した使用者が今後も使用したいと思える放射線防護眼鏡を選定することをお勧めする。

――本文で紹介した情報は、労災疾病臨床研究事業費補助金（代表：欅田尚樹）により実施された研究の成果である

＜文献＞
1）Nagamoto K et al:Occupational radiation dose to the lens of the eye of medical staff who assist in diagnostic CT scans.Heliyon 7(1):e06063,2021
2）Matsubara K et al:A multicenter study of radiation doses to the eye lenses of medical staff performing non-vascular imaging and interventional radiology procedures in Japan.Phys Med 74:83-91,2020
3）Haga Y et al:Occupational eye dose in interventional cardiology procedures.Sci Rep 7(1):569,2017
4）Nagamoto K et al:A multicenter study of radiation doses to the eye lenses of clinical physicians performing radiology procedures in Japan. J Occup Health 63(1):e12305,2021
5）藤淵俊王ほか:放射線診療従事者の不均等被ばく管理の実態に基づく水晶体被ばく低減対策の提案.日本放射線技術学会雑誌 77(2):160-171,2021
6）ICRP publication 75:General Principles for the Radiation Protection of Workers.Ann ICRP 27(2):1-61,1997
7）Jaydev K Dave:Why Is the X-Ray Tube Usually Located Underneath the Patient Instead of Above the Patient for Interventional Fluoroscopic Procedures? AJR Am J Roentgenol 207(3):W24-5,2016
8）U O’Connor et al:Occupational radiation dose to eyes from endoscopic retrograde cholangiopancreatography procedures in light of the revised eye lens dose limit from the International Commission on Radiological Protection.Br J Radiol 86(1022):20120289,2013
9）ICRP Publication 139:Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures.Ann ICRP 47(2):1-118,2018
10）Thiruvengadam Muniraj et al:A double-blind, randomized, sham-controlled trial of the effect of a radiation-attenuating drape on radiation exposure to endoscopy staff during ERCP. Am J Gastroenterol 110(5):690-6,2015
11）Mori H et al:A novel removable shield attached to C-arm units against scattered X-rays from a patient’s side.Eur Radiol 24(8):1794-9,2014
12）Minami T et al:Occupational Radiation Exposure during Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography and Usefulness of Radiation Protective Curtains.Gastroenterol Res Pract 2014:926876,2014
13）Morishima Y et al:Effectiveness of additional lead shielding to protect staff from scattering radiation during endoscopic retrograde cholangiopancreatography procedures. J Radiat Res 59(2):225-232,2018
14）Nakagami K et al:Strategy to Reduce the Collective Equivalent Dose for the Lens of the Physician’s Eye Using Short Radiation Protection Curtains to Prevent Cataracts. Diagnostics (Basel) 11(8):1415,2021
15）Matsuzaki S et al:Development and assessment of an educational application for the proper use of ceiling-suspended radiation shielding screens in angiography rooms using augmented reality technology. Eur J Radiol 143:109925,2021

令和 4 年度(2022 年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究

防護眼鏡改良研究

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/成田病院・教授）

研究要旨

令和 4 年度(2022 年度)は、天吊り防護板の適切な使用や製品開発に資する知見を集めるとともに、前年度までの知見を踏まえて新たな防護デバイスのデザインを試作した。

・天吊り防護板の位置と遮蔽効果： 血管撮影室で用いられている防護デバイスの中で最も有用なもののひとつであり防護メガネと相補的に働く天吊り防護板について、位置による遮蔽効果の変化を検討した。防護板と患者の隙間が小さいほど遮蔽効果が高いこと、防護板を更に下げる場合に弛んだ鉛カーテンを患者頭側に配置すると遮蔽効果が低下すること、隙間が空いてしまう場合はそれに応じて防護板を術者側に移動することで遮蔽効果が高まること、が示された。

・新たな防護メガネのデザイン試作：

既存の防護メガネと併用するアタッチメント、目の下で支えるタイプ、鼻の下で支えるタイプ、自分のメガネに装着するタイプ、などを試作した。デバイス下縁については顔面と隙間を最小限にすることや、より広い範囲を覆うことが望ましい。一方、上縁については、覆う範囲はせいぜい目の高さまでで十分であり、顔面との距離は離した方が矯正メガネとの干渉や曇りを避ける上で有利である。高い遮蔽効果と快適な使用感を両立した、次世代のデバイス開発が期待される。

主な研究協力者： 五十嵐 隆元　（国際医療福祉大学成田病院放射線技術部）

A. 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 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 月より施行されており、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、最適化の推進が期待されている。

治療手技の治療効果を維持しつつ術者の被ばくを低減する方策としては、患者の被ばくを必要最低限に抑制するすべての工夫に加えて、X 線遮蔽効果を有する防護デバイスの活用が欠かせない。従事者の水晶体防護の主役の一つは天吊り防護板であるが、適切な使用や性能向上のための知見は十分とはいえない。もう一つの主役は防護メガネであるが、従来型の主たる問題点であるデバイスと顔面の隙間を解消するような新たなデザインの開発が求められる。

今年度の本研究において、我々はファントムを用いて散乱線を発生させる実験系を用いて天吊り防護板の遮蔽効果を測定し、防護板の位置や下縁のエプロンの向きが遮蔽効果に与える影響を評価した。それに先立って、患者大腿の遮蔽効果を測定した。また、既存の感染防護シールドや針金を材料に用いて新たな防護メガネのデザインを試作し、新規デバイス開発の可能性を探索した。

B. 研究方法

1. 患者大腿の影響

1.1. 患者/術者ファントム、線量計

右大腿動脈経由の体幹部透視手技を身長 165cm の術者が施行する状況を模して、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形で配置することとした。術者ファントムとして頭部ファントム（京都科学 頭部 CT ファントム ACS-C 京都科学 41309-100）を利用し、金属パイプ台上の 20×20×6cm アクリル板の上に配置した。線量計は Accu-Gold+のイオンチェンバーを頭部ファントム左眼表面に密着するよう配置した。

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）を配置した。

1.2. 大腿部ファントム

患者大腿部に配置するファントムは 20×20cm アクリル板を用いた。(1) アクリル板なし、(2) 7 ㎝厚アクリル板の下縁が腰部ファントムの大腿断面後縁に合うよう配置、(3) 7cm 厚タオルの上に 7 ㎝厚アクリル板を乗せてアクリル上縁が大腿断面前縁に合うよう配置、および(4) 14 ㎝厚アクリル板が大腿断面前後縁に合うよう配置、の 4 条件で測定した。

1.3. 天吊り防護板の配置

天吊り防護板の高さは、防護板下縁の鉛カーテンが患者前縁にちょうど接するよう配置した。防護板の患者側の面は、フラットパネル検出器と接するよう配置した。天吊り防護板前縁はフラットパネル検出器前縁より 10 ㎝術者側へ突出するよう配置した。

1.4. X線照射

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、連続記録したうちの 20 秒間のデータを切り出して累積線量を求めた。測定は 3 回の平均を原則としたが、30 秒×3 回の平均が 30 μGy を下回る場合は 2 回追加して 5 回の平均を取ることとした。

2. 天吊り防護板の配置と遮蔽効果

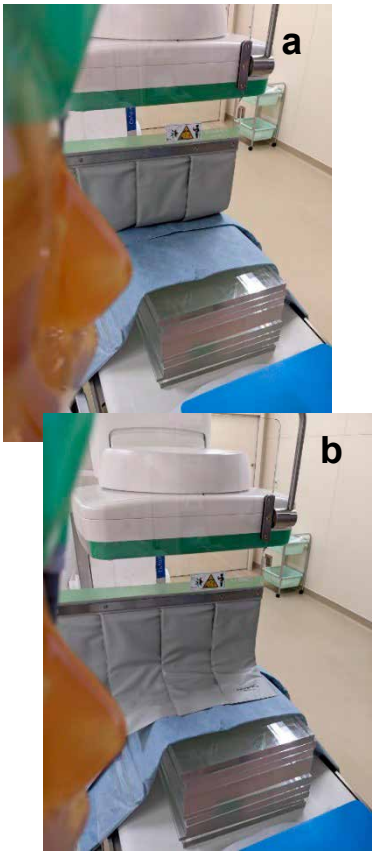
2.1. 患者/術者ファントム、線量計、照射

前項と同様とし、患者大腿部には 20×20×14cm アクリル板を腰部ファントムの大腿断面前後縁に合うよう配置した。

2.2. 天吊り防護板の配置

2.2.1. 高さの影響

患者前縁と防護板下縁との距離を 15cm から-10cm まで 5 ㎝刻みで変化させて、それぞれ測定し比較した。なお、-5cm と-10cm については、防護板下縁の鉛カーテン部分を患者頭側に折り返した状態（下図 a）と患者尾側に折り返した状態（下図 b）の両方を測定した。その他の配置条件や照射条件は前項と同様とした。また、天吊り防護板無しの状態でも測定した。



図： 術者から観察した天吊り防護板、患者前縁と防護板下縁の距離は -5cm (a) 下縁を患者頭側に折り返し (b)下縁を患者尾側に折り返し

2.2.2. 距離の影響

防護板の患者側の面が、フラットパネル検出器に接する配置（下図 a）と 5 ㎝離れる配置（下図 b）とを比較した。患者前縁

と防護板下縁との距離を 10cm および 5cm の条件で、それぞれ測定した。その他の配置条件や照射条件は前項と同様。

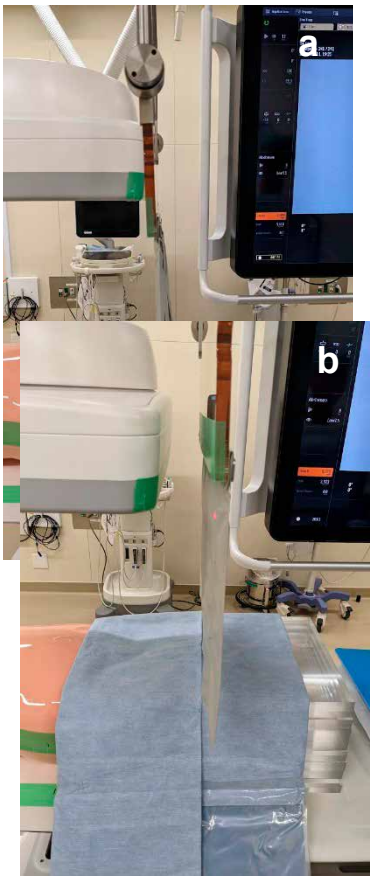


図:天吊り防護板とフラットパネル検出器の距離 (a) 0cm、(b) 5cm

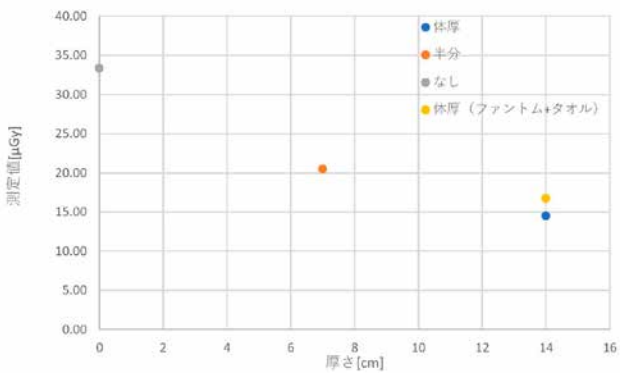
3. 防護メガネや付属品の試作

これまでの知見に基づいて、グラス上縁は高さを抑制する一方できるだけ顔面から離すこと、グラス下縁はできるだけ下方へ伸ばし顔面に近づけること、を念頭に、新たな防護メガネのデザインについて検討した。

C. 研究結果

1. 患者大腿の影響

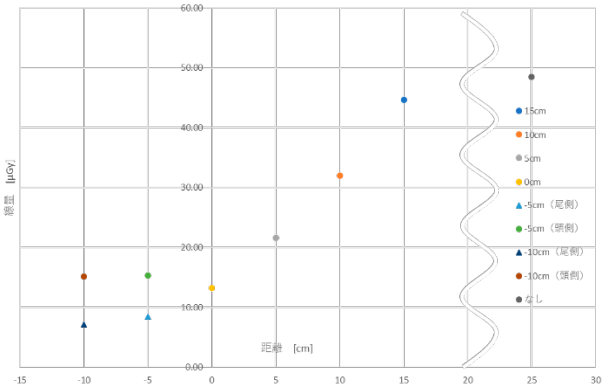
大腿部のアクリルファントム無しの状態と比較すると、7 cm厚アクリル板下縁が大腿後縁に合う配置、7cm 厚タオルの上に 7 cm厚アクリル板を乗せてアクリル上縁が大腿前縁に合う配置、14 cm厚アクリル板が大腿前後縁に合う配置、の線量はそれぞれ 61.5%, 50.3%, 43.6%であった。



2. 天吊り防護板の配置と遮蔽効果

2.1.1. 高さの影響

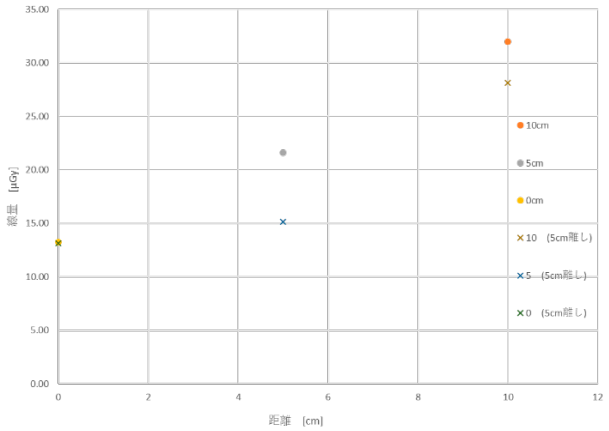
患者前縁と防護板下縁との距離が 15cm, 10cm, 5cm, 0cm, -5cm（尾側折り返し）, -10cm（尾側折り返し）, -5cm（頭側折り返し）, -10cm（頭側折り返し）のときの線量は、遮蔽板無しの状態と比較してそれぞれ、92.1%, 66.0%, 44.6%, 27.4%, 17.5%, 14.7%, 31.7%, 31.4%であった。



2.1.2. 距離の影響

防護板がフラットパネル検出器に接する配置において、患者前縁と防護板下縁との距離が 10cm, 5cm, 0cm のときの線量は、遮蔽板無しの状態と比較してそれぞれ、66.0%, 44.6%, 27.4%であった。

防護板がフラットパネル検出器から 5 cm離れる配置ではそれぞれ、58.0%, 31.3%, 27.1%であった。



3. 防護メガネや付属品の試作

市販の防護シールドの改造や、針金等を用いて、既存の防護メガネと併用するアタッチメント、目の下で支えるタイプ、鼻の下で支えるタイプ、自分のメガネに装着するタイプ、などを試作した。

D. 考察

今回患者ファントムとして用いた腰部ファントムは下肢が無いタイプで、下肢による遮蔽効果が得られない点が臨床状況と異なることが懸念された。このため、患者上縁を天吊り防護板で遮蔽した上で大腿断面に異なる厚さのアクリル板を配置することで、大腿断面からの散乱線の影響を検討した。大腿部のアクリルファントムの厚さが増えるほど左眼表面の線量は低下したことから、大腿断面からの散乱線の量や、大腿による遮蔽効果が無視できない量であることがわかった。下肢特に大腿の太さや組成の個人差が散乱線量に与える影響は今後の課題であるが、天吊り遮蔽板による遮蔽が期待できない大腿断面からの散乱線の影響をできるだけ小さくするため、最も厚くアクリルファントムを配置した状態で以降の実験を行うこととした。

防護板の高さが低いほど線量は低下した。防護板が患者から 15 ㎝離れた状態では 1 割も線量を低減できないのに対し、防護板の高さを 0cm すなわち患者と近接させると 7 割以上の線量低減が得られた。高さを更に下げて、弛んだ防護板下縁の鉛カーテン部分を患者尾側に折り返すと 8 割以上の線量低減が得られたが、患者頭側に折り返した状態だと線量低減効果が薄れ、高さ 0cm よりもむしろ高線量となった。尾側へ折り返すと大腿からの散乱線の一部が遮蔽される一方、頭側に折り返すと大腿からの散乱線が遮蔽されないだけでなく、鉛カーテンの湾曲によって防護板直下に隙間が生じる形となるため、高さ 0 ㎝よりも遮蔽効果が劣る結果を招いたと考えられる。

臨床状況ではしばしば天吊り防護板と患者の間がどうしても離れてしまう状況がありうる。隙間が生じる場合は防護板を術者側へ移動することで、隙間から漏れ出る散乱線の角度を制限し、術者頭部への散乱線を遮ることで水晶体線量を下げられる可能性がある。隙間の大きさと話すべき距離の関係については機器の配置だけでなく術者の身長とも関係する可能性が高い。今回の検討では日本人の平均身長に近い 165cm を選択したが、身長を含めた他因子の影響の検討については今後の課題である。

今回は検討していないが、防護板の鉛等量から、防護板を術者頭部のすぐ横に配置すれば 9 割近い線量低減が期待できる計算である。一方で、術者に近い遮蔽板は防護する範囲が狭いので、術者頭部の動きにより遮蔽効果が損なわれるものと考えられる。術者頭部の動きのバラツキは手技や術者に依存するものと容易に想像され、ファントムだけでなく臨床的データに基づいた検討が必要な上、具体的な事例対応においては個別の対策が望まれるだろう。検出器と術者頭部の間のどこに天吊り防護板を配置すべきか、について更なる治験の積み重ねが求められる。

昨年までの ZERO-GRAVITY に関する検討の結果、水晶体を防護するデバイスに求められる要件は、デバイスの下縁と上縁に分けて考えた方が整理しやすいことがわかった。下縁については顔面と隙間を最小限にすることや、より広い範囲を覆うことが望ましい。一方、上縁については、覆う範囲はせいぜい目の高さまでで十分であり、顔面との距離は離した方が矯正メガネとの干渉や曇りを避ける上で有利である。従来型のメガネを踏襲したデザインや、これに追加するアタッチメントでもこれらの要件を満たすことができるであろうが、より自由な発想が求められる。大きな遮蔽グラスには強度や重さの面での不利が予想されるが、遮蔽範囲すべてが透明でなくともよいことを考慮すれば現実的な形に落とし込めるものと期待する。

E. 結論

天吊り防護板の遮蔽効果は、防護板下縁と患者との隙間が小さいほど高まる。防護板を更に下げる場合、弛んだ鉛カーテンの下縁を患者頭側に折り返すと遮蔽効果が低下するので、患者尾側へ折り返すべきである。装置の配置などの関係で防護板下縁と患者との隙間が残ってしまう場合、それに応じて防護板をやや術者寄りに配置することで遮蔽効果を高められる可能性がある。高い遮蔽効果と快適な使用感を両立した、次世代の防護メガネの開発が期待される。

F. 論文報告

該当なし

G. 研究発表

該当なし

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

令和 4 年度(2022 年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究

【水晶体用線量計 DOSIRIS®の改良試作型ヘッドセットに関する初期検討】

研究分担者　千田 浩一（東北大学・災害科学国際研究所/大学院医学系研究科・教授）

研究要旨

当研究は、新たに開発された水晶体用線量計 DOSIRIS®の改良試作型ヘッドセットの使用感に関するアンケート調査を行い、その有用性について検討したものである。

放射線従事者の水晶体線量を測定する線量計である DOSIRIS®は 3mm 線量当量を眼の近傍で測定することが可能であり、更にエネルギー依存性等の基本性能が良好であることが報告されている。一方で、長時間装着後に装着感に不満を訴える従事者が少なくないことが問題点としてあるため、ヘッドセット部分の形状が変更された改良試作型 DOSIRIS®が開発された。そこで、本研究では、ポータブル X 線撮影及び血管撮影に従事する診療放射線技師 7 名を対象とし、DOSIRIS®の従来型及び改良試作型ヘッドセットを装着した際の使用感について、アンケートに回答してもらい、改良試作型ヘッドセットの有用性について評価した。

アンケート調査の結果から、改良試作型ヘッドセットでは、従来型に比べ、圧迫感や違和感が少ない構造へと変化していることが分かった。これは、改良試作型ヘッドセットの形状の変更により、肌に触れる面積が減少している点や、β チタンの伸縮性のある材質により、様々な頭のサイズに適合しやすい点が理由として考えられる。さらに、シリコンの滑り止めが付属されていることにより、髪の毛とのずれが軽減されていることも考えられる。 一方で、線量計部分に関し、改良試作型と従来型で評価に大きな差異は見られなかった。これは、双方の型で、同じ線量計のアタッチメントを装着しているため、使用感向上には寄与しなかったことが考えられる。 また、装着感に関する自由記述回答においても、改良試作型の使用感向上に言及する意見が多数得られたが、一方で、少数ではあったが、改善点もいくつか挙げられた。

今回の研究は、試作段階における初期検討であるため、今後は更なる詳細な検討が必要であると考える。よって、今後は手技内容や装着時間などの検討も含め、どのような状況で評価に差異が出やすいか検証していきたい。

*主な研究協力者：芳賀 喜裕（仙台厚生病院 主任）

A. 研究目的

眼の水晶体の新等価線量限度取入れ運用に際し、水晶体被ばくに関する適切な線量評価と防護の最適化が重要視されている。

放射線従事者の水晶体線量を測定する線量計である DOSIRIS®は 3mm 線量当量を眼の近傍で測定することが可能である。更に、エネルギー依存性や角度依存性等の基本性能が良好であることも報告されている。一方で、臨床現場において、DOSIRIS®の長時間装着後に装着感に不満を訴える従事者が少なくないことが問題点として挙げられる。そこで、ヘッドセット部分の形状が改良された DOSIRIS®が試作品として開発された。この改良試作型ヘッドセット(図 2)は、従来型ヘッドセット(図 1)と比較して、素材がプラスチックからβチタンに変更され、新たにシリコンの滑り止めが付属されている。また、ヘッドセット部分の伸縮性が増し、より頭の形に適合しやすいものに変更されている。

そこで、本研究では、新たに開発された DOSIRIS®の改良試作型ヘッドセットの使用感に関する初期検討を行い、そのうえで、改良試作型ヘッドセットの有用性について検討することを目的とした。

図 1 DOSIRIS®の従来型ヘッドセット

図 2 DOSIRIS®の改良試作型ヘッドセット

B. 研究方法

測定対象は、ポータブル X 線撮影及び血管撮影に従事する診療放射線技師 7 名であり、調査期間は 2022 年 5 月からの 4 ヶ月間である。アンケート内容は以下のとおりである。

1. ヘッドセット部分
   Q1. 締め付けられるような圧迫感があった
   Q2. 装着中に違和感があった
   Q3. 重さが気になった
   Q4. 安定感がなかった
2. 線量計部分
   Q5. 締め付けられるような圧迫感があった
   Q6. 装着中に違和感があった
   Q7. 視界が悪く、手技の妨げになることがあった
   Q8. 適切に目尻に装着できていないことがあった
3. 全体評価
   Q9. 今回使用した型はもう片方と比較して使用しやすい
4. 自由記述欄
   DOSIRIS®を装着した際の感想や意見についての自由記述

回答方法は、上記の 9 問において、「あてはまる」「ややあてはまる」「どちらともいえない」「ややあてはまらない」「あてはまらない」から該当するものを単一で選択してもらった。その後、収集した回答を点数化したのち、wilcoxon 順位和検定を用いて統計解析を行った。点数化の方法は、1 点:「あてはまる」、2 点:「ややあてはまる」、3 点:「どちらともいえない」、4 点:「ややあてはまらない」、5 点:「あてはまらない」である。

C. 研究結果

収集した回答の内訳

アンケートの収集枚数は19枚で、そのうち手技内容は、ポータブル撮影が68.4%、血管撮影が31.6%であった。装着したDOSIRIS®のヘッドセットの型の内訳は改良試作型が63.2%、従来型が 36.8%であった。また、回答を得た診療放射線技師 7 名の内訳について、年齢の平均値は31.7歳(範囲:26-38歳)、性別は男性が 100%、放射線技師としての勤務歴の平均値は 8.4 年(範囲:4-15 年)であった。

DOSIRIS®のヘッドセット部分に関する設問

ヘッドセット部分に関する回答の割合を表1に示す。特徴的であったのは、Q1とQ2である。まず、Q1に関して、従来型では「ややあてはまる」と回答した人が最も多く71.4%であった。それ以外は「ややあてはまらない」「あてはまらない」と回答し、それぞれ14.3%であった。一方で、改良試作型では、「あてはまらない」が 83.3%であり、それ以外は「ややあてはまらない」と回答した。次に、Q2 に関して、従来型では「ややあてはまる」が85.7%、それ以外は「あてはまらない」と回答した。一方で、改良試作型では、「あてはまらない」が 58.3%、「ややあてはまらない」が33.3%、「どちらともいえない」が8.3%であった。

また、Q1からQ4を点数化した際の結果を表 2 に示す。Q1 では、改良試作型が4.83±0.37(平均値±SD)、従来型が2.71±1.16であり、Q2では、改良試作型が4.50±0.65、従来型が2.43±1.05であった。このように、Q1とQ2は改良試作型の方が従来型と比較して 2 点以上平均点が高く、検定結果もp値<0.05となり、改良試作型の方が従来型よりも優位に評価が高くなった。一方で、Q3とQ4の平均値にほとんど差は見られず、検定結果からも点数の有意な差は見られなかった。

DOSIRIS®の線量計部分に関する設問

線量計部分に関する回答の割合を表 3 に示す。Q5からQ7に関し、いずれの設問でも従来型、改良試作型ともに「あてはまらない」と回答した人が最も多かった。Q8に関して、従来型では、「あてはまらない」及び「ややあてはまる」がいずれも 42.9%、「ややあてはまらない」が14.3%であった。改良試作型では,「あてはまらない」が75.0%、「ややあてはまらない」が 16.7%、「どちらともいえない」が8.33%であった。

また、Q5からQ8を点数化した際の結果を表4に示す。Q5～Q7に関して、改良試作型と従来型で大きな点数の違いは見られず、検定結果からも点数の有意な差は見られなかった。Q8 に関して、同様に有意な差は見られなかったものの、改良試作型は4.67±0.62、従来型は3.57±1.40と1点以上の点数差が見られたことが特徴的であった。

従来型及び改良型 DOSIRIS®の全体評価に関する設問

全体評価に関する回答の割合を表 5 に示す。Q9に関して、従来型では、「あてはまらない」「ややあてはまらない」「どちらともいえない」がいずれも 28.6%、「ややあてはまる」が14.3%であり、評価が分散した。改良試作型では、「あてはまる」が83.3%、「ややあてはまる」及び「どちらともいえない」がいずれも8.33%であった。

また、Q9を点数化した際の結果を表6に示す。改良試作型が 4.75±0.60、従来型が2.29±1.03 であり、改良試作型の方が従来型と比較して 2 点以上平均点が高く、検定結果もp値<0.05となり、改良試作型の方が

従来型よりも優位に評価が高くなった。

DOSIRIS®の使用感に関する意見

DOSIRIS®の使用感に関して、以下のような高評価が得られた。

・改良試作型ヘッドセットの方が装着感を感じにくく、装着しやすい
・改良試作型ヘッドセットの方が防護メガネとの干渉の度合いが小さい

一方で、少数ではあったが、

・改良試作型ヘッドセットは長時間装着していると汗でずれる印象がある
・改良試作型ヘッドセットは後頭部が他のものに引っ掛かり、外れることがある

等の意見も見られた。

D. 考察

まず、ヘッドセット部分において、Q1 及び Q2 に関し、改良試作型の方が有意に評価は高くなった。これは、改良試作型では、ヘッドセット部分の末端が少し開いている構造により、肌に触れる面積が減少している点や、β チタンの伸縮性のある材質により、様々な頭のサイズに適合しやすい点が理由として考えられる。さらに、シリコンの滑り止めが付属されていることにより、髪の毛とのずれが軽減されていることも予想できる。一方で、Q3 及び Q4 に関し、評価に有意な差は認められなかった。これは、DOSIRIS®の重量は従来型で約 12g、改良試作型で約 15g であり、双方で重量に大きな差はなく、装着感の差に寄与しなかったためだと考えられる。また、安定感に関しても大きな差異は認められなかった。

次に、線量計部分において、いずれに関しても有意な差は見られなかった。これは、双方の型で、同じ線量計のアタッチメントを装着しているため、使用感向上には寄与しなかったことが考えられる。一方で、Q8 において、点数の多少の差が見られた。これは、改良試作型では線量計の位置を自由に調整することができ、個人の眼の位置に合わせた装着ができていたためだと考えられる。

次に、従来型及び改良試作型 DOSIRIS® の全体評価について、改良試作型の方が従来型よりも優位に評価が高かった。これより、全体を通した評価においても、改良試作型の使用感の向上が認められた。

最後に、DOSIRIS®の使用感に関する意見を参照すると、改良試作型ヘッドセットの装着のしやすさに言及する意見が多く見られた。一方で、少数ではあったが、形状や材質に関するいくつかの不満も見られた。これより、ヘッドセットの後頭部部分の軽量化や形状の変更など、更なる改良が必要であることが考えられる。

E. 結論

本研究は、新しく開発された DOSIRIS®の改良試作型ヘッドセットの使用感に関する初期検討を行った。改良試作型ヘッドセットでは、特に圧迫感及び違和感を覚えにくい構造へと変化しており、使用感の向上が見られた。このように、改良試作型ヘッドセットの有用性について示されたが、臨床現場の意見から、改善点もいくつか示された。今回の内容は、試作段階における初期検討であるため、今後は更なる詳細な検討が必要であると考える。よって、手技内容や装着時間などの検討も含め、どのような状況で評価に差異が出やすいか検証し、加えて防護メガネ装着型 DOSIRIS®との比較も行っていきたい。

F. 論文報告

該当なし

G. 研究発表

今田聡恵, 芳賀喜裕, 曽田真宏, 阿部美津也, 加賀勇治, 稲葉洋平, 千田浩一. 水晶体用線量計 DOSIRIS®の改良型ヘッドセットに関する初期検討. 第 4 回日本保健物理学会・日本放射線安全管理学会合同大会. 2022 年 11 月

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

次ページ以降に、表 1~6 までを示す。

割合(%)		あてはまる	ややあてはまる	どちらともいえない	ややあてはまらない	あてはまらない
Q1	従来型	0	71.4	0	14.3	14.3
	改良試作型	0	0	0	16.7	83.3
Q2	従来型	0	85.7	0	0	14.3
	改良試作型	0	0	8.33	33.3	58.3
Q3	従来型	0	0	0	14.3	85.7
	改良試作型	0	0	0	8.33	91.7
Q4	従来型	0	14.3	0	28.6	57.1
	改良試作型	0	0	8.33	33.3	58.3

表 1　　ヘッドセット部分の評価における回答の割合(%)

点数±SD	改良試作型	従来型
Q1	4.83±0.37	2.71±1.16
Q2	4.50±0.65	2.43±1.05
Q3	4.91±0.28	4.85±0.35
Q4	4.50±0.65	4.29±1.03

表 2　　ヘッドセット部分における点数(平均点±SD)

割合(%)		あてはまる	ややあてはまる	どちらともいえない	ややあてはまらない	あてはまらない
Q5	従来型	0	0	0	0	100
	改良試作型	0	0	0	16.7	83.3
Q6	従来型	0	14.3	0	0	85.7
	改良試作型	0	0	0	16.7	83.3
Q7	従来型	0	14.3	0	0	85.7
	改良試作型	0	16.7	0	8.33	75.0
Q8	従来型	0	42.9	0	14.3	42.9
	改良試作型	0	0	8.33	16.7	75.0

表 3 線量計部分の評価における回答の割合(%)

点数±SD	改良試作型	従来型
Q5	4.83±0.37	5.00±0.00
Q6	4.83±0.37	4.57±1.05
Q7	4.42±1.11	4.57±1.05
Q8	4.67±0.62	3.57±1.40

表 4 線量計部分における点数(平均点±SD)

割合(%)		あてはまる	ややあてはまる	どちらともいえない	ややあてはまらない	あてはまらない
Q9	従来型	0	14.3	28.6	28.6	28.6
	改良試作型	83.3	8.33	8.33	0	0

表 5 全体評価における回答の割合(%)

点数±SD	改良試作型	従来型
Q9	4.75±0.60	2.29±1.03

表 6 全体評価における点数(平均点±SD)

令和 4 年度(2022 年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究

インターベンショナルラジオロジー医師に対する術前ブリーフィングが個人線量計および個人保護装具の使用に与える影響

研究分担者　盛武 敬（国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構/量子生命・医学部門 放射線医学研究所 放射線規制科学研究部 部長）

研究要旨

インターベンショナルラジオロジー（IR）を行う医師は、個人線量計と個人保護装具を装着しなければならないが、適切な装着がなされていないことが多い。そこで、それらの装着率を向上させるための実践的な方策が、臨床の IR 医師の被ばく線量の減少にどのような影響を与えるかを検証した。まず、調査者が医師の個人線量計と個人保護装具の装着を目視で確認し、実態を調査した。次に、実践的な方策（介入）として術前ブリーフィングを実施し、個人線量計と個人保護装具を適切に装着していない医師には装着を促した。最後に介入の効果を、個人線量計と個人保護装具の装着率、ならびに個人被ばく線量の観点から検証した。介入前期間では、防護衣の装着率は高かったが、それ以外の装着率は総じて低かった。介入により、装着率は顕著に改善され、ほぼ 100%となった。しかし、介入により、実効線量率（実効線量/透視時間）、水晶体等価線量率（水晶体等価線量/透視時間）ともに、統計学的有意に被ばく量が増加した（実効線量率: $p = 0.033$、水晶体等価線量率: $p = 0.003$）。これは、これまで見逃されていた被ばくが加算されるようになったことと、個人線量計の管理方法が 1 個管理から 2 個管理へ変更されたことに伴う線量算定法の違いが影響していると考えられた。

＊主な研究協力者: 松崎　賢（新小文字病院・診療放射線技師）

A. 研究目的

放射線透視を用いたInterventional radiology（IR）は、多くの専門領域で技術革新を遂げており、患者の救命だけでなく、治療後のQOL（Quality of Life）の担保といった観点から、欠くことのできない医療手技となっている。しかし、IRに携わる医療従事者の職業被ばくが問題になっており、健康リスクを可能な限り小さくするために、医師は放射線防護装具を使用する必要がある。しかし、IRに従事する医師の多くは、特別な放射線防護の教育や訓練も行われないまま、診療しているのが実情である[1-3]。そのため、これまでの自己回答式アンケート調査によると、装着率は、個人線量計が17-100％[4-10]、防護衣が88-100％[5, 7, 8, 10-13]、防護眼鏡が0-83％[4-8, 10-13]、防護甲状腺カラーが40-100％[4, 8, 10-13]と報告されている。防護衣以外の防護装具について、高いものから低いものまで様々な装着率となっており、適切な個人線量測定や放射線防護が行われていない可能性がある。

2009年、世界保健機関（World Health Organization: WHO）は「安全な手術のためのWHO ガイドライン」[14]において、手術患者の安全性を高めるための「手術安全チェックリスト」を発表した。このチェックリストは、手術の有害事象の回避やヒューマンエラーの低減に役立っている[15-18]。この中にある術前ブリーフィングは、チームのコミュニケーションを円滑にし、手術に関する重要な患者とのコミュニケーションを促進し、手術に関する学習と責任を共有するために行われる[14]。この考え方は、IRにも応用できるが、IRを行う医師自身の放射線防護にどのような影響を及ぼすかについては、まだ研究されていない。

そこで本研究では、日本の病院において、個人線量計および個人保護装具（防護衣、防護眼鏡、防護甲状腺カラー）の使用状況について、調査者の目視による正確な実態調査を行うことを第一の目的とした。次に、直接介入として術前ブリーフィングを実施し、医師に個人線量計と個人保護装具の使用を促す介入を行い、介入後の装着率と個人被ばく線量に及ぼす影響という2つの観点から評価することを第二の目的とした。

B. 研究方法

日本国内の214床の急性期病院（救急件数300–340件/月）を対象に調査を実施した。2017年4–8月（5ヶ月間）を介入前期間、2017年10月–2018年2月（5ヶ月間）を介入期間とした。調査期間中に医師が行った964件（介入前：549件、介入期間：415件）の診療（X線透視を用いた検査・治療）すべてを調査した。このうち、介入前の340件は、検査担当者である診療放射線技師が、個人線量計と個人保護装具の装着状況を、症例ごとに目視で調査を行い、結果を記録した。なお、装着回数を目視調査回数で除した値を装着率と定義した。同様に、介入期間の321件でも目視による確認が実施され、個人線量計と個人保護装具を使用していない場合には、診療放射線技師により装着が促された。医師の個人被ばく線量（実効線量と水晶体等価線量）と被ばく関連指標（放射線診療の従事回数と透視時間）については診療記録から調査を行った。

個人線量計において、2個管理の場合、医師は防護衣の内側に主個人線量計、防護衣の外側に追加個人線量計をそれぞれ1個ずつ装着した。1個管理の場合、防護衣の内側に主個人線量計を1個装着した。なお、個人線量計の値は1cm個人線量当量で校正した。

実効線量（E）は以下（1）（2）式によって算出した。

2個管理: $E = 0.89 \times D_{main} + 0.11 \times D_{additional}$ ・・・・（1）

1 個管理: $E = D_{main}$ ・・・・・・・・・・・・・・(2)
ただし、D_{main} は主個人線量計の値、$D_{additional}$ は追加個人線量計の値とした。
水晶体等価線量(H_{eye})は以下(3)(4)式によって算出した。
2 個管理: $H_{eye} = D_{additional}$ ・・・・・(3)
1 個管理: $H_{eye} = D_{main}$ ・・・・・・・・(4)

統計解析には BellCurve for Excel(version 3.22, Social Survey Research Information Co., Tokyo, Japan)を使用した。2 群間の比較には、Wilcoxson の符号付順位検定または Mann-Whitney の U 検定を用い、$p < 0.05$ を有意差有りとした。

C. 研究結果

対象となる医師は 14 名(男性 13 名、女性 1 名)であり、平均年齢は 38.9 ± 8.0 歳(平均 ± 標準偏差: S.D.)、平均経験年数は 12.1 ± 7.5 年(平均 ± S.D.)であった。

介入前期間の医師の個人線量計と個人保護装具の装着率を表 1 に示す。主個人線量計の装着率(中央値)は 57%と低く、個人差も大きかった。また、防護衣は全医師が装着していたが、防護眼鏡と防護甲状腺カラーの装着率(中央値)は、それぞれ 15%、69%と低く、こちらも個人差が大きかった。

介入期間の医師の個人線量計および 個人保護装具の装着率を表 1 に示す。装着率(中央値)は主個人線量計で 100%、追加個人線量計で85%であり、介入前と比較して統計学的有意に増加した(主個人線量計: $p = 0.002$、追加個人線量計: $p = 0.008$)。さらに、4 人の医師の個人線量計の管理方法が、介入期間中に 1 個管理から2個管理に切り替わった。防護衣の装着率は介入期間でも大きな変化は見られなかった。しかし、防護眼鏡と防護甲状腺カラーの装着率(中央値)はどちらも 100%になり、統計学的有意な増加を示した(防護眼鏡: $p = 0.003$、防護甲状腺カラー: $p = 0.008$)。

表 2 に医師の個人被ばく線量を示す。介入前と介入期間の診療回数は医師ごとに異なるため、各医師の実効線量(mSv)と水晶体等価線量(mSv)を総透視時間(min)で割って、実効線量率(Sv/min)と水晶体等価線量率(Sv/min)を算出した。その結果、いずれの値も、介入期間では介入前と比較して、統計学的有意に増加した(実効線量率: $p = 0.033$、水晶体等価線量率: $p = 0.003$)。

表 1 介入前後における個人線量計と個人保護装具の装着率

		主個人線量計	追加個人線量計	防護衣	防護眼鏡	防護甲状腺カラー
中央値	介入前	57 [0–100]	0 [0–100]	100	15 [0–100]	69 [0–100]
[範囲] (%)	介入後	100 [67–100]	85 [0–100]	100	100 [67–100]	100 [89–100]
p value		0.002	0.008	1.000	0.003	0.008

表 2 介入前後における実効線量率と水晶体等価線量率

		実効線量 (mSv)	実効線量率 (μSv/min)	水晶体等価線量 (mSv)	水晶体等価線量率 (μSv/min)
中央値	介入前	0.4 [0.0–6.3]	1.3 [0.0–13.6]	0.7 [0.0–23.7]	2.4 [0.0–15.9]
[範囲] (%)	介入後	1.1 [0.0–4.8]	3.1 [0.0–33.0]	1.7 [0.1–13.9]	7.5 [3.1–167.0]
p value		0.345	0.033	0.124	0.003

D. 考察

IR における患者の放射線安全性を考えた場合、術前のブリーフィングは患者の被ばく線量低減に非常に有効であることが証明されている。しかし、術前ブリーフィングが医師の放射線安全性に及ぼす影響を客観的に評価した研究はない。本研究の新規性は、個人線量計と個人保護装具の装着率を調査したことと、それを自己回答式アンケートではなく、目視による客観的評価をしたことである。さらに、装着率と個人被ばく線量率という観点から介入効果を客観的に評価することができた点も新規性となる。

本研究で調査を実施した病院では、術前ブリーフィング介入が開始される前、主個人線量計、追加個人線量計、防護眼鏡、甲状腺防護カラーの装着率が、総じて低いことが明らかとなり、この傾向は医師の個人線量計と個人保護装具の装着率に関する過去の報告と同様であった。個人線量計を装着すること、放射線感受性の高い眼の水晶体や甲状腺を防護することのいずれも IR を行う医師には欠かすことができないため[19-21]、これらの装着率が低い原因を分析し、適切な対処法を施すことが必要である。

医師が追加個人線量計を装着し忘れる理由として、「外来や病棟では必要ない追加個人線量計を、机の引き出しに入れたままにしていた」という回答を良く耳にする。しかし、介入前期間から ICRP の推奨[3]に従って手術室のラックに主個人線量計と追加個人線量計を 2 つ並べて保管しており、2 個管理されている医師が追加個人線量計を装着し忘れるということはなかった。また、調査病院独自の取り組みとして、病院内の複数カ所で放射線診療を行う医師に対しては、個人線量計をラックで保管するのではなく、図 1[22]に示すような主個人線量計と追加個人線量計を連結するストラップを用意して両者を常時携行させていたため、追加個人線量計の装着忘れを防ぐことができた。

図 1 紛失、携帯忘れ防止ストラップ。(A)ストラップの先端には主個人線量計が装着され、ストラップにはリングを介して自由に位置が調整可能な追加個人線量計が装着されている。(B)実際の使用例。Matsuzaki らの報告[22]より引用。

介入前期間の調査病院では、個人線量計と個人保護装具の装着は医師個人の判断に委ねられており、防護衣以外の装着率は総じて低かった。これは従前の病院内で年に 1 回実施される放射線防護教育だけでは、医師の放射線防護意識を高め、自ら個人線量計や個人保護装具の装着を実践させることは無理であったと認めざるを得ない。しかしながら、術前のブリーフィングを行い、そこで医師の個人線量計と個人保護装具が適切に装着されているかを目視により確認し、装着されていない場合は装着の促しをすることで、これらの装着率を劇的に上げることに成功した(表 1)。

また、4 人の医師の個人線量計は元々1 個管理であったが、介入として術前ブリーフィングが開始されると、彼らの透視時間がさほど長くないにも関わらず、防護衣下に装着した主個人線量計の値が高いことに気づき、介入期間中に個人線量計は 2 個管理に切り替えられた。このように、より望ましい個人線量管理法に修正されることも、本介入の副次的効果であると言えよう。

医師が術前ブリーフィングやタイムアウトを行う際に被ばく量に注意した結果、患者の被ばく量を有意に減少させたことが報告されている[23-25]。しかし本研究では、それとは反対に、実効線量率と水晶体等価線量率は、いずれも統計学的有意に上昇した（表 2）。実効線量率と水晶体等価線量率を上昇させる主な要因として、以下の2つが考えられる。

1. 個人線量計装着率の向上
2. 個人線量計の管理方法が 1 個管理から 2 個管理へ変更

個人線量計装着率が上がれば、それまで数値に上がらなかった被ばく線量が加算されるため、実効線量率も水晶体等価線量率も上昇するのは自明である。また、個人線量計が 1 個管理の場合、式（2）より $E = D_{main}$、式（4）より $H_{eye} = D_{main}$ であるが、個人線量計を 2 個管理に変更した場合、防護衣による遮蔽率を 90％と仮定すれば、式（1）より $E = 0.89 \times D_{main} + 0.11 \times D_{additional} = 1.99 \times D_{main}$、式（3）より $H_{eye} = D_{additional} = 10 \times D_{main}$ となり、実効線量率も水晶体等価線量率も値が大きくなる可能性がある。Chida らは、線量計管理方法を 1 個管理から 2 個管理に変更した場合、平均実効線量が 2.9 倍、水晶体等価線量が 19.8 倍に増加することを報告している[26]。同様に、本研究において、介入期間中に 1 個管理から 2 個管理に変更された 4 人の医師では、平均実効線量率が 4.4 倍、平均水晶体等価線量率は 18.9 倍に増加した（平均実効線量率: 16.9/3.8 = 4.4、平均水晶体等価線量率: 83.0/4.4 = 18.9 倍）。

本研究で実施した装着率の目視調査は全数調査ではなくサンプリング調査となっており、調査施設も単施設であるため、ここで示した装着率は必ずしも本邦の現状を反映していない可能性があるのが本研究の限界である。また、他国の医療文化や傾向によっては異なる結果が得られる可能性もある。その他、介入により、医師らの放射線防護意識が高まることで、透視時間の短縮や照射野のタイトな絞り、天井懸架式防護板の積極的利用により、実効線量率や水晶体等価線量率を押し下げる方向に作用する可能性は否定できないが、得られたデータからこの作用を除外することは不可能である。さらに、本研究終了後に術前ブリーフィングによる介入を止めてしまうと、実効線量率や水晶体等価線量率はどう変化するか、果たして個人線量計や個人保護装具の装着が「防護文化」として根付くかどうかは未だ不明であるため、今後の注意深い経過観察が必要である。この対策として、個人線量計や個人保護装具が適切に使用されているかを自動的に確認する技術の導入が、本研究の結果を発展させるためにも必要不可欠なものかもしれない。

E. 結論

本研究で IR 医師の個人線量計と個人保護装具の装着率を目視で調査したところ、防護衣以外の装着率は総じて低かった。しかし、介入として IR 開始直前にブリーフィングを行い、医師が個人線量計と個人保護装具を正しく装着されているかを確認すると、それらの装着率は劇的に上昇し、100%に近づいた。また、透視時間で補正した実効線量率と水晶体等価線量率の値はいずれも介入により大きくなったが、その原因はこれまで見逃されていた被ばくが加算されるようになったことと、個人線量計の管

理方法が 1 個管理から 2 個管理への変更されたことに伴う線量算定法の違いが影響を及ぼしたものと考えられる。

参考文献

[1] International Commission on Radiological Protection, Education and training in radiological protection for diagnostic and interventional procedures. ICRP publication 113. Ann, ICRP 2010.

[2] International Commission on Radiological Protection, Radiological protection in fluoroscopically guided procedures performed outside the imaging department. ICRP publication 117. Ann, ICRP 2012.

[3] International Commission on Radiological Protection, Occupational radiological protection in interventional procedures. ICRP publication 139. Ann, ICRP 2018.

[4] L.T. Niklason, M.V. Marx, H.P. Chan, Interventional radiologists: occupational radiation doses and risks, Radiology 187(3) (1993) 729-733.

[5] V. Tsapaki, N.A. Ahmed, J.S. Alsuwaidi, A. Beganovic, A. Benider, L. Benomrane, R. Borisova, S. Economides, L. El-Nachef, D. Faj, A. Hovhannesyan, M.H. Kharita, N. Khelassi-Toutaoui, N. Manatrakul, I. Mirsaidov, M. Shaaban, I. Ursulean, J.S. Wambani, A. Zaman, J. Ziliukas, D. Zontar, M.M. Rehani, Radiation Exposure to Patients During Interventional Procedures in 20 Countries: Initial IAEA Project Results, American Journal of Roentgenology 193(2) (2009) 559-569.

[6] E. Vano, N.J. Kleiman, A. Duran, M. Romano-Miller, M.M. Rehani, Radiation-associated lens opacities in catheterization personnel: results of a survey and direct assessments, J Vasc Interv Radiol 24(2) (2013) 197-204.

[7] International Atomic Energy Agency, The Information System on Occupational Exposure in Medicine, Industry and Research (ISEMIR): Interventional Cardiology, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Vienna, 2014.

[8] A. Brun, R.A. Mor, M. Bourrelly, G. Dalivoust, G. Gazazian, R. Boufercha, M.P. Lehucher-Michel, I. Sari-Minodier, Radiation protection for surgeons and anesthetists: practices and knowledge before and after training, J Radiol Prot 38(1) (2018) 175-188.

[9] N. Kunugita, Survey on workers who can still be subject to high exposure dose to the lens of the eye in spite of adequate radiation protection measures (written in Japanese). Available online:, 2019. https://www.mhlw.go.jp/content/11201000/000519683.pdf. (Accessed Accessed 14 Feb 2022).

[10] E. Altintas, T. BahÁeci, A. Batur, M. Kaynar, O. KiliÁ, M. Akand, S. Goktas, M. Gul, A survey analysis of knowledge levels of urologists about radiation safety and fluoroscopy use, International Journal of Clinical Practice 75 (2020).

[11] E.P. Efstathopoulos, I. Pantos, M. Andreou, A. Gkatzis, E. Carinou, C. Koukorava, N.L. Kelekis, E. Brountzos, Occupational radiation doses to the extremities and the eyes in interventional radiology and cardiology procedures, The British Journal of Radiology 84(997) (2011) 70-77.

[12] F. Vanhavere, E. Carinou, G. Gualdrini, I. Clairand, M. Sans Merce, M. Ginjaume, D. Nikodemova, J. Jankowski, J. Bordy, A. Rimpler, ORAMED: optimization of radiation protection of medical staff, 2012.

[13] G. Lynskey, D. Powell, R. Dixon, J. Silberzweig, Radiation Protection in Interventional Radiology: Survey Results of Attitudes and Use, Journal of vascular and interventional radiology : JVIR 24 (2013).

[14] World Health Organization, WHO Guidelines for Safe Surgery 2009, 2009.

[15] A.J. Porter, J.Y. Narimasu, M.F. Mulroy, R.P. Koehler, Sustainable, Effective Implementation of a Surgical Preprocedural Checklist: An “Attestation” Format for All Operating Team Members, The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety 40(1) (2014) 3-AP1.

[16] A.B. Haynes, L. Edmondson, S.R. Lipsitz, G. Molina, B.A. Neville, S.J. Singer, A.T. Moonan, A.K. Childers, R. Foster, L.R. Gibbons, A.A. Gawande, W.R. Berry, Mortality Trends After a Voluntary Checklist-based Surgical Safety Collaborative, Annals of Surgery 266 (2017) 92S 929.

[17] L. Martin, J. Langell, Improving on-time surgical starts: the impact of implementing pre-OR timeouts and performance pay, Journal of Surgical Research 219 (2017) 222-225.

[18] J.C. Pham, T.M.T. Laupola, A. Figueira, J. Bala, L. Chun, Perceived Value of the Daily Safety Briefing, J Healthc Manag 64(1) (2019) 44-51.

[19] International Commission on Radiological Protection, ICRP statement on tissue reactions and 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.
[20] L. Vimercati, L. De Maria, F. Mansi, A. Caputi, G. Ferri, V. Luisi, P. Lovreglio, E. Cannone, P. Lorusso, M. Gatti, C. Massagli, V. Triggiani, Prevalence of Thyroid Diseases in an Occupationally Radiation Exposed Group: A Cross-Sectional Study in a University Hospital of Southern Italy, Endocrine, Metabolic & Immune Disorders - Drug Targets 18 (2018).
[21] D. Cioffi, L. Fontana, V. Leso, P. Dolce, R. Vitale, I. Vetrani, A. Galdi, I. Iavicoli, Low dose ionizing radiation exposure and risk of thyroid functional alterations in healthcare workers, European Journal of Radiology 132 (2020).
[22] S. Matsuzaki, T. Moritake, L. Sun, K. Morota, K. Nagamoto, K. Nakagami, T. Kuriyama, G. Hitomi, S. Kajiki, N. Kunugita, The Effect of Pre-Operative Verbal Confirmation for Interventional Radiology Physicians on Their Use of Personal Dosimeters and Personal Protective Equipment, International Journal of Environmental Research and Public Health 19(24) (2022) 16825.
[23] M.T. Barakat, N.C. Thosani, R.J. Huang, A. Choudhary, R. Kochar, S. Kothari, S. Banerjee, Effects of a Brief Educational Program on Optimization of Fluoroscopy to Minimize Radiation Exposure During Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography, Clinical Gastroenterology and Hepatology 16(4) (2018) 550-557.
[24] A. Aizer, J. Qiu, A. Cheng, P. Wu, D. Holmes, S. Wagner, S. Bernstein, D. Park, B. Cartolano, C. Barbhaiya, L. Chinitz, Utilization of a Radiation Safety Time-Out Reduces Radiation Exposure During Electrophysiology Procedures, JACC: Clinical Electrophysiology 5 (2019).
[25] B.H. Choi, K. Yaya, V. Prabhu, N. Fefferman, B. Mitchell, K.A. Kuenzler, H.B. Ginsburg, J.C. Fisher, S. Tomita, Simple preoperative radiation safety interventions significantly lower radiation doses during central venous line placement in children, Journal of Pediatric Surgery 54(1) (2019) 170-173.
[26] K. Chida, Y. Kaga, Y. Haga, N. Kataoka, E. Kumasaka, T. Meguro, M. Zuguchi, Occupational Dose in Interventional Radiology Procedures, American Journal of Roentgenology 200(1) (2013) 138-141.

F. 論文報告

1) S. Matsuzaki, T. Moritake, L. Sun, K. Morota, K. Nagamoto, K. Nakagami, T. Kuriyama, G. Hitomi, S. Kajiki, N. Kunugita, The Effect of Pre-Operative Verbal Confirmation for Interventional Radiology Physicians on Their Use of Personal Dosimeters and Personal Protective Equipment, International Journal of Environmental Research and Public Health 19(24) (2022) 16825.

G. 研究発表

なし

H. 知的所有権の取得状況

なし

※ 次頁以降に参考資料を示す。

International Journal of
Environmental Research and Public Health

MDPI

Article

The Effect of Pre-Operative Verbal Confirmation for Interventional Radiology Physicians on Their Use of Personal Dosimeters and Personal Protective Equipment

Satoru Matsuzaki [1], Takashi Moritake [2,*], Lue Sun [3], Koichi Morota [1], Keisuke Nagamoto [4], Koichi Nakagami [4], Tomoko Kuriyama [5], Go Hitomi [6], Shigeyuki Kajiki [7] and Naoki Kunugita [5]

1 Department of Radiology, Shinkomonji Hospital, 2-5 Dairishinmachi, Moji-ku, Kitakyushu 800-0057, Japan
2 Department of Radiation Regulatory Science Research, National Institute of Radiological Sciences, National Institutes for Quantum Science and Technology, 4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba 263-8555, Japan
3 Health and Medical Research Institute, Department of Life Science and Biotechnology, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Central 6, 1-1-1 Higashi, Tsukuba 305-8566, Japan
4 Department of Radiology, Hospital of the University of Occupational and Environmental Health, Japan, 1-1 Iseigaoka, Yahatanishi-ku, Kitakyushu 807-8556, Japan
5 Department of Occupational and Community Health Nursing, School of Health Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Japan, 1-1 Iseigaoka, Yahatanishi-ku, Kitakyushu 807-8555, Japan
6 Department of Radiological Technology, Kawasaki Medical School Hospital, 577 Matsushima, Kurashiki 701-0192, Japan
7 Department of Occupational Health Practice and Management, Institute of Industrial Ecological Science, University of Occupational and Environmental Health, Japan, 1-1 Iseigaoka, Yahatanishi-ku, Kitakyushu 807-8555, Japan
* Correspondence: moritake.takashi@qst.go.jp; Tel.: +81-43-206-3150; Fax: +81-43-251-6089

Abstract: Interventional radiology (IR) physicians must be equipped with personal passive dosimeters and personal protective equipment (PPE); however, they are inconsistently used. Therefore, we aimed to explore practical measures to increase PPE usage and ascertain whether these measures could lead to an actual decrease in exposure doses to IR physicians. Dosimeters and PPE were visually inspected. Then, a pre-operative briefing was conducted as a direct intervention, and the use of dosimeters and PPE was verbally confirmed. Finally, the intervention effect was verified by measuring the use rates and individual exposure doses. Because of the intervention, the use rate markedly improved and was almost 100%. However, both the effective dose rate (effective dose/fluoroscopy time) and the lens equivalent dose rate (lens equivalent dose/fluoroscopy time) showed that the intervention led to a statistically significant increase in exposure (effective dose rate: $p = 0.033$; lens equivalent dose rate: $p = 0.003$). In conclusion, the proper use of dosimeters and PPE raised the radiation exposure values for IR physicians immediately after the intervention, which was hypothesized to be due to the inclusion of exposure overlooked to date and the changes in the dosimeter management method from a single- to a double-dosimeter approach.

Keywords: interventional radiology; personal passive dosimeter; personal protective equipment; direct intervention; pre-operative briefing

check for updates

Citation: Matsuzaki, S.; Moritake, T.; Sun, L.; Morota, K.; Nagamoto, K.; Nakagami, K.; Kuriyama, T.; Hitomi, G.; Kajiki, S.; Kunugita, N. The Effect of Pre-Operative Verbal Confirmation for Interventional Radiology Physicians on Their Use of Personal Dosimeters and Personal Protective Equipment. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 16825. https://doi.org/10.3390/ijerph192416825

Academic Editor: Małgorzata Okrasa

Received: 2 September 2022
Accepted: 10 December 2022
Published: 15 December 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Interventional radiology (IR) has undergone technological innovations in many specialized fields. It has become an essential medical procedure, not only for saving patients' lives, but also for ensuring post-treatment quality of life. However, occupational exposure of healthcare workers involved in IR has become an issue [1]. The objectives of radiological protection are to manage and control exposures to ionizing radiation so that tissue reactions are prevented. The risks of stochastic effects should be reduced to as low as reasonably

achievable, with societal and economic factors considered [1–3]. To achieve these objectives, IR physicians must wear lead glasses to avoid cataracts, which are caused by a tissue reaction to a threshold dose. Moreover, although the risks of cancer, a stochastic effect with a linear non-threshold dose–response relationship between the dose and risk, cannot be reduced to zero, physicians are required to wear a lead apron and a thyroid protection collar to minimize the risks as much as possible.

For healthcare professionals to conduct radiological procedures while reducing their ionizing-radiation exposure, it is crucial to introduce the following forms of management for occupational health: general management, work environment management, work management, health management, and occupational health training [4–6] (Table 1). However, it is difficult to establish whether these requirements are carefully practiced in the healthcare industry in Japan [7]. Radiological procedures are usually conducted without special radiation protection and without education or training depending on the exposure levels [3,8,9].

Table 1. Occupational health management in radiation medical care.

Forms of Occupational Health Management	Management Content
General management	Construction of safety management system related to radiation medical care, etc.
Work environment management	Measurement of radiation doses in the radiation clinic, personal monitoring implementation, etc.
Work management	Preparation of radiation treatment procedure manuals, maintenance of PPE *, etc.
Health management	Implementation of special radiation health examinations, etc.
Occupational health training	Regular education and training before and after placement of radiation work, etc.

* PPE: personal protective equipment.

When conducting radiological procedures, it is necessary to wear a personal passive dosimeter for exposure dose evaluation and personal protective equipment (PPE) for physical protection; PPE for ionizing radiation includes a lead apron, lead glasses, and a thyroid protection collar. According to a previous questionnaire survey based on self-response, the use rate was 17–100% for personal passive dosimeters [7,10–15], 88–100% for lead aprons [11,13–18], 0–83% for lead glasses [10–18], and 40–100% for thyroid protection collars [10,14–18]. Various use-rate values that range from high to low have been reported for equipment other than the lead apron (Table 2), and there is a possibility that proper personal dosimetry and radiation protection may not be employed. Improving this situation requires education and training that is specialized to the exposure circumstances of physicians. However, studies that analyzed the effects of radiation protection education to date [14,19,20] have indicated that physicians' use rate of personal passive dosimeters has not reached 100% even after implementing radiation protection education [14]. Although there have been studies indicating that personal exposure for physicians decreased after conducting radiation protection education [19,20], if the personal passive dosimeter use rate is not 100% to begin with, then any shifts in the personal exposure dose cannot be accurately evaluated. Thus, it is expected that the usual radiation protection education, which is provided to physicians initially and while they continue radiation work, will be insufficient, and some additional direct intervention is essential for improving the environment of physicians who work in busy clinical settings.

Table 2. Past reports on the use rate of PPE by physicians.

Authors	Country	Physicians' Personal Protective Equipment Use Rate (%)			
		Personal Passive Dosimeters	Lead Aprons	Lead Glasses	Thyroid Protection Collars
Niklason et al. (1993) [10]	N/A *	40	N/A *	10	47
Tsapaki et al. (2009) [11]	Algeria, Kenya, Morocco, Sudan, Tunisia, Kuwait, Lebanon, Syria, Thailand, United Arab Emirates, Pakistan, Armenia, Bosnia and Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Greece, Lithuania, Moldova, Slovenia, Tajikistan	96	100	73	N/A*
Efstathopoulos et al. (2011) [16]	Greece	N/A *	100	71–83	100
Vanhavere F et al. (2012) [17]	Belgium, Greece, France, Switzerland, Poland, Slovakia	N/A *	98–100	31–36	91–92
Vano et al. (2013) [12]	Argentine Republic	48–52	N/A *	41–52	N/A *
Lynskey III et al. (2013) [18]	N/A *	N/A *	99.4	54.2	94
International Atomic Energy Agency (2014) [13]	Global	70–77	97	24–47	N/A *
Brun et al. (2018) [14]	France	45.7–54.0	88–97.1	0–4	40–62.9
Kunugita (2019) [7]	Japan	17–100	N/A *	N/A *	N/A *
Altintas et al. (2020) [15]	N/A *	17.3	96.2	32.7	80.8

* N/A: not available.

In 2009, the World Health Organization (WHO) recommended the "WHO Guidelines for Safe Surgery" [21] and published the Surgical Safety Checklist for improving the safety of surgical patients. This checklist was customized for each clinical area and helped avoid adverse surgery events and reduce human error [22–25]. Pre-operative briefings and "time-outs" have been introduced as standard procedures for surgical care [26]. Pre-operative briefings are conducted to facilitate team communication, facilitate important patient communication regarding surgery, and share learning and responsibilities for surgery [21]. Furthermore, "time-outs" are conducted to avoid simple human error by having the entire team stop work for a short period immediately before surgery to check patient information and the surgery site [21]. These concepts can be applied to surgical procedures and helps to ensure the safety of patients in IR. Given that it is highly effective in reducing patient exposure doses [27–32], there are an increasing number of facilities that are introducing briefings and time-outs. However, there are still no studies of the effects of these briefings and time-outs on the status of radiation protection in the physicians who conduct IR themselves.

It is necessary to explore practical measures to increase the use of personal passive dosimeters and PPE to prevent hazardous radiation risks to IR physicians. Whether the proper use of dosimeters and PPE could lead to the actual decrease in exposure dose to physicians must be proved. Therefore, in the present study, an inspector, i.e., a radiological technologist overseeing the process, conducted an accurate survey via visual inspection of the use status of dosimeters and PPE at a major Japanese hospital. Next, briefings were conducted as direct interventions to confirm the operator's proper use of the dosimeter and PPE. Finally, the effect of this direct intervention was evaluated.

2. Materials and Methods

2.1. Research Design

This study first looked at the actual circumstances of the use status of the IR physicians' dosimeter and PPE via visual inspection during the pre-intervention period. Next, as a direct intervention, a pre-operative briefing was conducted before starting radiological

procedures during the intervention period. The correct use of dosimeters and PPE was inspected and verbally confirmed in the briefing. If operators had any deficiencies, they were encouraged to wear the proper equipment. Finally, the effect of the intervention was mainly analyzed from two perspectives: the use status of the personal passive dosimeter and PPE, and the personal exposure dose and dose rate to the operator.

The survey was conducted at an acute hospital with 214 beds (300–340 emergency cases/month) in Japan. Personnel changes are often made from April according to the fiscal year in Japan. Therefore, this survey was planned to start in April 2017 and end in February 2018 to prevent the physicians from leaving within the survey period.

As shown in Table 3, April–August 2017 (five months) was set as the pre-intervention period, and October 2017–February 2018 (five months) was set as the intervention period. We surveyed all 964 (pre-intervention: 549 cases; intervention period: 415 cases) procedures (inspections and treatment using X-ray fluoroscopy) that the 14 physicians conducted during the survey periods. Of these, 340 cases in the pre-intervention period involved visual inspection of the use status of personal passive dosimeters and PPE by the inspector, a radiological technologist overseeing the process. In the intervention period, 321 cases involved visual inspection and verbal confirmation about using personal passive dosimeters and PPE by the inspector. The personal exposure doses to the physicians (i.e., effective dose and lens equivalent dose) and the exposure-related indicators (number of procedures and fluoroscopy time) were investigated using the medical records.

Table 3. Research Design.

Survey Content		Pre-Intervention Period (April 2017–August 2017)	Intervention Period (October 2017–February 2018)
All radiological treatments conducted by survey target physicians		549 cases	415 cases
Visual inspection of use status		Conducted by an inspector during the daytime	Conducted by an inspector at the pre-operative briefing during the daytime The inspector obtained verbal conformation and encouraged the physicians to wear proper equipment
Personal passive dosimeter	Main dosimeter Additional dosimeter	340 cases (61.9%)	321 cases (77.3%)
Lead apron Lead glasses Thyroid protection collar			
Medical record survey		Conducted by researchers	Conducted by researchers
Personal exposure dose	Effective dose Lens equivalent dose	549 cases (100%)	415 cases (100%)
Exposure-related indicators	Number of times radiation medical treatment was conducted Fluoroscopy time		

2.2. Survey of Personal Passive Dosimeters and PPE Use Rates

A survey regarding the use status of the personal passive dosimeters (Luminess Badge, NAGASE-LANDAUER, LTD., Tsukuba, Japan), frontal or coat-type lead aprons (0.25 or 0.35 mm Pb equivalent), lead glasses (0.07 or 0.35 mm Pb equivalent), and thyroid protection collars (0.28 or 0.35 mm-Pb equivalent) (Figure S1) was conducted by the inspector via visual inspection for each case. Generally, the physician chooses the PPE of their choice. Moreover, the choice often varies for each case. Regarding the personal dosimeters, the physician may forget to wear them or wear them inaccurately. Therefore, because it is difficult to grasp the true personal dosimeter and PPE wearing status by the self-administered questionnaire

survey method, the direct visual inspection method was adopted in this study. The results were recorded using a radiation work checklist (Figure S2). The use rate was defined as the number of times the equipment was used divided by the number of visual inspections.

2.3. Survey of Personal Exposure Dose

Cases with a double-dosimeter approach used a main dosimeter under the lead apron and an additional dosimeter over the lead apron. Cases with a single-dosimeter approach used the main dosimeter under the lead apron (Figure S1). The personal passive dosimeter value was calibrated with a 1 cm personal dose equivalent.

The effective dose (E) was calculated using the following Equations (1) and (2):

$$\text{Double-dosimeter approach: } E = 0.89 \times D_{main} + 0.11 \times D_{additional} \quad (1)$$

$$\text{Single-dosimeter approach: } E = D_{main} \quad (2)$$

where, D_{main} is the main dosimeter (under the lead apron) value, and $D_{additional}$ is the additional dosimeter (over the lead apron) value.

The lens equivalent dose (H_{eye}) was calculated using the following Equations (3) and (4):

$$\text{Double-dosimeter approach: } H_{eye} = D_{additional} \quad (3)$$

$$\text{Single-dosimeter approach: } H_{eye} = D_{main} \quad (4)$$

2.4. Pre-Operative Briefing

A pre-operative briefing was conducted before starting procedures as a direct intervention in the intervention period. The inspector visually inspected the operators' correct use of the dosimeter and PPE and filled the results in a radiation work checklist (Figure S2). Furthermore, the inspector verbally confirmed the physicians' use of dosimeters and PPE, and if they were not using the protective equipment, the inspector encouraged them to wear it.

2.5. Statistical Analyses

BellCurve for Excel (version 3.22, Social Survey Research Information Co., Tokyo, Japan) was used for statistical analysis. The two groups were compared using two-sided Wilcoxson's signed-rank test or two-sided Mann-Whitney's U test. Differences with $p < 0.05$ were considered significant.

3. Results

3.1. Use Rate of Personal Passive Dosimeters and PPE in the Pre-Intervention Period

All 14 physicians (13 men, 1 women) conducting IR at this hospital were surveyed; the average physician age was 38.9 ± 8.0 years (mean ± standard deviation: S.D.), and the average number of experience years was 12.1 ± 7.5 years (mean ± S.D.).

The physicians' use rate of the personal passive dosimeter and PPE before the intervention period is presented in Table 4. The use rate of the main dosimeter was low at 47% of the total, with significant individual differences (Table S1).

All physicians wore a lead apron (100%), but the use rates for lead glasses and thyroid protection collars were low at 37% and 52%, respectively, with significant individual differences (Table S2).

Table 4. Use rate of personal passive dosimeters and * PPE by physicians (n = 14).

Personal Passive Dosimeter/PPE	Pre-Intervention Period		Intervention Period		p Value †
	Mean (%)	Median [Range] (%)	Mean (%)	Median [Range] (%)	
Main dosimeter (under the lead apron)	47	57 [0–100]	97	100 [67–100]	0.002
Additional dosimeter (over the lead apron)	30	0 [0–100]	65	85 [0–100]	0.008
Lead apron	100	100	100	100	1.000
Lead glasses	37	15 [0–100]	97	100 [67–100]	0.003
Thyroid protection collar	52	69 [0–100]	97	100 [89–100]	0.008

* PPE: personal protective equipment; † Wilcoxon's signed rank test.

3.2. Intervention Effect of Pre-Operative Briefing

Table 4 also indicates the physicians' use rate of personal passive dosimeters and PPE during the intervention period. The mean overall use rate was 97% and 65% for the main and additional dosimeters, respectively, which was a statistically significant increase when compared to that of the pre-intervention period (main dosimeter: $p = 0.002$, additional dosimeter: $p = 0.008$). Furthermore, four physicians (g, h, i, and j) switched from a single-dosimeter approach to a double-dosimeter approach (Table S1). The use rate of the lead apron was high at 100% even in the pre-intervention period, and the use rate did not show much change during the intervention period. However, the overall use rate of lead glasses and thyroid protection collars showed a statistically significant increase (lead glasses: $p = 0.003$, thyroid protection collar: $p = 0.008$).

Table 5 shows the personal exposure doses for physicians. The number of medical treatments in the pre-intervention period and the intervention period differed for each physician. Hence, we calculated the effective dose rate (μSv/min) and lens equivalent dose rate (μSv/min) by dividing the effective dose (mSv) and lens equivalent dose (mSv) of each physician by the total fluoroscopy time (min) for comparison. Results showed a statistically significant increase in the intervention period for both values compared to those in the pre-intervention period (effective dose rate: $p = 0.033$, lens equivalent dose rate: $p = 0.003$). Significantly, the lens equivalent dose rates for physicians h, i, and j in the intervention period were much higher than the dose rates for the other physicians (Table S3). They were all orthopedic surgeons who routinely performed procedures using the over-table tube fluorographic imaging unit, so the patient's body, which is the source of scattered radiation, was close to the eyes of the physician. Moreover, there was no shield between the patient's body and the physician's eyes. For these reasons, the lens equivalent dose rates for physicians h, i, and j during the intervention period seem to have become significantly higher than the dose rates for other physicians.

Table 5. Personal exposure dose and dose rate for physicians (n = 14).

Personal Exposure Dose/Dose Rate	Pre-Intervention Period		Intervention Period		p Value †
	Mean	Median [Range]	Mean	Median [Range]	
Effective dose (mSv)	1.1	0.4 [0.0–6.3]	1.4	1.1 [0.0–4.8]	0.345
Effective dose rate * (μSv/min)	2.3	1.3 [0.0–13.6]	7.3	3.1 [0.0–33.0]	0.033
Lens equivalent dose (mSv)	3.2	0.7 [0.0–23.7]	4.2	1.7 [0.1–13.9]	0.124
Lens equivalent dose rate ** (μSv/min)	3.7	2.4 [0.0–15.9]	28.7	7.5 [3.1–167.0]	0.003

* The effective dose rate for each physician was calculated as the Effective dose (mSv)/Total fluoroscopy time (min) in Table S3. ** The lens equivalent dose rate for each physician was calculated as the Lens equivalent dose (mSv)/Total fluoroscopy time (min) in Table S3. † Wilcoxon's signed rank test.

4. Discussion

Exposure protection is essential for physicians who conduct radiological procedures, and the International Commission on Radiological Protection (ICRP) has called for the

provision of appropriate and sufficient information and training on exposure protection [3,4,8,9,33]. Nevertheless, according to self-response questionnaire surveys regarding the use rate of personal passive dosimeters and PPE by physicians to date, the use rate has been reported to be 17–100% for personal passive dosimeters [7,10–15], 88–100% for lead aprons [11,13–18], 0–83% for lead glasses [10–18], and 40–100% for thyroid protection collars [10,14–18] (Table 2). It can be observed that physicians and others are not always accustomed to using personal passive dosimeters and PPE that protect their bodies and the creation of a mechanism that encourages physicians and others to practice consistent exposure protection is urgently needed.

The "WHO Guidelines for Safe Surgery 2009," a safety measure for surgical procedures, has been introduced in IR recently [27–32]. Aizer et al. reported that implementing radiation protection using time-outs before electrophysiology procedures for arrhythmia resulted in a 21% reduction of the air kerma-area product (P_{KA}) [29]. Choi et al. reported that conducting radiation safety briefings and time-outs before X-ray irradiation for children's central venous catheter placement using fluoroscopy reduced the P_{KA} by 79% [30]. Barakat et al. reported that conducting a pre-operative time-out protocol before endoscopic retrograde cholangiopancreatography reduced the P_{KA} by 35–48% [31]. Therefore, pre-operative briefings and time-outs have proven highly effective for patient exposure dose reduction when considering patient radiation safety in IR. However, there have not been any studies that objectively evaluated the effect that pre-operative briefings and time-outs had on radiation safety for physicians. The novelties of the present study were the survey of the use rate of personal passive dosimeters and PPE and that this was objectively evaluated by an inspector's visual inspection rather than a self-response questionnaire. Furthermore, the use and personal exposure dose rates helped to objectively evaluate the intervention effect.

In the hospitals where the survey of the present study was conducted, the use rate of the main dosimeter, additional dosimeter, lead apron, lead glasses, and thyroid protection collar before starting the pre-operative briefing intervention had a median value of 57%, 0%, 100%, 15%, and 69%, respectively, with overall low values except for that of the lead apron. These tendencies were similar to those obtained in previous reports on physicians' use rate of personal passive dosimeters and PPE (Table 2). Using a personal passive dosimeter and protecting the lens of the eye and thyroid, which are sensitive to radiation, are crucial for physicians who conduct IR [1,34,35]. Hence, there is a requirement to analyze why the use rate of this equipment is low and to implement appropriate measures to increase their use.

A common reason given by physicians for why they forget to wear additional dosimeters is that "they kept the additional dosimeter in their desk drawer, which they do not need in the outpatient department or ward." However, in the present hospital, the main dosimeter and additional dosimeter were both stored side by side in the rack of the surgical room according to the ICRP recommendations [3] from before the start of the interventional experiment, and the physicians who were taking a double-dosimeter approach (physicians a–f in Table S1) never forgot to wear an additional dosimeter. A unique initiative of the surveyed hospital was to not store the personal passive dosimeter on the rack for physicians conducting radiological procedures at multiple locations in the hospital. Instead, preparing a strap that connects both the main and additional dosimeters, as shown in Figure 1, and having the physicians carry both with them at all times prevented physicians from forgetting to wear the additional dosimeter.

During the survey of the target hospital before the start of the intervention, the use of personal passive dosimeters and PPE was at the discretion of individual physicians, and the use rate of equipment other than the lead apron was low overall. It must be acknowledged that only conducting radiation protection education once a year in a conventional hospital cannot improve the awareness of radiation protection among physicians and lead to higher usage of personal passive dosimeters and PPE. However, we succeeded in dramatically increasing the use rate of personal passive dosimeters and PPE among physicians by verbally confirming whether they were using this equipment and conducting pre-operative briefings (Table 4).

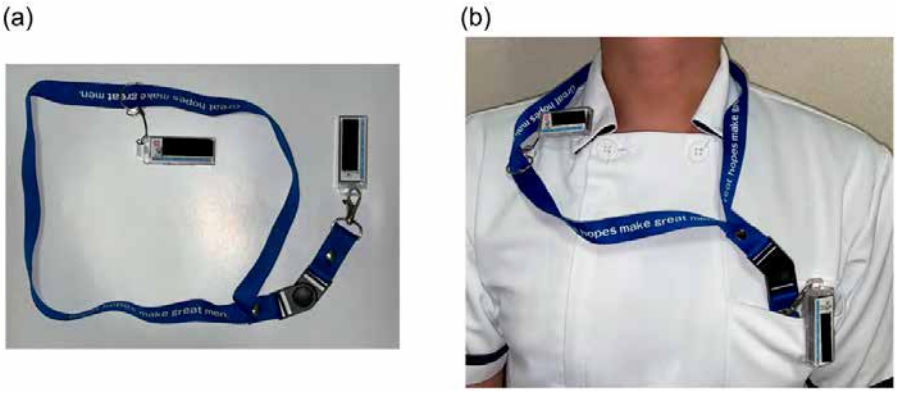


Figure 1. A unique initiative of the surveyed hospital. (**a**) A strap connects both the main and additional dosimeters. (**b**) The use of this strap prevents physicians from forgetting to wear the additional dosimeter.

Additionally, physicians g, h, i, and j used a single-dosimeter approach for their personal passive dosimeters. However, after starting pre-operative briefings as an intervention, they noticed that the main dosimeter value was unexpectedly high considering the relatively short fluoroscopy time (Table S3). Then, they switched to a double-dosimeter approach during the intervention period. Therefore, it can be said that achieving a more desirable personal dose management method is also a secondary effect of this intervention.

It has been reported that physicians paid attention to exposure when conducting pre-operative briefings and time-outs during IR, which significantly decreased P_{KA} as a result, or in other words, significantly reduced the exposure dose to the patient and operator simultaneously [29–31]. However, in contrast to these studies, the present study showed a statistically significant increase in the effective dose rate and lens dose rate, which were calculated by correcting the effective dose and lens equivalent dose with the fluoroscopy time (effective dose rate: $p = 0.033$; lens equivalent dose rate: $p = 0.003$) (Table 5).

The following two factors are the main reasons why the effective dose rate and lens equivalent dose rate increased:

1. Improved use rate of personal passive dosimeters
2. The personal passive dosimeter management method shifted from single-dosimeter to double-dosimeter.

An increased use rate in personal passive dosimeters will result in the addition of exposure doses that were not considered in the values up to that point, thereby increasing the effective dose rate and lens equivalent dose rate. Furthermore, the personal passive dosimeter was managed with the single-dosimeter approach, where $E = D_{main}$ according to Equation (2) and $H_{eye} = D_{main}$ according to Equation (4). However, when the personal passive dosimeters were managed with the double-dosimeter approach and assuming the shielding rate by the lead apron to be 90%, $E = 0.89 \times D_{main} + 0.11 \times D_{additional} = 1.99 \times D_{main}$ from Equation (1) and $H_{eye} = D_{additional} = 10 \times D_{main}$ from Equation (3), thereby potentially increasing the effective dose rate and lens equivalent dose rate values. Chida et al. reported that the mean effective dose and lens equivalent dose were increased by 2.9- and 19.8-times, respectively, as the dosimeter management method was changed from a single-dosimeter to a double-dosimeter approach [36]. Similarly, for physicians g, h, i, and j in the present study (Table S3), switching from a single-dosimeter to a double-dosimeter approach during the intervention period resulted in an increased mean effective dose rate and lens equivalent dose rate by 4.4- and 18.9-times, respectively (mean effective dose rate: 16.9/3.8 = 4.4, mean lens equivalent dose rate: 83.0/4.4 = 18.9).

The visual inspection survey of the use rate that was conducted in the present study was not 100% accurate; there is a bias in that the inspector was present during the daytime but not during the nighttime during an emergency. The sampling survey was conducted in

a single facility. Hence, a limitation of the present study is that the use rate shown here is not necessarily reflective of the current situation in Japan. Different results may be obtained depending on other countries' medical cultures and trends. Furthermore, the possibility of increasing awareness toward radiation protection among the physicians cannot be ruled out because the intervention aimed to reduce the effective dose rate and lens equivalent dose rate by lowering the fluoroscopy time, tightening the irradiation field, and actively using ceiling-suspended radiation shielding screens; however, these actions cannot be excluded from the obtained data. Furthermore, it is still unknown how stopping interventions by briefings after the end of this study would change the effective dose rate and lens equivalent dose rate. Regardless of whether the use of personal passive dosimeters or PPE could be rooted as part of a "protection culture," careful follow-up observations are needed in the future. Implementing technology that automatically inspects and confirms the proper use of dosimeters and PPE might be indispensable to extend the results of this study.

5. Conclusions

A visual inspection of the use rate of personal passive dosimeters and PPE by IR physicians in this study showed that the use rate of this equipment was low overall, except for lead aprons. However, briefings were conducted immediately before the start of IR, and verbal confirmations were obtained on whether physicians correctly wore personal passive dosimeters and PPE as interventions; this dramatically increased the use rate of this equipment to close to 100%. However, the effective dose rate and lens equivalent dose rate corrected with the fluoroscopy time increased immediately after the intervention. This result was hypothesized to be due to the inclusion of exposure that has been overlooked to date. Additionally, the changes in the dose calculation method accompanied the difference in the personal passive dosimeter management method from a single-dosimeter approach to a double-dosimeter approach, which also had an effect on the effective dose rate and lens equivalent dose rate.

Supplementary Materials: The following are available online at https://www.mdpi.com/article/10.3390/ijerph192416825/s1, Figure S1: The personal passive dosimeter and the personal protective equipment the physicians surveyed wore in this analysis, Figure S2: The radiation work checklist, Table S1: Use rate of personal passive dosimeters by physicians, Table S2: The use rate of personal protective equipment (PPE) by physicians, Table S3: Personal exposure dose and dose rate of physicians.

Author Contributions: Conceptualization, S.M., S.K. and T.M.; methodology, S.M. and T.M.; validation, S.M. and T.M.; formal analysis, S.M. and T.M.; investigation, S.M.; data curation, S.M., T.M., L.S., K.M., K.N. (Keisuke Nagamoto), K.N. (Koichi Nakagami), T.K. and G.H.; writing—original draft preparation, S.M.; writing—review and editing, T.M. and L.S.; visualization, S.M., L.S. and T.M.; supervision, N.K.; project administration, T.M.; funding acquisition, T.M. and N.K. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was funded in part by a grant from the Japan Society for the Promotion of Science KAKENHI to T.M., grant number 18H03376, and the Japanese Ministry of Health, Labour and Welfare to N.K. and T.M., grant number 180501-01/200601-01/210501-01.

Institutional Review Board Statement: This study was approved by the Ethics Committee of the Shinkomonji Hospital, Japan (Approval no.: 2017009, 14 December 2017; 2019002, 16 May 2019).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study, and patients had the opportunity to opt out regarding the use of their medical data.

Data Availability Statement: The data are not publicly available due to ethical issues.

Acknowledgments: The authors thank Miho Itonaga, Tomomi Konari, Fumiko Kawagoe, and Kimi Kihara for their technical support and assistance. The authors would also like to thank all medical staff participating in this project.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. International Commission on Radiological Protection. *ICRP Statement on Tissue Reactions and 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.; Elsevier Ltd.: Amsterdam, The Netherlands, 2012; Volume 41, pp. 1–322.
2. International Commission on Radiological Protection. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*; ICRP publication 103. Ann.; Elsevier Ltd.: Amsterdam, The Netherlands, 2007; Volume 37, pp. 1–332.
3. International Commission on Radiological Protection. *Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures*; ICRP publication 139. Ann.; SAGE Publications Ltd.: Thousand Oaks, CA, USA, 2018; Volume 47, pp. 1–118.
4. International Commission on Radiological Protection. *General Principles for the Radiation Protection of Workers*; ICRP publication 75. Ann.; Elsevier Ltd.: Amsterdam, The Netherlands, 1997; Volume 27, pp. 1–61.
5. Mori, K.; Takebayashi, T. The Introduction of an Occupational Health Management System for Solving Issues in Occupational Health Activities in Japan. *Ind. Health* **2002**, *40*, 167–174. [CrossRef] [PubMed]
6. Nagamoto, K.; Moritake, T.; Nakagami, K.; Morota, K.; Matsuzaki, S.; Nihei, S.-I.; Kamochi, M.; Kunugita, N. Occupational radiation dose to the lens of the eye of medical staff who assist in diagnostic CT scans. *Heliyon* **2021**, *7*, e06063. [CrossRef] [PubMed]
7. Kunugita, N. Survey on Workers Who Can Still Be Subject to High Exposure Dose to the Lens of the Eye in Spite of Adequate Radiation Protection Measures. Available online: https://www.mhlw.go.jp/content/11201000/000519683.pdf (accessed on 14 February 2022). (In Japanese).
8. International Commission on Radiological Protection. *Education and Training in Radiological Protection for Diagnostic and Interventional Procedures*; ICRP publication 113. Ann.; Elsevier Ltd.: Amsterdam, The Netherlands, 2010; Volume 39, pp. 1–68.
9. International Commission on Radiological Protection. *Radiological Protection in Fluoroscopically Guided Procedures Performed Outside the Imaging Department*; ICRP publication 117. Ann.; Elsevier Ltd.: Amsterdam, The Netherlands, 2012; Volume 40, pp. 1–102.
10. Niklason, L.T.; Marx, M.V.; Chan, H.P. Interventional radiologists: Occupational radiation doses and risks. *Radiology* **1993**, *187*, 729–733. [CrossRef] [PubMed]
11. Tsapaki, V.; Ahmed, N.A.; Alsuwaidi, J.S.; Beganovic, A.; Benider, A.; Benomrane, L.; Borisova, R.; Economides, S.; El-Nachef, L.; Faj, D.; et al. Radiation Exposure to Patients During Interventional Procedures in 20 Countries: Initial IAEA Project Results. *Am. J. Roentgenol.* **2009**, *193*, 559–569. [CrossRef] [PubMed]
12. Vano, E.; Kleiman, N.J.; Duran, A.; Romano-Miller, M.; Rehani, M.M. Radiation-associated lens opacities in catheterization personnel: Results of a survey and direct assessments. *J. Vasc. Interv. Radiol.* **2013**, *24*, 197–204. [CrossRef] [PubMed]
13. International Atomic Energy Agency. *The Information System on Occupational Exposure in Medicine, Industry and Research (ISEMIR): Interventional Cardiology*; INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY: Vienna, Austria, 2014.
14. Brun, A.; Mor, R.A.; Bourrelly, M.; Dalivoust, G.; Gazazian, G.; Boufercha, R.; Lehucher-Michel, M.P.; Sari-Minodier, I. Radiation protection for surgeons and anesthetists: Practices and knowledge before and after training. *J. Radiol. Prot.* **2018**, *38*, 175–188. [CrossRef]
15. Altintas, E.; BahÁeci, T.; Batur, A.; Kaynar, M.; KiliÁ, O.; Akand, M.; Goktas, S.; Gul, M. A survey analysis of knowledge levels of urologists about radiation safety and fluoroscopy use. *Int. J. Clin. Pract.* **2020**, *75*, e13862. [CrossRef]
16. Efstathopoulos, E.P.; Pantos, I.; Andreou, M.; Gkatzis, A.; Carinou, E.; Koukorava, C.; Kelekis, N.L.; Brountzos, E. Occupational radiation doses to the extremities and the eyes in interventional radiology and cardiology procedures. *Br. J. Radiol.* **2011**, *84*, 70–77. [CrossRef]
17. Vanhavere, F.; Carinou, E.; Gualdrini, G.; Clairand, I.; Sans Merce, M.; Ginjaume, M.; Nikodemova, D.; Jankowski, J.; Bordy, J.; Rimpler, A. *ORAMED: Optimization of Radiation Protection of Medical Staff*; European Radiation Dosimetry e. V.: Braunschweig, Germany, 2012; Volume 2, p. 2012.
18. Lynskey, G.; Powell, D.; Dixon, R.; Silberzweig, J. Radiation Protection in Interventional Radiology: Survey Results of Attitudes and Use. *J. Vasc. Interv. Radiol.* **2013**, *24*, 1547–1551.e3. [CrossRef]
19. Okuyama, Y.; Okuyama, C.; Kawakami, T.; Nakatsugawa, Y.; Yamada, S.; Suzuki, T.; Tomatsuri, N.; Sato, H.; Yoshida, N. Evaluation of Radiation Doses to Medical Staffs During Endoscopic Retrograde CholangioPancreatography (ERCP) and Their Therapeutic Procedures and Decreasing Radiation Exposure to Staff by A Workshop. *Gastroenterol. Endosc.* **2016**, *58*, 991–998.
20. Iwai, K.; Kawabata, K.; Sagane, M.; Kuchii, N. Radiation exposure management by personal dosimeter (glass badge). *Med. J. Jpn. Red Cross Wakayama Med. Cent.* **2017**, *34*, 79–87.
21. World Health Organization. *WHO Guidelines for Safe Surgery 2009*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2009.
22. Porter, A.J.; Narimasu, J.Y.; Mulroy, M.F.; Koehler, R.P. Sustainable, Effective Implementation of a Surgical Preprocedural Checklist: An "Attestation" Format for All Operating Team Members. *Jt. Comm. J. Qual. Patient Saf.* **2014**, *40*, 3–9. [CrossRef] [PubMed]
23. Haynes, A.B.; Edmondson, L.; Lipsitz, S.R.; Molina, G.; Neville, B.A.; Singer, S.J.; Moonan, A.T.; Childers, A.K.; Foster, R.; Gibbons, L.R.; et al. Mortality Trends After a Voluntary Checklist-based Surgical Safety Collaborative. *Ann. Surg.* **2017**, *266*, 923–929. [CrossRef] [PubMed]
24. Martin, L.; Langell, J. Improving on-time surgical starts: The impact of implementing pre-OR timeouts and performance pay. *J. Surg. Res.* **2017**, *219*, 222–225. [CrossRef]
25. Pham, J.C.; Laupola, T.M.T.; Figueira, A.; Bala, J.; Chun, L. Perceived Value of the Daily Safety Briefing. *J. Healthc. Manag.* **2019**, *64*, 44–51. [CrossRef]

26. The Joint Commission Universal Protocol for Preventing Wrong Site, Wrong Procedure, Wrong Person Surgery. Available online: http://www.jointcommission.org/PatientSafety/UniversalProtocol/ (accessed on 14 February 2022).
27. Gottumukkala, R.; Street, M.; Fitzpatrick, M.; Tatineny, P.; Duncan, J.R. Improving Team Performance During the Preprocedure Time-Out in Pediatric Interventional Radiology. *Jt. Comm. J. Qual. Patient Saf.* **2012**, *38*, 387–394. [CrossRef]
28. Corso, R.; Vacirca, F.; Patelli, C.; Leni, D. Use of "Time-Out" checklist in interventional radiology procedures as a tool to enhance patient safety. *La Radiol. Med.* **2014**, *119*, 828–834. [CrossRef]
29. Aizer, A.; Qiu, J.; Cheng, A.; Wu, P.; Holmes, D.; Wagner, S.; Bernstein, S.; Park, D.; Cartolano, B.; Barbhaiya, C.; et al. Utilization of a Radiation Safety Time-Out Reduces Radiation Exposure During Electrophysiology Procedures. *JACC Clin. Electrophysiol.* **2019**, *5*, 626–634. [CrossRef]
30. Choi, B.H.; Yaya, K.; Prabhu, V.; Fefferman, N.; Mitchell, B.; Kuenzler, K.A.; Ginsburg, H.B.; Fisher, J.C.; Tomita, S. Simple preoperative radiation safety interventions significantly lower radiation doses during central venous line placement in children. *J. Pediatr. Surg.* **2019**, *54*, 170–173. [CrossRef]
31. Barakat, M.T.; Thosani, N.C.; Huang, R.J.; Choudhary, A.; Kochar, R.; Kothari, S.; Banerjee, S. Effects of a Brief Educational Program on Optimization of Fluoroscopy to Minimize Radiation Exposure During Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography. *Clin. Gastroenterol. Hepatol.* **2018**, *16*, 550–557. [CrossRef]
32. Boyum, J.H.; Rosier, A.S.; Tibor, L.C.; Turner, M.A.; Hess, A.R.; Kurup, A.N. Improving Universal Protocol Performance in Radiology through Implementation of a Standardized Time-out. *RadioGraphics* **2020**, *40*, 1182–1187. [CrossRef] [PubMed]
33. International Commission on Radiological Protection. *Ethical Foundations of the System of Radiological Protection*; ICRP Publication 138. Ann.; SAGE Publications Ltd.: Thousand Oaks, CA, USA, 2018; Volume 47, pp. 1–65.
34. Vimercati, L.; De Maria, L.; Mansi, F.; Caputi, A.; Ferri, G.; Luisi, V.; Lovreglio, P.; Cannone, E.; Lorusso, P.; Gatti, M.; et al. Prevalence of Thyroid Diseases in an Occupationally Radiation Exposed Group: A Cross-Sectional Study in a University Hospital of Southern Italy. *Endocr. Metab. Immune Disord. Drug Targets* **2019**, *19*, 803–808. [CrossRef] [PubMed]
35. Cioffi, D.; Fontana, L.; Leso, V.; Dolce, P.; Vitale, R.; Vetrani, I.; Galdi, A.; Iavicoli, I. Low dose ionizing radiation exposure and risk of thyroid functional alterations in healthcare workers. *Eur. J. Radiol.* **2020**, *132*, 109279. [CrossRef] [PubMed]
36. Chida, K.; Kaga, Y.; Haga, Y.; Kataoka, N.; Kumasaka, E.; Meguro, T.; Zuguchi, M. Occupational Dose in Interventional Radiology Procedures. *AJR Am. J. Roentgenol.* **2013**, *200*, 138–141. [CrossRef]

令和 4 年度(2022 年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究

【頭部から発生する後方散乱線が水晶体被ばくに及ぼす影響】

研究分担者　千田 浩一（東北大学・災害科学国際研究所/大学院医学系研究科・教授）

研究要旨

当研究は、IVR 医の水晶体被ばくについて、自身の頭部から発生する後方散乱線の影響を評価したものである。

本研究では、発泡スチロールと人体等価ファントムの左眼位置に蛍光ガラス線量計を装着して実験を行った。また、0.07mm 鉛当量の防護眼鏡を使用して、後方散乱線が防護眼鏡の放射線防護効果に与える影響についても検討した。

その結果、頭部から発生する後方散乱線が水晶体線量に与える影響は小さくなく、その影響は管電圧の増大に伴い大きくなった。また、発泡スチロールを使用して防護眼鏡の性能評価を行った場合、放射線防護効果を過大評価してしまった。防護眼鏡の放射線防護効果をファントム実験によって評価する際は、後方散乱線の影響を考慮するために人体等価ファントムを使用するべきである。

本研究の結果から、IVR 医が自身の頭部を防護することにより後方散乱線の発生量を低減でき、それが水晶体被ばくの低減につながる可能性が示唆された。また、防護具の性能評価をする際には後方散乱線の影響を考慮することが推奨される。しかしながら、限られたX線条件でのファントム実験であるため、実際に IVR 医が日常の手技で被ばくする後方散乱線量とは異なる可能性がある。また、本研究ではファントムの正面方向からX線を照射したが、これも実際とは異なる。そのため、今後照射方向やX線条件を変えた検討を行う必要がある。

A. 研究目的

眼の水晶体の等価線量限度が大幅に引き下げられたことで、医療分野には様々な課題が生じている。中でも IVR は手技の高度化や手技数の増加によって被ばく線量が高くなっているため、IVR に従事する医師の正確な線量管理と放射線防護が重要となっている。

IVR 医師の水晶体被ばくは患者から発生する散乱線によるものが主であるが、医師の頭部からの後方散乱線による被ばくも寄与している。患者からの散乱線による被ばくを検討したものは多いが、後方散乱線が水晶体被ばくに与える影響について検討したものはない。

また、水晶体専用線量計について、現在よく用いられているものには眼の近傍の皮膚に装着するものと防護眼鏡のレンズ裏側に装着するものがある。ある報告では防護眼鏡のレンズ裏側に装着する線量計では水晶体線量を過小評価してしまうと述べられていたものの、モンテカルロシミュレーションによるものであり、ファントム実験や臨床研究ではない。

本研究では、ファントム実験によって、医師の頭部から発生する後方散乱線が眼の水晶体の線量に与える影響を定量的に評価した。また、後方散乱線が防護眼鏡の放射線防護効果に与える影響についても評価した。

B. 研究方法

すべての実験でデジタル X 線システム（DHF-155HⅡ、日立）を使用した。管電圧は 50kV、65kV、80kV、管電流は 1mA、透視時間は 60 秒とした。実験では発泡スチロールと人体等価ファントムの 2 種類のファントムを使用した。なお、発泡スチロールは頭部からの後方散乱線を無視できるもの、人体等価ファントムは無視できないものとして考慮した。ファントムの全体を照射できるように、照射野は 40cm×40cm に設定した。ファントムの左眼表面に蛍光ガラス線量計（GD-352M、千代田テクノル）を装着し、X線管－ガラス線量計間距離を 222cm、ガラス線量計－鉛壁間距離を 25cm とした【図 1】。

図 1　実験配置図

後方散乱線が水晶体線量に及ぼす影響

後方散乱線が水晶体線量に与える影響を定量的に評価した。

各ファントムにて、蛍光ガラス線量計を 1 個ファントムの左眼位置に装着した【図 2-A】。管電圧を 50kV から 80kV まで変化させ、その影響も検討した。後方散乱線含有率を以下の式によって算出した。

$$後方散乱線含有率[\%] = \frac{線量_{人体等価ファントム}[\mu Gy] - 線量_{発泡スチロール}[\mu Gy]}{線量線量_{人体等価ファントム}[\mu Gy]} \times 100$$

後方散乱線が防護眼鏡の放射線防護効果に及ぼす影響

0.07mm 鉛当量の防護眼鏡（HF-380、東レ・メディカル）を使用して、後方散乱線が防護眼鏡の放射線防護効果に与える影響を評価した。管電圧は 65kV とした。3 個の蛍光ガラス線量計を、ファントムの左眼、防護眼鏡のレンズの表側/裏側に装着した【図 2-B】。そして、防護眼鏡のレンズ裏側で測定したＸ線遮蔽率、ファ

ントムの左眼で測定した X 線遮蔽率を以下の式によって算出した。

$$X線遮蔽率_{レンズ裏側}[\%] = \frac{線量_{レンズ表側}[\mu Gy] - 線量_{レンズ裏側}[\mu Gy]}{線量線量_{レンズ表側}[\mu Gy]} \times 100$$

$$X線遮蔽率_{左眼}[\%] = \frac{線量_{レンズ表側}[\mu Gy] - 線量_{左眼}[\mu Gy]}{線量線量_{レンズ表側}[\mu Gy]} \times 100$$

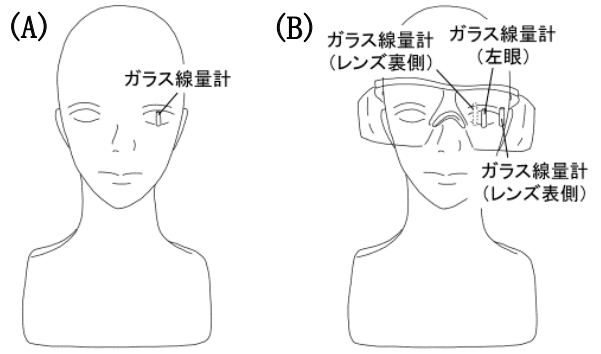


図 2　ガラス線量計の装着位置

すべての実験は 4 回繰り返し行い、平均値±標準偏差を算出した。統計解析には JMP Pro 16.0(SAS Institute)を使用した。2 群間の比較にはウィルコクソン順位和検定を使用し、p 値が 0.05 未満であった場合に有意差があると判断した。

C. 研究結果

後方散乱線が水晶体線量に及ぼす影響

すべての管電圧において、人体等価ファントムでの線量が発泡スチロールでの線量より有意に高かった。各ファントムでの線量より後方散乱線含有率を算出した結果、水晶体線量の約 20%が後方散乱線によるものであると分かった。また、後方散乱線含有率は、管電圧の増大に伴って増加した。

後方散乱線が防護眼鏡の放射線防護効果に及ぼす影響

発泡スチロールでの X 線遮蔽率は人体等価ファントムのものよりも有意に高かった。蛍光ガラス線量計を防護眼鏡のレンズ裏側に装着した場合は、発泡スチロールでの X 線遮蔽率が人体等価ファントムよりも約 10%高かった。いっぽう、蛍光ガラス線量計をファントム左眼に装着した場合の X 線遮蔽率は、発泡スチロールが人体等価ファントムより約 20%高かった。また、防護眼鏡のレンズ裏側での X 線遮蔽率は左眼よりも高かった。そして、発泡スチロールでは、人体等価ファントムよりも測定位置による X 線遮蔽率の差が小さかった。

D. 考察

水晶体の等価線量限度が大幅に引き下げられた今日において、防護眼鏡の着用の有無に関わらず、水晶体被ばく線量を正確に把握することは大変重要である。

水晶体被ばく線量のうち約 20%が頭部から発生する後方散乱線によるものであり、その割合は管電圧の増大に伴い増加した。このことから、IVR 医が自身の頭部を防護することにより後方散乱線の発生量を低減でき、それが水晶体被ばくの低減につながる可能性が示唆された。

また、もし後方散乱線を考慮しなかった場合、防護眼鏡の放射線防護効果を過大評価してしまうことが分かった。ファントム実験により X 線遮蔽率を評価する際は、人体等価ファントムを使用して線量計を眼の近傍に装着することにより、頭部から発生する後方散乱線を考慮する必要がある。

本研究では限られたX線条件・照射方向が正面のみでのファントム実験であるため、実際にIVR医が日常の手技で被ばくする後方散乱線量とは異なる可能性がある。そのため、今後さらに照射方向やX線条件を変えた検討を行う必要がある。

E. 結論

本研究では、頭部から発生する後方散乱線が水晶体被ばくに与える影響について検討した。

水晶体被ばく線量における後方散乱線含有率は約 20%であり、含有率は管電圧の増大に伴い増加する。また、防護眼鏡の放射線防護効果を評価する際は、後方散乱線の影響を考慮するために、人体等価ファントムを使用したうえで線量計を眼の近傍に装着するべきである。発泡スチロールを使用した場合、放射線防護効果を過大評価してしまう可能性がある。

F. 論文報告

該当なし

G. 研究発表

該当なし

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

令和 4 年度(2022 年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究

放射線診療従事者向け放射線防護教育コンテンツの開発

研究分担者　藤淵 俊王（九州大学/大学院医学研究院保健学部門医用量子線科学分野・教授）

研究要旨

令和 4 年度(2022 年度)は、これまでに作成した仮想現実（VR:virtual reality）放射線防護教材を保健学科看護学専攻 2 年生に使用してもらい、教材の学習効果と有効性について評価した。

Web ブラウザ上で動作する WebVR を利用した放射線防護演習の前後で、外部放射線防護の原則に関する演習問題を実施したところ、演習前の正答率 45%に対し、演習後は 85%に向上した。教材使用者の授業に対するモチベーションへの影響を評価するために ARCS モデルを利用したアンケート 36 問で評価した結果、最大値5の全ての項目において平均値が 4 以上の高評価となった。

教材を使用した自由記載の感想として、「理解」「放射線」「距離」という単語が多く使用されていた。これらの結果から、VR システムの利用が教育内容の理解に重要な役割を果たしたと考えられる。そして、「感じる」「見る」という言葉も含まれていることから、WebXR システムは放射線の初学者にとって直感的・視覚的に理解しやすいツールと考えられる。

A. 研究目的

放射線診療従事者は、水晶体の被ばくによる白内障など被ばくによる健康影響のリスクがある。そのため、適切な放射線防護方法を理解し、被ばく低減のために十分な対策を講じることが重要である。また自身の被ばくだけではなく、放射線診療に携わる他の医療スタッフや介助者に対しても同様に、被ばく低減のために説明や放射線防護策を行う必要がある。

本分担研究において、これまでVRを利用した放射線防護教材を開発し、保健学科放射線技術科学専攻の学生が放射線防護演習で使用することでその教育効果を検証してきた。今年度は異なる職種での教育効果を明らかにするため、保健学科看護学専攻の学生に開発した教材を使用していただき、VR放射線防護教材の有効性について検証した。

B. 方法

B-1 看護学専攻の学生への教育効果の検証

使用者による教材の効果の違いを調べるために、放射線技術科学専攻の学生に比べて放射線に関する知識が少なく、将来放射線業務に関わる看護学生を対象に授業を行った。弘前大学医学部保健学科看護学専攻の学部2年生34名を対象として、作成したWeb教材を用いた放射線防護の授業を行った。使用した可視化システムおよびアンケートの内容は同じである。ただし演習問題は、表2に示した問1から問8までの計8問で行った。流れは、まず授業の1か月前にWebVRを用いずに演習問題を解いてもらい集計した。その1か月後に放射線技術科学専攻の学生と同様の流れで授業を行った。演習問題は1か月前と同じ問題を解いてもらい集計した。看護学専攻の学生の追加演習では、放射線防護具の体験は行わず、ARアプリによる散乱線の広がりの観察のみを行った。そのため放射線技術科学専攻の学生よりも長い時間ARアプリを使用していた。また、ARアプリを使用できるタブレット端末が複数台あったため、3〜5人のグループごとで使用、観察してもらった。

WebXRの使用前後での正答率の違いや、放射線技術科学専攻の学生の結果と比較してどのような違いがあるのかを調べた。比較の際は放射線技術科学専攻の学生の結果は、WebARまたはWebVRを使用した結果をひとまとめにして用いた。ただし、放射線技術科学専攻と看護学専攻の学生で使用した演習問題の数が異なっていたため、演習問題の正答数の比較の際は各生徒の点数を正答率に変換してからU検定を用いた。

B-2 ARCSモデルによる教材の評価

教材使用者の授業に対するモチベーションへの影響を評価するためにアンケートを作成した。アンケートは、ARCSモデルを基に作成した。ARCSモデルは、学習意欲を「Attention：A」「Relevance：R」「Confidence：C」「Satisfaction：S」の4つの要因でとらえ、授業や教材における学習者の学習意欲の分析や、学習意欲を高めるために提案されたモデルである。アンケートの質問項目はAttentionが12問、Relevanceが9問、Confidenceが9問、Satisfactionが6問の計36問である。質問項目の内容の詳

細は結果に示す。アンケートは各項目 5 段階（1 が最小、5 が最高）で回答してもらい、A、R、C、S の各項目の平均値を求めて評価した。

C. 結果

C-1 演習問題の正答率

看護学専攻計 34 名の学生に対する合計 8 問の演習問題の正答数を最高 8 点として評価した。WebVR を使用前の看護学生に行った演習問題の正答数の平均点は 3.6 点で、正答率は 45%であった。WebVR を用いた観察の後での演習問題の正答数の平均点は 6.8 点で、正答率は 85%であった。WebVR 使用前後の正答数に対して Wilcoxon 符号順位和検定を用いた結果、P 値は 4.89E-7 となり、有意水準の 0.05 より小さい値となったため帰無仮説は棄却された。したがって WebVR の使用前後の演習問題の正答率に有意差があった。また検定結果の検出力は 100%であった。

放射線技術科学専攻の学生の WebAR または WebVR を使用した計 35 名の演習問題の正答率は 98%であった。看護学専攻と放射線技術科学専攻の学生の正答率に対して U 検定を用いた結果、P 値は 1.52E-10 となり有意水準より大きい値であるため帰無仮説は棄却された。したがって看護学専攻と放射線技術科学専攻の学生の正答率には有意差があった。また検定結果の検出力は 100%であった。

C-2 ARCS モデルの評価

看護学専攻の学生の ARCS モデルの評価結果を表 1 に示す。最大値 5 の全ての項目において平均値が 4 以上となった。最も高い評価を得た項目は Confidence の項目であった。各項目に関して U 検定を行った結果、P 値は A の項目で 0.933、R の項目で 0.381、C の項目で 0.797、S の項目で 0.815 となった。全ての項目で有意水準の 0.05 より大きい値となり、看護学専攻と放射線技術科学専攻の学生の 4 つの項目に関しては有意差が見られなかった。また看護学専攻の授業の ARCS モデルの結果内で A、R、C、S 同士で U 検定を用いて比較した結果も P 値は有意水準の 0.05 より大きな値となり有意差は見られなかった。

看護学専攻と放射線技術科学専攻の学生のアンケート全 36 問の各質問の評価結果に関して U 検定を用いて比較した結果、P 値が有意水準の 0.05 より小さな値となり有意差が見られた質問が 4 つあった。その質問項目を表 2 に示す。1 つ目は肯定的な質問で「この教育コンテンツを最初に見た時、扱いやすい印象を受けた。」であり、P 値は 0.039 であった。2 つ目は否定的な質問で「この教育コンテンツは、考えていたよりも理解しづらかった。」であり、P 値は 6.27E-3 であった。3 つ目は肯定的な質問で「この教育コンテンツが誰にとって重要かを示す説明や事例があった。」であり、P 値は 0.0286 であった。4 つ目は否定的な質問で「既に教育コンテンツの大部分の内容を知っていたため、私のニーズに関係なかった。」であり、P 値は 0.023 であった。

表 1 ： ARCS モデルの評価の結果

	平均値 看護学専攻	放射線技術科学専攻	P 値
A：Attention	4.25 ± 0.25	4.23 ± 0.31	0.933
R：Relevance	4.35 ± 0.24	4.25 ± 0.30	0.381
C：Confidence	4.39 ± 0.20	4.40 ± 0.26	0.797
S：Satisfaction	4.19 ± 0.28	4.21 ± 0.28	0.815

表 2：看護学専攻と放射線技術科学専攻の学生の評価で差が見られた質問項目

アンケートの質問内容	平均値 看護学専攻	放射線技術科学専攻
1. この教育コンテンツを最初に見た時、扱いやすい印象を受けた。	4.28	3.91
3. この教育コンテンツは、考えていたよりも理解しづらかった。	4.08	4.54
9. この教育コンテンツが誰にとって重要かを示す説明や事例があった。	4.54	4.11
26. 既に教育コンテンツの大部分の内容を知っていたため、私のニーズに関係なかった。	4.33	3.89

C-3 テキストマイニングの結果

看護学専攻と放射線技術科学専攻の学生の授業で使用した WebXR システムに対する感想および授業全体に対する感想に含まれていた頻出語を表 3,4 に示す。ここでは、出現回数が多かった単語の上位 10 個を頻出語として示す。ただし、出現回数が同じものが多数あったため、表 3、4 に示す単語数は 10 個より多くなっている。

まず看護学専攻の学生の感想において、WebXR システムと授業全体に対する感想で共通して、「理解」「放射線」「距離」という単語が多く使用されていた。それらの単語の前後を確認すると、全て肯定的な意味で使われていた。次に、放射線技術科学専攻の学生の結果と比較すると、全体的に単語の出現回数が多くなっている。特に「理解」の単語の出現回数に関して、看護学専攻の WebXR システムと授業全体の感想の両方で、放射線技術科学専攻の結果の約 2 倍の出現回数となっていた。

表 3：WebXR に対する感想内の頻出語および出現回数（() 内の数字は回数）

看護学専攻 34 名、WebXR	放射線技術科学専攻 35 名、WebXR
理解（25）	理解（11）

放射線（24）	散乱（9）
距離（14）	使用（9）
感じる（12）	感じる（8）
見る（11）	見る（8）
実際（10）	実際（7）
線量（10）	広がり（6）
実際（10）	新しい（5）
患者（9）	AR（4）
思う（9）	確認（4）
	起動（4）
	思う（4）

表 4：WebXR を用いた授業に対する感想内の頻出語および出現回数（() 内の数字は回数）

看護学専攻 34 名、授業	放射線技術科学専攻 35 名、授業
理解（35）	理解（17）
放射線（29）	放射線（9）
演習（15）	防護（9）
説明（19）	散乱（6）
距離（9）	AR（4）
学ぶ（7）	視覚（4）
線量（7）	深まる（4）
防護（7）	内容（4）
可視（6）	確認（3）
感じる（6）	感じる（3）
講義（6）	使う（3）
今回（6）	実際（3）
思う（6）	初めて（3）
時間（6）	頭（3）
実際（6）	入る（3）

そして、WebXR および WebXR を用いた授業に対する感想に対してクラスター解析を行い、抽出した単語の関係を図 1、2 にまとめた。図 1 において、看護学専攻の学生は「放射線」「患者」「距離」「理解」がより強い関係がある。一方で放射線技術科学専攻の学生は「散乱」「広がり」「理解」「見る」がより強い関係がある。図 2 において、看護学専攻と放射線技術科学専攻の学生の両方で、「放射線」「防護」「理解」の関係性が強かった。

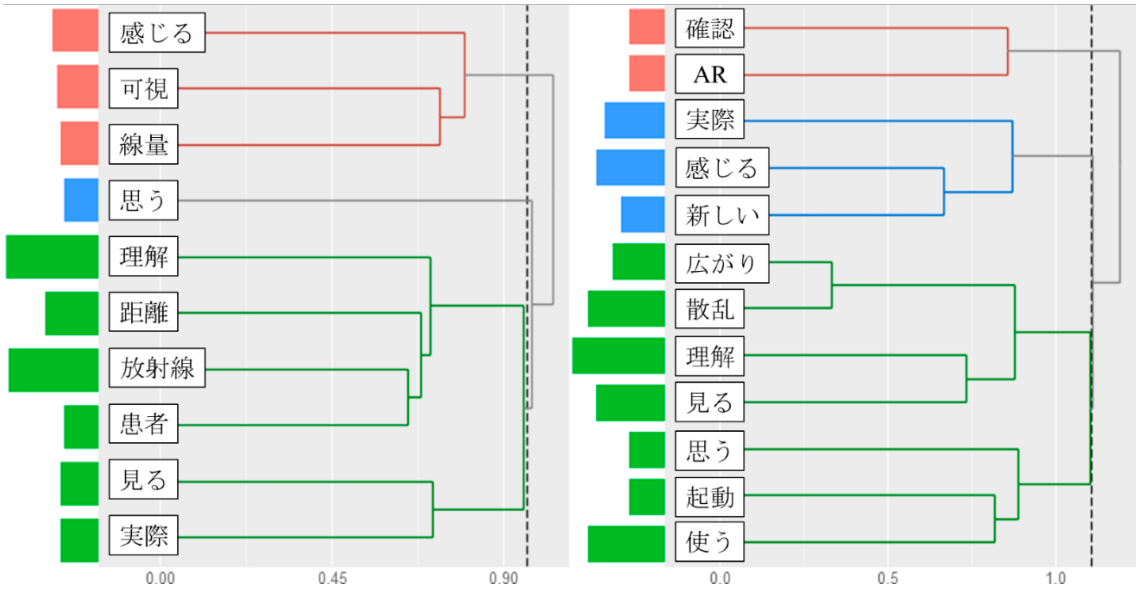


図 1：WebXR に対する感想内の頻出語の関係
（左：看護学専攻、右：放射線技術科学専攻）

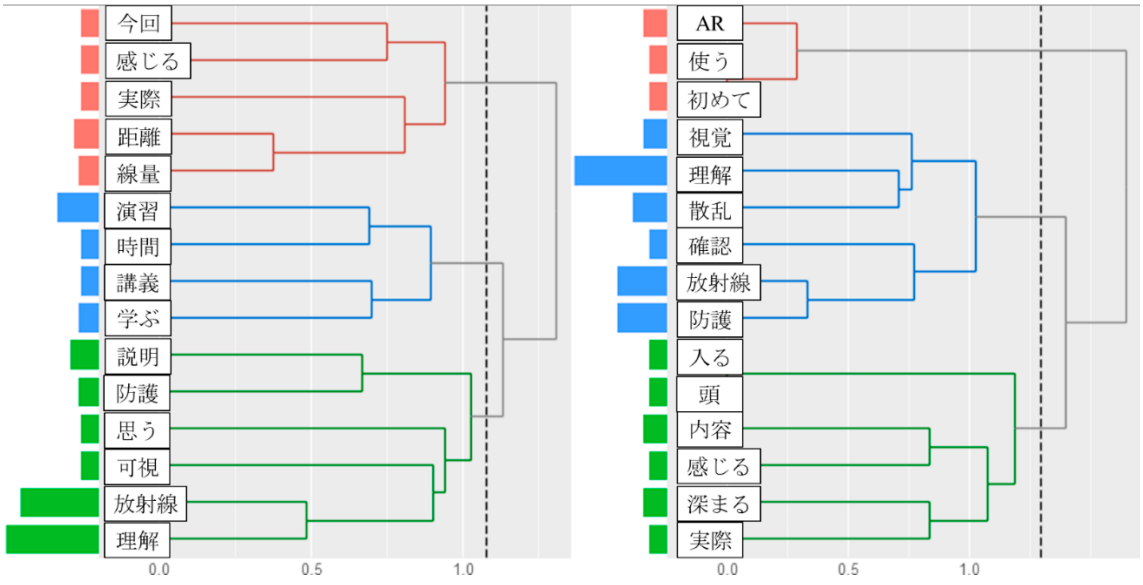


図 2：WebXR を使用した授業に対する感想内の頻出語の関係
（左：看護学専攻、右：放射線技術科学専攻）

C-4 要望コメント

放射線技術科学専攻および看護学専攻の学生のすべての感想の中に、いくつか要望コメントがあった。大きく分けて 2 つあった。1 つ目は、WebXR システムの起動時間に関してであった。起動時間をもっと早くしてほしい、起動までに時間がかかった等である。2 つ目は、WebXR の機能に関してである。他の検査、他の撮影部位、照射条件

での散乱線の広がりを観察したいというものであった。

D. 考察

D-1 演習問題の正答率

看護学専攻の学生において WebVR を使用することで、使用前より演習問題の正答率が有意に向上していた。また、今回 WebVR の使用前の演習問題の正答率が 45%と低いことから、放射線防護の知識が比較的少ない使用者であった。そのことから WebVR を用いることで、放射線防護に関する知識が比較的少ない使用者に対して、放射線防護に関する理解が向上すると考えられる。

また、放射線技術科学専攻の学生の正答率に比べて看護学専攻の学生の正答率が有意に低かった。これは演習問題の内容が、放射線技術科学専攻の学生と看護学専攻の学生の今までの講義や元々の放射線防護の知識が異なることが原因であると考えられる。そのため演習問題の内容は、使用者の放射線防護に対する習熟度、使用目的によって調整すべきであると考える。

D-2 ARCS モデルの評価

ARCS モデルの評価は、すべての項目で平均点が 4 以上と高く、WebVR を用いた放射線防護教材が授業への関心や意欲を高めたことがわかった。同様に放射線技術科学専攻の学生でも評価が高かったことから使用者の習熟度によらず、WebXR は使用者の放射線防護教育への関心や意欲を高めると考えられる。

放射線技術科学専攻と看護学専攻の学生の ARCS モデルの評価で有意に差があった質問項目が 4 つあった。まず「この教育コンテンツを最初に見た時、扱いやすい印象を受けた。」と「この教育コンテンツが誰にとって重要かを示す説明や事例があった。」という 2 つの質問が看護学生の方が高い評価を得ていた。今回放射線技術科学専攻の学生に対して授業を行った人と看護学専攻の学生に授業を行った人は異なっていたため、WebXR を使った観察以外の授業内容が多少異なっていた。そのため以上の 2 つの質問の評価の差は、授業中の放射線防護に関する説明や WebXR の紹介の違いにより生じた差だと考えられる。

次に「この教育コンテンツは、考えていたよりも理解しづらかった。」と看護学専攻の学生がより感じていて、「既に教育コンテンツの大部分の内容を知っていたため、私のニーズに関係なかった。」と放射線技術科学専攻の学生がより感じていた。これは演習問題の内容や WebXR システムにより観察できる内容が、放射線技術科学専攻の学生にとって既知の内容で簡単であったため、このような評価になったと考えられる。そのため、WebXR システムの観察内容や、演習の難易度の調整が重要であると考えられる。看護学専攻の学生が、考えていたよりも理解しづらい内容であったが、ニーズには関係していたことから単に難易度を下げるのではなく、使用者の習熟度や授業の目的に合わせた内容の調整が大切であると考える。また、看護学専攻の学生が WebXR に対して考えていたよりも理解しづらかったと感じたのは、PC 等の電子機器を講義で扱ってい

る放射線技術科学専攻の学生に比べて、看護学専攻の学生が操作に不慣れであったため、理解しづらかった可能性が考えられる。

D-3 テキストマイニングの結果

まず頻出語に関して、看護学専攻の学生の感想において「理解」「放射線」「距離」という単語が多く使われていた。「理解」という単語から WebVR を用いたことで、放射線に対する理解に対して影響があったと考えられる。「距離」という単語は放射線技術科学専攻の学生の感想には無かった。これは看護学専攻の学生の講義で、実物大での散乱線の可視化アプリケーションを用いた時間が放射線技術科学専攻の学生よりも長く、より印象を与えたためと考えられる。

放射線技術科学専攻の学生と頻出語の比較を行うと、共に「理解」という単語が多く使われていた。このことから使用者の放射線防護に対する習熟度に関わらず、WebXR システムを用いることで教育内容の理解を向上させることができると考えられる。また、全ての頻出語において放射線技術科学専攻の学生よりも看護学専攻の学生の単語の出現数が約二倍になった。特に「理解」という単語が WebXR システム、授業に対する感想の両方で看護学専攻の学生が多く記述していた。これより看護学専攻の学生の方がより授業の内容に対する理解の向上を感じていたためと考えられる。したがって、今回作成した WebXR システムを用いた放射線防護教育教材は、放射線防護に関する知識が少ない人ほど理解の向上度合を感じやすいものであると考えられる。

次に看護学専攻に対するクラスター解析の結果で、WebXR システムに対する感想では看護学専攻の学生は「理解」の単語に「距離」「患者」という単語が強い関係を持っていた。理由として看護学専攻の学生にとって患者さんを検査の際にサポートする際の距離ということに対する関心が放射線技術科学専攻の学生よりも高かったためと考えられる。今回は同じ WebXR システムを用いたが、使用者のニーズに合わせた観察ができる WebXR システムを用意することが大切であると考えられる。授業に対する感想では、看護学専攻と放射線技術科学専攻の学生の両方で「放射線」「防護」「理解」の単語の関係が強かった。そのため、WebXR システムを用いた授業が使用者に対して放射線防護の理解を促していたと考えられる。したがって、WebXR システムを用いた授業は放射線防護教育の理解を向上させることができると考えられる。

E. 結語

仮想現実（VR：virtual reality）放射線防護教材を看護学専攻 2 年生に使用してもらい教材内容の学習効果と有効性について評価した結果、正答率が優位に上昇した。教材使用者の授業に対するモチベーションへの影響を評価するために ARCS モデルを利用したアンケート 36 問で評価した結果、最大値 5 の全ての項目において平均値が 4 以上の高評価となった。

教材を使用した自由記載の感想として、「理解」「放射線」「距離」という単語が多く使用されていた。これらの結果から、VR システムの利用が教育内容の理解に重要な役割

を果たしたと考えられる。そして、「感じる」「見る」という言葉も含まれていることから、WebXR システムは放射線の初学者にとって直感的・視覚的に理解しやすいツールとといえる。

F. 論文報告

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的所有権の取得状況

なし

令和 4 年度(2022 年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究

国内外の開発上の技術的課題等の情報についての調査・収集

研究分担者　赤羽　恵一（量子科学技術研究開発機構・人材育成センター・研究統括）

研究要旨

令和 4 年度(2022 年度)は、昨年度に引き続き、国内外における眼の水晶体の防護および科学的知見等に関する情報を収集した。具体的には、次の通りである。

・国内学会等

◯第 78 回日本放射線技術学会総会学術大会

◯第 124 回日本医学物理学会学術大会

◯第 50 回日本放射線技術学会秋季学術大会

◯第 4 回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会

・国際学会等

◯UNSCEAR 2020/2021 Report

◯International Conference on Occupational Radiation Protection（IAEA）

◯Regulatory Implementation of the Equivalent Dose Limit for the Lens of the Eye for Occupational Exposure (OECD/NEA)

上記の眼の水晶体関連研究情報を得た。

・文献調査

眼の水晶体の放射線防護に関する文献を調査した。

A. 研究目的

国際機関及び世界各国における状況を調査する。具体的には、規制内容・被ばく線量測定機器・測定方法・校正方法・被ばくの実態・防護手法等について、情報を得る。

国内外の学会等に参加して、放射線防護機材の技術的課題等の情報について調査収集する。

B. 研究方法

インターネット上に公開された、関連団体等のガイドライン等の情報を収集した。また、PubMed 等により文献を検索した。更に、ウェブでも開催された国内外の国際学会に参加し、発表内容の情報を得た。

C. 研究結果

C-1. 国内学会等

国内の関連学会の学術大会において、眼の水晶体防護に関する発表は、次の通りである。

C-1-1. 第 78 回日本放射線技術学会総会学術大会(2022 年 4 月 14 日～17 日:横浜)

◯防護(血管造影・IVR)線量管理

・ 東海地区における水晶体の等価線量限度引き下げに伴う対応に関するアンケート調査
・ 穿刺部位と治療部位の違いにおける EVT 術者の眼の水晶体被ばくに関する検討

◯測(CT・単純 X 線)線量評価・管理・技術

・ X 線 CT における眼部表層より水晶体深度に至る線量変化:モンテカルロシミュレーションによる検討

◯計測(透視・血管造影・IVR)線量評価・管理

・ X 線 TV 用 X 線管プロテクタのひび割れ位置が術者の水晶体被ばく線量に及ぼす影響

◯撮影(CT)頭部

・ 頭部 CT における方向性管電流変調技術を用いた新しい水晶体被ばくの低減法

◯放射線治療 被ばく線量

・ kV-CBCT における照射野サイズが水晶体被ばく線量に及ぼす影響の評価

◯宿題報告 1

・ 放射線診療従事者の被ばく低減

◯JSRT 関係法令委員会・JSMP 防護委員会合同フォーラム 不均等被ばく管理への現場での実態と対策

・ 不均等被ばくの管理に関する現場対応の実態

◯JSRT 関係法令委員会・JSMP 防護委員会合同フォーラム 不均等被ばく管理への現場での実態と対策

・ 労災疾病事業の成果

◯AI 1

・ 頭部単純 CT 撮影における物体検出技術を 用いた多段面再構成画像の自動生成

◯防護(血管造影・IVR)線量管理

・ 東海地区における水晶体の等価線量限度引 き下げに伴う対応に関するアンケート調査

◯防護(マルチモダリティ)防護具

・ 放射線防護メガネのレンズ形状及び鉛当量依存性の検証

◯防護(CT)線量管理

・ CT 検査における介助者の被ばく低減を目的 とした鉛含有アクリル防護板の有用性

◯防護(マルチモダリティ)その他

・ Web ブラウザ上での血管造影検査室内の 3 次元散乱線分布表示法の検討
・ 深度カメラを利用した術者位置モニタ

リングによる X 線透視時の被ばく警告システムの開発

◯計測(CT・単純 X 線)線量評価・管理・技術

・ X 線 CT における眼部表層より水晶体深度に 至る線量変化:モンテカルロシミュレーションによる検討

◯計測(透視・血管造影・IVR)線量評価・管理

・ TOP-224. X 線 TV 用 X 線管プロテクタのひび割れ位置が術者の水晶体被ばく線量に及ぼす影響

◯計測(透視・血管造影・IVR)線量評価・管理

・ 散乱体の形状とサイズが散乱線分布に及ぼ す影響

◯撮影(CT)頭部

・ 頭部 CT における方向性管電流変調技術を 用いた新しい水晶体被ばくの低減法

◯放射線治療 被ばく線量

・ kV-CBCT における照射野サイズが水晶体 被ばく線量に及ぼす影響の評価

C-1-2. 第 124 回日本医学物理学会学術大会(2022 年 9 月 15 日～17 日:長崎)

◯学際交流委員会企画

・ 3 次元ゲル線量計の臨床応用とその秘めたる力

◯発表

・ トモセラピーを用いた術後ケロイド瘢痕における正常組織への被ばくを最小限に抑えた照射法:ファントムスタディ
・ 乳房温存手術後の放射線療法における美容結果評価の評価者間の信頼性と変動性
・ 頭頸部 CT 画像の多断面平均法を用いた深層学習による臓器分割の精度向上

C-1-3. 第 50 回日本放射線技術学会秋季学術大会(2022 年 10 月 7 日～9 日:東京)

◯発表

・ 研究班報告：小児 CT 検査が水晶体被ばくに与える影響について(実測データとモンテカルロシミュレーションとの比較)
・ 眼の水晶体被ばくにおける放射線防護メガネ着用時の散乱線の寄与及び水晶体位置における線質評価
・ 0.07㎜ 鉛当量防護眼鏡のタイプによる X 線遮蔽率の比較
・ オーバーグラスタイプ防護眼鏡の放射線防護効果に関する基礎的検討
・ 水晶体被ばく低減における放射線防護メガネの不可欠要素に関する検討
・ バイプレーン型血管撮影装置使用時の IVR 術者におけるリアルタイム水晶体線量測定
・ 心臓・血管系 IVR 看護師の長期間測定による水晶体被ばく線量評価に関する検討

C-1-4. 第 4 回日本保健物理学会・日本放射線安全管理学会合同大会(2022 年 11 月 24 日～26 日:福岡)

◯招待講演

・ 大学病院における放射線管理について

◯発表

・ 心臓 IVR 術者における水晶体等価線量のリアルタイム測定に関する基礎的検討
・ 工業用エックス線厚さ計の点検作業で想定される作業姿勢や装置構造体環境を再現させたエックス線被ばく事故での線量評価
・ 医療における放射線防護教育のための放射線モニタリングリファレンスの作

成

- 医療従事者の眼の水晶体線量の推移と被ばく低減について
- 循環器科 IVR に従事する看護師の水晶体被ばく線量評価及び 放射線防護の知識向上に関する研究
- 水晶体被曝線量計測と防護を併せ持つメガネ型ウェラアラブル線量計の試作
- 水晶体用線量計 DOSIRIS の改良型ヘッドセットに関する初期検討
- ICRR2007 年勧告取入れに伴う被ばく線量評価に係る規制基準値の更新へ向けた調査
- 医療従事者の眼の水晶体の被ばくの実態
- 患者固定具使用時の固定精度と水晶体被ばくへの影響

C-2. 国際機関・学会等

C-2-1. 原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）

◯UNSCEAR 2020/2021 Report

UNSCEAR 2020/2021 Report が 2022 に公開された。UNSCEAR 2020/2021 Report Volume IV Annex D - Evaluation of occupational exposure to ionizing radiation に、眼の水晶体に関する記述がある。

A. 分析の範囲と目的

9. 職業被ばくのこの評価の主な範囲と目的は、委員会の以前の評価と同様に、次のとおりである:

- 電離放射線の使用を伴う主要な作業部門とサブ部門のそれぞれについて、労働者の平均年間実効線量（平均線量と労働力内の線量分布の両方）を評価
- 電離放射線の使用を伴う主要な作業部門とサブ部門のそれぞれについて、労働者の年間平均集団実効線量を評価
- 自然放射線源および人為的放射線源への被ばくを含むさまざまな分野の職業被ばくの世界レベルを推定
- 規制基準または要件の変更の影響を評価するために、職業被ばくの一時的な傾向を特定および分析
- 放射線源を適用する新しい技術の実装により、より高い線量を受ける可能性のある新しい作業員グループを特定
- 眼の水晶体への被ばくレベルに対処
- 研究の必要性と職業被ばくの将来の分析への影響を特定

- 眼と手の水晶体への等価線量は、IVR を行う従事者について評価される。
- 眼の水晶体に関するデータを提供したのは 1 つの国だけであった。
- 平均年間等価線量は 7 mSv であった。
- 四肢（手の皮膚）の等価線量が 0.7 から 37 mSv のデータを 4 カ国が提供した。
- それぞれのデータは、電子添付ファイルの表 A.15 に示されている。
- 利用可能な文献データは、調査の価値を裏付けている。
- ポーランドでの調査では、手と眼の水晶体への等価線量の 3 か月間の評価で、これらの 87% が 0.1 mSv より低く、記録された線量の 0.03% だけが年間線量限度より高かったことが示された。
- 500mSv の 同じ研究は、記録された眼の水晶体への等価線量の 32% のみが 0.1 mSv より低く、線量の約 5% が 5 mSv より高かったことを示した。 眼の水晶体への影響は 20 mSv を超える可能性がある [S19]。
- 別の研究では、コンピューター断層撮影

による介入における眼の水晶体への年間等価線量の中央値は、年間 50 ～ 200 回のコンピューター断層撮影によるインターベンション手技を仮定すると、20 mSv を超えないと結論付けた[H7]。

- これらおよび追加のデータは、眼の水晶体への等価線量が、特定の介入手順および作業条件、特に介入放射線科医および心臓専門医の場合、年間 20 mSv を超える可能性があることを示している[O2]。

- インターベンション手技中の泌尿器科医の眼の水晶体への等価線量は、IVR、心臓病学、および血管手術中に測定された値と比較されている。
- 測定値は、モバイル C アーム システムと電子個人線量計 （鉛エプロンの上に着用） を使用して手術室で行われた。
- 測定値は、34 の泌尿器科インターベンション（腎結石） 中に収集された。
- エプロン上で測定された実効線量（Hp(10)で表す）の中央値は、泌尿器科医で 393 μSv/手技、看護師で 21 μSv/手技であった。
- 記録された値の第 3 四分位数は、泌尿器科医で 848 μSv/手技、看護師で 39 μSv/手技であった。
- 泌尿器科医の手技ごとのエプロン過剰線量の中央値は、カテーテル部門で適切な防護 （天井吊り下げスクリーンを使用） を使用して作業する放射線科医および心臓専門医の測定値よりも 19 倍高かった [V6]。

- スペインの心臓インターベンション部門のスタッフの眼の水晶体への等価線量の評価では、医師の線量は、年間 200 の手技の作業負荷で 8 から 60 mSv の範囲であることが示された。
- 看護師についてはより低い線量が収集され、眼の水晶体への推定年間等価線量 (Hp(3) に関して） は 2 ～ 4 mSv [P10] であった。
- スペインの 5 つのインターベンション心臓病センターからの実効線量は、スペイン心臓病学会の国家登録プログラムで収集された。
- 測定は、電子線量計を使用して胸部レベルでエプロン上で実行された。
- 心臓病専門医の平均実効線量 (Hp(10) で表す） は 46 μSv/手技と推定された。
- 補助心臓専門医、看護師、または麻酔科医などの他の専門家では、より低い線量が認められた。
- 心臓弁膜症やその他の構造的心疾患の処置は、1 手技あたり平均 100 μSv を超える最高の職業線量を伴った。
- 眼の水晶体に対する職業上の等価線量の新しい制限 (20 mSv) は、標準的な作業量であっても保護ツール（例えば、天井に吊り下げられたスクリーン、ゴーグル） を使用しないインターベンション手技者によって超えられる可能性が高い [S6]。

- 中国の病院で血管手術者の放射線被ばくを 12 か月間前向きにモニタリングした。
- スタッフは、30 件の血管内大動脈修復、塞栓術の有無にかかわらず 58 件の動脈造影、および 61 件の経皮経管血管形成術とステントを実施した。
- 平均年間実効線量は 0.20 mSv（範囲、0.13 ～ 0.27 mSv）と推定された。
- 眼の水晶体への平均年間等価線量は

0.19 mSv（範囲、0.10 から 0.33 mSv）と推定され、手の平均年間等価線量は 0.99 mSv（範囲、0.29 から 1.84 mSv）と推定された。
- 主任オペレーターの手順ごとのこれらの線量は、血管内大動脈修復で最も高かった。
- 異なる外科医の間で、X 線透視の 1 分あたりの平均手線量に有意差が観察された［H8］。

- 適切な放射線防護対策が実施されていない場合、核医学スタッフは、手の皮膚、特に注射器と接触している指に高い等価線量を受ける可能性がある。
- 手への等価線量データ（皮膚線量）を提供しているのは 8 カ国だけである。
- 報告されている平均年間等価線量は、2000 年から 2004 年までの期間で 6 mSv（1 mSv から 11 mSv の範囲）である。
- 2005 年から 2009 年までの期間の平均線量は 9 mSv（1 mSv から 18 mSv の範囲）。
- 2010 ～ 2014 年の期間で 14 mSv（1 ～ 48 mSv の範囲）。
- 傾向分析は、四肢線量が時間の経過とともに増加したことを示唆している。
- 眼の水晶体への平均年間等価線量は、3 カ国のみが報告した。
- 等価線量は、MDL 未満から 7 mSv までの範囲である（電子添付ファイルの表 A.15）。

- 小線源治療を実施するスタッフは、手に高線量を受ける可能性がある。
- 5 カ国は、手への平均等価線量（皮膚線量）のデータを提供し、小線源治療と遠隔治療をまとめてプールした。
- 平均等価線量は、2000 年から 2004 年の期間で 1.2 mSv（1 から 1.4 mSv の範囲）、2005 年から 2009 年の期間で 7.1 mSv（0.2 から 37 mSv の範囲）、2005 年から 2009 年の期間で 1.6 mSv（1 から 22 mSv の範囲）2010 年から 2014 年の期間。
- ドイツは、眼の水晶体への平均年間等価線量として 0.1 mSv の記録値を提供した（電子添付資料の表 A.15）。

- UNSCEAR 職業被ばく調査に回答した国々から報告されたデータに基づくと、個々の労働者の手への年間等価線量の値が 500 mSv を超える可能性は低い。
- すべての医療サブセクターで導き出された眼の水晶体への平均等価線量は 7 mSv であるが、調査を通じて得られたデータが限られているため、導き出された値を代表的なものと見なすべきではない。
- 一部の文献データは、眼の水晶体への年間等価線量が一部の作業者で 20 mSv を超える可能性があることを示している。

- 眼の水晶体への職業被ばくの分析は、新しい困難な作業である。
- これは、2012 年に発行された ICRP 勧告［I32］の結果であり、職業被ばくにおける眼の水晶体への等価線量の年間限度を、連続 5 年間の平均で 150 mSv から 20 mSv に引き下げるが、1 年で 50 mSv を超えないようにすることを提案した。
- 2013 年に欧州連合加盟国で線量限度の低減が導入され［E8］、2014 年に国際

BSS によって推奨された [I12]。

- 利用可能な局所文献は、線量測定データの欠如と、高角度および低エネルギーでの線量推定に関連する問題のために、新しい制限の実装における多くの課題を示している。

- ある文献レビューは、眼の水晶体への等価線量の年間限度を下げると、一部の従事者 (医療および産業部門) がこの限度を超える年間等価線量を受ける可能性があることを示した。
- これは特に、インターベンショナル ラジオロジー (四半期あたり 5 mSv 以上) および産業用ラジオグラフィー (吸収線量で年間 60 mGy まで) の人員に適用される。
- ゴーグルや個人用シールドを使用しないと、明らかに眼の水晶体への等価線量が増加する可能性がある。
- 一方で、新しい技術やプロトコルの導入、およびそのような被ばくの可能性が生じる可能性のある作業場の認識が広がれば、線量の減少が期待できる。

- UNSCEAR Occupational Exposure Survey から得られた眼の水晶体への等価線量に関するデータは限られている。
- したがって、それらは、セクション II.E.1 で説明されている数学的モデルで使用して、グローバルな推定値を決定することはできない。
- 眼の水晶体への年間等価線量に関するアンケートが割り当てられた職業被ばく労働者に関するデータは、少数の国からのみ提供された。核医学 (25 か国中 3 か国)、放射線療法 (25 か国中 1 か国)、獣医学 (25 か国中 1 か国)。 報告されている放射線診断、放射線治療、および獣医学の眼の水晶体への平均年間等価線量は、これらの部門の平均年間等価線量である。
- これらの年間平均値は 20 mSv 未満である。
- 診断放射線学(インターベンションおよびコンベンショナル)の線量は 7mSv 未満、放射線療法 (小線源治療) では約 0.1mSv、獣医学では 1mSv である。
- 核医学では、提供された最大等価線量は 7 mSv であった。

C-2-2. International Conference on Occupational Radiation Protection (IAEA)

IAEA の ”International Conference on Occupational Radiation Protection”で、眼の水晶体防護関係の発表があった。

◯Session 1. Review of standards and recommendations on occupational radiation protection at the international, regional, and national levels: Progress over the past twenty years and existing challenges

- Enhancement of National Regulatory Requirements for Occupational Radiation Protection based on Gap Analysis of International Standards and Challenges
  - Author: Muhammad Nadeem Pakistan Nuclear Regulatory Authority

国際基準と課題のギャップ分析に基づく職業放射線防護の国内規制要件の強化

◯ Session 2. Monitoring and dose assessment of occupational radiation

exposures

- The Report of Annual Occupational Dose at King Chulalongkorn Memorial Hospital
  - Author: Ta nawat Ta wonwong1 Co-authors: Ta weap Sa nghangthum2; Sivalee Suriyapee2
  - 1 King Chulalongkorn Memorial Hospital, The Thai Red Cross Society, Bangkok, Thailand 2 Chulalongkorn University

チュラロンコン国王記念病院における年間職業被ばくの報告

- Occupational Radiation Protection in Mali: Case Study of Dose Limit Exceedings**
  - Author:TahirouSamake Agence Malienne De Radioprotection (AMARAP)

マリにおける職業放射線防護: 線量限度超過の事例研究

- Monitoring the Lens of the Eye and Extremity of Radiation Workers in Bangladesh**
  - Author: Mohammad Sohelur Ra hman Co-authors:Mia MohammadMahfuzSiraz;ShikhaPervin; SubrataBanik;NazneenSultana;Selin aYeasmin Bangladesh Atomic Energy Commission

バングラデシュの放射線作業者の眼の水晶体と四肢のモニタリング

- Silicon PIN-photodiode and CsI(Tl) Scintillator in Application to a Portable Dosimeter**
  - Author:YuWang
  - China Institute forRadiationProtection

携帯型線量計への応用におけるシリコン PIN フォトダイオードと CsI(Tl)シンチレータ

- Design and Performance Test of an Eye Lens Dosimeter C-lens
  - Author:XiaofengWei
  - Co-authors: Liye Liu; Qinjia n Cao; Yuan Zhao; Yunshi Xia o; Yan Jiao China Institute forRadiationProtection

眼の水晶体線量計 C レンズの設計と性能試験

- Analysis on Characteristics of Occupational Radiation Source Items during Ap1000 Unit Overhaul
  - Author:WanchunXiong Co-author: Yicong Liu China Institute forRadiationProtection

Ap1000 ユニットオーバーホール時の業務用線源項目の特性分析

- Impact of the New ICRU Operational Dose Quantities EURADOS Evaluation and Recommendations**
  - Authors:Filip Vanhavere1;Jean-FrancoisBottollier-Depois2;MarcoCaresana3;PhilGilvin4;JonathanEakins4; Oliver Hupe5
  - 1 BelgianNuclearResearchCentre(SCK-CEN)

2 Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety 3 Politecnico di Milano
4 UK Health Security Agency
5 Physikalisch-Technische Bundesanstalt

新しい ICRU 運用線量量の影響 EURADOS の評価と勧告

- Personal Online Dosimetry using Computational Methods: The PODIUM Project and the Future of Active Dosimetry**
  - Authors:Anja Almen1;MariaAmorDuch2;MariaZankl3;EleftheriaCarinou4;FilipVanhaverbe5;RickTanner6; Una O'Connor7
  - 1 Lund university
    2 Universitat Politècnica de Catalunya
    3 Helmholtz Zentrum München
    4 Greek Atomic Energy Commission (EEAE) 5 BelgianNuclearResearchCentre
    6 UK Health Security Agency
    7 St. James Hospital

計算手法を使用した個人オンライン線量測定: PODIUM プロジェクトと能動線量測定の未来

- Practical Implications of the New Dose Limit to the Lens of the Eye in Inhomogeneous Radiation Fields**
  - Authors: Anna Mineur1; Kent Karlsson2
  - 1 Dosimetry department
    2 Operational personal safety department

不均一な放射場

- Eye Lens Dose, Seven-Year Period Monitoring Results: The Greek Experience**
  - Authors: Pa nagiotis Askounis; Georgios Kyranos; Chara Kyrgiakou; Alexandra Kyriakidou; Eleni Papadomarkaki; Eleftheria Carinou
  - Greek Atomic Energy Commission (EEAE)

眼の水晶体線量、7 年間のモニタリング結果：ギリシャの経験

- Design and Performance Test of an Eye Lens Dosimeter C-lens
  - Authors:XiaofengWei;LiyeLiu;QinjianCao;WeiyueYu;YuanZhaoy;YunshiXiao;YanJiao China InstituteforRadiationProtection

眼の水晶体線量計 C レンズの設計と性能試験

- Assessment of Eye Lens Doses of Interventional Radiology and Interventional Cardiology Workers in the Period of 2016-2020*, **
  - Authors: Kornelija Da cyte; Ziliukas Julius; Ausra Urboniene Radiation Protection Centre

2016年から2020年までの期間におけるインターベンショナルラジオロジーおよびインターベンショナルカルディオロジー従事者の眼の水晶体線量の評価

- Investigation of Eye Lens Dose Operational Quantity Hp(3) in Kilovoltage Energies*

- Authors: Za hra Rezaee; Farshad Faghihi; Sedigheh Sina; Mehrnoosh Ka rimipourfard
- Radiation Research Center, Shiraz University

眼の水晶体線量操作量 Hp(3) in キロボルト エネルギーの調査

・ Challenges of the Eye Lens Dosimetry using Thermoluminescence Dosimetry*
- Authors: Za hra Rezaee; Farshad Faghihi; Mehrnoosh Karimipourfard; Sedigheh Sina
- Radiation Research Center, Shiraz University

熱ルミネッセンス線量計を使用した眼の水晶体線量計の課題

◯Session 3. Radiation effects, health risks of occupational exposure and worker's health surveillance

・ The Several Issues that it should be paid Attention to the Radiological Workers in the Occupational Health*
- Author:GangLiu
- Gansu provincial Center for Disease Control and Prevention

労働衛生の従事者

◯ Session 4. Occupational exposure levels and dose registries

・ Turkey Occupational Exposure Levels and Dose Registration System**
- Author: Ca ngul Akturk Nuclear Regulatory Authority

トルコの職業被ばくレベルと線量登録システム

・ Twenty Years of Monitoring of Occupational Exposures to External Radiation Sources in Cuba: Results and Challenges
- Author:DanielMolina Perez Centro de Proteccion e Higiene de las Radiaciones (CPHR)

キューバにおける外部放射線源への職業被ばくの 20 年間のモニタリング: 結果と課題

◯ Session 7. Occupational radiation protection in the workplaces involving exposure to naturally occurring radioactive material, radon, and cosmic rays

・ Radioactivity Levels and the Assessment of the Associated Health Hazards at Um Bogma Area, Sinai, Egypt**
- Author: Wa leed Abdellah1 Co-authors:S.U.ElKamesy;A.A.Alshamy2;N.M.Ali3; H.Diab4
- 1 Egypt Nuclear and Radiological Regulatory Authority 2 Egyptian nuclear material Authority
  3 Faculty of Science, Ain Shams University
  4 Egyptian Atomic Energy Authority

エジプト、シナイのウム・ボグマ地域における放射能レベルと関連する健康被害の評価

・ Management of Norm Contaminated Hydrocarbon Wastes in Gabon**

- Author: Ondo Meye1
- Co-authors:MartineFleureLekogoEdzougou1;GermainHubertBen-Bolie2;CharlesChaley1
- 1 Direction Générale de la Radioprotection et de la Sûreté Nucléaire (DGRSN), Ministère de l'Energie et des Ressources Hydrauliques
- 2 Laboratory of atomic, molecular and Nuclear Physics, Department of Physics, Faculty of Science, University of Yaounde

ガボンにおける標準汚染炭化水素廃棄物の管理

◯ Session 8. Occupational radiation protection in medicine

- Radiation Protection for Patient and Staff in Interventional Procedures**
- Authors:HadijahNdagire1;EmmyOkello2 1 MedicalPhysicist 2 Cardiologist

インターベンショナル手技における患者とスタッフの放射線防護

・ Risk Assessment of Eye Lens Dosimetry for Nuclear Medicine Worker**
- Author: Wa ra porn Sudchai1
- Co-authors:AnchaliKrisanachinda2;SupharatJariyakosol2;WorawalunHonglertnapakul2;Prim Ukridmanoroat3; KotchakornChatachot4;Araya Mingmongkhonchai5; Charoen Yindiram1;Jureeporn Asa wa rattanapakdee6; Na tch Rattanarungruangchai1
- 1 Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization), 2 King Chulalongkorn Memorial Hospital.
  3 Chulabhorn hospital
  4 BuddhachinarajHospital
- 5 Rajavithi Hospital 6 Siriraj Hospital

核医学従事者のための眼の水晶体線量測定のリスク評価

・ Effectiveness of Staff Radioprotective Equipment during Fluoroscopically-guided Procedures: Results and Recommendations from the MEDI-RAD Project**
- Authors:JérémieDabin1;EdilaineHonoriodaSilva1;PasqualeLombardo1;Giulia Tamborino1;Filip Vanhavere1; Alexandre Hébré2;Christelle Huet2; Joanna Domienik-Andrzejewska3; MateuszMirowski3
- 1 BelgianNuclearResearchCentre
  2 Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire 3 Nofer Institute of Occupational Medicine

透視下手技中のスタッフの放射線防護装置の有効性：MEDI-RAD プロジェクトの結果と推奨事項

・ Assessment of Equivalent Doses for the Eye Lens for the Workers in Two St. Petersburg Nuclear Medicine Departments*, **

- Authors: Eka terina Shleenkova; Larisa Chipiga; Stepan Bazhin
- Saint-PetersburgResearchInstituteofRadiationHygieneafterProfessorP.V.Ramzaev

サンクトペテルブルクの 2 つの核医学部門の作業者の眼の水晶体の等価線量評価

・ Occupational Radiation Protection in Paediatric Interventional Cardiology in Latin America and Caribbean Countries: the OPRIPALC Project
- Authors: Ca rlos Ubeda1; Eliseo Vano2; Maria del Rosario Perez3; Pablo Pablo4; Raúl Ramírez5; Alejandro Na der5; Pa tricia Mira nda6
- 1 Medical Technology Department, Health Sciences Faculty, Tarapaca University, Arica, Chile 2 Complutense University and San Carlos Hospital
  3 World Health Organisation (WHO)
  4 Pan AmericanHealthOrganization(PAHO)
- 5 International Atomic Energy Agency (IAEA)
  6 HemodynamicDepartment,CardiovascularService,LuisCalvoMackennaHospital

・ ラテンアメリカおよびカリブ海諸国における小児心臓インターベンションにおける職業放射線防護: OPRIPALC プロジェクト

・ Non-Lead Light-Weight Glasses for Eye Dose Reduction of Angiography Radiation Workers
- Authors:MasoomePooladi; SedighehSina1; Mehrnoosh Karimipourfard2
- 1 Department of Ray-Medical Engineering, Shiraz University 2 Radiation Research Center, Shiraz University

血管造影放射線従事者の眼の線量低減のための非鉛軽量メガネ

・ The Relation between Hp(10), and Hp(3) for Nuclear Medicine Staff*
- Authors: Mehrnoosh Karimipourfard1; Sedigheh Sina1; Nahid Dehghan
  Shiraz University

核医学スタッフの Hp(10)と Hp(3)の関係

・ Assessment of Occupational Radiation Exposures at Some Selected
- Diagnostics Centres in the South West Nigeria**
  Authors:D.OOlaniyi1;OlumideAkerele1;SamuelOyeyemi1;FrancesAgada1;IdrisYau2;IsaSambo2
- 1 National Institute of Radiation Protection and research, University of Ibadan 2 Nigerian Nuclear Regulatory Authority

ナイジェリア南西部の診断センター

・ A Questionnaire Survey on Radiation Protection among Medical Staff Working in Cardiac Catheterization Laboratory**

- Author:Hala Salem
  Egyptian Atomic Energy Authority

心臓カテーテル検査室に勤務する医療従事者に対する放射線防護に関するアンケート調査

◯ Session 9. Optimization in occupational radiation protection

- The Development of a Mobile Application to enhance Fetal Dose Monitoring among Pregnant Radiographers*
  - Author:HafsaEssop University of Pretoria

妊娠中の X 線技師の胎児線量モニタリングを強化するためのモバイル アプリケーションの開発

- Multi-Objective Optimization Model for Occupational Radiation Exposure
  - Authors: Kizito Mubiru1; Maureen Sempijja1; Senfuka Christopher2
  - 1 Kyambogo University 2 KabaleUniversity

職業被ばくの多目的最適化モデル

◯ Session10.Technicalserviceproviders in occupational radiation protection

- Implementing Hp(3) in Uruguay: DXT-100 Compliance for IEC 62387 Coefficient of Variation and Non Linearity*
  - Author:Ana LauraGarcia1
    Co-authors: Guillermo Balay2; Adriana Fernandez1; Rosario Odino3
  - 1 PersonalExternalDosimetryLaboratory,MinistryofIndustry,EnergyandMining
    2 Secondary Standard Dosimetry Laboratory, Ministry of Industry, Energy and Mining 3 Tecnogestion Unit, Ministry of Industry, Energy and Mining

ウルグアイでの Hp(3) の実装: IEC 62387 変動係数と非線形性の DXT-100 準拠

◯Session11.Education and training in occupational radiation protection

- Using Kirkpatrick’s Model to Measure the Effect of Radiation Protection Online Workshop for Radiation Workers
  - Authors:EbrahimFarajzadeh;MohammadAminNazariJahromi;MehrnooshKarimipourfard;SedighehSina Radiation Research Center, Shiraz University

Kirkpatrick のモデルを使用して放射線防護の効果を測定する 放射線従事者のためのオンライン ワークショップ

C-2-3. Regulatory Implementation of the Equivalent Dose Limit for the Lens of the Eye for Occupational Exposure (OECD/NEA)

この報告書は、アプローチに対する成功と課題を含む、職業被ばくに対する眼の水晶体の等価線量限度を実施する際の世界中の規制当局と利害関係者の実際の経験をまとめたものである。Executive summary と Coculusion の内容を示す。

◯Executive summary

・ 眼の水晶体は、人体で最も放射線に敏感な組織の 1 つである。
・ 進行期の白内障として知られる水晶体の混濁は、放射線によって誘発されるか、年齢、喫煙、肥満などの他の要因に関連している可能性があり、視力障害や失明に至ることさえある。
・ 電離放射線誘発性白内障の発生を防ぐために、世界中の規制機関は、労働者と公衆の眼の水晶体に同等の線量制限を設定している。
・ いくつかの研究は、白内障の発症は、これまで考えられていたよりも大幅に低い線量の電離放射線にさらされた後に発生する可能性があることを示唆している。
・ この証拠を考慮して、2011 年 4 月 21 日、国際放射線防護委員会（ICRP）は、眼の水晶体に対する組織反応の線量閾値が以前に考えられていたよりも低い、または低い可能性があることを示す正式な声明を発表した。
・ 関連する勧告は、1 年後に Publication 118（ICRP, 2012）で発行された。
・ 原子力エネルギー庁（NEA）の眼の水晶体の線量限度（EGDLE）に関する専門家グループは、規制当局と利害関係者が教訓を共有する機会を提供することを目的として、放射線防護と公衆衛生に関する委員会（CRPPH）によって作成された。
・ 職業被ばくのための眼の水晶体に対する ICRP の推奨等価線量限度の実際の実施において、成功と課題の両方を学んだ。

・ EGDLE の成果物には以下が含まれる。
  □ ICRP が推奨する職業被ばくに対する眼の水晶体の等価線量限度を実施する際の世界中の規制当局と利害関係者の実際の経験をまとめた報告書。これにはアプローチに対する成功と課題が含まれる。
  □ 対話と情報交換を維持するためのネットワーク。 EDGLE は、その任務遂行を支援するために、NEA 加盟国の規制機関および技術科学支援組織（TSO）から、ICRP が推奨する職業被ばくに対する眼の水晶体の等価線量限度の実施に関する情報を収集するための調査を作成した。
・ 15 カ国（NEA CRPPH 加盟国の 50%）から合計 24 の組織が調査に回答した。
・ 回答した組織は、18 の規制機関と 3 つの TSO を代表していた。
・ また、規制機関の対応を補完する形で、1 カ国 3 か所の核燃料サイクル施設が積極的に対応した。
・ 調査に回答した国々が、眼の水晶体に対する組織反応に関する最新の科学的情報、および眼の水晶体に対するそれぞれの線量限度を改訂する必要性に対応するために、さまざまなイニシアチブに積極的に取り組んできたことは明らかである。
・ 規制当局は、法律の改正を検討する際に、利害関係者と早期に関与することの重要性を認識した。
・ これに関連して、利害関係者には、規制対象のエンティティとライセンシー、諮問機関、組合、専門組織、および専門職協会と協会が含まれる。
・ 改善に加えて、目の放射線防護の側面の進歩に貢献できる研究分野を特定した。

・ 各国はまた、問題の解決と眼の水晶体へ

の線量の監視と確認における継続的な改善を促進し、促進するために、継続的な利害関係者の関与の重要性を認識した。

- ほとんどの国は利害関係者と協議してそれらに対処するために進歩を遂げているが、いくつかの実際的な課題が残っている。
- 国際原子力機関 (IAEA) や国際放射線防護協会 (IRPA) などの国際機関が提供するガイダンスの価値について、対応する規制機関の間でコンセンサスが得られている。
- 回答国は、経験を共有し、アプローチを調和させることで利益を得ることができる分野を特定した。
- それらには以下が含まれる：
  - □ 個人モニタリングの要件、および個人線量当量 Hp(3) を測定する眼レンズ線量計の使用に関するコンセンサス。
  - □ 眼球レンズ線量測定。ISO および IEC 規格を使用して、Hp(3) 眼球線量計の認定および技術/性能仕様を定義する。
- ベータ線と中性子線、混合放射線場（ベータ/光子)、および相互比較などの問題に対処する必要がある。
  - □ 線量計の配置と個人用保護具の考慮。代替線量計と補正係数の使用の許容性。
- すべての回答国は、国際フォーラム、特に国際的な調和が有益である上記の分野で、継続的な対話と情報交換の機会を特定した。
- 彼らはまた、眼の水晶体の線量測定の改善に加えて、眼の放射線防護の側面の進歩に貢献できる研究分野を特定した。

Country	Organisation(s)
Argentina	Autoridad Regulatoria Nuclear
	Embalse Nuclear Power Plant
	CONUAR S.A. (Combustibles Nucleares Argentinos S.A.)
	Atucha Nuclear Power Plant
Canada	Canadian Nuclear Safety Commission
Czech Republic	State Office for Nuclear Safety
Finland	Radiation and Nuclear Safety Authority
France	Ministry of Labour: General Directorate for Labour (DGT)
	French Nuclear Safety Authority (ASN)
	Institute of Radioprotection and Nuclear Safety (IRSN)
Germany	Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU)
Greece	Greek Atomic Energy Commission (EEAE)
Iceland	Icelandic Radiation Safety Authority
Japan	Fujita Health University
Norway	Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority (DSA)
Russia	State Research Center-Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency (SRC-FMBC)
	Department of Radiation Hygiene, Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education "Russian Medical Academy of Continuous Professional Education" under Ministry of Healthcare of the Russian Federation (FSBEI FPE RMACPE MON Russia)
Spain	Nuclear Safety Council (CSN)
Switzerland	Federal Nuclear Safety Inspectorate (ENSI)
	Federal Office of Public Health (FOPH)
United Kingdom	Health and Safety Executive
	Office for Nuclear Regulation
United States	Department of Energy
	Nuclear Regulatory Commission

- 眼の水晶体用線量計の例
- 以下は、回答国から提供された眼の水晶体用線量計の例である。
- 表に記載されている線量計は、最小線量が 0.01 mSv から最大線量が光子の 50 Sv まで、ベータ線が 0.05 mSv から 50 Sv まで、さまざまな線量範囲を持っている。 さらに、線量計の光子エネルギー応答はそれぞれ異なり、5 keV から 6 MeV の間の特定のエネルギー範囲をカバーする。 ベータエネルギー応答の違いは、24 keV から 3.5 MeV の間で異なる。
- 表 D.1: 回答国で利用可能な眼のレンズ線量計の例 * A: 利用可能、AA: 利用可能で承認済み、N: 利用可能で承認されている情報なし、S: 承認されていないが、研究で使用されている.

Model	Manufacturer	Dosimeter type	Reference for additional dosimeter details	Number of countries where available*
NUVIA Dosimetry eye lens film dosimetry system (film FOMA Bohemia)	NUVIA Dosimetry	Film $H_p(3)$ eye dosimeter	http://nuviadosimetry.com/dozimetrie-ocni-cocky/	A: 1
EYE-D	RADCARD	Thermo-luminescent $H_p(3)$ eye dosimeter (TLD $H_p(3)$	www.radcard.pl/det/eye_d.html	A:2 AA:1 S: 1
Landauer Vision	Landauer	TLD $H_p(3)$	www.landauer.com/sites/default/files/product-specification-file/LANDAUER%20Vision.pdf	AA:1 N:2 A:1
Landauer Luxel +	Landauer	Pulsed Optically Stimulated Luminescence Dosimeter (POSLD)	www.landauer.co.uk/	N:1
DOSIRIS	IRSN dosimetry laboratory	TLD $H_p(3)$	http://dosimetrie.irsn.fr/en-us/Documents/Pandrad%20files/DOSIRIS%20EN%20WEB.pdf	N:1 A:1
MKD (type A)	Dose	TLD MKD (type A) $H_p(3)$	-	N:1
Complex AKIDK-401 with DVDS-1 dosimeters (in the skin of the face and in the lens of the eye), with DVDS-2 dosimeters (in the skin of the handbreadth)	Certified by the FATRiM RF (the certificate number 4887) and registered in the State register of Measuring Instruments under number 51882-12	DVDS-1 and DVDS-2	-	N:1
Panasonic UD-807	Panasonic	TLD		A:1
Headband dosimeter, Thermo-Electron Harshaw Ext-Rad XD-707H	Harshaw TLD	Harshaw EXTRAD type	www.phe-protectionservices.org.uk/cms/assets/gfx/content/resource_2974cs67880768 42.pdf	N:1
Lens dosimeters developed by Japan Atomic Energy Agency and universities	-	Optically stimulated luminescence dosimeter (OSLD)	Yoshitomi H., Hagiwara M., Kowatari M., Nishino S., Sanami T. and Iwase H. Assessment of equivalent dose of the lens of the eyes and the extremities to workers under nonhomogeneous exposure situation in nuclear and accelerator facilities by means of measurements using a phantom coupled with Monte Carlo simulation. Proceedings of 14th International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA-14), Vol.3 1188-1195 (2017)	N:1
dosiEYE	DOSILAB	-	-	N:1
ORANO	-	TLD dosimeter used as an eye lens dosimeter	-	N:1
AWST-OSL-AD 01	Mirion Technologies (AWST) GmbH	OSLD	https://awst.mirion.com/	AA:1
LPS-TLD-TD 09	LPS Berlin	TLD	www.lps-berlin.de/	AA:1

* A: Available, AA: Available and approved, N: No information regarding availability and approving, S: Not approved, but used in studies

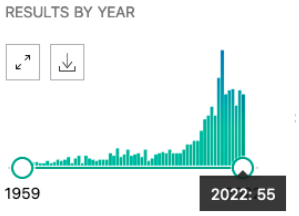
◯Conclusions

- 国際放射線防護委員会（ICRP）が眼の水晶体の組織反応に関する声明を出し、眼の水晶体の等価線量限度の改訂を勧告して以来、回答国がさまざまなイニシアチブに積極的に取り組んできたことは明らかである。
- ICRP 声明の重要性と新しいリスク情報が手元にあるため、すべての国が、法律の改正が検討されているため、利害関係者と早期に関与することの重要性を認識した。
- 問題の解決を進め、促進し、眼の水晶体への線量の監視と測定を継続的に改善するために、継続的な利害関係者の関与の重要性も認識されている。
- この報告書で議論されているように、いくつかの実際的な課題が残っており、ほとんどの国は利害関係者と協議して、それらに対処するための取り組みを進めている。
- 回答国は、たとえば、国際原子力機関（IAEA、2013 年）および国際放射線防護協会（IRPA、2017 年）によって提供されるガイダンスの価値についてコンセンサスを持っている。
- 各国が経験を共有し、調和を図ることができる分野には、次のようなものがある。
  - □ 個人モニタリングの要件、および個人線量当量 Hp(3) を測定する眼の水晶体の線量計使用に関するコンセンサス。
  - □ 眼球レンズ線量測定。ISO および IEC 規格を使用して、Hp(3) 眼球線量計の認定および技術/性能仕様を定義する。
- ベータ放射線と中性子放射線、混合放射線場（ベータ/光子）、および相互比較などの問題に対処する必要がある。
  - □ 個人用保護具を考慮した線量計の配置。代替線量計と補正係数の使用の許容性。国際フォーラムでの対話と情報交換は、特に 国際的な調和は有益だろう。このレポートで特定されたニーズに対処するための研究プロジェクトは、眼の水晶体の線量測定の改善に加えて、眼の放射線防護の側面の進歩にも大きく貢献する可能性がある。

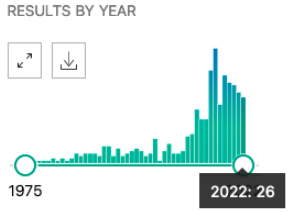
C-3. 文献調査

PubMed で、次のキーワードでヒットした文献数と推移を示す（2022 年 12 月 12 日アクセス）。

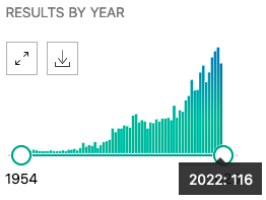
eye lens radiation protection: 852



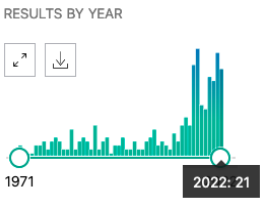
eye lens dose limit: 376



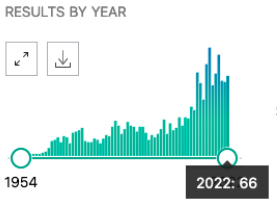
eye lens dose: 2,212



eye lens glasses protection: 257



eye lens dosimetry: 1,536



・ Eye lens radiation exposure intervention
文献数：37

D. 考察

国内外の学会等では、調査による実態把握や、防護用具の効果に関する発表が見られた。具体的には、水晶体被ばくのアンケート調査や線量計を用いた測定、モンテカルロシミュレーションによる検討の他、防護メガネの形状や防護効果などである。モダリティとしては、X 線 CT 撮影、IVR など、比較的線量が高い手技に対するものが多かった。

国際学会等では、UNSCEAR が Report 2020/2021 を出している。世界各国のデータが載っているが、職業被ばくサーベイで得られたデータは限られている。放射線診療・獣医学の眼の水晶体の平均等価線量は 20mSv 未満であり、診断では 7mSv、治療で 0.1mSv、獣医学で 1mSv 程度であり、各医学の次第等価線量は 7mSv と報告されている。しかしながら、一部の文献データでは、一部の作業者が 20mSv を超える可能性があるとも述べられている。データ数が少なく、世界全般に外挿することは困難であるが、高い被ばくを受けている作業者がいることが推測される。IAEA の職業被ばくに関する国際会議でも、眼の水晶体関連の発表があり、各国における被ばくの状況の紹介の他、線量計に関するものもあった。OECD/NEA の報告書では、各国の新等価線量限度への取り組みが紹介され、経験を共有できるものとして、個人モニタリング・線量測定が挙げられ、β 線・中性子線、β・講師混在場や相互比較の課題が示された。

文献調査では、全体的な傾向として、関連キーワードに合致する文献数の経時的増加が認められるが、やや減少しているものも

ある。防護メガネや線量評価など、国内外学会や国際機関等で取り上げられている項目については、増加傾向が維持されているように見える。

E. 結論

眼の水晶体の新等価線量限度が国際基準や各国の関連規制法令に取り入れられてから、被ばくの現状に関する多くのデータが報告され、防護方法の検討もなされてきている。防護と線量評価が業務で求められるようになってきており、実務的・効果的な防護方法及び線量評価法への関心が高いと言える。

F. 論文報告

特になし。

G. 研究発表

特になし。

H. 知的所有権の取得状況

特になし。

III.　研究成果の刊行に関する一覧表

別紙４

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究（200701-01）

主な研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
加藤　聖規、藤沢　昌輝、服部　兼進、山田　歩実, 芳賀　喜裕, 加賀勇治, 阿部　美津也, 稲葉　洋平, 千田　浩一.	PCI術者の水晶体線量のリアルタイム測定に関する初期検討.	日本放射線安全管理学会誌	22(1)	印刷中	2023
茂呂田 孝一	被ばく低減システム・放射線防護機器はコレがベスト！	Rad Fan	20(8)	65-68	2022
藤沢昌輝, 芳賀善裕, 曽田真宏, 加賀勇治, 阿部美津也, 稲葉洋平, 鈴木正敏, 細井義夫, 千田浩一.	PET検査に従事する看護師の水晶体被ばく線量に関する基礎検討.	臨床放射線	67（10）	1075-1083	2022
中上　晃一	最終結論！放射線防護眼鏡の使い方と選び方	Rad Fan	20(8)	71-74	2022
S. Matsuzaki, T. Moritake, L. Sun, K. Morota, K. Nagamoto, K. Nakagami, T. Kuriyama, G. Hitomi, S. Kajiki, N. Kunugita,	The Effect of Pre-Operative Verbal Confirmation for Interventional Radiology Physicians on Their Use of Personal Dosimeters and Personal Protective Equipment	International Journal of Environmental Research and Public Health	19（24）	16825	2022
Chida K.	What are useful methods to reduce occupational radiation exposure among radiological medical workers, especially for interventional radiology personnel?	Radiol Phys Technol.	15（2）	101-115	2022 doi: 10.1007/s12194-022-00660-8.
Hattori K, Inaba Y, Kato T, Fujisawa M, Yasuno H, Yamada A, Haga Y, Suzuki M, Zuguchi M, Chida K.	Evaluation of a New Real-Time Dosimeter Sensor for Interventional Radiology Staff.	Sensors	23(1)	512	2023