

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：リアルタイム線量計の基礎研究

千田 浩一 ······ 25

2. リアルタイム線量評価：初期臨床研究

千田 浩一 ······ 35

3. 水晶体等価線量が定常的に 20 mSv を超える医師の実態調査

盛武 敬 ······ 41

4. 水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査

盛武 敬 ······ 49

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 ······ 71

6. IVR（インターベンショナル・ラジオロジー）従事者の白内障調査

雑賀 司珠也 ······ 77

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 ······ 81

8. 防護眼鏡改良研究

赤羽 正章 ······ 85

9. 0.07mmPb メガネ改良に関する基礎検討

千田 浩一 ······ 89

10. 放射線シールドドレープ改良に関する基礎検討

千田 浩一 ······ 103

11. 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

12. 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 ······ 133

III. 研究成果の刊行に関する一覧表

····· 147

I. 総括研究報告

令和2年度(2020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

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(トップランナー医師、スーパードクターを含む)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に、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1年目、2年目を中心とし実施する。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主に2年目-3年目に実施する。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。同時に産業保健的なアプローチ、すなわち上流側であるX線発生源の低減対策についても提案する。

具体的に初年度は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) 放射線防護機材当の改良などに関する研究
- (3) 放射線防護教育研究
- (4) 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である RaySafe i3 は、各種の放射線医療業務に従事する者(医師や看護師等)の防護具使用状態等をリアルタイムに評価分析するための個人線量計として、十分な基本性能を有していると思われた。さらに新型リアルタイム線量計 i3 が IVR 臨床の現場において問題なく使用できることが確認できた。そして IVR スタッフの個人線量が高くなる状況等の概略を把握することができた。

市中病院における IVR を行う医師の放射線被ばくの実態を調査した結果、経験年数に応じて水晶体等価線量は下がっておらず、むしろ難しい症例などに従事することから、さらに高

くなる可能性もあることが明らかとなった。調査対象者は、防護策の強化を行った後も依然として、年間 20 mSv を超えているため、今後、さらなる防護策を講じる必要がある。

日本脳神経血管内治療学会において、白内障調査を主とする眼科検診を行い、84名の調査が終了した。放射線白内障とされる後嚢下白内障の有病率は 1.2% と低く、全対象者で視力障害を伴う水晶体の変化・混濁が認められなかった。後嚢下中心にある VC については 14.3-16.7% を示し、年代別での有病率では加齢により増加が見られた。後嚢下中心の VC については、その増加が今後の後嚢下白内障発症にもつながる可能性も十分にあるため、詳細な検討が必要である。

新しい防護デバイスである ZERO-GRAVITY の放射線遮蔽効果は、従来の防護デバイスより高いことが確認された。使用感に関する課題を解決するような次世代のデバイス開発に期待したい。

改良新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡は、鉛当量を 0.07mmPb に抑え軽さを維持しながらも、形状の工夫により従来型の 0.07mmPb 当量防護眼鏡と比較して高い遮蔽率となった。しかしながら十分な防護効果を有しているとは言えないため、今後、遮蔽能力向上、IVR 術者の水晶体被曝の低減を目指して、さらなる防護眼鏡の改良と種々の検討を行う必要がある。

試作した放射線シールドドレープは、橈骨動脈アプローチの心臓 IVR において想定した IVR 術者の被ばく線量を、平均 60%、最大 90% 低減できる可能性があることが示唆された。特に IVR 術者の頭部、水晶体の被曝低減において、従来型の放射線シールドドレープ(壁無しタイプ)よりも効果的であると思われた。一方、今回試作した X 線防護壁付放射線シールドドレープ単体の評価では、透視や撮影の角度によって十分な遮蔽効果が得られないことがあるため、さらなる改良や、天吊り防護板など他の防護具との併用が重要であると考えられた。

拡張現実(Augmented Reality、AR)を用いて現実空間に病棟撮影時の散乱線の挙動を可視化することで、任意の位置、角度から観察ができる臨場感のある放射線防護教育に用いる AR アプリケーションを開発し、臨床において適切な介助位置の把握、介助位置でのおおまかな被ばく線量の推定ができた。

国内外の開発上の技術的課題等の情報についての調査・収集した結果、水晶体の線量を評価する手法は、Hp(3)を直接測定するというよりは、従来の Hp(10)及び Hp(0.07)に基づくもののが多かった。特にインバーベンショナル手技における被ばくに対する関心が高く、新しい線量限度を超える事例の報告もなされていた。評価手法としては、線量計による測定だけではなく、モンテカルロ計算データを利用した推定方法も提案されていた。

【研究体制】

研究代表者 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	産業医科大学・産業生態科学研究所・准教授
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
雜賀 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

樺田 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
太田 洋一	東北大学 大学院生
曾田 真宏	東北大学 大学院生
遠藤 美芽	東北大学 大学院生
村林 優樹	東北大学 大学院生
大友 一輝	東北大学 大学院生
巻 周星	東北大学 大学院生
大森 悠斗	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マディカル)、前田賢氏(株マエダ)、尾池千穂氏(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（トップランナー医師、スーパードクターを含む）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に、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1年目、2年目を中心と実施する。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主に2年目-3年目に実施する。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。同時に産業保健的なアプローチ、すなわち上流側であるX線発生源の低減対策についても提案する。

具体的に初年度は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) 放射線防護機材当の改良などに関する研究
- (3) 放射線防護教育研究
- (4) 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水晶体等価線量が定常的に20 mSv/年を超える医師の実態調査、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

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ある。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。そのため今回、新しいリアルタイム個人線量計i3が、臨床現場での使用に耐え得る基本性能を有しているかどうか確認するため、詳細に基礎測定評価を実施した。

さらに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i3を実際のIVR臨床で使用して、初期的な検討を行った。

・リアルタイム線量の基礎研究

電離箱線量計、RaySafe i2などと比較して、新しいリアルタイム個人線量計RaySafe i3の基本性能評価に関する基礎的検討を行った。

主な評価項目は、安定性、管電圧依存性、線量依存性、線量率依存性、電波特性、角度依存性、後方散乱、透過率、パルス透視応答などである。

・リアルタイム線量計を用いたIVR術者の初期臨床研究

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、新しいリ

アルタイム個人線量計 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（すなわち防護眼鏡の外側の線量を測定している）。頸部位置の場合は、IVR 術者の左頸部付近のプロテクターの上に i3 を装着した。

② 水晶体等価線量が定常に 20 mSv/年を超える医師の実態調査

放射線被ばくが一般的に高いといわれている IVR を行う医師の防護策を講じるため、その実態を明らかにした。方法として、市中病院に勤務する医師一人の過去 4 年間（2016-2019 年）における水晶体等価線量、血管造影検査・IVR 件数、および透視時間の推移を調査した。水晶体等価線量の測定は、個人被ばく線量計 (OSL 線量計) を 2 個使用した時(不均等被ばく管理) の値を採用した。測定後、個人被ばく線量報告書と RIS (Radiological Information System) より、得られたデータを抽出・解析した。

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、2020 年日本脳神経血管内治療学会（以下、「JSNET」という。）において、水晶体混濁調査を無料で実施するキャンペーンを日本白内障学会の協力体制のもとで実施した。

本調査では、JSNET 参加者のうち調査協力に承諾を得られた 84 名を対象とし、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。それらの所見から放射線白内障の初期病変である Vacuoles、視機能低下の要因として

重要な核、皮質、後囊下の白内障 3 主病型、および Retrodots、Waterclefts の 2 副病型に関する解析、判定を行った。

(2) 放射線防護機材の改良等に関する研究

① 新しい防護デバイスである ZERO-GRAVITY に関する基礎的および臨床的検討、② 0.07mmPb メガネ改良に関する基礎検討、そして③ 放射線シールドドレープ改良に関する基礎検討について、主に実施した。

① 新しい防護デバイスである ZERO-GRAVITY に関する基礎的及び臨床的検討

血管撮影室で用いられる新しい防護デバイスとして有効性が期待されている ZERO-GRAVITY の散乱線遮蔽効果を明らかにした。右大腿動脈経由の IVR 手技を模して散乱線を発生させるファントム実験にて、防護メガネと ZERO-GRAVITY の線量低減率を 2 回測定した。

さらに ZERO-GRAVITY を臨床の症例で使用し、従来の鉛エプロン+防護メガネの組み合わせとの比較における利点と欠点を取りまとめた。

② 0.07mmPb メガネ改良に関する基礎検討

本研究は「放射線防護機材の改良等に関する研究」に直接関係するものであり、0.07mmPb 放射線防護メガネの改良等およびその初期臨床検討を行った。

0.07mmPb 当量防護眼鏡は、装着感が良く軽量であるため、特に手技時間が長くなるような IVR において有用である。しかしながら、0.07mmPb 当量防護眼鏡の臨床における水晶体線量低減効果は十分とは言えず、さらなる遮蔽効果の向上が望まれていた。そこで、遮蔽率の向上を図るため、軽量眼鏡の形状等に改良を加えた、新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡が開発された。本研究では、その改良された新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡の初

期的臨床評価結果や防護効果について検討し、改良新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡の有用性について検討した。

対象は心臓 IVR 術者（医師）7名である。全スタッフは新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡パノラマシード HF-380（正面側面下方一体レンズ:0.07mmPb 当量含鉛ガラス、重量約 45g、東レ）を着用した。水晶体線量測定は、防護眼鏡の左水晶体近傍の内側と外側に 1 つずつ水晶体用線量計 DOSIRIS (IRSN, フランス) を装着した。そして 3mm 線量当量にて測定評価した。

③ 放射線シールドドレープ改良に関する基礎検討

本研究は「放射線防護機材の改良等に関する研究」の直接かかわるものであり、X 線防護壁付放射線シールドドレープの試作およびその初期検討を行ったものである。

放射線シールドドレープの使用は医療スタッフの職業被ばくを低減するための比較的シンプルで有用な方法であると思われる。だが放射線シールドドレープの遮蔽効果は限定的であり、防護能力をさらに改善する必要があると考えられる。さらに術者水晶体防護において、放射線シールドドレープの遮蔽効果を明らかにした報告は今までない。そこで本研究では放射線シールドドレープ改良に関する基礎検討を実施した。具体的には、橈骨動脈アプローチ用の X 線防護壁付放射線シールドドレープを試作し、その遮蔽効果に関する初期的検討を行った。

0.25mm 鉛当量の含鉛ビニル製（縦 75cm 横 35cm）の放射線シールドドレープが基本となっており、それに X 線防護壁を装着できるようになっている。X 線防護壁は、高さ 7cm 幅 5cm 長さ 55cm でマジックテープで貼り付けることで X 線防護壁付放射線シールドドレープが構成されている。

基礎実験は、胸腹部ファントム（京都科学）と 20cm × 20cm のアクリルファントムを配置して行った。ファントムの腹部位置に、X 線防護壁付放射線シールドドレープを置いた場合、壁無し放射線シールドドレープを置いた場合、何も置かない場合について測定した。それぞれでシネ撮影を行い、電離箱線量計を用いて散乱 X 線量を測定し遮蔽効果の比較を行った。

（3）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を行った。

X 線検査の散乱線分布をディスプレイ内の仮想現実（Virtual Reality、以下 VR）上で可視化した先行研究があるが、仮想現実上での散乱線の可視化では、リアリティが欠けており、イメージ・理解が難しい部分がある。そこで、拡張現実（Augmented Reality、以下 AR）を用いて散乱線を現実空間に可視化した。

まず放射線業務の代表例として、ポータブル X 線撮影装置による病棟撮影時の散乱線の挙動のシミュレーションをした。次にシミュレーションデータの三次元表示を行った。さらに X 線管等の三次元データの配置、散乱線の分布の切り替え表示のためのボタンの配置など機能の追加を行い、AR アプリケーションを開発した。そしてタブレット端末で散乱線分布の表示ができるように開発した。

（4）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。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際学会に参加し、発表内容の情報を得た。

具体的には、日本保健物理学会の「眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン」、令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費の「医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン」、日本放射線看護学会の「看護職のための眼の水晶体の放射線防護ガイドライン」、日本適合性認定協会の「『認定の基準』についての指針—放射線個人線量測定試験分野—JAB RL 380:2020」、国際放射線防護学会（IRPA）の第15回大会、そして国際原子力機関（International Atomic Energy Agency: IAEA）の”(Virtual event) International Conference on Radiation Safety: Improving Radiation Protection in Practice”である。

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

リアルタイム線量の基礎研究に関して、新しいリアルタイム個人線量計 i3 は、旧型のリアルタイム線量計である RaySafe i2 と比較して、今回検討したすべての項目について同等以上の性能を有していた（特に角度依存性については優れていた）。さらにその他のリアルタイム線量計と比較して、i3 は線量の把握を詳細に行うことが可能で、計測後にパソコンに接続して解析することで、より詳しい線量率等のデータが得られるという利点があった。

よって i3 は、各種の放射線医療業務に従事する者（医師や看護師等）の防護具使用状態等をリアルタイムに評価分析するための

個人線量計として、十分な基本性能を有していると思われた。

リアルタイム線量計を用いた IVR 術者の初期臨床研究について検討した結果、新型リアルタイム線量計 i3 が IVR 臨床の現場において問題なく使用できることが確認できた。さらに初期的検討結果から、照射方向の違いや患者との距離によって術者と助手および水晶体と頸部の線量に差がみられ、LAO 方向では術者、助手共に水晶体、頸部で線量が高くなり、CAU 方向では頸部での線量が特に高くなる傾向があることなどが明らかになった。

② 水晶体等価線量が定常的に 20 mSv/年を超える医師の実態調査

水晶体等価線量が定常的に 20 mSv/年を超える医師の実態調査の結果から、2016-2018 年の年間水晶体等価線量は 40 mSv を超え、経験年数に応じて線量は下がっていないことが明らかとなった。一方、2019 年は、天吊り式防護板を効果的に使用することで、水晶体等価線量は 50%近く低減できていることが明らかとなった。しかし、防護策の強化を行った後も依然として、年間 20mSv を超えているため、今後、さらなる防護策を講じる必要があることが確認できた。

③ 白内障の実態調査

放射線医療従事者が集う関連学会において、無料白内障検診を日本白内障学会の全面協力のもと実施した。今年度（令和 2 年度）は日本脳神経血管内治療学会（JSNET）において、白内障調査を主とする眼科検診を行い、84 名の調査が終了した。両眼での白内障有病率は、主病型である皮質（前囊下含む）が 0.6%、核が 0.0%、後囊下が 1.2% となった。白内障副病型である Retrodots や Waterclefts はいずれも 1.2% であった。放射線白内障の初期変化とされる微小混濁

(Vacuoles) は 25.6% (後囊下中心のみでは 15.5%) を示した。現在、各対象者の所属施設より対象者個人の被ばく線量を取得中であり、被ばく線量と水晶体混濁との関係について解析を実施中である。

(2) 放射線防護機材の改良等に関する研究

① 新しい防護デバイスである ZERO-GRAVITY に関する基礎的及び臨床的検討
ZERO-GRAVITY の散乱線に対する遮蔽効果に関するファントム実験にて、防護メガネと ZERO-GRAVITY の線量低減率を 2 回測定した平均は、防護メガネの 57%に対して ZERO-GRAVITY は 93% であった。散乱線発生と測定の再現性は良好であったが、防護デバイスの配置の再現性はやや劣り、測定回数を増やす必要性が判明した。

ZERO-GRAVITY の臨床使用経験の結果、天吊りによる身体的負担軽減や支柱可動範囲による行動範囲制限は想定通りであったが、姿勢と視野の制限による使いにくさや助手が使用する際の不都合については、実際に使用して初めて気付かれたものであった。高い遮蔽効果と身体的負担軽減を維持したまま、使いにくさを改善した次世代のデバイス開発が期待された。

② 0.07mmPb メガネ改良に関する基礎検討

改良型メガネの医師 7 名の平均遮蔽率は 61.4%、遮蔽率が最高であった医師は 63.4%、最低遮蔽率であった医師に関しても 58.9% の遮蔽率となった。

また、眼鏡のサイズによって遮蔽率への大きな差は生じなかった。

外側 DOSIRIS と内側 DOSIRIS の線量相関を Fig. 5 に示す。決定係数 $R^2 = 0.979$ と強い相関を示した。

③ 放射線シールドドレープ改良に関する基礎検討

試作した放射線シールドドレープは橈骨動脈アプローチの心臓 IVR において想定した IVR 術者の被ばく線量を、平均 60%、最大 90% 低減できる可能性があることが示唆された。特に IVR 術者の頭部、水晶体の被曝低減において、従来型の放射線シールドドレープ (壁無しタイプ) よりも効果的であると思われた。IVR 手技等に支障がないこと、および患者負担が無いことを前提として、X 線防護壁付放射線シールドドレープの遮蔽能力向上、IVR 術者の水晶体被曝の低減を目指して、今後、さらなる改良と種々の検討を行う必要があると考えられた。

(3) 放射線防護教育研究

散乱線分布をサーベイメータにより 20 ポイント程度測定し、モンテカルロシミュレーションで同じ照射条件の散乱線分布を計算することで、10% 程度の差でシミュレーションが可能であることを確認した。次に水ファントムを患者ファントムに入れ替え、臥位および座位にした状態での胸部撮影と、臥位での骨盤撮影における X 線検査時の室内的散乱線分布の 3 次元情報を取得した。この情報を基に、3 次元物体データ (ポリゴンデータ) として X 線装置、患者、散乱線分布を作成し、拡張現実 (Augmented Reality) のアプリケーションとして iPad に取り込むことで、X 線照射時の散乱線分布を任意の位置から可視化し、散乱線の広がり方や適切な介助位置について理解する放射線防護教育教材を開発した。また血管造影や透視検査における、天吊りの防護板や放射線防護眼鏡、防護衣等放射線防護具の有無による検査室内の散乱線分布や術者の被ばく分布の違いについてシミュレーションを実施できた。

(4) 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

日本保健物理学会の「眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン」では、等価線量限度の遵守及び防護の最適化を実施するために、水晶体等価線量をモニタリングする部位及びモニタリングに使用する実用量を、フロー図を参照して決定するとしていた。

放射線安全規制研究戦略的推進事業費の「医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン」は、20 の関係学協会の協力を得て検討し提言としてまとめられたものであり、放射線の安全利用、透視を用いた検査・治療、歯科領域の放射線防護、参考文献、資料などで構成されていた。日本放射線看護学会の「看護職のための眼の水晶体の放射線防護ガイドライン」では、看護職者のみに焦点を当て、より適切かつ合理的な放射線防護のための考え方と具体的方策を示した。日本適合性認定協会の「『認定の基準』についての指針—放射線個人線量測定試験分野—JAB RL 380:2020」は、個人線量測定試験分野の特殊性に合わせてより詳細に記述した指針であり、当該試験を実施する試験所及び審査員が審査の際に考慮すべき内容を示した。IRPA は、" IRPA Guidance on Implementation of Eye Dose Monitoring and Eye Protection of Workers " を出しおり水晶体のモニタリングが必要なとき、線量モニタリングを実施するための提案線量レベル、眼の水晶体のモニタリング手順、眼の防護用具の使用に関するガイダンス（医療分野、天井吊り下げスクリーン・眼の防護具）などで構成されていた。

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

各種の放射線業務に従事する者（医師や看護師等）の防護具使用状態等をリアルタイムに評価分析すること、すなわちリアルタイム線量測定システムを使用することで、防護状況を詳細に把握し改善点を抽出できる。様ざまなシチュエーションでの医療施設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ある。そこで、新しいリアルタイム個人線量計 i3 が、臨床現場での使用に耐え得る基本性能を有しているかどうか確認するため、詳細に測定評価を実施した。その結果新しいリアルタイム個人線量計 i3 は、臨床の放射線現場での使用に耐え得る十分な基本性能を有していることが示唆された。

さらに新型リアルタイム個人線量計 i3 を使用した IVR 臨床時の初期的検討を行った結果、照射方向が LAO であるとき線量の増加が顕著となり、さらに Caudal (CAU) 方向での照射でも、頸部の線量が高くなる場合があることなどが分かった。また、照射野への接近などにより防護板での遮蔽が不十分であるときに、術者の水晶体被ばく線量が高くなる傾向が見られた。これらのことから、IVR 装置の操作後に適宜防護板の角度を調節するように意識づけることが重要であることなどが明らかになった。

② 水晶体等価線量が定常的に 20 mSv/年を超える医師の実態調査

調査対象者は循環器内科医として 2015 年より従事しており、同年 8 月より不均等被ばく管理がなされていた。2015 年以前は麻酔科などに従事しており、IVR などの業務に

は従事していなかった。医師が行った血管造影検査・IVR は、冠動脈造影 (Coronary Angiography : CAG)、経皮的冠動脈形成術 (Percutaneous Coronary Intervention : PCI)、末梢血管形成術 (Endovascular Treatment : EVT)、経皮的動脈塞栓術 (Transcatheter Arterial Embolization : TAE) など多岐にわたっていた。なお、本調査では、2015 年 8 月より不均等被ばく管理されていたため、2016 年からの調査とした。その結果経験年数に応じて水晶体等価線量は下がっておらず、むしろ難しい症例などに従事することから、さらに高くなる可能性もあることが明らかとなった。また、天吊り式防護板を効果的に使用することで、水晶体等価線量は 50% 近く低減できることが確認できた。しかし、調査対象者は、防護策の強化を行った後も依然として、年間 20 mSv を超えているため、今後、さらなる防護策を講じる必要がある。

③ 白内障の実態調査

医療従事者の放射線被ばくによって生じる水晶体障害としては、後囊下白内障がある。また、皮質白内障や Water clefts も放射線被ばくにより、発症する可能性があると考えられている。

後囊下白内障は、視覚障害性が特徴的であるが、水晶体の初期変化の段階では、視機能への影響はほとんどなく、自覚症状としては認めにくい。

本調査で、放射線白内障の初期病変としてみられる後囊下中心の Vacuoles を認めた対象者は、その増加が今後の視覚障害につながる可能性も十分にあることから、長期間の継続的調査も求められる。

また、放射線源に近い左眼に水泡 (VC) や点状混濁 (FD) 等を生じている対象者がいたため、左右の眼での比較検討も行い、それに

より線源に近い眼にこれらの水晶体変化が認められるか否かも確認する必要がある。

(2) 放射線防護機材の改良等に関する研究

① 新しい防護デバイスである ZERO-GRAVITY に関する基礎的及び臨床的検討

ZERO-GRAVITY の使用感は決して良好とは言い難いもので、活用するためには充分な準備と適切な症例選択が必要と考えられた。しかし ZERO-GRAVITY による線量低減率は 93% と圧倒的で、術者の被ばくは文字通り桁違いに低くなるので、水晶体線量の高い術者を保護する手法の一つとして、有望な方向性であることは間違いない。この延長線上に、新たなデバイスが開発されることに期待したい。

② 0.07mmPb メガネ改良に関する基礎検討

新型 0.07mmPb 当量の防護眼鏡を用いた IVR 臨床測定を行った結果、平均で 61.4% という良好な遮蔽効果があることを明らかにした。この値は従来型 0.07mmPb 当量防護眼鏡を用いた場合と比較して 5% (5 ポイント) 以上高い値となった。これは新型 0.07mmPb 当量眼鏡が従来製品と比較して、3 つのサイズのうちから術者個人が自分に合ったものを選べること、眼鏡の柄の角度が細かく調整できること、鼻あて部の角度調整が可能であること等の遮蔽率を上げるための形状の工夫がなされていることが要因であると考えられる。しかしながら十分な防護効果を有しているとは言えないため、更なる改良が必要である。だが、形状の工夫のみによって遮蔽率を大幅に向上させることには限界があることも示唆された。

③ 放射線シールドドレープ改良に関する基礎検討

試作開発した X 線防護壁付放射線シールドドレープは、従来の X 線防護掛布に高さ

7cmの壁を付けた簡便な防護具である。今回試作したX線防護壁付放射線シールドドレープの基礎的ファントム実験の結果から、X線防護壁付放射線シールドドレープは平均60%、最大90%のX線遮蔽効果があることが分かった。すなわち従来の壁無し放射線シールドドレープよりも、X線防護壁付放射線シールドドレープは平均20%、最大60%高い遮蔽効果を有することが示された。

X線防護壁の高さを高くすることでより高い遮蔽効果を得られることが期待できるが、IVR手技等において高いX線防護壁が障害や邪魔になる危険性もある。よってX線防護能力の向上とIVR手技のスムースな実施の両立させることが重要であり、今後さらなる改良検討が必要である。

(3) 放射線防護教育研究

病棟撮影時の散乱線の挙動をシミュレーションした結果と、実際にポータブルX線撮影装置を用いた際の散乱線について計測した研究と線量の値を比較し、大きな差異は見られなかったことからARアプリケーションを用いた被ばく線量の推定は、実際の被ばく線量と大きくは差異がないと考えられた。

散乱線の分布を切り替えて表示ができるが、アプリケーションの作成の段階で指定した範囲毎の離散的な値での表示であるため、より詳しい相対線量の推定のためには散乱線の相対線量値の連続的な表示が必要であると考えられる。

VRを用いた散乱線の可視化では散乱線の広がりはディスプレイ内の大きさで実際の大きさとは異なっていたが、ARを用いて散乱線の分布を現実空間に投影することで、実際に近い大きさで立体的に観察できるためリアリティが増す。そのため、使用者の散

乱線の広がりに対するイメージ・理解が容易になると考えられる。

(4) 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

日本保健物理学会から出されたガイドラインは、フロー図で測定方法を決定することができる。放射線安全規制研究戦略的推進事業の「医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン～水晶体の被ばく管理を中心～」では、防護メガネの遮蔽効果の有効性と、被ばくが少ない場合は軽いメガネの利用が推奨されている。日本放射線看護学会のガイドラインは、日本保健物理学会及び推進事業の両ガイドラインを考慮したものになっている。日本適合性認定協会の指針では、 $H_p(10)$ と $H_p(0.07)$ に基づく眼の水晶体の線量の計算式が示されている。

国際的には、IRPAタスクグループの活動報告や測定に関するデータ、実際の医療現場における眼の水晶体の被ばく線量、放射線防護手法の効果などに関する発表があった。IAEAの放射線安全に関する国際会議では、医療現場での眼の水晶体の被ばく線量に関するものや、ファントムに関する発表が出されていた。

以上、水晶体の線量を評価する手法は、 $H_p(3)$ を直接測定するものは少なかった。特にインターベンショナル手技における被ばくに対する関心が高く、新しい線量限度を超える事例の報告もなされていた。評価手法としては、モンテカルロ計算データを利用した推定方法も提案されていた。

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実施した。

新型リアルタイム線量計である RaySafe i3 は、各種の放射線医療業務に従事する者（医師や看護師等）の防護具使用状態等をリアルタイムに評価分析するための個人線量計として、十分な基本性能を有していると思われた。さらに新型リアルタイム線量計 i3 が IVR 臨床の現場において問題なく使用できることができた。そして IVR スタッフの個人線量が高くなる状況等の概略を把握することができた。

市中病院における IVR を行う医師の放射線被ばくの実態を調査した結果、経験年数に応じて水晶体等価線量は下がっておらず、むしろ難しい症例などに従事することから、さらに高くなる可能性もあることが明らかとなった。調査対象者は、防護策の強化を行った後も依然として、年間 20 mSv を超えているため、今後、さらなる防護策を講じる必要がある。

JNETにおいて、白内障調査を主とする眼科検診を行い、84 名の調査が終了した。放射線白内障とされる後嚢下白内障の有病率は 1.2% と低く、全対象者で視力障害を伴う水晶体の変化・混濁が認められなかった。後嚢下中心にある VC については 14.3-16.7% を示し、年代別での有病率では加齢により増加が見られた。後嚢下中心の VC については、その増加が今後の後嚢下白内障発症にもつながる可能性も十分にあるため、詳細な検討が必要である。

新しい防護デバイスである ZERO-GRAVITY の遮蔽効果は、従来の防護デバイスより高いことが確認された。使用感に関する課題を解決するような次世代のデバイス開発に

期待したい。

改良新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡は鉛当量を 0.07mmPb に抑え軽さを維持しながらも、形状の工夫により従来型の 0.07mmPb 当量防護眼鏡と比較して高い遮蔽率となった。しかしそまだ十分な防護効果を有しているとは言えないため、今後、遮蔽能力向上、IVR 術者の水晶体被曝の低減を目指して、さらなる防護眼鏡の改良と種々の検討を行う必要がある。

試作した放射線シールドドレープは橈骨動脈アプローチの心臓 IVR において想定した IVR 術者の被ばく線量を、平均 60%、最大 90% 低減できる可能性があることが示唆された。特に IVR 術者の頭部、水晶体の被曝低減において、従来型の放射線シールドドレープ（壁無しタイプ）よりも効果的であると思われた。一方、今回試作した X 線防護壁付放射線シールドドレープ単体の評価では、透視や撮影の角度によって十分な遮蔽効果が得られないことがあるため、さらなる改良や、天吊り防護板など他の防護具との併用が重要であると考えられた。

AR を用いて現実空間に病棟撮影時の散乱線の挙動を可視化することで、任意の位置、角度から観察ができる臨場感のある放射線防護教育に用いる AR アプリケーションを開発し、臨床において適切な介助位置の把握、介助位置でのおおまかな被ばく線量の推定ができた。

国内外の開発上の技術的課題等の情報についての調査・収集した結果、水晶体の線量を評価する手法は、Hp(3) を直接測定するというよりは、従来の Hp(10) 及び Hp(0.07) に基づくもののが多かった。特にインターベンショナル手技における被ばくに対する関心が高く、新しい線量限度を超える事例の報告もなされていた。評価手法としては、線量

計による測定だけではなく、モンテカルロ計算データを利用した推定方法も提案されていた。

以上、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について、有用な結果を得ることができた。

F. 論文報告等

- 1) Kawauchi S, Chida K, Moritake T, Hamada Y, Tsuruta W: Radioprotection of eye lens using protective material in neuro cone-beam computed tomography: Estimation of dose reduction rate and image quality. *Physica Medica*. 2021 (in press).
- 2) Nagamoto K, Moritake T, Nakagami K, Morota K, Matsuzaki S, Nihei S, Kamochi M, Kunugita N: Occupational radiation dose to the lens of the eye of medical staff who assist in diagnostic CT scans. *Heliyon*. 2021 January 30;7(1):e06063. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06063.
- 3) Morota K, Moritake T, Nagamoto K, Matsuzaki S, Nakagami K, Sun L, Kunugita N: Optimization of the Maximum Skin Dose Measurement Technique Using Digital Imaging and Communication in Medicine-Radiation Dose Structured Report Data for Patients Undergoing Cerebral Angiography. *Diagnostics (Basel)*. 2020;11(1):E14. doi:10.3390/diagnostics11010014.
- 4) 坂本 驿, 五十嵐 隆元, 加藤 守, 川内 覚, 加藤 英幸, 塚本 篤子, 盛武 敬, 赤羽 正章 : DRLs 2015 の血管撮影・IVR 分野における効果検証および追加項目の検討. 日本放射線技術学会誌. 2020; 76(2):210-217. doi: 10.6009/jjrt.2020_JSRT_76.2.210.
- 5) Sun L, Inaba Y, Kanzaki N, Bekal M, Chida K, Moritake T: Identification of Potential Biomarkers of Radiation Exposure in Blood Cells by Capillary Electrophoresis Time-of-Flight Mass Spectrometry. *Molecular Endocrinology and Metabolism*. 2020, 21, 812. doi: 10.3390/ijms21030812.
- 6) Kawauchi S, Chida K, Moritake T, Hamada Y, Matsumaru Y, Tsuruta W, Sato M, Hosoo H, Sun L: Treatment of internal carotid aneurysms using pipeline embolization devices: measuring the radiation dose of the patient and determining the factors affecting it. *Radiat Prot Dosimetry*. 2020 Jun 24;188(3):389-396. doi: 10.1093/rpd/ncz298.
- 7) Kohzaki M, Ootsuyama A, Sun L, Moritake T, Okazaki R: Human RECQL4 represses the RAD52-mediated single-strand annealing pathway after ionizing radiation or cisplatin treatment. *Int J Cancer*. 2020 Jun 1;146(11):3098-3113. doi: 10.1002/ijc.32670.
- 8) 盛武 敬 : 脳血管内治療に関する診断参考レベル構築のための医療被ばく実態調査 (Re-JDRL study) について. 教育講座 第33回全国循環器撮影研究会総会・学術発表大会 (2019年4月13日) 医師講演. 全国循環器撮影研究会誌, 32, 5-12, 2020
- 9) 盛武 敬 : ICRP Publication 121 小児の放射線診断と IVR における放射線防護. 翻訳, 原子力規制委員会, 2021 年
- 10) 盛武 敬 : 医療放射線防護学 (第4章 放射線の生物影響・リスク 第1節~第3節), 国際文献社 医学物理学教科書シリーズ, 赤羽恵一・遠藤真広編著, 日本医学物理学会監修, P52-84, 2020 年

- 11) 盛武 敬 : 医療放射線防護学 (第4章 放射線の生物影響・リスク 第1節～第3節), 国際文献社 医学物理学教科書シリーズ, 赤羽恵一・遠藤真広編著, 日本医学物理学会監修, P52-84, 2020年
- 12) 初坂奈津子. 東電福島第一原発緊急作業従事者に対する白内障調査. 金沢医科大学雑誌 2020;45(1):14-15.
- 13) 初坂奈津子, 宮下久範, 喜多村絃子, 大久保利晃, 佐々木洋. 「東電福島第一原発緊急作業従事者に対する疫学的研究」白内障全国調査について. 日本白内障学会誌 2020;32(1):49-51.
- 14) Mime Endo, Yoshihiro Haga, Masahiro Sota, Akiko Tanaka, Kazuki Otomo, Yuuki Murabayashi, Mitsuya Abe, Yuji Kaga, Yohei Inaba, Msatoshi Suzuki, Taiichiro Meguro and Koichi Chida. Evaluation of novel X-ray protective eyewear in reducing the eye dose to interventional radiology physicians. *Journal of Radiation Research*, 62 (3), Published: 12 April 2021, doi: 10.1093/jrr/rbab014
- 15) 曽田 真宏, 芳賀 喜裕, 荒井 剛, 鈴木 新一, 加賀 勇治, 阿部 美津也, 千田 浩一. X線防護壁付掛布による心臓IVR術者の被ばく低減に関する基礎的検討. 臨床放射線 66巻 5号 2021. 印刷中
- 16) Kazuki Nishi, Toshihoh Fujibuchi, Takashi Yoshinaga, Development of an application to visualise the spread of scattered radiation in radiography using Augmented Reality, *Journal of Radiological Protection*, 40(4), 1299-1310, 2020. 11. doi: 10.1088/1361-6498/abc14b
- 17) Kosuke Matsubara, Yasutaka Takei, Hiroshige Mori, Ikuo Kobayashi, Kimiya Noto, Takayuki Igarashi, Shoichi Suzuki, Keiichi Akahane. A multicenter study of radiation doses to the eye lenses of medical staff performing non-vascular imaging and interventional radiology procedures in Japan. *Physica Medica*, 74, 83 - 91, 2020-06, DOI:10.1016/j.ejmp.2020.05.004

G. 研究発表

- 1) Munehiko Kowatari, Keisuke Nagamoto, Koich Nakagami, Miho Itonaga, Yoshihiko Tanimura, Takashi Moritake, Naoki Kunugita: Experimental evaluation of scattered X-ray spectra due to X-ray therapeutic and diagnosis equipment for eye lens dosimetry of medical staff. IRPA15, 15th International Congress of the International Radiation Protection Association. COEX, Seoul, Korea, Jan 18-Feb 5, 2021.
- 2) 大田 元, 盛武 敬, 茂呂田 孝一, 入佐 剛, 斎藤 清隆, 末松 裕貴, 河野 智樹, 堀之内 翔一, 小笠原 奈月, 山下 真治, 横上 聖貴, 竹島 秀雄: 当院における脳血管内治療時の医療被ばくの現状とその防護対策について. 第36回NPO法人日本脳神経血管内治療学会総会, 国立京都国際会館(京都市・京都府), 11月19-21日, 2020.
- 3) (招待講演) 盛武 敬: 被ばく防護ミニ講習会「医療放射線被ばくの最新トピックス～DRLs 2020と電離則改正～」脳血管

- 内治療に関する診断参考レベル構築のための医療被ばく実態調査（Re-JDRL study）報告，第36回NPO法人日本脳神経血管内治療学会総会，国立京都国際会館（京都市・京都府），11月19-21日，2020.
- 4) 孫 略，稻葉 洋平，千田 浩一，盛武 敬：被ばく後の血液抗酸化能評価. 日本放射線影響学会第63回大会（ワークショップ）生物学的線量推定の新技術（Web開催），10月15-16日（Web閲覧期間：10月15-31日），2020.
 - 5) 盛武 敬，孫 略，マヘッシュ・ベカル，中村 麻子，志村 勉：複数の生物学的指標を用いた逆行性生物線量測定法の開発. 日本放射線影響学会第63回大会（ワークショップ）生物学的線量推定の新技術（Web開催），10月15-16日（Web閲覧期間：10月15-31日），2020.
 - 6) 香崎 正宙，大津山 彰，盛武 敬，岡崎 龍史：RECQL4は放射線やシスプラチニン処理後にRAD52を介した一本鎖アーリーリングDNA修復経路の活性化を抑制する. 日本放射線影響学会第63回大会，10月15-16日（Web閲覧期間：10月15-31日），2020.
 - 7) 大田 元，盛武 敬，茂呂田 孝一，入佐 剛，齋藤 清隆，末松 裕貴，河野 智樹，堀之内 翔一，小笠原 奈月，武石 剛，山下 真治，渡邊 孝，横上 聖貴，竹島 秀雄：脳血管内治療時における医療被ばく線量の術中モニタリング-被曝量低減に向けた当施設の取り組み-. 日本脳神経外科学会第79回学術総会，岡山コンベンションセンター（岡山市・岡山県），10月15-17日（Web閲覧期間：10月15日-11月30日），2020.
 - 8) Mahesh Bekal, Lue Sun, Susumu Ueno, Ryuji Okazaki, Takashi Moritake: Role of Gut-Brain connection in radiation induced neuro-behavioral changes. 第38回産業医科大学学会，第32回産業医学推進研究会全国大会，産業医科大学ラマツィーニホール（北九州市・福岡県），10月10日（一部Web配信），2020.
 - 9) 松浦 康晃，隅倉 有美子，中上 晃一，盛武 敬，永元 啓介，茂呂田 孝一，松崎 賢，栗山 知子，櫻田 尚樹：スチュードント・ドクター制度における放射線診療実習での医学生の被ばく. 第38回産業医科大学学会，第32回産業医学推進研究会全国大会，産業医科大学ラマツィーニホール（北九州市・福岡県），10月10日（一部Web配信），2020.
 - 10) 盛武 敬，石垣 陽：大規模放射線災害発生時のサージカルマスク不足に備える-組み立て式立体マスクORIMASK（オリマスク）の開発とその簡易性能評価. 日本放射線看護学会第9回学術集会，広島大学霞キャンパス（広島市，9月26-27日（Web閲覧期間：9月26-30日），2020.
 - 11) 阿部 利明，盛武 敬，馬田 敏幸，中上 晃一，永元 啓介，櫻田 尚樹：病院における個人水晶体等価線量低減を目的とした業務改善計画策定のための職業被ばく線量の実態調査. 日本保健物理学会第53回研究発表会WEB大会，6月29-30日（Web配信6月29日-7月31日），2020.
 - 12) 世古口 真吾，盛武 敬，吉武 英隆，安藤 肇，池上 和範，石垣 陽，明星 敏彦，大神 明：ウェアラブル粉じん計試作機の性能評価（第2報）. 第93回日本産業衛生学会（Web開催），旭川市民文化会館・アートホテル旭川（旭川市・北海道），6月12-28日（Web閲覧期間），2020.
 - 13) 初坂奈津子. 東電福島第一原発緊急作業従事者に対する白内障調査. 第5回北

- 陸4大学眼科合同研究会，金沢，
2019/05/31.
- 14) 初坂奈津子，宮下久範，久保江理，喜多村絵子，佐々木洋，大久保利晃. 「東電福島第一原発緊急作業従事者に対する疫学的研究」白内障全国調査について. 第58回日本白内障学会総会・第45回水晶体研究会，和歌山，2019/07/19-20.
- 15) 初坂奈津子. 【知っておくべき眼光学の基礎】電磁波と眼(紫外線から赤外線の眼への影響と予防). 第55回日本眼光学学会総会，金沢，2019/10/05-06.
- 16) 初坂奈津子. 東電福島第一原発緊急作業従事者に対する白内障調査. 金沢医科大学総合医学研究所 2019年度研究セミナー，内灘，2020/03/05 (新型コロナウイルス感染予防対策のため中止し、総合医学研究所HPに公開).
- 17) 千田浩一. 水晶体の被ばく限度の見直しについて. 第36回日本診療放射線技師学術大会(WEB開催). 教育講演(招待講演). 2021年1月
- 18) 千田浩一. 放射線医療従事者の水晶体被ばくの実態. 2020年度日本放射線技術学会九州支部放射線防護・計測セミナー(WEB開催). 教育講演(招待講演). 2020年11月
- 19) 服部兼進、加藤聖規、藤沢昌輝、安野ひかる、山田歩実、千田浩一. 術者被ばく評価における最新型リアルタイム線量計の基礎的検討 第36回日本診療放射線技師学術大会(WEB開催). 2021年1月
- 20) Mamoru Kato, Koichi Chida, et al. Occupational eye lens dose measurement using direct eye dosimeters in interventional cardiac electrophysiology procedures . European Congress of Radiology ECR2020. 令和2年7月，ウィーン、オーストリア，(Web)
- 21) Mamoru Kato, Koichi Chida, et al. Evaluation of usefulness of neurovascular interventional radiology procedure supported using MR-3D road-mapping. 第76回日本放射線技術学会JRC2020. 令和2年5月，横浜 (Web)
- 22) Kentaro Sakamoto, Mamoru Kato, Noriyuki Takahashi, Koichi Chida, et al. Evaluation of Patient Radiation Dose in Percutaneous Coronary Intervention Using Radiophotoluminescence Dosimeter. 第76回日本放射線技術学会JRC2020. 令和2年5月，横浜 (Web)
- 23) Morishima Y, Chida K, et al. Radiation Protection Effect of Novel Pb Plate in Videofluoroscopic Swallowing Study. Radiological Society of North America (RSNA2020), 令和2年11月 シカゴ アメリカ合衆国 web開催.
- 24) Mamoru Kato, Koichi Chida, et al. Occupational eye lens dose measurement using direct eye dosimeters in interventional cardiac electrophysiology procedures . European Congress of Radiology ECR2020. 令和2年7月，ウィーン、オーストリア，(Web)
- 25) Mamoru Kato, Koichi Chida, et al. Evaluation of usefulness of neurovascular interventional radiology procedure supported using MR-3D road-mapping. 第76回日本放射線技術学会JRC2020. 令和2年5月，横浜 (Web)
- 26) Kentaro Sakamoto, Mamoru Kato, Noriyuki Takahashi, Koichi Chida, et al. Evaluation of Patient Radiation Dose in Percutaneous Coronary Intervention Using Radiophotoluminescence Dosimeter. 第76回日本放射線技術学会JRC2020. 令和2年5月，横浜 (Web)

- 27) Morishima Y, Chida K, et al. Radiation Protection Effect of Novel Pb Plate in Videofluoroscopic Swallowing Study. Radiological Society of North America (RSNA2020), 令和2年11月 シカゴ アメリカ合衆国 web開催.
- 28) 西和紀、藤淵俊王、吉永崇、ウェブブラウザ上での拡張現実を利用した散乱放射線分布の可視化システムの開発、第19回日本放射線安全管理学会学術大会（2020年12月9-11日、web）

H. 知的所有権の取得状況

- 1) 放射線被ばくによる皮膚炎発生の予測：特願 2020-072182 (2020 年 4 月 14 日出願)；発明者：孫 略，盛武 敬，千田 浩一，稻葉 洋平；出願人：産業技術総合研究所，産業医科大学，東北大学
- 2) 線量計ホルダ：特願 2018-149742 (2018 年 8 月 8 日出願)，発明者：盛武 敬，孫 略，永元啓介，小野洋彰，出願人：盛武 敬，孫 略，永元啓介，有限会社コスマテック，株式会社保科製作所

II. 分担研究報告

令和2年度(2020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:リアルタイム線量計の基礎研究(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

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、そして本稿ではリアルタイム線量評価を使用する、新しいリアルタイム線量計の諸特性について述べる。

様ざまなシチュエーションでの医療施設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ある。そのため今回、新しいリアルタイム個人線量計 i3 が、臨床現場での使用に耐え得る基本性能を有しているかどうか確認するため、詳細に測定評価を実施した。

当研究は、電離箱線量計、RaySafe i2 などと比較して、RaySafe i3 の基本性能評価に関する基礎的検討について行った。主な評価項目は、RaySafe i3 の安定性、管電圧依存性、線量依存性、線量率依存性、電波特性、角度依存性、後方散乱、透過率、パルス透視応答などである。

新しいリアルタイム個人線量計 i3 は、旧型のリアルタイム線量計である RaySafe i2 と比較して、今回検討したすべての項目について同等以上の性能を有していた。他のリアルタイム線量計と比較して、i3 は線量の把握をリアルタイムで行うことが可能で、計測後にパソコンに接続して解析することで、より詳しい線量率等のデータが得られるという利点が確認できた。

よって i3 は、各種の放射線医療業務に従事する者(医師や看護師等)の防護具使用状態等をリアルタイムに評価分析するための個人線量計として、十分な基本性能を有していると思われた。

*主な研究協力者:稻葉 洋平(東北大学災害科学国際研究所 助教)

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、医療放射線分野は特に課題が多いところである。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、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。当研究の目的は、リアルタイム線量評価に使用する、新しいリアルタイム線量計 RaySafe i3 の諸特性について詳細に明らかにすることである。

現在、Interventional Radiology (IVR) 等における術者被曝線量評価は主に頸部、胸部または腹部に装着したガラスバッジを用いて行われている。ガラスバッジを用いた線量測定では長期間の累積線量を測定するものであるため、検査ごと、手技ごとの経時的な被曝線量のリアルタイム評価ができず、直接的な被曝線量の低減には繋がりにくいという現状がある。

最近、従事者用新型リアルタイム線量計である RaySafe i3 が Unfors RaySafe 社より発売された。そこで、本研究では旧型のリアルタイム線量計である RaySafe i2 等と比較して、新型のリアルタイム線量計 RaySafe i3 が医療従事者の線量測定に有用な基本性能を有しているかどうか検討した。

なお、i3 は i2 と同様にリアルタイムで空間散乱 X 線を測定し、ディスプレイを通してリアルタイムで線量率、累積線量を表示する線量計である (Fig. 1)。線量率は 1 秒間隔で高い方から順に赤、黄、緑のバーで視覚的に表示するため、どのような場面で線量

率が高くなっているかを一目で見ることができる (Fig. 2)。また線量情報は i3 検出器自体に保存されており、専用のソフトをダウンロードしたパソコンを通して線量の履歴の確認、解析を行うことができる。なお i3 とパソコンの接続はマイクロ USB を用いて行う。

メーカー カタログによると i3 では i2 と比較して、散乱線の感知機能等の基礎的な性能が向上し、バッテリー交換可能、そして解析性能が向上したとされている。だが、実際のユーザーサイドでの i3 の評価はなされていない。すなわち、実際の i3 の諸特性は明らかになっていないため、実臨床で使用可能かどうかについて確認する必要がある。

一方現在、従事者被曝線量評価に用いられている主な線量計としては、ガラスバッジとポケット線量計がある。ガラスバッジは長期間の被ばく線量を測定するのに適している一方でリアルタイムでの計測はできない。ポケット線量計はリアルタイムで計測することが可能であるが、線量をリアルタイムで把握するには、いちいち線量計を確認しなくてはいけない。IVR 等の被曝線量が多く、瞬時に被曝線量を把握したい現場では i3 のような線量計を用いることが効果的であると思われる。

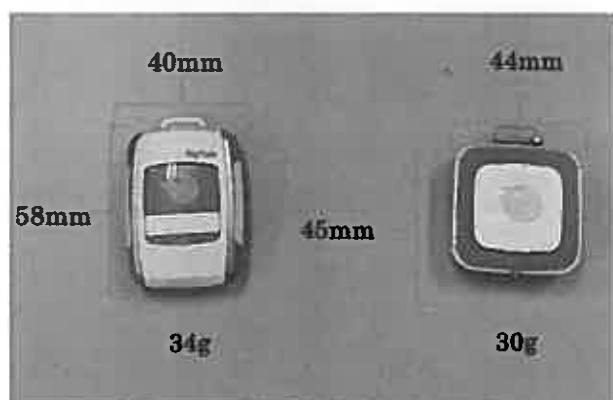


Fig.1 リアルタイム線量計検出部の外観
(左 : RaySafe i3, 右 : RaySafe i2)



Fig.2 リアルタイム線量計の線量表示モニタの外観

本研究では、RaySafe i3 の基本性能評価に関する基礎的検討について、電離箱線量計や RaySafe i2 などと比較して測定評価したので報告する。

B. 研究方法

主な使用機器

- i3(RaySafe 社)
- i2(RaySafe 社)
- ポケット線量計
- 電離箱式サーベイメータ： ICS-323C(日立アロカメディカル)
- 診断用 X 線装置： DHF-115H II(日立メディコ)
- C アーム型 X 線血管撮影装置： Infinix Celeve-I INFX-8000F(東芝メディカルシステムズ)

主な評価項目

- 安定性
- 管電圧依存性
- 線量依存性

- 線量率依存性
- 電波特性
- 角度依存性
- 後方散乱
- 透過率
- パルス透視応答 など

測定実験方法

- 安定性

同一 X 線照射条件で繰り返し測定したときの i3 安定性を評価するために、i3 と電離箱線量計に同時に X 線を照射して測定を行った。

X 線管焦点一検出器間距離を 180cm、電離箱線量計一検出器間距離と検出器同士の距離は 8cm、照射野は 8cm × 8cm とした。透視条件は①管電圧 65kV、管電流 1mA、②管電圧 65kV 管電流 0.1mA、③管電圧 40kV、管電流 0.1mA の散乱線を想定した 3 つの条件で行った。

- 管電圧依存性

測定配置は上記と同様である。透視条件は連続透視で管電圧 (kV) は 40、50、60、70、80、90、100、110 とした。各管電圧で 3 回ずつ測定しそれぞれ平均値を求めた。

電離箱線量計の平均値に対する i3 の平均値の比で管電圧依存性を評価した。

- 線量依存性

積算線量を測定した。測定配置は上記と同様である。i3-X 線管距離 180cm、照射野を 30cm × 30cm とした。透視 X 線条件は管電圧 65kV、管電流 1.6mA、透視時間は 16 分間とした。

それぞれの i3 の積算線量の値を記録し、これを 3 回行った。各データに対して、Microsoft Office Excel を用いて最小二乗法

による直線性近似を行い、決定係数 R^2 を算出した。

・ 線量率依存性

測定配置は上記と同様である。透視条件は連続透視で管電圧 65kV・管電流 0.1mA、0.2mA、0.5mA、1.0mA、1.5mA、2.0mA、管電圧 80kV・管電流 2.0mA、管電圧 100kV・管電流 2.0mA、管電圧 110kV・管電流 2.0mAとした。また管電圧 110kV・管電流 2.0mA の条件で X 線管焦点一検出器間距離を 180cm、145cm、110cm と変化させた。

各管電圧で 3 回ずつ測定しそれぞれ平均値を求めた。電離箱線量計の平均値に対する i3 の平均値の比で線量率依存性を評価した。同様の条件で i2 の測定を行い、i2 と i3 の線量率依存性を比較した。

・ 電波特性

応答特性については、下記のように実施し i2 および i3 を比較した。

条件①：狭いが十分に距離のとれる空間にて、検出部をモニタから離していく、電波が届かなくなった地点を記録した。30m 地点から 3m ごとに i3 をモニタから離し、表側・裏側それぞれ 5 回ずつ測定を行い、3 つの線量計で平均を求めた。また、同様の方法で i2 の測定を行い、比較した。

条件②：上記と同様の条件で、各測定点につき 1 分間放置した。表側のみ 5 回測定を行った。

条件③：②と同様の条件で十分に広い空間にて測定を行った。表側・裏側・側面・斜め 45 度それぞれ 5 回ずつ測定を行った。加えて、実際の壁を想定した防護板をリアルタイム線量側、モニタ側に設置した。21m 地点から 3m ごとに i3 をモニタから離し、5 回ずつ測定を行った。また、同様の方法で i2

の測定を行い比較した。

電波干渉については、下記のように実施し i2 および i3 を比較した。i3 の院内 PHS・スマートフォンの干渉による誤検出の有無を確認するため、i3 に院内 PHS・スマートフォンを近づけ 1 分間、通話の発信・受信を行った。測定回数は発信・受信それぞれ 5 回とした。また、同様の条件で i2 の測定を行い、比較した。

・ 角度依存性

角度によって検出感度に違いがあるか確認するため、血管撮影装置の C アームを用いて実験を行った。血管撮影装置の寝台に発泡スチロールを設置し、その上に i3 の中心が、装置のアイソセンタに一致するように設置した。

C アームの角度を 0° から 90° (15° ごと)、それに加えて 135°、180° と変化させて測定した。水平方向は、i3 をアイソセンタ軸と同じ向きに設置して C アームを回転させた。垂直方向は、i3 をアイソセンタ軸に対して水平に 90° を向くように設置して C アームを回転させた。撮影条件は管電圧 70kV、管電流 10mA、撮影時間 5msec とした。これを角度ごとに 5 回ずつ行った。

・ 後方散乱

検出器 (i2 および i3) の後方散乱 X 線に対する検出感度を確認するため、下記実験を行った。

条件①：床の上に直接検出器 (i2 および i3) を置き、後方散乱の影響を受ける場合と、床の上に鉛を設置し、その上に検出器を置き、後方散乱を除去した場合とで比較し、実験を行った。

条件②：散乱体として、厚さ 1cm のアクリル板を 10 枚重ねて置く。その上に鉛を設置

し、後方散乱が除去された場合と、鉛を設置せずに、後方散乱を受けている場合で比較をした。そのため、測定配置の焦点一検出器間距離は 170cm となった。

また、装置の安定性を確認するため、面積線量計を用いた。その他の配置条件は上記と同様である。

透視条件は、鉛あり、鉛無しそれぞれで、40kV 1.0mA、60kV 0.7mA、80kV 0.1mA、100kV 0.1mA、110kV 0.1mA で行い、透視時間を 1 分とした。この条件でそれぞれ 3 回ずつ測定を行った。

• 透過率

X 線が検出器 (i2 および i3) に入射した際に、検出器内でどれだけ吸収されるかを確認するため、実験を行った。

アクリルファンтом (30cm × 30cm × 20cm) の上に検出器 (i2 および i3) を設置した。この状態と、検出器を設置しない、バックグラウンドの状態を計測し、比較することで、検出器 (i2 および i3) の吸収率を求めた。測定条件、測定回数は上記の後方散乱と同様である。

• パルス透視応答

血管造影透視では一般に長時間の透視になることが多い。よって透視被ばく低減のため、連続透視ではなく、パルス透視を用いている。

ポケット線量計は連続的な放射線を計測するのに適したタイプが多いため、パルス透視での正確な検出ができないものもある。そこで、i3 のパルス透視応答を確認するため実験を行った。透視には血管撮影装置を用いた。角度依存性と同様、寝台に発泡スチロールを設置し、その上に検出器を設置した。焦点一検出器間距離は 90cm とした。透

視条件は連続透視の場合、管電圧 50kV、管電流 0.5mA、透視時間 1min とした。パルス透視の場合、管電圧 50kV、管電流 0.1mA、透視時間 1min、パルス幅 1msec を固定とした。そして、パルスレートを秒間 3, 7.5, 10, 15, 30 と変化させ、検出感度に違いがあるか確認した。連続透視は 5 回、パルス透視は 4 回測定を行った。

C. 研究結果

• 安定性

i3 の安定性であるが、条件①の時の検出器ごとの再現性は変動係数で 2%程度、検出器間の安定性は 3.3% であった。次に条件②の時の検出器ごとの再現性は変動係数で 2%程度、検出器間の安定性は 3.431% であった。条件③の時の検出器ごとの再現性は変動係数で 5%程度、検出器間の安定性は 8%程度であった。

以上から、i3 の安定性は良好であることが分かった。

• 管電圧依存性

電離箱線量計を基準としたときの i3 の管電圧依存性であるが、管電圧が低くなるほど i3 の値が相対的に低下した。電離箱線量計に対する i3 の測定値の差異は、管電圧 70kV を基準とすると、50kV から 110kV の間において ±20%未満であった。

以上から、i3 の管電圧依存性は比較的良好であることが分かった。

• 線量依存性

線量直線性の測定結果は、すべての i3 で決定係数 R^2 は 1 となり、良好な直線性が見られた。

また検出器間の差がほとんど無いことが

分かった。以上から、i3 の線量依存性は良好であることが分かった。

・ 線量率依存性

線量率依存性は、低線量率帯では i2、i3 で似通った応答特性を示した。すなわち線量率依存性は、両者とも比較的良好であることが分かった。ただし高線量帯では i2、i3 ともに感度が低下した。

・ 電波特性

電波応答特性については、条件①での表側の i2 と i3 の比較、裏側の i2 と i3 の比較とともにばらつきが大きくなつた。条件②でも、i2、i3 ともにばらつきが大きくなつたため、廊下のような狭い空間では適切な測定評価が行えないことが分かった。

条件③での表側の i3 と i2 の比較、裏側の i2 と i3 の比較、側面の i2 と i3 の比較、斜め 45 度の i2 と i3 の比較の結果、線量計の向きによる応答距離の影響はほぼ認められなかつた。

Pb 防護衝立でモニタ側を遮蔽したときの i2 と i3 の比較や、Pb 防護衝立でリアルタイム線量計側を遮蔽したときの i2 と i3 の比較、そして i2・i3 それぞれで遮蔽無し、防護板でモニタ側を遮蔽、Pb 防護板でリアルタイム線量計側を遮蔽したときの比較の結果、何れもリアルタイム線量計側に Pb 防護衝立を設置したときが、最も応答距離は短くなつた。

電波干渉については、i2 の院内 PHS・スマートフォンの干渉による誤検出の有無、i3 の院内 PHS・スマートフォンの干渉による誤検出の有無について検討した。院内 PHS・スマートフォンによるリアルタイム線量計への影響は認められなかつた。

・ 角度依存性

水平方向、垂直方向の測定結果から、0°での線量を 1 とした相対値で表した場合、i3 は水平方向では ±75° で 90%以上の感度を有していいた。

また垂直方向では ±60°、270°、285°において 90%以上の感度を i3 は示した。水平方向、垂直方向での i2 との感度を比較した結果、両方向において、検出器前方で i3 が広い感度を有していることが明らかになつた。

以上から、i3 の角度依存性は、i2 に比べ良好であることが確認できた。

・ 後方散乱

後方散乱実験の条件①の結果であるが、鉛なしの値を鉛ありの値で除したものを i2 の 80kV での値で正規化して評価した。その結果、i2、i3 ともに線量の大きな違いは見られなかつた。

また条件②の結果であるが、条件①同様、鉛無しの値を鉛ありの値で除したものを、i2 の 80kV での値で正規化して評価したが、i2 は鉛ありよりも鉛無しのほうが線量が増えている。対して、i3 は鉛あり、鉛なしで大きな差は見られなかつた。

・ 透過率

i3 と i2 の検出器の X 線吸収（透過率）の測定実験の結果、i3 と i2 はほぼ同等の透過率を有していると考えられた。また、どちらも管電圧が高くなるほど検出器の透過率は上昇した。

・ パルス透視応答

i2, i3 及び電離箱線量計の測定結果から、i2, i3 どちらも電離箱線量計の値に近く、一定であった。すなわち両検出器ともパル

ス透視に対して、連続透視と同等の応答を示すことが分かった。

D. 考察

医療放射線分野での被ばく状況は複雑であり、例えば、「手技中にX線管角度が変化しうる」、「検査室の立ち位置が異なる」、「放射線防護具の最適使用が出来ない場合がある」等々が挙げられる。よって被曝線量と従事者行動パターン等の時系列解析、すなわちリアルタイム測定評価は水晶体被ばく防護の最適化に重要であり、眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発を推進するためにも不可欠である。

各種の放射線業務に従事する者（医師や看護師等）の防護具使用状態等をリアルタイムに評価分析すること、すなわちリアルタイム線量測定システムを使用することで、防護状況を詳細に把握し改善点を抽出できる。様ざまなシチュエーションでの医療施設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ある。

そこで今回、新しいリアルタイム個人線量計 i3 が、臨床現場での使用に耐え得る基本性能を有しているかどうか確認するため、詳細に測定評価を実施した。

i3 の再現性や i3 間の安定性に関しては、共におおむね 5%程度であり i2 と同様に良好であった。また、管電圧 40kV の低線量を想定した条件で i3 間の変動係数が最も大きくなったのは X 線出力が不安定なためだと考えられる。

管電圧依存性に関しては、管電圧が低いほど i3 の値が相対的に低下した。しかし、管電圧 70kV のときの測定値の比を 1 とすると、50kV から 110kV の間における差異

は±20%未満と Raysafe 社が提示しているマニュアルの値±25%の範囲内となり、また i2 と同等の結果であった。

線量直線性に関しては、i3 の決定係数が $R^2=1$ となり良好であった。また、過去の論文 (Fundamental study of a real-time occupational dosimetry system for interventional radiology staff) では、i2 の線量直線性も良好 ($R^2=1$) であるところが報告されている。このため i2 と i3 は同等の直線性をもっていると言える。

線量率依存性に関しては、i3 と i2 のどちらの線量計でも高線量率帯で感度の低下が認められた。しかし、DRL2020 の IVR における患者基準透視線量率は 17mGy/min、102mGy/hour と設定されている。術者が受ける散乱線はこれより低くなるため、臨床上は問題ないと考えられる。

電波特性の応答特性に関しては、線量計の向きによる応答への影響はほとんど認められなかった。Pb 防護板の設置位置により、電波が届く距離に差異が認められた。防護板をリアルタイム線量計側に設置したときが最も距離が短くなったが、これは電波が広がる前に遮蔽されたためであると考えられる。院内 PHS・スマートフォンによる電波の干渉に関しては、i2・i3 ともに誤検出は認められず、院内 PHS・スマートフォンの使用はリアルタイム線量計の測定値に影響しないと考えられる。

角度依存性に関しては、検出器前方では水平方向±75°、垂直方向±60°において 90%以上の感度を有していた。また、i2 と比較しても広い角度で高感度を示していた。すなわち i2 よりも角度依存性は良好であった。また検出器後方では i2 が約 2 倍の感度を示しているのに対し、i3 ではほとんど感度が見られなかった。線量計を頭部や頸部

に装着する場合は、後方散乱の影響を考慮する必要がある。検出器の裏面に感度が無い i3 はそれらの影響を無視できるため、この点においても i2 より i3 の方が角度依存性は良好であると言える。

なお後方散乱に関しては、条件①では実験場所の床が線量を吸収してしまったため、後方散乱のデータを得られなかつたと考えられる。条件②の i2 では鉛有りより鉛無しの方が、大幅に線量が増えているのに対して、i3 では鉛の有無で変化は見られなかつた。このため、i2 より i3 の方が、線量測定に適していると考えられる。

透過率に関しては、どちらの線量計でも、ほぼ同等の透過率を有していた。また、管電圧が高いほど透過率が上昇した。

パルス透視に関しては、パルスレートを変化させても、基準とした電離箱と同等の傾向を示したことから、パルスレートに対する依存性は小さいと言える。したがって、i3 はパルス透視での線量測定に有用であることが考えられる。

なお、Table 1 に i2 と比較した i3 の基本特性を示す。

以上から、新しいリアルタイム個人線量計 i3 は、放射線診療での使用に耐え得る。十分な基本性能を有していることが示唆された。

E. 結論

新型リアルタイム線量計である RaySafe i3 のユーザー側での性能評価を行った。旧型のリアルタイム線量計である RaySafe i2 と比較して、i3 は今回検討したすべての項目について同等以上の性能を有していることが分かった。その他のリアルタイム線量計と比較して、i3 は線量の把握をリアルタ

イムで行うことが可能であり、さらに計測後にパソコンに接続して解析することで、より詳しい線量率等のデータが得られるという利点がある。

以上から i3 は、各種の放射線医療業務に従事する者（医師や看護師等）の防護具使用状態等をリアルタイムに評価分析するための個人線量計として、十分な基本性能を有していると思われた。

F. 論文報告

該当なし

G. 研究発表

- 千田浩一. 水晶体の被ばく限度の見直しについて. 第36回日本診療放射線技師学術大会(WEB開催). 教育講演(招待講演). 2021年1月
- 千田浩一. 放射線医療従事者の水晶体被ばくの実態. 2020年度日本放射線技術学会九州支部放射線防護・計測セミナー(WEB開催). 教育講演(招待講演). 2020年11月
- 服部兼進、加藤聖規、藤沢昌輝、安野ひかる、山田歩実、千田浩一. 術者被ばく評価における最新型リアルタイム線量計の基礎的検討 第36回日本診療放射線技師学術大会(WEB開催). 2021年1月

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

次ページに Table 1 を示す。

Table 1 リアルタイム個人線量計 i3 の基本的諸特性 (i2 と比較した i3 の基本特性)

項目	比較結果
1. 安定性	60kV/1mA：良好 60kV/0.1mA：良好 40kV/0.1mA：同等
2. 管電圧依存性	同等
3. 線量依存性	同等
4. 線量率依存性	同等
5. 電波特性	応答特性：同等 干渉：同等
6. 角度依存性	良好
7. 後方散乱	良好
8. 透過率	同等
9. パルス透視	同等

令和2年度(2020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:初期臨床研究(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

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、そして本稿では新型リアルタイム個人線量計 i3 を使用した IVR 臨床時の初期的検討について報告する。

Interventional Radiology (IVR) 術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。そこで本研究では、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 i3 を実際の IVR 臨床で使用して、初期的な検討を行った。

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、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た(すなわち防護眼鏡の外側の線量を測定している)。頸部の場合は、IVR 術者の左頸部付近のプロテクターの上に i3 を装着した。つまり i3 を IVR 術者の左眼近傍に 1 つ、そして IVR 術者の左頸部付近のプロテクターの上にもう一つ装着した(計 2 個の i3 を装着)。

今回の初期臨床研究結果から、新型リアルタイム線量計 i3 は IVR 臨床の現場において問題なく使用できることが確認できた。初期的検討結果から、照射方向の違いや患者との距離によって術者と助手および水晶体と頸部の線量に差がみられ、LAO 方向では IVR 術者、助手共に水晶体、頸部で線量が高くなり、CAU 方向では頸部での線量が特に高くなる傾向があることが分かった。また IVR 術者が、患者および照射野へ接近した場合は、線量が高値を示した。なお、患者および照射野へ接近の理由として、今回の症例ではモニタの確認などが原因として挙げられたが、他にも様々な状況が考えられるため、今後、本格的な検討を行う必要がある。

*主な研究協力者:芳賀 喜裕(仙台厚生病院 主任)

A. 研究目的

眼の水晶体の新しい等価線量限度取入れ運用に際し、医療放射線分野は特に課題が多いと言われている。当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に、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」の中で、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 を使用した IVR 臨床時の初期的検討について報告する。

Interventional Radiology (IVR) は、放射線源との距離や角度が変化することで、IVR 術者等の最も被ばくする身体の部位が変化し、さらに保護具の期待する防護効果が得られなくなる恐れがある作業状況になると思われる。その IVRにおいて、その手技

(作業) 中における被ばく線量のリアルタイム実測や放射線防護使用状態等の詳細な結果が得られれば、それを基に、放射線防護機材の製品開発のための課題整理や、被ばく防護方法を詳細に検証することに大いに役立つ可能性があると期待できる。

IVR 術者の被ばく線量に影響する因子である透視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。

そこで本研究では、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 i3 を実際の IVR 臨床で使用して、初期的な検討を行った。

B. 研究方法

主な使用機器

- i3(RaySafe 社)システム (検出部およびモニター)
- C アーム型 X 線血管撮影装置 : Infinix Celeve-I INFX-8000F(東芝メディカルシステムズ) アンダーテーブル X 線管システム

水晶体近傍

頭部



Fig.1 リアルタイム線量計 i3 検出部を装着した様子を再現したもの(i3 を IVR 術者の左眼近傍に 1 つ、そして IVR 術者の左頸部付近のプロテクターの上にもう一つ装着。計 2 個の i3 を装着した。)

IVR 実臨床でも初期検討

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、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（すなわち防護眼鏡の外側の線量を測定している）。頸部の場合は、IVR 術者の左頸部付近のプロテクターの上に i3 を装着した。Fig. 1 は i3 を装着した様子を再現したものである。

線量単位は、i3 にて測定表示可能な 1cm 線量当量を用いて比較評価した。

IVR 終了後、i3 に記録された線量の経時的データを分析し、そして各種放射線手技と比較し、線量が増加しているときの行動を検討した。

なお測定線量は、リアルタイムでの線量と積算線量の各々について、IVR 術者と IVR 助手において、それぞれ測定部位ごとに比較した。

C. 研究結果

i3 を使用した IVR 臨床時の初期的検討結果の一例について以下に記す。

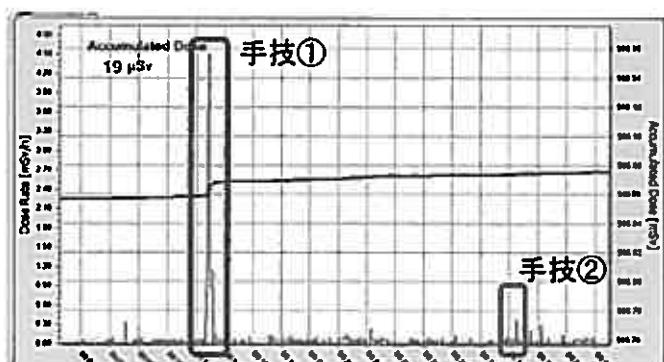


Fig. 2 リアルタイム線量の時系列表示例
(IVR 術者の水晶体位置)

手技①が特に高線量率である。

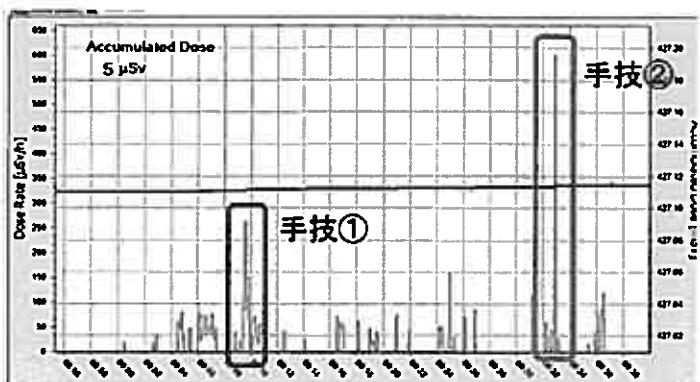


Fig. 3 リアルタイム線量の時系列表示例
(IVR 術者の頸部位置)

手技②が特に高線量率である。

Fig.2、Fig.3 は IVR 術者の水晶体の線量と頸部の線量のグラフである。(なお解析に用いたソフトはグラフのスケールを変更できない。そのため、縦軸の線量スケールが両者で異なっている。実際には Fig.2(水晶体)、Fig.3(頸部)の線量での差はそれほど大きな差は見られなかった。)

ここで線量の増加が顕著にみられる箇所を手技①、手技②とした。

手技①は照射方向を RAO30 から LAO45 に変え、寝台を術者から見て奥に動かしたときで、これに伴って術者が少し前に動いたため、天吊り鉛防護板から外れてしまったように思われる。その結果、水晶体、頸部ともに高い線量を計測し、特に水晶体の線量が群を抜いて高くなつた。

手技②は照射方向を CAU30 に変えたときである。このときに頸部での線量の増加が顕著にみられた。

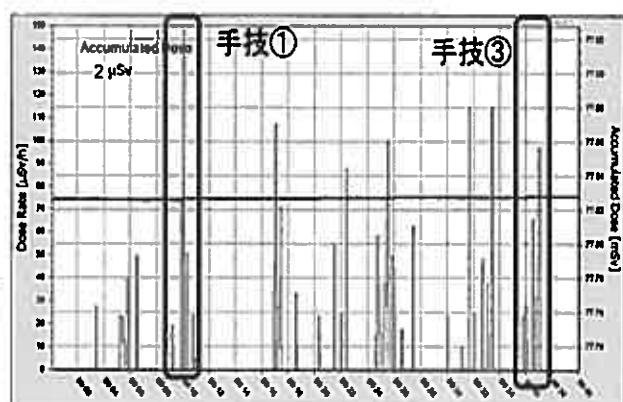


Fig. 4 リアルタイム線量の時系列表示例
(IVR 助手の水晶体位置)

手技①が特に高線量率である。

(手技①は、Fig.2 および Fig.3 の手技①と同一のものである。) Fig.2 や Fig.3 と縦軸の線量スケールが異なっている。

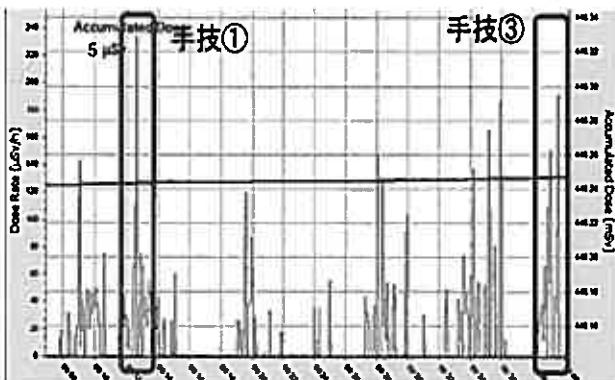


Fig. 5 リアルタイム線量の時系列表示例
(IVR 助手の頸部位置)

手技①および手技③が、特に高線量率である。

(手技①は、Fig.2、Fig.3、Fig.4 の手技と同一である。)

Fig.4、Fig.5 は、Fig.2、Fig.3 と同一症例における、IVR 助手（医師）の水晶体と頸部の線量のグラフである。

IVR 術者の線量増加が顕著にみられる箇所を手技①、手技③とした。手技①は Fig.2、Fig.3 と同様の手技である。助手においても術者と同様に手技①の照射方向を RAO30 から LAO45 に変えた後に線量が増加した。手技③は一通り手技が終わり確認造影をしている場面であり、モニタを見るために助手が患者に少し近づいていた。このときに頸部の線量が高くなり、水晶体と頸部の線量の差が最も大きい値となった。

D. 考察

特に IVR においては、放射線医療スタッフの被ばく状況は複雑であり、例えば、「手技中に X 線管角度が変化しうる」、「検査室内の立ち位置が異なる」、「放射線防護具の最適使用が出来ない場合がある」等々が挙

げられる。よって被曝線量と医療スタッフの行動パターン等の時系列解析、すなわちリアルタイム測定評価は、水晶体被ばく防護の最適化に重要であり、医療スタッフ眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発を推進するためにも不可欠な研究課題である。

本研究は、放射線防護具の使用状態や X 線パラメータ等をリアルタイムに評価分析することによって、すなわちリアルタイム線量測定システムを使用して線量情報と防護状況を詳細に把握することで、改善点を抽出できることが期待される。様々な放射線業務（手技）でリアルタイムに線量と防護状態を確認記録することで、様々なシチュエーションでの医療施設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できると考える。

その第一歩として、本研究では新型リアルタイム個人線量計 i3 を使用した IVR 臨床時の初期的検討を行った。

その結果、照射方向が LAO であるとき線量の増加が顕著となり、さらに Caudal(CAU)方向での照射でも、頸部の線量が高くなる場合があることが分かった。また、照射野への接近などにより Pb 防護板での遮蔽が不十分であるときに、術者の水晶体被ばく線量が高くなる傾向が見られた。これらのことから、IVR 装置の操作後に適宜防護板の位置や角度を調節するように意識づけることも重要であることが分かった。助手の水晶体被ばく線量は術者と比較して全体的に低くなっていた。これは術者と比べて照射野からの距離が遠いことや、生じた散乱線が術者によって吸収されたことが理由として考えられる。術者、助手に共通して、手技中にモニタを確認する際に患者との距離が近くなり、線量が高くなることがあった。これは、自身の体を近づけずにモニ

タを見る等の工夫によって改善できる可能性があると考えられる。

Table 1 に IVR スタッフの個人線量が高くなる状況等の概略（初期臨床検討結果のまとめ）について示す。

E. 結論

新型リアルタイム線量計 i3 が IVR 臨床の現場において問題なく使用できることが確認できた。

初期検討結果から、照射方向の違いや患者との距離によって術者と助手および水晶体と頸部の線量に差がみられ、LAO 方向では術者、助手共に水晶体、頸部で線量が高くなり、CAU 方向では頸部での線量が特に高くなる傾向があった。また患者および照射野への接近の理由として、モニタ画像の確認などが挙げられたが、他にも様々な状況が考えられるため、今後、本格的な検討を行う必要がある。

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

Table 1 IVR スタッフの個人線量が高くなる状況等の概略(初期臨床検討結果のまとめ)

線量	術者水晶体	術者頸部	助手水晶体	助手頸部
高線量	照射方向が LAO45	照射方向が CAU30		
	照射野への接 近	照射方向が LAO45		
		照射野への接近		
中等度 線量	照射方向が CAU30		照射方向が LAO45	照射方向が LAO45
			患者への接近	患者への接近
				照射方向が CAU30

令和2年度(2020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

水晶体等価線量が定常的に20mSv/年を超える医師の実態調査

研究分担者 盛武 敬(産業医科大学・産業生態科学研究所放射線衛生管理学・准教授)

研究要旨

放射線被ばくが一般的に高いといわれている IVR を行う医師の防護策を講じるため、その実態を明らかにした。方法として、市中病院に勤務する医師一人の過去 4 年間(2016-2019 年)における水晶体等価線量、血管造影検査・IVR 件数、および透視時間の推移を調査した。水晶体等価線量の測定は、個人被ばく線量計(OSL 線量計)を 2 個使用した時(不均等被ばく管理)の値を採用した。測定後、個人被ばく線量報告書と RIS(Radiological Information System)より、得られたデータを抽出・解析した。その結果、2016-2018 年の年間水晶体等価線量は 40 mSv を超え、経験年数に応じて線量は下がっていないことが明らかとなった。一方、2019 年は、天吊り式防護板を効果的に使用することで、水晶体等価線量は 50% 近く低減できていることが明らかとなった。しかし、防護策の強化を行った後も依然として、年間 20mSv を超えているため、今後、さらなる防護策を講じる必要がある。

* 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

2011 年に国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection : ICRP) は、計画被ばく状況における放射線業務従事者の水晶体等価線量限度に対して、定められた 5 年間で 20 mSv/年かつ、いずれの 1 年においても 50 mSv を超えないとする勧告を行った。この勧告は、我が国においても各専門部会等で慎重に審議された。その結果、2021 年 4 月より、法令が改正されることとなった。

我が国における医療従事者、とりわけ IVR (Interventional Radiology) を行う医師の放射線被ばくは比較的高く、水晶体等価線量が 20 mSv/年を超える者が一定層存在することが知られている。その医師の放射線被ばく状況を明らかにすることは、今後、防護策を講じるにあたって、必要不可欠である。

そこで本研究では、IVR を行う医師の放射線被ばくの実態を明らかにし、今後の防護策を講じる上での知見を得ることを目的とする。

B. 研究方法

市中病院（病床数：214、年間血管造影検査数：250、年間 IVR 数：220）において、水晶体等価線量が 20 mSv/年を超える医師は、一人だけであった。その医師を対象とし、過去 4 年間（2016–2019 年）の水晶体等価線量、血管造影検査・IVR 件数、および透視時間の推移を調査した。

水晶体等価線量は、個人被ばく線量計を 2 個使用した不均等被ばく管理（電離放射線障害防止規則第 8 条第 3 項第 2 号に該当）下での値を採用した。個人被ばく線量計は

Optically Stimulated Luminescence (OSL) 線量計（ルミネスバッジ、長瀬ランダウア株式会社、日本）を使用した。測定後、個人被ばく線量報告書より、水晶体等価線量を抽出した。血管造影検査・IVR 件数、および透視時間は、術者、助手、その他といった役割ごとに、Radiological Information System (RIS) を使用して抽出した。得られたデータは、1 カ月ごとに集計・解析した。

C. 研究結果・考察

医師について

調査対象者は循環器内科医として 2015 年より従事しており、同年 8 月より不均等被ばく管理がなされていた。2015 年以前は麻酔科などに従事しており、IVR などの業務には従事していなかった。医師が行った血管造影検査・IVR は、冠動脈造影 (Coronary Angiography : CAG)、経皮的冠動脈形成術 (Percutaneous Coronary Intervention : PCI)、末梢血管形成術 (Endovascular Treatment : EVT)、経皮的動脈塞栓術 (Transcatheter Arterial Embolization : TAE) など多岐にわたっていた。なお、本調査では、2015 年 8 月より不均等被ばく管理されていたため、2016 年からの調査とした。

2016 年の水晶体等価線量の推移

2016 年における水晶体等価線量の推移を表 1 に示す。医師は循環器内科 2 年目となり、様々な業務をこなすようになっていた。そのため、水晶体等価線量は高く、4 月以降の月間水晶体等価線量は 2.5 mSv を下回ることはなかった（最大月間水晶体等価線量：6.3 mSv）。年間水晶体等価線量も 46.0 mSv

表1 2016年における水晶体等価線量と透視時間・件数の推移

水晶体等価線量 (mSv)	透視時間 (時間)				血管造影検査・IVR件数 (件)			
	術者	助手	その他	合計	術者	助手	その他	合計
1月	0.9	0.9	0	0.9	8	0	0	8
2月	4.0	1.9	0.1	2.0	10	1	0	11
3月	0.2	2.5	1.7	4.2	20	4	0	24
4月	5.5	5.0	3.1	8.4	22	5	1	28
5月	2.5	5.2	2.0	7.3	12	4	1	17
6月	4.1	6.8	1.7	8.4	15	3	0	18
7月	5.5	6.9	1.1	8.1	21	4	0	25
8月	5.1	3.2	1.2	5.1	9	1	2	12
9月	4.3	3.4	4.1	7.6	12	8	0	20
10月	6.3	4.3	0.6	5.3	16	2	1	19
11月	4.0	4.6	1.3	6.0	15	3	0	18
12月	3.6	1.7	3.2	4.9	8	7	0	15
合計	46.0	46.4	20.2	1.6	68.2	168	42	5
								215

表2 2017年における水晶体等価線量と透視時間・件数の推移

水晶体等価線量 (mSv)	透視時間 (時間)				血管造影検査・IVR件数 (件)			
	術者	助手	その他	合計	術者	助手	その他	合計
1月	7.0	6.0	1.6	8.2	20	4	1	25
2月	3.0	4.7	1.9	6.6	15	7	0	22
3月	1.9	2.4	1.7	4.1	10	4	0	14
4月	6.6	4.0	2.0	6.5	16	1	1	18
5月	3.4	7.2	3.3	11.2	15	6	1	22
6月	5.8	11.9	0.2	12.1	23	1	0	24
7月	2.8	6.1	0.4	6.8	11	1	1	13
8月	5.1	7.8	1.0	8.7	19	4	0	23
9月	6.1	5.8	0.7	6.4	14	2	0	16
10月	2.2	1.9	0.2	2.1	7	1	0	8
11月	1.1	2.3	0.7	3.0	12	3	0	15
12月	1.4	0.9	1.0	1.9	5	5	0	10
合計	46.4	61.0	14.6	2.2	77.8	167	39	4
								210

と非常に高く、法令改正後の1年あたりの水晶体等価線量限度である50 mSvにも迫る程であった。要因として、かなりの件数を術者として従事したこと、そして、手技に時間を要してしまう症例が散見されたことが挙げられる（術者時の最大月間透視時間：6.9時間）。

2017年の水晶体等価線量の推移

2017年における水晶体等価線量の推移を表2に示す。医師は循環器内科3年目となり、手技に慣れてきた反面、難しい手術に従事することが多くなっていたと推察される。そのため、この年も水晶体等価線量は非常に高く、5月時点で年間の積算線量が20 mSvを超えていた（最大月間水晶体等価線量：

表3 2018年における水晶体等価線量と透視時間・件数の推移

水晶体等価線量 (mSv)	透視時間 (時間)				血管造影検査・IVR件数 (件)				
	術者	助手	その他	合計	術者	助手	その他	合計	
1月	2.9	3.4	0.0	0	3.5	13	1	0	14
2月	6.3	4.0	3.0	0	7.0	15	8	0	23
3月	2.5	2.0	0.7	0.7	3.3	8	3	1	12
4月	1.5	2.5	2.2	0	4.7	6	2	0	8
5月	3.2	2.1	1.7	0	3.8	11	4	0	15
6月	6.1	3.2	3.6	0	6.8	7	4	0	11
7月	4.5	5.2	1.0	0	6.2	12	2	0	14
8月	4.9	3.6	4.5	0	8.1	12	8	0	20
9月	2.2	2.9	1.3	0	4.2	10	2	0	12
10月	3.0	4.1	1.7	0	5.9	15	4	0	19
11月	1.9	2.9	0.9	0	4.2	8	1	1	10
12月	2.6	4.4	0.5	2.0	6.9	12	1	1	14
合計	41.6	40.3	21.1	3.0	64.4	129	40	3	172

表4 2019年における水晶体等価線量と透視時間・件数の推移

水晶体等価線量 (mSv)	透視時間 (時間)				血管造影検査・IVR件数 (件)				
	術者	助手	その他	合計	術者	助手	その他	合計	
1月	1.2	1.1	0.7	0.1	1.9	5	1	1	7
2月	3.2	1.8	2.2	0	4.1	10	6	0	16
3月	4.9	8.1	4.4	1.1	13.7	16	6	1	23
4月	2.4	4.0	1.8	0	5.8	12	2	0	14
5月	1.1	2.5	1.5	0	4.0	6	2	0	8
6月	1.2	3.7	0.7	0	4.3	9	2	0	11
7月	0.6	1.5	0.2	0	1.7	7	1	0	8
8月	0.8	2.3	0.0	0	2.3	9	0	0	9
9月	2.0	3.3	1.4	0	4.6	18	3	0	21
10月	3.4	6.2	0.8	0	7.0	13	3	0	16
11月	2.3	6.9	0.5	0	7.5	12	4	0	16
12月	0.8	2.0	0.1	0	2.0	14	1	0	15
合計	23.9	43.4	14.4	1.2	58.9	131	31	2	164

7.0 mSv)。その後も、月間水晶体等価線量は高止まりしており、最終的に年間水晶体等価線量は 46.4 mSv と非常に高かった。術者時の透視時間が 11.9 時間であった月も認められ、この年の術者時の年間透視時間は調査した 4 年間で一番長く、61.0 時間であった。

2018 年の水晶体等価線量の推移

2018 年における水晶体等価線量の推移を表3に示す。医師は循環器内科 4 年目となったものの、水晶体等価線量は非常に高いままであった。特にこの年は、前年より件数が減少しているにも関わらず、6 月時点で年間の積算線量は 20 mSv を超えていた（最大月間水晶体等価線量：6.3 mSv）。年間水晶体

等価線量は 41.6 mSv と非常に高かった。

2019 年の水晶体等価線量の推移

2019 年における水晶体等価線量の推移を表 4 に示す。医師は循環器内科 5 年目となった。この頃より、放射線安全部の指導が入るようになった。具体的には、放射線安全部が、医師本人に水晶体等価線量が非常に高い状態であることを通知して自覚を促し、さらに、天吊り式防護板の効果的な使用法についての講習を実施した。実際、この年は、前年より年間件数が 10 件程少ないものの、年間水晶体等価線量は 23.9 mSv と、過去 3 年間と比較して半分近くまで減じていた（最大月間水晶体等価線量 : 4.9 mSv）。術者時の年間透視時間は、前年と比較して高いことを考慮すると、天吊り式防護板を以前より有効活用できていると推察される。しかし、防護策の強化を施したもの、依然として年間 20 mSv を超えており、今後、さらなる多角的な防護策を講じる必要がある。

D. 結論

市中病院における IVR を行う医師の放射線被ばくの実態を調査した。経験年数に応じて水晶体等価線量は下がっておらず、むしろ難しい症例などに従事することから、さらに高くなる可能性もあることが明らかとなった。また、天吊り式防護板を効果的に使用することで、水晶体等価線量は 50% 近く低減できることが確認できた。しかし、調査対象者は、防護策の強化を行った後も依然として、年間 20 mSv を超えているため、今後、さらなる防護策を講じる必要がある。

E. 論文報告

- 1) Kawauchi S, Chida K, Moritake T, Hamada Y, Tsuruta W: Radioprotection of eye lens using protective material in neuro cone-beam computed tomography: Estimation of dose reduction rate and image quality. *Physica Medica*. 2021 (in press).
- 2) Nagamoto K, Moritake T, Nakagami K, Morota K, Matsuzaki S, Nihei S, Kamochi M, Kunugita N: Occupational radiation dose to the lens of the eye of medical staff who assist in diagnostic CT scans. *Heliyon*. 2021 January 30;7(1):e06063. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06063.
- 3) Morota K, Moritake T, Nagamoto K, Matsuzaki S, Nakagami K, Sun L, Kunugita N: Optimization of the Maximum Skin Dose Measurement Technique Using Digital Imaging and Communication in Medicine–Radiation Dose Structured Report Data for Patients Undergoing Cerebral Angiography. *Diagnostics* (Basel). 2020 Dec 23;11(1):E14. doi: 10.3390/diagnostics11010014.
- 4) 坂本 駿, 五十嵐 隆元, 加藤 守, 川内 覚, 加藤 英幸, 塚本 篤子, 盛武 敬, 赤羽 正章 : DRLs 2015 の血管撮影・IVR 分野における効果検証および追加項目の検討. 日本放射線技術学会誌. 2020; 76(2):210-217. doi: 10.6009/jjrt.2020_JSRT_76.2.210.
- 5) Sun L, Inaba Y, Kanzaki N, Bekal M, Chida K, Moritake T: Identification of Potential Biomarkers of

- Radiation Exposure in Blood Cells by Capillary Electrophoresis Time-of-Flight Mass Spectrometry. Molecular Endocrinology and Metabolism. 2020, 21, 812. doi: 10.3390/ijms21030812.
- 6) Kawauchi S, Chida K, Moritake T, Hamada Y, Matsumaru Y, Tsuruta W, Sato M, Hosoo H, Sun L: Treatment of internal carotid aneurysms using pipeline embolization devices: measuring the radiation dose of the patient and determining the factors affecting it. Radiat Prot Dosimetry. 2020 Jun 24;188(3):389–396. doi: 10.1093/rpd/ncz298.
- 7) Kohzaki M, Ootsuyama A, Sun L, Moritake T, Okazaki R: Human RECQL4 represses the RAD52-mediated single-strand annealing pathway after ionizing radiation or cisplatin treatment. Int J Cancer. 2020 Jun 1;146(11):3098–3113. doi: 10.1002/ijc.32670.
- 8) J-RIME, National Diagnostic Reference Levels in Japan (2020) – Japan DRLs 2020-, 2020. http://www.radher.jp/J-RIME/report/DRL2020_Engver.pdf (accessed on 8 Feb. 2021).
- 9) 盛武 敬：脳血管内治療に関する診断参考レベル構築のための医療被ばく実態調査 (Re-JDRL study) について. 教育講座 第33回全国循環器撮影研究会総会・学術発表大会 (2019年4月13日) 医師講演. 全国循環器撮影研究会誌, 32, 5-12, 2020 (査読無し)
- 10) 盛武 敬 : ICRP Publication 121 小児の放射線診断と IVR における放射線防護. 翻訳, 原子力規制委員会, 2021年1月27日
- 11) 盛武 敬 : 医療放射線防護学 (第4章 放射線の生物影響・リスク 第1節～第3節), 国際文献社 医学物理学教科書シリーズ, 赤羽恵一・遠藤真広編著, 日本医学物理学会監修, P52-84, 2020年8月

F. 研究発表

- 1) Munehiko Kowatari, Keisuke Nagamoto, Koich Nakagami, Miho Itonaga, Yoshihiko Tanimura, Takashi Moritake, Naoki Kunugita: Experimental evaluation of scattered X-ray spectra due to X-ray therapeutic and diagnosis equipment for eye lens dosimetry of medical staff. IRPA15, 15th International Congress of the International Radiation Protection Association. COEX, Seoul, Korea, Jan 18-Feb 5, 2021.
- 2) 大田 元, 盛武 敬, 茂呂田 孝一, 入佐 剛, 斎藤 清隆, 末松 裕貴, 河野 智樹, 堀之内 翔一, 小笠原 奈月, 山下 真治, 横上 聖貴, 竹島 秀雄: 当院における脳血管内治療時の医療被ばくの現状とその防護対策について. 第36回NPO法人日本脳神経血管内治療学会総会, 国立京都国際会館 (京都市・京都府), 11月19-21日, 2020.
- 3) (招待講演) 盛武 敬 : 被ばく防護ミニ講習会「医療放射線被ばくの最新トピックス～DRLs 2020と電離則改正～」脳血管内治療に関する診断参考レベル構築の

- ための医療被ばく実態調査 (Re-JDRL study) 報告, 第36回NPO法人日本脳神経血管内治療学会総会, 国立京都国際会館 (京都市・京都府), 11月19-21日, 2020.
- 4) 孫 略, 稲葉 洋平, 千田 浩一, 盛武 敬: 被ばく後の血液抗酸化能評価. 日本放射線影響学会第63回大会 (ワークショップ) 生物学的線量推定の新技術 (Web開催), 10月15-16日 (Web閲覧期間: 10月15-31日), 2020.
- 5) 盛武 敬, 孫 略, マヘッシュ・ベカル, 中村 麻子, 志村 勉: 複数の生物学的指標を用いた逆行性生物線量測定法の開発. 日本放射線影響学会第63回大会 (ワークショップ) 生物学的線量推定の新技術 (Web開催), 10月15-16日 (Web閲覧期間: 10月15-31日), 2020.
- 6) 香崎 正宙, 大津山 彰, 盛武 敬, 岡崎 龍史: RECQL4は放射線やシスプラチニン処理後にRAD52を介した一本鎖アーニーリングDNA修復経路の活性化を抑制する. 日本放射線影響学会第63回大会, 10月15-16日 (Web閲覧期間: 10月15-31日), 2020.
- 7) 大田 元, 盛武 敬, 茂呂田 孝一, 入佐 剛, 斎藤 清隆, 末松 裕貴, 河野 智樹, 堀之内 翔一, 小笠原 奈月, 武石 剛, 山下 真治, 渡邊 孝, 横上 聖貴, 竹島 秀雄: 脳血管内治療時における医療被ばく線量の術中モニタリング-被曝量低減に向けた当施設の取り組み-. 日本脳神経外科学会第79回学術総会, 岡山コンベンションセンター (岡山市・岡山県), 10月15-17日 (Web閲覧期間: 10月15日-11月30日), 2020.
- 8) Mahesh Bekal, Lue Sun, Susumu Ueno, Ryuji Okazaki, Takashi Moritake: Role of Gut-Brain connection in radiation induced neuro-behavioral changes. 第38回産業医科大学学会, 第32回産業医学推進研究会全国大会, 産業医科大学ラマツィーニホール (北九州市・福岡県), 10月10日 (一部Web配信), 2020.
- 9) 松浦 康晃, 隅倉 有美子, 中上 晃一, 盛武 敬, 永元 啓介, 茂呂田 孝一, 松崎 賢, 栗山 知子, 櫻田 尚樹: スチューデント・ドクター制度における放射線診療実習での医学生の被ばく. 第38回産業医科大学学会, 第32回産業医学推進研究会全国大会, 産業医科大学ラマツィーニホール (北九州市・福岡県), 10月10日 (一部Web配信), 2020.
- 10) 盛武 敬, 石垣 陽: 大規模放射線災害発生時のサージカルマスク不足に備える-組み立て式立体マスクORIMASK (オリマスク) の開発とその簡易性能評価. 日本放射線看護学会第9回学術集会, 広島大学霞キャンパス (広島市・広島県), 9月26-27日 (Web閲覧期間: 9月26-30日), 2020.
- 11) 阿部 利明, 盛武 敬, 馬田 敏幸, 中上 晃一, 永元 啓介, 櫻田 尚樹: 病院における個人水晶体等価線量低減を目的とした業務改善計画策定のための職業被ばく線量の実態調査. 日本保健物理学会第53回研究発表会WEB大会, 6月29-30日 (Web配信6月29日-7月31日), 2020.
- 12) 世古口 真吾, 盛武 敬, 吉武 英隆, 安藤 鑑, 池上 和範, 石垣 陽, 明星 敏彦, 大神 明: ウェアラブル粉じん計試作機の性能評価 (第2報). 第93回日本産業衛生学会 (Web開催), 旭川市民文化会館・アートホテル旭川 (旭川市・北海道), 6月12-28日 (Web閲覧期間), 2020.

G. 知的所有権の取得状況

- 1) 放射線被ばくによる皮膚炎発生の予測：
特願 2020-072182 (2020 年 4 月 14 日出願)；発明者：孫 略，盛武 敬，千田 浩一，稻葉 洋平；出願人：産業技術総合研究所，産業医科大学，東北大学
- 2) 線量計ホルダ：特願 2018-149742 (2018 年 8 月 8 日出願)，発明者：盛武 敬，孫 略，永元啓介，小野洋彰，出願人：盛武 敬，孫 略，永元啓介，有限会社コスマティック，株式会社保科製作所

その他

【社会的業績】

- 1) (講師) 中上晃一. 厚生労働省事業「放射線被ばく管理に関する労働安全衛生マネジメントシステム導入支援事業」. 産業医科大学から TV 会議による中継参加. 10 月 15 日, 11 月 11 日, 12 月 15 日. 2020 年.

【プレス発表等】

- 1) 「医療従事者の被ばく-把握できていない実態明らかに-」, NHK 「おはよう日本」, 1 月 11 日, 2021 年

令和2年度(2020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
(放射線業務における被ばく線量の実態調査)

研究分担者 盛武 敬(産業医科大学産業生態科学研究所放射線衛生管理学研究室)

研究要旨

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、2020年日本脳神経血管内治療学会(以下、「JSNET」という。)において、水晶体混濁調査を無料で実施するキャンペーンを日本白内障学会の協力体制のもとで実施した。

本調査では、JSNET参加者のうち調査協力に承諾を得られた84名を対象とし、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。それらの所見から放射線白内障の初期病変である Vacuoles、視機能低下の要因として重要な核、皮質、後囊下の白内障3主病型、およびRetrodots、Waterclefts の2副病型に関する解析、判定を行った。

また、調査対象者から聴取した職業歴、放射線に係る手技についての経験年数、その他の情報に加え、今後対象者の所属機関から収集する被ばく線量情報も含めて蓄積線量を推定する。

今後は、医療現場での(潜在的な)高線量被ばく放射線業務従事者の抽出を試み、次なるステップとして、水晶体被ばくを低減するための放射線防護装備(防護眼鏡や防護板、防護シートなど)開発に係る放射線防護機器開発関連の工業団体等との情報交換に資する研究データ収集・研究フィールドの開拓に繋げていく。

* 主な研究協力者:喜多村 紘子(産業医科大学実務研修センター)
栗山 知子(産業医科大学保健センター)

A. 研究目的

水晶体は放射線感受性が非常に高く、多量の被ばくで白内障を発症する可能性が報告されている。近年医療で増加している Interventional Radiology (IVR) では、拡大透視や高線量率の透視を長時間用い、撮影回数も多いことから、IVR に従事する者の眼の水晶体被ばく線量の増加が懸念される。しかし、日本においてはその線量情報や放射線防護状況、放射線による白内障の実態はあまり明らかになっていない。

2021 年 4 月、電離放射線障害防止規則の改定を受け、新たな水晶体等価線量限度が運用されるが、今後の被ばく低減、防護策を検討するためには科学的データが必要である。

本研究では、放射線業務に従事する医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）との関連を見出すことを目的とした。その結果に基づき、潜在的な眼の水晶体の防護策の需要を検討し、防護眼鏡や防護眼鏡以外の放射線防護機材の改良・開発を目指す。

B. 研究方法

1. 調査期間および調査場所

調査期間は、2020 年 11 月 19 日から 11 月 21 日までとした。

調査場所は、上記期間で国立京都国際会館にて開催された日本脳神経血管内治療学会（以下、「JSNET」という。）の第 36 回学術集会会場内とした。その中に、「白内障調査キャンペーン」と題した会場を設け、同意の得られた対象者の調査を行った。

2. 調査対象者

調査対象者は、JSNET が開催する学術集会

の参加者ならびに関係者であり、職種、性別、被ばく歴等は問わず 20 歳以上の全ての者とした。なお、同意が得られない者、人工の眼内レンズが挿入されている者については対象外とした。

3. 広報活動

2020 年 10 月 JSNET 学術総会ホームページ上に本研究の案内記事を掲載し、調査希望者の申請窓口を開設した（資料 1）。また、JSNET 会員ならびに日本インターベンショナルラジオロジー学会・日本心血管インターベンション治療学会合同認定インターベンションエキスパートナース会の会員に向け、一斉送信メールを用いて通知を行った。学術総会開催日には、本調査への参加を募るポスター（資料 2）を掲示するとともに、JSNET 参加者に対して口頭で直接参加を呼びかけた。

4. 調査・実施項目

通常の眼科診療で行われる眼の健康診断を実施した。対象者への事前の説明として、水晶体撮影は散瞳下で行う必要があるため、3 時間ほど眼のかすみやまぶしさが生じること、その間は車の運転等は控えることを伝えた。また調査には一人当たり 1 時間ほどを要するが、学会開催中であることをふまえ、対象者の都合を確認し実施した。

（1）アンケート

医師用と、診療放射線技師・看護師等用に分けて、被ばく線量構築のためのアンケート用紙を準備した（資料 3、4）。

医師用の質問項目には、専門医・指導医の取得年、血管造影検査もしくは血管内治療における術者としてのおおよその年間施行数を含めた。

(2) 視機能検査

視機能訓練士によるトレノフを用いた眼屈折値と眼圧測定、ならびに裸眼及び矯正下の視力を測定した。

(3) 散瞳用点眼

水晶体混濁の判定のためには6.5mm以上の散瞳形が必要である。医師が散瞳用点眼の可否を判断した後、看護師が散瞳薬0.5%トロピカミド及び2.5~10%フェニレフリンの合剤(ミドリンP点眼液)を用い、対象者の両眼に2回ずつ点眼処置を行った。

散瞳不可の場合は、瞳孔領域内の水晶体混濁を判定し、視機能に影響する白内障判定の有無について最低限の診断を行った。

(4) 問診

蓄積線量の推定を目的とし、対象者の職業歴、放射線に係る手技についての経験年数、年間当たりの件数、コンピュータ断層撮影(Computed Tomography: CT)での検査歴、屋外での活動歴等について聴取した。また、白内障のリスク因子となる喫煙、糖尿病、ステロイド内服、それぞれの有無についても聴取した。これらは「IVR従事者の白内障に関する問診票」(資料5)に沿って医師が問診を行った。

(5) 水晶体の観察

眼科医による簡易型徹照カメラを用いた水晶体徹照画像とScheimpflug slit画像の撮影を行った。

(6) 角膜、隅角、虹彩、網膜の断面画像等の観察

視機能訓練士による前眼部解析装置(AST03)を用いた断層面観察、立体構造観

察、ならびに眼底三次元画像解析(Optical Coherence Tomography: OCT)を用いた水晶体以外の眼病変の観察を行った。

(7) 専門医による診察

所見票(資料6)の各検査結果をもとに、眼科専門医が細隙灯顕微鏡検査や眼底等の観察を行い、白内障その他病変について診断した。検査結果(視力・眼屈折・眼圧)および白内障の診断結果についてその場で各対象者に伝えた。結果の書面通知は行わないこととし、診断で治療が必要な場合や、治療を希望される場合は、後日、自ら保険診療を受けてもらうこととした。

(8) 白内障の判定

視力検査、細隙灯顕微鏡の肉眼的所見、および水晶体徹照像をもとに放射線白内障の初期病変であるVacuoles、白内障3主病型(核、皮質、後囊下)および、Retrodots、Water cleftsの2副病型について判定した。白内障の3主病型はWHO分類を用い程度0から3の4段階で評価し、皮質白内障に関しては瞳孔領3mm以内の混濁有無も判定した。この水晶体混濁病型の評価は、眼科専門医1名が行った。2副病型の評価については、金沢医大分類を用いた。

(9) 被ばく線量データの取得

個人の実効線量及び水晶体等価線量の提供を依頼するため、対象者の所属施設長宛に「被ばく線量提供に関する依頼文」を送付する。

5. 倫理的配慮

金沢医科大学医学研究倫理審査委員会での審査・承認後、金沢医科大学長の許可を得て行われた。なお本調査は、金沢医科大学医

学研究倫理審査委員会承認後から 2023 年 3 月 31 日までとする。

調査希望者に対しては、参加にあたり個別に説明文書（資料 7）用いて研究の趣旨・目的・方法等を説明し、同意をとった。

C. 研究結果

2020 年 JSNET 学術総会約 600 名の参加者のうち調査協力に承諾を得られた 84 名を対象に調査を行った（表 1）。

表 1 調査対象者

		(人)	(%)
年	～39 歳	23	27.4
代	40～59 歳	55	65.5
	60～歳	4	4.8
性	男性	77	91.7
別	女性	7	8.3
職	脳神経外科医 専門医	21	25.0
種	指導医	29	34.5
	非指導医	14	16.7
診療放射線技師		13	15.5
その他（未記入含む）		7	8.3

眼科医による徹照画像判定により、後囊下にみられた vacuoles の個数と瞳孔径 3 mm 内・外にて評価を行った結果、対象者の一部に白内障の初期病変である Vacuoles や混濁初見が認められた（図 1、2）。

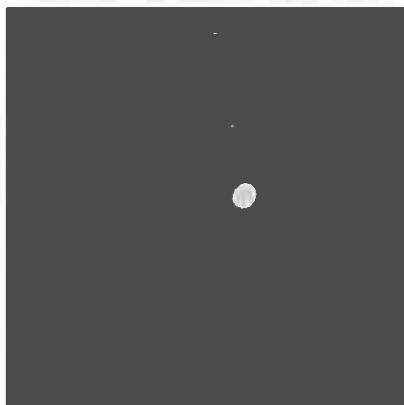


図 1 簡易型徹照カメラを用いた水晶体徹照画像（左眼）

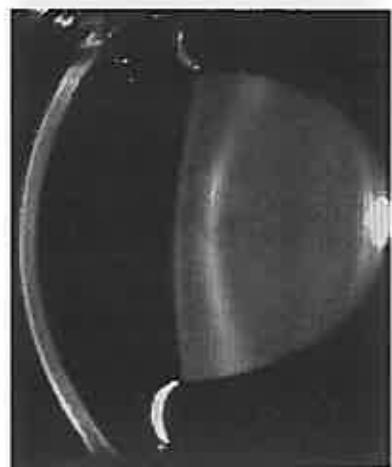


図 2 細隙灯顕微鏡画像（左眼）

現在、全調査対象者の画像の詳細についても解析作業を進めており、白内障所見（スコアリング）についても集計中である。

さらに、被ばく線量については、対象者らの所属する医療機関に対し情報提供を依頼する準備を行なっている。

調査を受けた対象者からは自らの放射線業務時の放射線被ばく防護状況の振り返りや、眼の被ばく影響に対する関心の声が複数聞かれた。

D. 考察

医療従事者の放射線被ばくによって生じ

る水晶体障害としては、後囊下白内障がある。また、皮質白内障やWater cleftsも放射線被ばくにより、発症する可能性があると考えられている。

後囊下白内障は、視覚障害性が特徴的であるが、水晶体の初期変化の段階では、視機能への影響はほとんどなく、自覚症状としては認めにくい。

本調査で、放射線白内障の初期病変としてみられる後囊下中心の Vacuoles を認めた対象者は、その増加が今後の視覚障害につながる可能性も十分にあることから、長期間の縦断的調査も求められる。

また、放射線源に近い左眼に水泡 (VC) や点状混濁 (FD) 等を生じている対象者がいたため、左右の眼での比較検討も行い、それにより線源に近い眼にこれらの水晶体変化が認められるか否かも確認する必要がある。

低線量放射線被ばくによる網膜への影響は、ほとんどないと考えられているが、本調査では眼底状態も観察し、視機能低下があった場合、要因が白内障によるものか否かの判定ができるよう、その他の眼疾患についての詳細も記録している。

白内障の初期病変等が認められた者に対しては、医療現場での高線量被ばくの可能性があるものとして、被ばく線量調査を実施する。その結果、高線量の放射線業務従事者が抽出された場合には、各医療現場での放射線被ばくの実態を調査し、高線量の原因についても検証する必要がある。

最終的には、これらの分析結果を踏まえ、放射線防護機材（防護眼鏡や防護板、防護シートなど）の改良・開発等に資するデータを多角的視点で収集し、関連の工業団体等と情報交換を行うために、体系的に取りまとめる。

同時に、産業保健的なアプローチ、すなわ

ち上流側の X 線発生源の低減対策についても提案する必要があるものと考える。また、一連の調査を実施していく過程においては、調査を受ける放射線業務従事者の眼の水晶体の被ばく防護に対する意識の向上も期待するところである。

E. 結論

本調査において、対象者の一部に白内障の初期病変である Vacuoles や混濁初見が認められた。さらに本調査のデータ解析を進め、低線量の放射線被ばくと水晶体混濁の関連を引き続き検証するとともに、高線量被ばくの可能性がある放射線業務従事者を抽出し、追加の線量調査で実態把握につとめる。そして、医療施設の放射線防護策としての潜在的ニーズを明らかにし、機材開発を含めた、効果的な水晶体被ばく低減策を模索する。

なお、水晶体混濁調査は、2021 年度に日本 IVR 学会（大阪）で同様の実施を計画している。

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

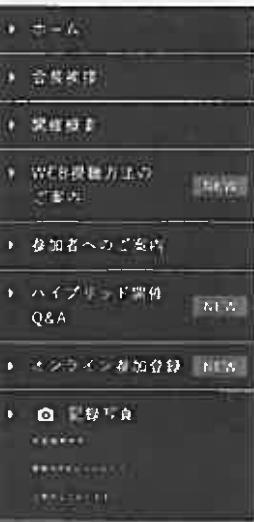
なし

次ページ以降に、参考資料（資料 1 から資料 7）を示す。

資料 1

第36回NPO法人 日本脳神経血管内治療学会学術総会

アクセス数: 143185



参加者へのご案内

1. 開催方法

第36回 NPO法人日本脳神経血管内治療学会学術総会は新型コロナウイルス感染症の拡大に伴い、現地会場は4会場とし、すべてのシンポジウムおよび特別企画は現地会場で行い、同時にライブ配信、およびオンデマンド配信を行います。

現地参加について

当初、現地会場参加は座長および演者などの役割のある方のみとし、最大約1200名とご案内しておりますが、現状で会場のお席に余裕がございます。つきましては、すべての方に現地会場にてご参加いただけます。

現地参加の方は、受付（国立京都国際会館 ニューホール）にサーモグラフィーを設置いたしますので、検温にご協力ください。

37.5度以上の方は別途非接触型の検温器で再度計測いたします。会期2日目以降、既に受付をお済ませの方も、必ず受付にて検温後、各会場への移動をお願いいたします。

感染防止の為、必ずマスクのご準備・ご着用をお願いいたします。

11. ソーシャルプログラム

参加者懇親会、会員招宴は実施しません。

12. Continuing Education Program (CEP)

詳細は、「Continuing Education Program (CEP)」をご覧ください。

13. 水晶体混濁調査企画「白内障調査キャンペーン」

日時：11月19日（木）～11月21日（土）

会場：京都国際会館 5F Room: 509・510

放射線被ばくが眼の水晶体の混濁を誘発し、年月を経て白内障に進行することが知られています。2021年4月から施行される水晶体等価線量限度の引き下げについては、これまでの長年の疫学調査により、白内障のしきい線量が0.5 Gyに引き下げられたことに端を発しておますが、生物学的には必ずしも被ばく線量との因果性が明確に証明されているわけではありません。

そこでJSNET放射線防護委員会では、この放射線被ばくに係る永年の命題に取り組むとともに、電離則改正に向けた従事者被ばく意識の向上を兼ねて、JSNET学術総会会場での無料白内障調査キャンペーンを実施する運びとなりました。厚労省労災疾病臨床研究事業（研究期間：令和2～4年度、研究代表：東北大学千田浩一教授）の一環として、日本白内障学会の全面協力のもと、眼科専門医による、高性能の検査機器を用いた調査を実施します。学会期間中、医師・看護師・診療放射線技師などの職種や被ばく履歴にかかわらず、全ての学会関係者を対象に調査を実施しております。ご自身の眼の健康管理のためにも是非ご利用下さい。

申し込みはこちら

14. 企業展示

展示会場（国立京都国際会館 イベントホール）にて、各メーカーによる最新機器、器材等の企業展示を行います。

予約制
無料

JSNET 放射線防護委員会企画 放射線白内障調査

眼科専門医があなたの水晶体の健康をチェックします

2020年

11月19日 木 8:30-17:00

11月20日 金 8:30-17:00

11月21日 土 8:30-14:00

国立京都国際会館 Room 509・510

予約は
1時間前
で終了

調査への参加条件

- ・眼内レンズを装着していない方
- ・医師、診療放射線技師、看護師、他
- ・被ばく層の調査に御協力いただける方

1st STEP 予約を入れて、書類をダウンロード

予約サイト <http://www.XXX.XXX.XXX>

2nd STEP 書類に記入後、印刷して会場にお持ち下さい

「IVR従事者の白内障調査」の研究への参加について（同意書）

被ばく線量構築のためのアンケート

3rd STEP 会場にお越し下さい

問診を含めて検査には1時間程度かかります。散瞳により数時間は手許が見づらい状態が続きます。自動車の運転はお控え下さい。

4th STEP 後日、個人被ばく線量調査にご協力下さい

書類をメールでお送りしますので、署名・押印して御返送下さい。

本調査は、厚労省 労災疾病臨床研究事業（代表：東北大学千田浩一）の一環として実施されます

お問い合わせ

JSNET放射線防護委員会
事務局 盛武 敬
jsnet2020cataract@gmail.com

被ばく線量構築のためのアンケート

個人線量計（ガラスバッジ、フィルムバッジなど）による被ばく履歴が追跡不能の場合、凡そその積算被ばく線量の構築に使用しますので、以下の質問へご回答をお願いいたします。

お名前 _____ (会員番号) _____

1. 現在の専門医・指導医取得状況について、あてはまるものに○をつけ、専門医、指導医の方は取得年もご記入ください。

専門医未取得 · 専門医(____年) · 指導医(____年)

2. 血管造影検査、血管内治療について、凡そその年間施行数（術者）をご記入ください。

- 専門医未取得の方：①、②の凡そその年間施行数
- 専門医の方：専門医取得後の、①、②の凡そその年間施行数
- 指導医の方：指導医取得後の、①、②の凡そその年間施行数

① 血管造影検査 凡そ _____ 例/年間

自由記入欄：

例 2018年から国内基礎研究留学のため血管内治療は全くやっていない 等

② 血管内治療 凡そ _____ 例/年間

自由記入欄：

例 2018年から国内基礎研究留学のため血管内治療は全くやっていない 等

被ばく線量調査のためのアンケート（診療放射線技師・看護師等）

個人線量計（ガラスバッジ、フィルムバッジなど）による被ばく履歴の調査にご協力いただきたく、以下の質問へご回答をお願いいたします。

お名前 _____ (学会員番号) _____

1. あなたの職種に○を付けてください。その他の方は詳細をご記入ください。

診療放射線技師 · 看護師 · その他()

2. 現在のご所属の機関で、放射線業務に従事する際、個人線量計（ガラスバッジ、フィルムバッジなど）を装着されていますか。

はい · いいえ



ご所属の機関へ、保管されている放射線量の提供を依頼する書類をお送りさせていただいてもよろしければ、ご所属の機関の情報をご記入ください。

機関名 _____

3. 過去に所属されていた機関で、放射線業務に従事する際、個人線量計を装着されていましたか。

はい · いいえ



ご所属されていた機関へ、保管されている放射線量の提供を依頼する書類をお送りさせていただいてもよろしければ、ご所属されていた期間の情報をご記入ください。

機関名 _____ 所属時期 _____

機関名 _____ 所属時期 _____

機関名 _____ 所属時期 _____

研究課題：「IVR 従事者の白内障調査」に関する問診票

ID:

ご自身の生活習慣についてお聞きします。

1 高血圧の薬を飲んでいますか？

() いいえ () はい (岁～)

2 糖尿病と診断されたことはありますか？

() いいえ () はい (岁～)

3 糖尿病の治療（食事制限、薬）を始めていますか？

() いいえ () はい (岁～)

4 ステロイドの薬を飲んでいますか？ 内服薬のみについてお答えください

() ない () ある (回)

5 たばこを吸っていますか？（電子たばこも含みます）

() いいえ

() はい・・・・() 岁～現在、1日平均() 本

() 吸っていたがやめた() 岁～() 岁、1日平均() 本

電子たばこ() 岁～、1日平均() 本

6 過去に頭部 CT スキャン撮影を受けたことがありますか？

() いいえ () はい (回) () わからない

7 過去に PET CT 検査を受けたことがありますか？

() いいえ () はい (回) () わからない

研究課題：「IVR 従事者の白内障調査」に関する問診票

8 屋外での活動について、各年代の平均的な状況をお聞きします。

7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	(時)
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	-----

朝7時から夕方17時までずっと外でのお仕事の場合で最長「10時間」となります。

小学校・中学校の頃、屋外での活動は1日平均何時間でしたか？ () 時間

屋外の部活動	部、活動年数	年
(6・7・8・9・10・11・12・13・14・15)		

帽子	眼鏡	サングラス	コンタクトレンズ
いつも・ 時々・不使用	いつも・ 時々・不使用	いつも・ 時々・不使用	いつも・時々・不使用 UVカット(有・無・不明)

高校・専門・大学の頃、屋外での活動は1日平均何時間でしたか？ () 時間

屋外の部活動	部、活動年数	年
(16・17・18・19・20・21・22・23・・・)		

帽子	眼鏡	サングラス	コンタクトレンズ
いつも・ 時々・不使用	いつも・ 時々・不使用	いつも・時々・不 使用	いつも・時々・不使用 UVカット(有・無・不明)

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26

仕事開始年齢 歳

(仕事開始)～39歳の頃、屋外での活動は1日平均何時間でしたか？	() 時間
----------------------------------	--------

帽子	眼鏡	サングラス	コンタクトレンズ
いつも・ 時々・不使用	いつも・ 時々・不使用	いつも・ 時々・不使用	いつも・時々・不使用 UVカット(有・無・不明)

40～59歳の頃、屋外での活動は1日平均何時間でしたか？ () 時間

帽子	眼鏡	サングラス	コンタクトレンズ
いつも・ 時々・不使用	いつも・ 時々・不使用	いつも・ 時々・不使用	いつも・時々・不使用 UVカット(有・無・不明)

60歳～現在、屋外での活動は1日平均何時間でしたか？ () 時間

帽子	眼鏡	サングラス	コンタクトレンズ
いつも・ 時々・不使用	いつも・ 時々・不使用	いつも・ 時々・不使用	いつも・時々・不使用 UVカット(有・無・不明)

屋外での活動：毎日（太陽が出ている時間）のウォーキング、ランニング、田畠、外での仕事

帽子：つばのあるもの

IVR EYE STUDY 2020

金沢医科大学 眼科学講座

研究調査名：「IVR従事者の白内障調査」

実施日：2020年11月19日(木)～21日(土)

会 場：京都国際会館 (Room : 509、510)

検診ID (例:IVR9999)	IVR	受 診 日 19(木)・20(金)・21(土)
フリガナ 氏 名		性 別 男性 ・ 女性
生年月日(西 暦)	年 月 日 (年)	年 齡 歳

検診の順序

【特記事項】

-
1. 受付(同意書)
2. 屈折(オートレフ・ケラト)、眼圧
3. 視力(遠見5m:右眼、左眼、裸眼、矯正)
4. 診察①(散瞳)
【 散瞳眼 または 散瞳不可 】
両眼 / 右のみ / 左のみ / 不可
 ミドリンP
 ネオシネジン
5. 問診(アンケート)
6. 白内障カメラ
7. 水晶体撮影(AST03)
8. 眼底写真(OCT眼底)
9. 診察②(眼底所見、その他)
10. 診察③(水晶体所見)
11. 終了(受付)

【縮瞳薬】

- サンピロ 要 / 不要

IVR

OD=

(x)

D = cyl

D Ax °)

OS=

(x)

D = cyl

D Ax °)

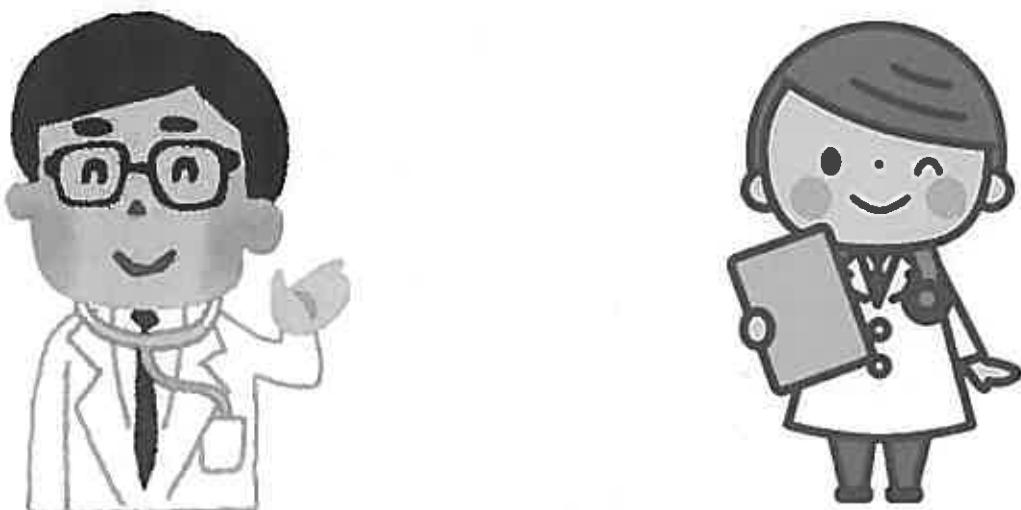


オートレフ・ケラト、眼圧

DM (+ - 不明)	OD (R)					OS (L)				
HT (+ - 不明)										
Vacuoles	0	1	2	3		0	1	2	3	
Focal dots	0	1	2	3		0	1	2	3	
Retrodots	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
Water clefts (V-)	0	1	2	3		0	1	2	3	
Water clefts (V+)	0	1	2	3		0	1	2	3	
CF	0	1	2	3		0	1	2	3	
ASC	0	1	2	3		0	1	2	3	
Fiber folds	0					0				
	1 (-)					1 (-)				
	2 (-)					2 (-)				
	3 (-)					3 (-)				
Lens other										
Eye type	Mature / Apakia / Pseudophakia(IOL)					Mature / Apakia / Pseudophakia(IOL)				
Cortical	-	0	1	2	3	9	-	0	1	2
CEN+	NO / YES					NO / YES				
Nuclear	-	0	1	2	3	9	-	0	1	2
Nuclear color	Paleyellow / Yellow / Brown					Paleyellow / Yellow / Brown				
PSC	-	0	1	2	3	9	-	0	1	2
Indication for cataract surger	NO / YES / Absolute indication					NO / YES / Absolute indication				
Pseudoexfoliation	-		±		+		-		±	+
Angle	0	1	2	3	4		0	1	2	3
DMR	0	1	2	3	PC		0	1	2	3
C/D ratio	[]				[]	
Glaucoma	-		±		+		-		±	+
AMD	0	1	2	3		0	1	2	3	
Other	1)					1)				
	2)					2)				

「IVR 従事者の白内障調査」の研究への参加について

説明文書



○研究機関：金沢医科大学

研究代表者：金沢医科大学 眼科学 佐々木 洋

2020年7月15日 1.0版作成

1 はじめに（研究について）

水晶体は、外から入ってきた光を屈折させ、網膜上に焦点を合わせるための凸レンズとしての機能を有しています。白内障とは、眼の中でレンズの役割をしている水晶体が濁った状態をさします。白内障になると、初期では老視の（老眼）の進行、眩しさ、薄暗いところでの見えにくさ、などがあります。進行すると物が二重、三重に見えたり、膜がかかったように見えたり、視力が低下するなどの症状が出てきます。原因として加齢によるものが知られていますが、放射線も白内障の発症に関与することがわかっています。初期の段階では気づかずそのまま進行した場合、視力が低下し QOL（生活の質）の低下へとつながります。

本研究では、低線量の放射線被ばくと白内障の関連を明らかにすることを目的にし、今後の放射線に関する作業者の安全と健康を守る指標が明らかになることが期待されています。

なお、本研究は厚生労働省「労災疾病臨床研究事業 千田班研究（200601-01）」の一環として実施されます。

研究のルールについて

本研究は、金沢医科大学医学研究倫理審査委員会で審査・承認されたあと、金沢医科大学長の許可を得て実施しています。この研究についてさらに詳しく知りたい場合、研究計画書などを、研究者の権利及び他の被験者の権利が侵害されない範囲で閲覧することができます。

2 研究の目的

本研究は、医療施設の放射線業務に従事する方（医師や技師、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、白内障との関連を明らかにすることを目的としています。そのため、関係学会及び団体と連携し、白内障調査を行います。

本調査で集められたデータを検討することで、水晶体被ばくの実態を詳細に把握し、今後の放射線防護機材の改良や、医療施設の労働者の水晶体被ばく低減を図ることにつなげます。

3 研究の方法

本研究では、循環器内科、消化器内科、整形外科、脳神経外科等で放射線業務に従事する方を対象とし、日本IVR学会・日本心血管治療インターベンション治療学会（CVIT）、日本脳神経血管内治療学会（JSNET）、日本整形外科学会等が開催する学術集会等の会場に、白内障調査を無料で実施するキャンペーンを日本白内障学会の全面協力体制で実施します。なお、毎年1～2学会/年程度の調査の実施を予定しています。

白内障の解析は、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）およびScheimpflug slitカメラでの水晶体撮影を行い、細隙灯顕微鏡所見および撮影画像から放射線白内障の初期病変であるVacuoles、視機能低下の要因として重要な白内障3主病型（核、皮質、後囊下白内障）および2副病型（Retrodots、Waterclefts）について判定します。本法の検出精度・再現性は著しく高く、放射線白内障の初期変化の検出が可能です。さらに、問診による聞き取り調査として、職業歴や放射線に関わる作業歴などの被ばく線量の実態調査をさせていただきます。

また、被ばく線量と白内障発症リスクの検討を行うため、「被ばく線量提供に関する依頼文」を所属施設長宛にお送りし、対象者個人の実効線量および水晶体等価線量の提供をお願いする予定です。依頼文は返信用封筒を同封し、後日郵送させていただきます。ご回答いただきましたデータは完全匿名化し研究に使用させていただきます。

収集する臨床情報等について

本研究では、白内障調査と問診票にて以下の臨床情報を収集させていただきます。

白内障調査と問診を合わせて所要時間は約1時間です。

白内障調査

屈折値と眼圧（トレノフ）、視力（裸眼、矯正）、細隙灯顕微鏡検査、水晶体撮影（Scheimpflug slit像、徹照像）、眼底検査

問診票

職業歴、放射線に係る手技について経験年数、年間当たりの件数、放射線被ばく線量調査、その他白内障の発症リスクとされる喫煙、糖尿病の有無、ステロイド内服の有無

4 研究に参加できる方

本研究に参加していただく方は、循環器内科、消化器内科、整形外科、脳神経外科等で放射線業務に従事する方を対象とし、日本IVR学会・日本心血管治療インターベンション治療学会（CVIT）、日本脳神経血管内治療学会（JSNET）、日本整形外科学会等が開催する学術集会等に参加された20歳以上の方で、性別は問いません。

参加できない基準

ご本人から本研究への参加を断られた方

5 予測される利益及び不利益

予測される利益

本研究に参加することによる利益として、眼科医により診察・検査結果をお伝えしますので、ご自身の眼の状態を知ることができるとともに、適切な眼疾患の予防と治療の指導を受けることができます。さらにこの調査成果により、労働者保護の観点から眼の水晶体の等価線量限度引き下げに際し、リスク管理機関が規制を整備するために必要な水晶体の放射線防護に関する検討材料の基礎データとなることが期待されます。なお、この研究は厚生労働省「労災疾病臨床研究事業」として実施されます。あなたの経済的な負担はありません。

予測される不利益

本研究では、通常診療で行っている白内障検査を実施するのみです。白内障や眼底疾患の詳しい検査には眼薬で瞳をひらくことが必要になります。診察後、数時間は眩しく感じ、特に近くのものがぼやけて見えますので、その間は運転は控えて下さい。約3時間程度で、もとの状態に回復します。散瞳可否については眼科医が通常診療時と同様に細隙灯顕微鏡下で判断して行います。

6 研究期間と参加人数

研究期間は、金沢医科大学 医学研究倫理審査委員会承認後～2023年3月31日までです。参加人数は研究全体では2000名の方に参加していただく予定です。

7 研究参加の同意と同意撤回について

この調査を受けるかどうかはあなたの自由です。たとえ同意されない場合でも、あなたにはなんら不利益は生じません。また一旦同意した後でも、いつでも同意を撤回できますし、検査の中止もできます。この場合も、なんら不利益を受けることはありません。

研究に参加することに同意した後でも、意思が変わった場合は同意を撤回することができます。後述の[16. お問い合わせ先]に記載されている担当までご連絡ください。同意を撤回した場合は、研究に関するあなたの情報は廃棄します。ただし、同意撤回の時点ですでに論文などで成果を発表していた場合、それらは廃棄することができませんのでご了承ください。

8 個人情報の保護について

本研究にご参加いただく場合、この研究に関するデータは、個人を特定できない番号により管理されますので（匿名化といいます）、あなたの個人情報が外部に漏れることは一切ありません。またこの研究は複数の研究機関と共同で行いますので、あなたのデータを共同研究機関と共有することがありますが、個人と研究用IDを紐づける対応表は本学のみが保有するので、あなたを特定できる情報が外部に送られることはありません。さらに、研究結果を医学雑誌や学会で発表しますが、このような場合でもあなたを特定できるような情報が外部に漏れることや、公開されることはありません。

9 健康被害の補償について

本研究に参加することによる合併症を生じることはないと考えます。万一、検査・診察により眼の不具合が生じた場合には、すみやかに適切な処置と治療をもって対応させていただきます。その際の処置に対する費用はかかりませんが、その後の補償は行いません。

10 費用負担及び謝礼について

本研究に参加することであなたが負担する費用はありません。また、この研究では謝礼はお渡ししていません。

11 研究の中止

以下のような状況が発生し、研究責任者や研究機関の長が中止すべきと判断した場合、本研究全体を中止する場合がありま。

- ・倫理指針又は研究計画書の重大な違反/不遵守が判明した場合
- ・倫理的妥当性もしくは科学的合理性を損なう、または損なう恐れのある事実を得た場合
- ・その他研究責任者等が中止を判断した場合

12 情報の取り扱いについて

本研究で収集した情報は、研究終了後 10 年間金沢医科大学眼科学教室にて厳重に保管管理され、保管期間終了後に破棄します。保管期間終了後は、研究用 ID とあなたを紐づける対応表も廃棄し、個人が特定できないように処理を行います。対応表を破棄すると個人の特定ができないので、同意を撤回することができませんのでご注意ください。

本研究で収集した情報は、別の研究にも利用する場合があります。データを新たな研究に利用する場合、改めてその研究計画を倫理審査委員会において審査し、承認された後に行います。

13 研究の情報公開

研究成果は、医学雑誌や学会で発表します。どの場合でも、あなたの個人情報が公開されることはありません。

14 研究費と利益相反

本研究に関して、厚生労働省（労災疾病臨床研究事業）の補助金を受けて実施します。特定企業からの資金援助は無いため、利益相反はありません。本研究は学校法人金沢医科大学利益相反マネジメント規程に則り適正に実施されます。

※利益相反とは、外部との経済的な利益関係等によって、公的研究で必要とされる公正かつ適正な判断が損なわれる、または損なわれるのではないかと第三者から懸念される事態のこと。

15 研究実施体制

研究機関：金沢医科大学

研究責任者；眼科学 教授 佐々木 洋

研究分担者；岩手医科大学 眼科学講座 主任教授 黒坂 大次郎

和歌山県立医科大学 眼科学講座 教授 雜賀 司珠也

東北大学 災害科学国際研究所 教授 千田 浩一

産業医科大学 産業生態科学研究所 准教授 盛武 敬

産業医科大学 産業医学実務研修センター 喜多村 紘子

眼科学 助教 初坂 奈津子

連絡先；〒920-0293 石川県河北郡内灘町大学 1-1

金沢医科大学 眼科学

Tel; 076-286-2211 (内線 3415)

16 お問い合わせ窓口

この研究に関して何かわからないことや相談したいことがある場合は、以下の相談窓口に連絡してください。

実施機関名	金沢医科大学 眼科学
担当者	助教 初坂 奈津子
電話番号	076-286-2211 (内線 3415)
E-mail	n-hatsu@kanazawa-med.ac.jp
受付時間・曜日	月～金： 9:00～17:00

IVR 従事

金沢医科大学学長 殿

同 意 書

このたび、IVR 従事者の白内障調査に参加するにあたり、担当医師から下記の内容について十分に説明を受け、納得いたしましたので、この研究に参加することに同意いたします。なお、説明された説明文書・同意書を受け取りました。

1.はじめに（研究について）

2.研究の目的

3.研究の方法

※所属施設長宛に放射線量調査の依頼文
を郵送してもよい。

4.研究に参加できる方

はい . いいえ

5.予測される利益及び不利益

6.研究期間と参加人数

7.研究参加の同意と同意撤回について

8.個人情報の保護について

9.健康被害の補償について

10.費用負担及び謝礼について

11.研究の中止

12.情報の取り扱いについて

13.研究の情報公開

14.研究費と利益相反

15.研究実施体制

16.お問い合わせ窓口

私は、この研究についての説明文書を受け取り、事前に内容について読み、担当医師からその内容の十分な説明を受け、よく理解しましたので、研究への参加に同意します。

被験者氏名（署名）

同意日： 年 月 日

説明者署名欄

私は、この研究についての説明文書を使用して十分な説明を行いました。

署名：

説明日： 年 月 日

所属機関（施設）名称・部署 _____

住 所：〒_____

令和 2 年度(2020 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

水晶体は生体において放射線感受性が最も高い組織の 1 つであり、医療従事者では長期に渡る低線量被ばくでも白内障のリスクが増加することが報告されている。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。

本研究グループでは、放射線医療従事者が集う関連学会において、無料白内障検診を日本白内障学会の全面協力のもと実施する。今年度（令和 2 年度）は日本脳神経血管内治療学会（JSNET）において、白内障調査を主とする眼科検診を行い、84 名の調査が終了した。両眼での白内障有病率は、主病型である皮質（前囊下含む）が 0.6%、核が 0.0%、後囊下が 1.2% となった。白内障副病型である Retrodots や Waterclefts はいずれも 1.2% であった。放射線白内障の初期変化とされる微小混濁（Vacuoles）は 25.6%（後囊下中心のみでは 15.5%）を示した。現在、各対象者の所属施設より対象者個人の被ばく線量を取得中であり、今後は被ばく線量と水晶体混濁との関係について解析を行う。

*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

本研究は、国内の放射線医療従事者（医師や技師、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、医療従事者の水晶体被ばく低減を図ることにつなげる。本研究グループでは放射線医療従事者が集う関連学会で、無料白内障検診を日本白内障学会の全面協力のもとに実施する。

本年度は日本脳神経血管内治療学会（JSNET）において、白内障調査を中心とする眼科検診を実施した。

B. 研究方法

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（図1））、Scheimpflug slit カメラでの水晶体撮影、眼底検査を行う。同一医師による細隙灯顕微鏡での所見および水晶体撮影画像から、白内障判定を行う。白内障の種類については、視機能低下が顕著に起こる白内障3主病型（皮質、核、後嚢下白内障）および2副病型（Retrodots（RD）、Waterclefts（WC））と、放射線白内障の初期病変である微小混濁（Vacuoles（VC））を検討する（図2）。白内障カメラおよびScheimpflug slit カメラでの水晶体撮影では、検出精度や再現性が高く、細隙灯顕微鏡下での肉眼判定だけでは見逃しやすい微小混濁の検出が可能である。さらに問診による聞き取り調査として、職歴・放射線に係る手技についての経験年数、年間あたりの件数、その他放射線に関わる作業歴を聴取し、被ばく線量の実態を調査する。また放射線被ばく以外の白内障発症リスクとされる喫煙歴、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す

る。

後日、被ばく線量提供に同意のあった対象者には、所属施設宛に「被ばく線量提供に関する依頼文と被ばく線量提供書類」を郵送し、対象者個人の実効線量、水晶体等価線量の提供を依頼する。



図1. 白内障カメラ（徹照カメラ）

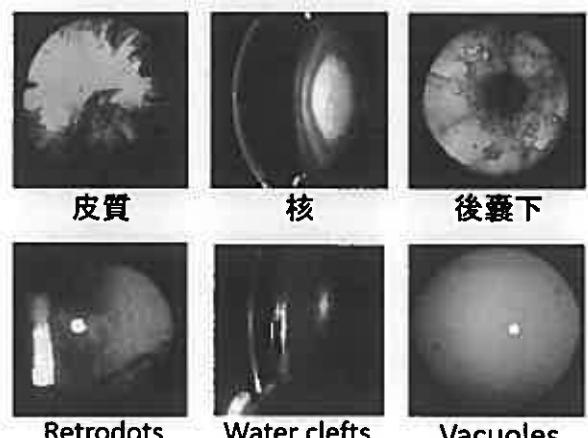


図2. 本調査で検討する白内障病型

C. 研究結果

放射線業務従事者に対する白内障調査を実施するにあたり、金沢医科大学倫理委員会への申請を行い、2020年10月22日に承認された。（承認番号I552）

本研究の第1回目の調査として第36回日本脳神経血管内治療学会(JSNET)(2020年11月19日～21日、京都国際会館)において白内障調査を主とした眼科検診を行った。新型コロナウィルス(COVID-19)の影響拡大の中での調査であったが、広いスペースを活用して検査機器配置を十分な距離を持って設置し、対象者および検者が密にならないよう配慮した。参加者は3日間で84名であったが、医師67名、放射線技師13名、その他4名の検診が終了した。84名の平均年齢は 46.6 ± 8.8 歳(30代:19名、40代:31名、50代:28名、60代:6名)、男性75名、女性9名であった。

全対象の矯正視力は、右眼はすべて1.0以上、左眼は0.8-0.9が3名いたが、その他はすべて1.0以上であった。全対象者において、視力良好であることが確認された。

白内障有病率(右眼、左眼)を図3に示す。3主病型である皮質白内障(前囊下含む)は(1.2%, 0.0%)、後囊下白内障は(1.2%, 1.2%)であった。今回の対象者に核白内障は確認されなかった。副病型であるRD(2.4%, 0.0%)、WC(2.4%, 3.6%)、放射線白内障の初期病変とされる微小混濁VCは(22.6%, 28.6%)、後囊下中心にあるVCは(14.3%, 16.7%)であった。VCにおいては左眼の方が若干有病率が高くなるが、有意差はなかった(カイ二乗検定)。その他白内障眼でも左右差は認められなかった。

図4に両眼での後囊中心VCの年代別有病率を示す。加齢に伴い増加がみられる。VCは消失することもあるが、後囊下白内障に進行することもある。この微小混濁が今後どのような過程で後囊下白内障に進行するかは現在のところわかつておらず、将来的には縦断調査として検討する必要がある。

対象者84名中、被ばく線量提供に対する

同意があった74名に対して、所属施設宛に書類を郵送し、現在、被ばく線量を取得中である。

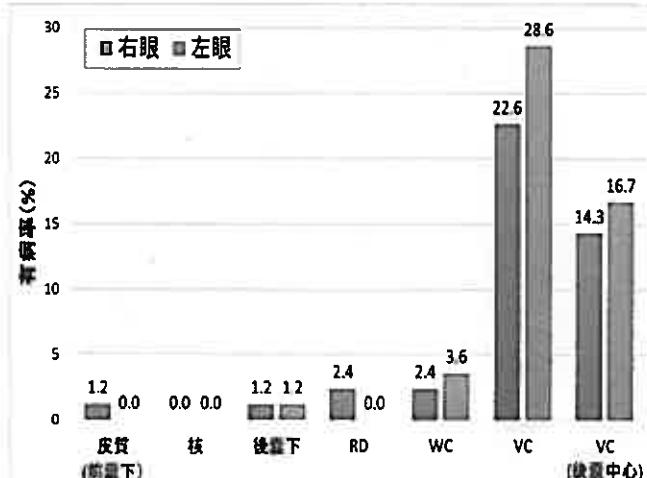


図3. 白内障有病率(右眼、左眼)

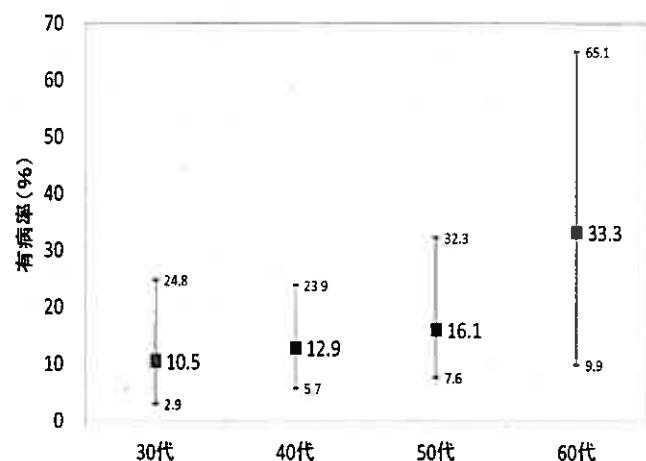


図4. 後囊下中心VCの年代別有病率

D. 考察

今回84名の検診を行い、水晶体の混濁(白内障)および微小変化があったほとんどの対象者は視力良好であることが確認され、脳神経血管内治療を伴う放射線業務従事者

のほとんどは視力障害を伴う水晶体の変化・混濁が認められないことが明らかとなつた。対象者の平均年齢が 46.6 歳と若く、60 代が 6 名のみで、70 歳以上の対象者がいなかつたことも関係しているが、放射線白内障とされる後囊下白内障は左右眼とも 1.2% と低値を示し、3 主病型の 1 つである皮質白内障も右眼が 1.2%、左眼は 0% と低い結果となつた。さらに核白内障については今回の対象者からは確認されなかつた。副病型である RD と WC についても 2.4-3.6% と低い値を示した。放射線白内障の初期病変とされる VC に関しては 20% 台と他の白内障病型に比べて高い数値となつた。後囊下中心にある VC についても 14.3-16.7% を示し、年代別での有病率では加齢により増加が見られた。現在後囊下の VC を認める対象者に関しては、10 年後、20 年後に手術加療が必要になる後囊下白内障を発症するリスクが増加している可能性は十分に考えられる。被ばく線量との関係や同対象者での調査が可能であれば検討していくたい。

対象者の被ばく線量について、取得後は各種白内障と水晶体被ばく線量との関係、特に後囊下中心 VC と被ばく線量との関係について検討を行う予定である。

来年度の計画として、2021 年 5 月 20 日～22 日に大阪で開催される IVR 学会での白内障調査を行う予定である。

E. 結論

日本脳神経血管内治療学会 (JSNET) において、白内障調査を主とする眼科検診を行い、84 名の調査が終了した。放射線白内障とされる後囊下白内障の有病率は 1.2% と低く、全対象者で視力障害を伴う水晶体の

変化・混濁が認められなかつた。後囊下中心にある VC については 14.3-16.7% を示し、年代別での有病率では加齢により増加が見られた。後囊下中心の VC については、その増加が今後の後囊下白内障発症にもつながる可能性も十分にあるため、詳細な検討が必要である。

現在、各対象者の所属施設より対象者個人の被ばく線量を取得中であり、今後は被ばく線量と水晶体混濁との関係について解析を行う。

F. 論文報告

1. 初坂奈津子. 東電福島第一原発緊急作業従事者に対する白内障調査. 金沢医科大学雑誌 2020;45(1):14-15.
2. 初坂奈津子, 宮下久範, 喜多村紘子, 大久保利晃, 佐々木洋. 「東電福島第一原発緊急作業従事者に対する疫学的研究」白内障全国調査について. 日本白内障学会誌 2020;32(1):49-51.

G. 研究発表

1. 初坂奈津子. 東電福島第一原発緊急作業従事者に対する白内障調査. 第 5 回北陸 4 大学眼科合同研究会, 金沢, 2019/05/31.
2. 初坂奈津子, 宮下久範, 久保江理, 喜多村紘子, 佐々木洋, 大久保利晃. 「東電福島第一原発緊急作業従事者に対する疫学的研究」白内障全国調査について. 第 58 回日本白内障学会総会・第 45 回水晶体研究会, 和歌山, 2019/07/19-20.
3. 初坂奈津子. 【知っておくべき眼光学の基礎】電磁波と眼 (紫外線から赤外線の眼への影響と予防). 第 55 回日本眼光

学学会総会, 金沢, 2019/10/05-06.

4. 初坂奈津子. 東電福島第一原発緊急作業従事者に対する自内障調査. 金沢医科大学総合医学研究所 2019年度研究セミナー, 内灘, 2020/03/05 (新型コロナウイルス感染予防対策のため中止し、総合医学研究所HPに公開) .

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

令和2年度(2020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

IVR(インターベンショナル・ラジオロジー)従事者の白内障調査

研究分担者 雜賀 司珠也(和歌山県立医科大学眼科 教授)

研究要旨

2020年11月19日～21日に開催された第36回 NPO 法人日本脳神経血管内治療学会学術総会において「IVR 従事者の白内障調査」を行った。視能訓練士は屈折検査、視力検査、Optical Coherence Tomography（光干渉断層撮影；以下 OCT）、眼底写真撮影を担当した。医師は検眼鏡的検査、眼底写真、OCT 撮影写真による眼底診断と対象者への検査結果説明に従事した。水晶体の診察および対象者への検査結果説明は、金沢医科大学が担当された。学会会場で金沢医科大学担当者と“白内障判定マニュアルに沿った水晶体所見や白内障グレード判定”について相互に確認した。

本研究では検査の一つに、検眼鏡的検査と非侵襲的に詳細に三次元的に眼底を撮影できる OCT が組み込まれており、通常の眼底写真のみの健診よりも、眼底検査所見の情報量が多いために、対象者にはおのずと詳細な説明となった。詳細な眼底所見の説明が、本研究への参加者の満足度を高め、ひいては間接的に白内障従事調査の認知や今後の参加者増加につながることを期待する。

A. 研究目的

水晶体は放射線に最も弱い臓器の1つであり、放射線を多量に被ばくすることで放射線白内障を発症する。一方で実際の医療で、患者および放射線業務従事者の放射線白内障が問題になるのは IVR（インターベンショナル・ラジオロジー）であると考えられており、その対応が急がれている。

本研究は、医療施設の放射線業務に従事する者（医師や技師、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、白内障との関連を明らかにすることを目的とする。本調査で集められたデータを検討することで、医療施設の放射線業務に従事する者の水晶体被ばくの実態を詳細に把握し、今後の放射線防護機材の改良や、医療施設の労働者の水晶体被ばくの低減を図ることにつなげる。

B. 研究方法

＜診断基準と病期・病型分類＞

本研究では、医療における水晶体の放射線防護や線量評価に関する実態を調査分析して、改善点を抽出することを目的に、循環器内科、消化器内科、整形外科、脳神経外科等で放射線業務に従事する者を対象とする。2020年は11月19日～21日に開催された第36回NPO法人日本脳神経血管内治療学会学術総会の会場において「IVR従事者の白内障調査」を行った。対象者には検診前に文書を用いて、白内障調査、問診、各医療機関で実施している放射線被ばく量調査の結果の提出に伴う同意を取得した。

白内障調査（検診）は、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）およびScheimpflug slitカメラで

の水晶体撮影を行い、細隙灯顕微鏡所見および撮影画像から放射線白内障の初期病変である Vacuoles、視機能低下の要因として重要な白内障3主病型（核、皮質、後囊下白内障）および2副病型（Retrodots、Waterclefts）について判定した。カメラを用いた本法の検出精度・再現性は著しく高く、放射線白内障の初期変化の検出が可能である。白内障の診断はWHO白内障分類による3主病型と、副病型については金沢医科大学分類を使用した基準とした。さらに放射線白内障の微小混濁として重要なVacuolesを含めた病型で診断した。白内障診断は眼科医が行い、白内障検査結果（視力・眼屈折・眼圧）および白内障の診断内容については直接本人に伝えた。手術や定期的な検診が必要と判断された場合には、受診を促すなど診断結果に応じて適切に対応した。

なお、放射線被ばく量と白内障発症リスクの検討を行うため、後日対象者の所属機関長に依頼し、各医療機関で実施している対象者の放射線被ばく量調査の結果を提供してもらった（郵送）。個人情報の授受にあたり、提供元の施設並びに提供先である金沢医大の双方で情報提供に関する記録を保管している。

データの解析は白内障の診断以外にも、視力、眼屈折、眼圧などの基本検査結果から視力低下に起因する眼底疾患の有無も確認する。白内障診断は白内障診断マニュアルを使用し、診断医がそれに沿って所見表に記入した。そして簡易型徹照カメラによる水晶体撮影画像と合わせて全データを金沢医大眼科に収集されている。

＜収集する情報＞

研究対象者情報として識別コード、既往歴、

現病歴、治療に関する情報、職歴、放射線に
関わる作業歴、放射線被ばく線量、白内障診
断情報を取得する。白内障発症リスクに起
因する喫煙の有無、ステロイド内服、糖尿病
の有無については問診による調査も行った。
白内障検査結果（視力・眼屈折・眼圧）およ
び白内障の診断内容については、担当医師
により直接伝えた。

C. 研究結果

金沢医大眼科の研究分担者がデータを
保管、管理。

D. 考察

金沢医大眼科の研究分担者がデータを
保管、管理。

E. 結論

金沢医大眼科の研究分担者がデータを
保管、管理。

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2年度(2020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2年度(2020年度)は、放射線白内障の診断を正しく行うための臨床技能のチェックができた。

スリットを用いた水晶体診察において白内障の診断・評価基準を一定とすることが重要である。そこで、放射線白内障の「判定マニュアル」の講習会を開き、判定が一致するか検討した。その結果、主な6病型のうち4病型は一致したが、2病型で不一致が一部にみられた。検診の精度を上げるためにも、放射線白内障の「判定マニュアル」の習熟が大切と思われた。

これらの知見をもとに、さらに講習会を開き、判定の正確性を向上させる準備を次年度に向けて行いたい。

A. 研究目的

医療施設等における従事者が受けている眼の水晶体の被ばく及び防護の実態を把握するため、検診にての診断の正確性を評価すること

B. 研究方法

医療施設等における従事者が参加する学会にブースを設置し、眼科検診を行い白内障の実態や他の眼疾患を評価し、その実態を把握することが必要である。

そのためには、白内障の評価方法を一定とすることが重要である。そこで、放射線白内障の「判定マニュアル」(図1)の講習会を開き、検査する医師間に共通の判断基準を熟知させ、それらを実際の症例を用いて一致するかの検討を行った。

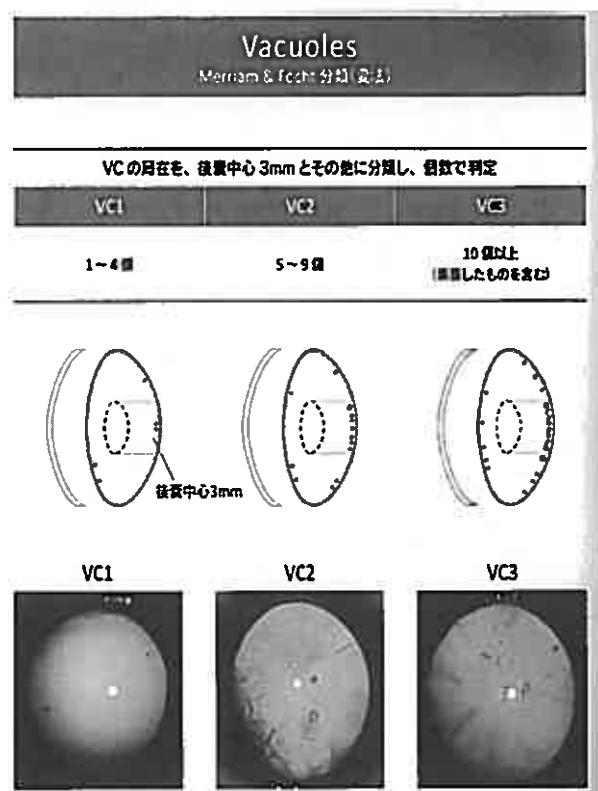


図1 放射線白内障「判定マニュアル」金沢医大編

C. 研究結果

マニュアルをあらかじめ眼科医師30名に配布し、WEBによる解説を行った。その後、その中の5名に対して、白内障の写真を供覧して、その診断・程度判定が一致するか確認を行った。

その結果、主要3病型およびwatercleftsの診断は、全員が一致したが、vacuoles, retrodotsは、相互に間違えるものがあり、60%の正解率となった。

D. 考察

白内障の診断は、眼科医は日常的に行っているために、自己流になっている場合が多い。特に、徹照法を用いての検査が重要なvacuoles, retrodotsは、見逃されやすく、注意が必要と思われる。通常の検診では、散瞳しない状態でのスリット光による診断をすることも多く、徹照法との一致が一部に間違いを起こしたのかもしれない。正確な水晶体の評価には、マニュアルを用いてのチェックが、一般診療を行っている眼科医であっても望ましいと思われた。

今年度は、コロナ感染症により実際の検診に参加することができなかったが、さらに、講習会を開いて、検診の精度を高めていくべきと思われた。

E. 結論

白内障の検診の精度を高めるために、放射線白内障「判定マニュアル」は有用と思われた。

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2年度(2020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2年度(2020年度)は次年度の測定へ向けた環境整備と、新しい防護デバイスであるZERO-GRAVITYに関する基礎的および臨床的な検討ができた。

・ZERO-GRAVITYの散乱線に対する遮蔽効果：血管撮影室で用いられる新しい防護デバイスとして有効性が期待されているZERO-GRAVITYの散乱線遮蔽効果を明らかにした。右大腿動脈経由のIVR手技を模して散乱線を発生させるファントム実験にて、防護メガネとZERO-GRAVITYの線量低減率を2回測定した平均は、防護メガネの57%に対してZERO-GRAVITYは93%であった。散乱線発生と測定の再現性は良好であったが、防護デバイスの配置の再現性はやや劣り、測定回数を増やす必要性が判明した。

・ZERO-GRAVITYの臨床使用経験：ZERO-GRAVITYを臨床の症例で使用し、従来の鉛エプロン+防護メガネの組み合わせとの比較における利点と欠点を取りまとめた。天吊りによる身体的負担軽減や支柱可動範囲による行動範囲制限は想定通りであったが、姿勢と視野の制限による使いにくさや助手が使用する際の不都合については、実際に使用して初めて気付かれたものであった。

高い遮蔽効果と身体的負担軽減を維持したまま、使いにくさを改善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、2012年にはICRP Publication 118 “ICRP Statement on Tissue Reactions and Early / Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context”が発行され、国際原子力機関や欧州連合の新しい安全基準にも、新たな水晶体等価線量限度が盛り込まれる流れとなっている。我が国においても新たな水晶体等価線量限度を法令へ取り入れ、令和3年4月の施行へ向けて実務レベルでの検討が進められており、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。現在のところ従事者の水晶体の防護は、主に天吊り防護板と防護眼鏡が担っているが、前者については不適切な配置、後者については顔面とグラスの隙間ににより充分な効果が得られない場合があり、改善の余地があるものと考えられている。近年、従事者の水晶体防護における第3の防護デバイスとして、天吊り防護エプロンとでもいべき「ZERO-GRAVITY」が国内でも使われ始め、術者への荷重が問題とならないため高い遮蔽能力を有するので

水晶体防護にも大きな効果が期待されている。しかし通常の鉛エプロンとは仕組みも使い勝手も異なるので、その有用性有効性に関しては多方面からの検討が必要であり、その結果は水晶体防護のための新たなデバイス開発に資するものとなることが期待される。本研究は、「ZERO-GRAVITY」の散乱線に対する遮蔽効果を実測し一般的な防護眼鏡と比較することを目的とする。併せて、本研究および今後の研究の質を高め円滑に推進するため、ファントムを用いた散乱線の線量測定系を構築し、再現性を検討する。更に、「ZERO-GRAVITY」を臨床で使用した経験に基づいて利点や欠点の情報を蓄積し、今後の改良や新しいデバイスの開発に資するよう取りまとめる。

B. 研究方法

1. ZERO-GRAVITYの散乱線に対する遮蔽効果

1.1. 人体ファントム、患者ファントム

右大腿動脈経由の体幹部透視手技を模して、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ように、透視時の術者医師の立ち位置に設置した金属製の台の上に頭部人体ファントム(京都科学 41309-100)を配置した。患者を模したファントムとして、血管撮影装置の寝台に水を貯めたプラスチックケースを配置した。

1.2. 線量計の配置

線量計はAccu-Gold+を使用、イオンチャンバーを左目の表面に配置した。



1.3. 防護デバイス

防護デバイスなし、防護メガネ装着、ZERO-GRAVITY装着、の3種類

の条件で測定した。防護メガネはパノラマシールド HF-380(東レ)を用いた。テンプル角度調整は 0 度に設定した。ZERO-GRAVITY は、上縁が眼球の高さとなるよう配置した。

1.4. X 線照射

使用した血管撮影装置は フィリップス社 Azurion 7 C20、照射条件は腹部血管撮影の高線量条件にて撮影 12 フレーム/秒 × 20 秒、連続記録したうちの 10 秒間のデータを切り出して累積線量を求めた。頭部ファントムの方向は正面 1 方向とした。

1.5. 再現性評価

2 週間の間を空けて 2 回、同様の方法で線量を測定し、変動率を計算した。

2. ZERO-GRAVITY の臨床使用経験

2020 年度に施行された IVR 手技において鉛エプロン(0.25mgPb) + 防護メガネ(東レ HF-480S)の組み合わせと、ZERO-GRAVITY と、を交互に使用し、使用経験を記録し取りまとめた。

C. 研究結果

1. ZERO-GRAVITY の散乱線に対する遮蔽効果

2 回の測定結果は、防護デバイスなしの線量が $58.1 \mu\text{Gy}$ と $59.4 \mu\text{Gy}$ 、防護メガネ装着時の線量が $21.5 \mu\text{Gy}$ と $28.8 \mu\text{Gy}$ 、ZERO-GRAVITY 装着時の線量が $2.6 \mu\text{Gy}$ と $5.5 \mu\text{Gy}$ 、であった。変動率はそれぞれ、2%、34%、112%、であった。2 回の平均を用いて線量低減率を算出すると、防護メガネが 57%、ZERO-GRAVITY が 93% であった。

2. ZERO-GRAVITY の臨床使用経験

2.1. 利点

エプロン部分が支柱に吊られているため、通常の鉛エプロンに比して、肩や腰の負担が軽減されていた。

鉛エプロンや防護メガネがないので、顔も体も通気性がよく蒸れにくかった。汗ばむような状況でも、ZERO-GRAVITY の透明シールド部分は曇ることがなかった。

2.2. 欠点

支柱の可動範囲が狭いため、移動範囲が制限された。他の天吊りデバイスの支柱と干渉するため、支柱の長さを変える工事が必要となった。術者と助手など、複数人が同時に ZERO-GRAVITY を利用することは現実的でないだろう。

エプロン部分は前後に屈曲しないので前屈みの姿勢が取れない上に、体とエプロンがやや離れているため下方の視野が制限されるので、低めのトレーで作業することは困難であった。

重いエプロンの慣性が働くため、素早く振り向くことは難しく、無理に振り向くと振り回される感があった。背開きのデザインも相俟って、助手として使用するには不適であった。

自分の声が遮蔽板に反響して耳障りであるため、スタッフや患者とのやり取りにおける快適さが損なわれていた。スタッフや患者の声の聞き取りにくさは感じなかった。

清潔に使用するためには専用のカバーが必要なため、コストの面で不利な上に、取り付け方法も煩雑であり説明動画を見ながら作業する必要があった。

D. 考察

コロナ禍に対応するため、当初の予定を変更して自施設で散乱線線量測定環境を構築する必要に迫られたが、良好な結果が得られた。2 回の測定における防護デバイスなしの線量の変動は 2% で、散乱線発生や機器・ファントム配置に関する再現性は良好

であった。一方、防護デバイスを用いた線量の変動は34%から112%にも及び、防護デバイスの配置に関する再現性の低さが課題とも考えられたが、実臨床におけるばらつきの大きさを反映できたものとも考え得るので、必ずしも否定的な結果ではない。防護デバイスの遮蔽効果を調べるために測定回数をできるだけ多く設けることが望ましいことになる。防護メガネの線量低減率は別施設における過去の実験結果と同程度であり、測定環境の妥当性は保たれているものと考えられた。

ZERO-GRAVITYの使用感は決して良好とは言い難いもので、活用するためには充分な準備と適切な症例選択が必要と考えられた。しかしZERO-GRAVITYによる線量低減率は93%と圧倒的で、術者の被ばくは文字通り桁違いに低くなるので、水晶体線量の高い術者を保護する手法の一つとして、有望な方向性であることは間違いない。この延長線上に、新たなデバイスが開発されることに期待したい。

次年度以降、各種防護デバイスの遮蔽効果測定を進めるとともに、防護デバイス周囲の空間線量分布などより詳細なデータを収集し、新たなデバイス開発へ向けた提言に結びつけたい。

E. 結論

コロナ禍に対応するため、自施設にて散乱線線量測定環境を構築し、再現性を担保した。防護デバイス配置の再現性は低いので、測定回数を増やして対応する必要がある。

ZERO-GRAVITYの遮蔽効果は従来の防護デバイスより高いことが確認された。使用感に関する課題を解決するような次世代

のデバイス開発に期待したい。

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

該当なし

令和2年度(2020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

【0.07mmPb メガネ改良に関する基礎検討(放射線防護機材の改良等に関する研究)】

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

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、放射線防護機材の改良等の一例、すなわち、0.07mmPb メガネ改良に関する基礎検討等を行ったものである。

本研究では、新型の 0.07mmPb 防護メガネの遮蔽効果を評価した。新しいメガネ(XR-700)は、Pb-アクリルレンズが 3 次元的に成形されている。7ヶ月連続で新しいタイプの 0.07mmPb 防護メガネについて評価した。7人のIVR 医師の眼の線量の職業放射線被曝について、さまざまな手技において測定評価した。7名すべての IVR 医師は、左眼近傍に眼線量計(DOSIRISTM)を装着いた。新型 0.07mmPb 防護メガネの遮蔽効果を計算するために、同じタイプの眼線量計(DOSIRISTM)を Pb レンズの内側と外側の両方に装着して測定した。

その結果、7人の医師の新型防護メガネの平均遮蔽効果は 61.4% であった。すなわち新型メガネを使用する IVR 医師の遮蔽効果が改善されていることを示唆された。新型防護メガネが不快であると不満を言う医師はいなかった。したがって快適さは問題なかった。すなわち軽量のメガネは、長い手技をしなければならないことが多いIVRの医師に受け入れられた。以上から、新型防護メガネは快適で簡単に遮蔽効果が得られるため有用であると思われた。

本研究の結果にから、IVR の医師はこれらの新しい 0.07 mmPb メガネを使用して被曝を減らすことが推奨される。しかしながら、遮蔽能力向上を目指して、今後、さらなる改良と種々の検討を行う必要がある。

*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。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に、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「放射線防護機材の改良等に関する研究」であり、そのなかで、0.07mmPb 放射線防護メガネの改良等およびその初期臨床検討結果等について述べる。

放射線防護具の臨床での遮蔽効果について明らかにした研究は様々あるものの、鉛防護眼鏡の遮蔽効果について臨床的に検討された研究は少ない。

鉛防護眼鏡の臨床的研究について、我々はすでに、0.75mmPb 当量の防護眼鏡の臨床における水晶体線量低減効果に関する研究報告を行った。その結果、0.75mmPb 当量防護眼鏡の遮蔽効果は優れているものの、重く曇りやすい特徴から、長時間にわたる IVR (Interventional Radiology) 手技には 0.75mmPb 当量防護眼鏡は適さないと結論付けている。

また既に我々は、0.07mmPb 当量の軽量防護眼鏡の臨床における水晶体線量低減効果に関する研究報告もいくつか実施している。0.07mm鉛当量防護眼鏡(バノラマシールド、ウルトラライト、東レ)は、軽量型であり装着の負担が少なく、側面防護も考慮したものである。すなわち 0.07mmPb 当量防護眼鏡は、装着感が良く軽量であるため、特に手技時間が長くなるような IVRにおいて有用である。IVR 医師にとって、例えば 0.5 mmPb 当量の眼鏡は長時間着用していると重く、不快であるため、よって軽量タイプの鉛眼鏡を着用するのが妥当であると考える。

しかしながら、0.07mmPb 当量の防護眼鏡の臨床における水晶体線量低減効果の検討した我々の先行研究の結果から、0.07mmPb 当量防護眼鏡は、45%から 60%未満の遮蔽効果であった。すなわち 0.07mmPb 当量防護眼鏡の臨床における水晶体線量低減効果は十分とは言えず、さらなる遮蔽効果の向上が望まれていた。

そこで、遮蔽率の向上を図るために、軽量眼鏡の形状等に改良を加えた、新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡が開発された。

本研究では、その改良された新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡の初期的臨床評価結果や防護効果について検討し、改良新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡の有用性について明らかにする。

B. 研究方法

改良新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡の概要

新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡の外観等を Fig. 1、2 に示す(正面側面下方一体レンズ：0.07mmPb 当量含鉛ガラス、重量約 45g 東レ)。

従来型 0.07mmPb 当量防護眼鏡と比較した新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡の主な形状改良点は以下の 3 点である。

① 従来型の正面・側面一体型含鉛シールドガラスに加え、下方にも含鉛シールドガラスがある。

② 従来型の大きさが 1 サイズなのに対し、新型は 3 つのサイズ展開で術者個人が最も自分の顔にフィットするものを選ぶことができる。

③ 鼻あてと柄の部分が可動式になっており、顔にフィットする角度に微調整することができる。

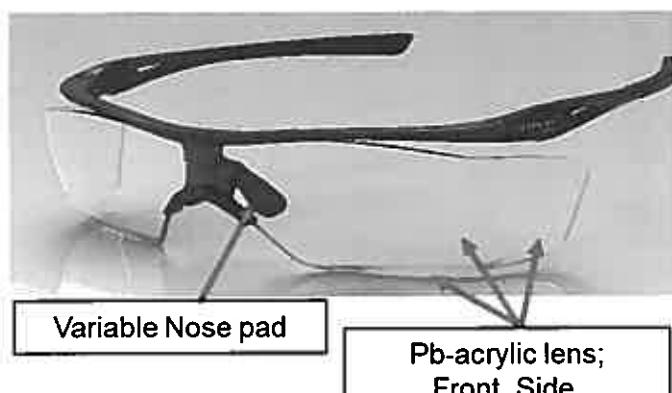


Fig.1 改良新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡の外観(Evaluation of novel X-ray protective eyewear in reducing the eye dose to interventional radiology physicians, Journal of Radiation Research, 2021, 改変) 従来型の正面・側面一体型含鉛シールドガラスに加え、下方にも含鉛シールドガラスがある。さらに従来型眼鏡の大きさは 1 サイズのみに対し、新型は S、M、L の 3 つのサイズがあり術者個人が最も自分の顔にフィットするものを選択可能

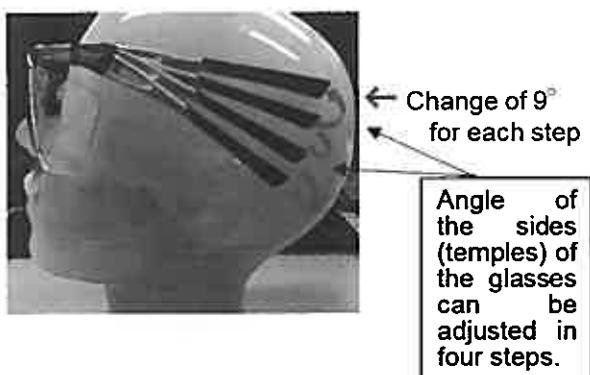


Fig.2 改良新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡の柄の角度変化の様子(Evaluation of novel X-ray protective eyewear in reducing the eye dose to interventional radiology physicians, Journal of Radiation Research, 2021, 改変) 鼻あてと柄の部分が可動式になっており、

顔にフィットする角度に微調整することが可能。柄(テンプル)の部分は角度 9°ごとに 4 段階に調節できる。

改良新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡の初期臨床測定評価

新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡の初期臨床測定の対象は心臓 IVR 術者(医師)7名である。

全スタッフは新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡パノラマシード HF-380(正面側面下方一体レンズ: 0.07mmPb 当量含鉛ガラス、重量約 45g、東レ)を着用した。水晶体線量測定は、防護眼鏡の左水晶体近傍の内側と外側に 1 つずつ水晶体用線量計 DOSIRIS (IRSN, フランス) を装着した。そして 3mm 線量当量にて測定評価した。

なお IVR 術者の位置は、基本的に、患者右側の X 線管から 0.5m の位置にて手技を行ったが、当然移動する場合もある。術者と C アームの間には原則的に天吊り防護板を設置した。天吊り防護板はクラレ キヨウワグラス XA (0.5mmPb 当量) である。

DOSIRIS で測定した各 1 ヶ月における防護眼鏡の内側と外側の線量読取値から、防護眼鏡による遮蔽率を算出した。この際、以下の式を用いて遮蔽率を計算した。

$$\text{遮蔽率} [\%] = (\text{外側線量} - \text{内側線量}) / \text{外側線量} \times 100$$

C. 研究結果

Table 1 に、7 名の術者の実施状況等(実施件数と透視時間と使用した眼鏡サイズ)の概要を示す。なお実施件数と透視時間は 1 か月あたりの平均と標準偏差である。

Table 2 は、7 名の術者の水晶体被曝状況等(メガネの内外の線量および遮蔽率)の概

要である。数値は1か月あたりの平均値と標準偏差である。

Table 3は、7名の術者の年間水晶体被曝線量推定値である。数値は1か月あたり線量を12倍して求めて推定値である。

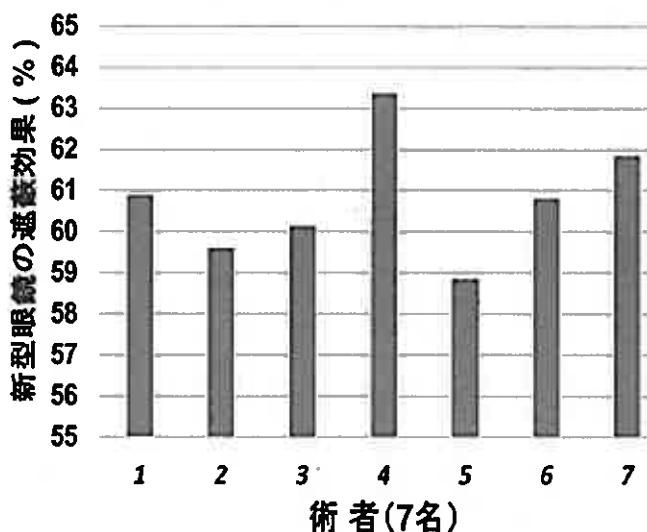


Fig.3 改良新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡の7名の術者の遮蔽効果(Evaluation of novel X-ray protective eyewear in reducing the eye dose to interventional radiology physicians, Journal of Radiation Research, 2021, 改変)

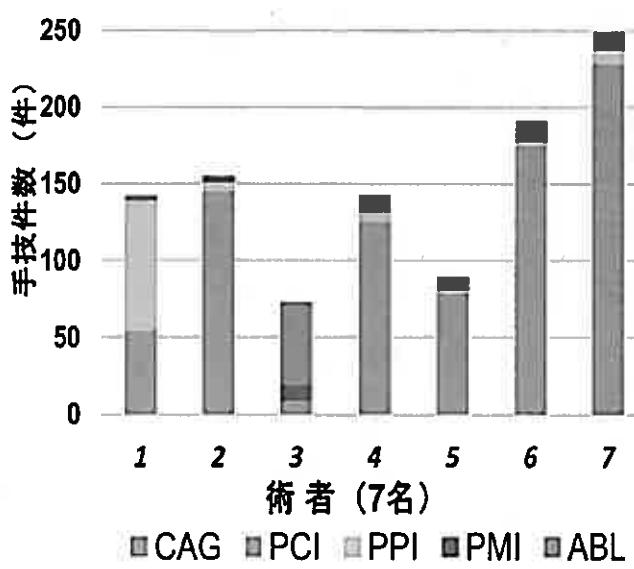


Fig.4 改良新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡を使用した7名の術者の手技内容と件数(Evaluation of novel X-ray protective eyewear in reducing the eye dose to interventional radiology physicians, Journal of Radiation Research, 2021, 改変). CAG: coronary angiography, PCI: percutaneous coronary intervention, PPI: percutaneous peripheral intervention, PMI: pacemaker implantation, ABL: catheter ablation

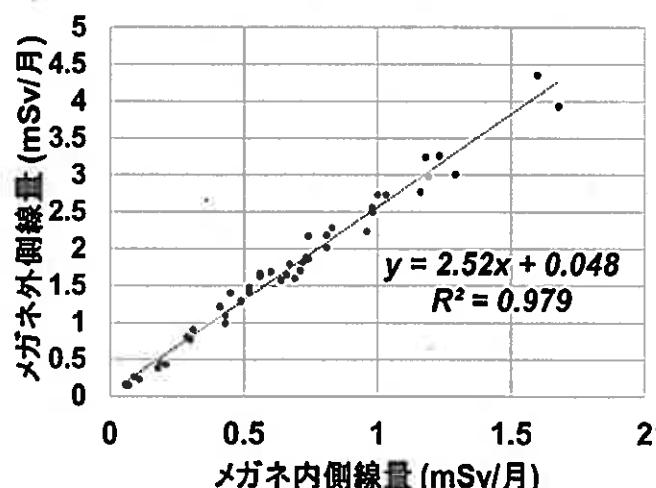


Fig.5 改良新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡を使用した7名の術者の眼鏡外側と内側の線量の相関(Evaluation of novel X-ray protective eyewear in reducing the eye dose to interventional radiology physicians, Journal of Radiation Research, 2021, 改変).

各スタッフの1ヶ月ごとの水晶体線量値とそこから算出された遮蔽率をTable 2に示すが、医師7名の平均遮蔽率は61.4%であった。遮蔽率が最高であった医師4は63.4%、最低遮蔽率であった医師5に関しても58.9%の遮蔽率となった(Fig.3)。

また、眼鏡のサイズによって遮蔽率への大きな差は生じなかった。さらに、手技内容

の違いによる防護眼鏡の遮蔽率には大差は無いように思われた(Fig. 4)。

外側 DOSIRIS と内側 DOSIRIS の線量相関を Fig. 5 に示す。決定係数 $R^2=0.979$ と強い相関を示した。

D. 考察

我が国でも 2021 年から新勧告(水晶体の等価線量は 5 年間の平均が 20mV/年を超える、かついかなる 1 年間においても 50mSv を超えないように)が取り入れられる。

この大幅な線量限度の引き下げに伴い、透視時間が長く被ばく線量の高い IVR 領域において、術者が適切な放射線防護を行わなければ新たに勧告された水晶体線量限度である 20 mSv/年を超過する危険性があることが明らかにされている。そのため術者個人が各防護具の遮蔽効果を認識したうえで、適切な防護方法を選択する必要があると考える。

心臓 IVR 術者は様々な方向からの散乱線により水晶体被ばくを受けている。従来型 0.07mmPb 当量防護眼鏡は軽さと良好な着け心地から、臨床現場で多く用いられている。その防護眼鏡を改良した新型 0.07mmPb 当量眼鏡は装着感を損なわないために鉛当量は変化せず、形状の変化による遮蔽率の向上が期待されていた。

本研究は、新型 0.07mmPb 当量の防護眼鏡を用いた IVR 臨床測定を行った結果、平均で 61.4% という良好な遮蔽効果があることを明らかにした。この値は従来型 0.07mmPb 当量防護眼鏡を用いた場合と比較して 5% (5 ポイント) 以上、向上している傾向を示した。

これは新型 0.07mmPb 当量眼鏡が従来製品と比較して、3 つのサイズのうちから術者

個人が自分に合った大きさを選べること、眼鏡の柄の角度が細かく調整できること、鼻あて部の角度調整が可能であること等の遮蔽率を上げるための形状の工夫がなされていることが要因であると考えられる。

装着感に関して、手技を行った医師は従来型の 0.07mmPb 当量防護眼鏡と比較しても新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡は同等であるとの感想であったことから、IVR 手技中に遮蔽率の高い新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡を使用することは有用であると言える。

一方で、前述した 0.75mmPb 当量防護眼鏡と比較して 20% 程度遮蔽率が低くなうこと、従来型 0.07mmPb 当量防護眼鏡と比較して遮蔽率の向上が 10% 以内に収まることから、形状の工夫のみによって遮蔽率を大幅に向上させることには限界があることも示唆される結果となった。よってさらなる改良等が必要である。

防護眼鏡の外側に装着した DOSIRIS と、内側に装着した DOSIRIS の線量読み取り値は、強い相関を示した。このことから、遮蔽率が概ね明らかになっている防護眼鏡を使用する場合においては、防護眼鏡の内側に DOSIRIS を装着することで外側の線量を推定できる可能性があることが示唆された。

E. 結論

長時間にわたることの多い IVR 手技では、術者への負担が少なく遮蔽率の高い防護眼鏡が求められている。今回の初期臨床測定結果から、改良新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡は鉛当量を 0.07mmPb に抑え軽さを維持しながらも、形状の工夫により従来型の 0.07mmPb 当量防護眼鏡と比較して高い遮蔽率を示した。

さらに術者の負担にならない重量と装着感であることから、改良新型 0.07mmPb 当量防護眼鏡の装着は IVR 手技中の水晶体防護に有用であると考えられる。

しかし、まだ十分な防護効果を有しているとは言えないため、今後、遮蔽能力向上、IVR 術者の水晶体被曝の低減を目指して、さらなる防護眼鏡の改良と種々の検討を行う必要がある。

F. 論文報告

1. Mimi Endo, Yoshihiro Haga, Masahiro Sota, Akiko Tanaka, Kazuki Otomo, Yuuki Murabayashi, Mitsuya Abe, Yuji Kaga, Yohei Inaba, Msatoshi Suzuki, Taiichiro Meguro and Koichi Chida. Evaluation of novel X-ray protective eyewear in reducing the eye dose to interventional radiology physicians. *Journal of Radiation Research*, 62 (3), Published: 12 April 2021 doi: 10.1093/jrr/rrab014

G. 研究発表

1. 千田浩一. 水晶体の被ばく限度の見直しについて. 第36回日本診療放射線技師学術大会 (WEB開催). 教育講演 (招待講演). 2021年1月
2. 千田浩一. 放射線医療従事者の水晶体被ばくの実態. 2020年度日本放射線技術学会九州支部放射線防護・計測セミナー (WEB開催). 教育講演 (招待講演). 2020年11月
3. Mamoru Kato, Koichi Chida, et al. Occupational eye lens dose measurement using direct eye dosimeters in interventional cardiac electrophysiology procedures .

European Congress of Radiology ECR2020. 令和2年7月, ウィーン、オーストリア, (Web)

4. Mamoru Kato, Koichi Chida, et al. Evaluation of usefulness of neurovascular interventional radiology procedure supported using MR-3D road-mapping. 第76回日本放射線技術学会 JRC2020. 令和2年5月, 横浜 (Web)
5. Kentaro Sakamoto, Mamoru Kato, Noriyuki Takahashi, Koichi Chida, et al. Evaluation of Patient Radiation Dose in Percutaneous Coronary Intervention Using Radiophotoluminescence Dosimeter. 第76回日本放射線技術学会 JRC2020. 令和2年5月, 横浜 (Web)
6. Morishima Y, Chida K, et al. Radiation Protection Effect of Novel Pb Plate in Videofluoroscopic Swallowing Study. Radiological Society of North America (RSNA2020), 令和2年11月 シカゴ アメリカ合衆国 web 開催.

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

次ページ以降に Table 1、Table 2 および Table 3。そして参考資料 (掲載論文) を示す。

Table 1 7名の術者の被視状況等(実施件数と透視時間と使用した眼鏡サイズ)の概要。
 実施件数と透視時間は1か月あたりの平均と標準偏差である。(Evaluation of novel X-ray protective eyewear in reducing the eye dose to interventional radiology physicians, Journal of Radiation Research, 2021, 改変)。

Physician No.	Number of procedures	Fluoroscopy time (min.)	Used Size of the Pb glass
1	20.9 ± 5.2	508.8 ± 169.1	Small
2	21.9 ± 3.4	247.3 ± 8.3.8	Large
3	10.4 ± 3.6	120.5 ± 44.6	Large
4	19.4 ± 4.3	218.6 ± 55.0	Large
5	12.7 ± 3.0	183.7 ± 35.1	Regular
6	22.0 ± 6.1	254.6 ± 89.4	Regular
7	10.9 ± 3.5	136.3 ± 73.2	Regular
Average ± SD	15.1 ± 6.2	238.5 ± 120.2	

mean ± standard deviation (SD)

Table 2 7名の術者の水晶体被曝状況等(メガネの内外の線量および遮蔽率)の概要
 数値は1か月あたりの平均値と標準偏差である。(Evaluation of novel X-ray protective eyewear in reducing the eye dose to interventional radiology physicians, Journal of Radiation Research, 2021, 改変)。

Physician No.	Inside dose [Hp (3)] (mSv)	Outside dose [Hp (3)] (mSv)	Shielding Effect [%]
1	1.04 ± 0.17	2.64 ± 0.3	60.9 ± 2.43
2	0.80 ± 0.38	1.97 ± 0.85	59.61 ± 2.93
3	0.17 ± 0.09	0.44 ± 0.28	60.13 ± 5.12
4	0.59 ± 0.18	1.61 ± 0.41	63.36 ± 3.23
5	0.50 ± 0.22	1.31 ± 0.60	58.85 ± 4.12
6	1.04 ± 0.33	2.76 ± 0.93	60.81 ± 1.06
7	0.45 ± 0.2	1.14 ± 0.51	61.83 ± 0.77
Average ± SD	0.66 ± 0.30	1.70 ± 0.77	61.4 ± 1.91

mean ± standard deviation (SD)

Table 3 7名の術者の年間水晶体被曝線量推定値

数値は1か月あたり線量を12倍して求めて推定値である。

(Evaluation of novel X-ray protective eyewear in reducing the eye dose to interventional radiology physicians, Journal of Radiation Research, 2021, 改変)。

Physician No.	Inside dose [Hp (3)] (mSv/y)	Outside dose [Hp (3)] (mSv/y)
1	12.5 ± 2.0	31.7 ± 3.6
2	9.6 ± 4.6	23.6 ± 10.2
3	2.0 ± 1.1	5.3 ± 3.4
4	7.1 ± 2.2	19.3 ± 4.9
5	6.0 ± 2.6	15.7 ± 7.2
6	12.5 ± 4.0	33.1 ± 11.2
7	5.4 ± 2.4	13.7 ± 6.1
Average ± SD	7.9 ± 3.9	20.3 ± 10.0

mean ± standard deviation (SD)

Evaluation of novel X-ray protective eyewear in reducing the eye dose to interventional radiology physicians

Mime Endo¹, Yoshihiro Haga^{1,2}, Masahiro Sota^{1,2}, Akiko Tanaka³, Kazuki Otomo¹, Yuuki Murabayashi⁴, Mitsuya Abe², Yuji Kaga², Yohei Inaba^{1,4}, Msatoshi Suzuki^{1,4}, Taiichiro Meguro³ and Koichi Chida^{1,4,*}

¹Department of Radiological Technology, Tohoku University Graduate School of Medicine, 2-1 Seiryo, Aoba, Sendai 980-8575, Japan

²Department of Radiology, Sendai Kousei Hospital, Hirosemachi 4-15, Aobaku, Sendai 980-0873, Japan

³Department of Cardiovascular Medicine, Sendai Kousei Hospital, Hirosemachi 4-15, Aobaku, Sendai 980-0873, Japan

⁴Division of Disaster Medicine, International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, 6-6-4 Aoba, Sendai 980-8579, Japan

*Corresponding author. Department of Radiological Technology, Tohoku University Graduate School of Medicine, 2-1 Seiryo, Aoba, Sendai 980-8575, Japan.

Tel: +81-22-717-7935; Fax: +81-22-717-7944; Email: chida@med.tohoku.ac.jp

(Received 3 September 2020; revised 17 November 2020; editorial decision 12 February 2021)

ABSTRACT

The new recommendation of the International Commission on Radiological Protection for occupational eye dose is an equivalent dose limit to the eye of 20 mSv year^{-1} , averaged over a 5-year period. This recommendation is a drastic reduction from the previous limit of 150 mSv year^{-1} . Hence, it is important to protect physicians' eyes from X-ray radiation. Particularly in interventional radiology (IVR) procedures, many physicians use protective lead (Pb) glasses to reduce their occupational exposure. This study assessed the shielding effects of novel 0.07 mm Pb glasses. The novel glasses (XR-700) have Pb-acrylic lens molded in three dimensions. We studied the novel type of 0.07 mm Pb glasses over a period of seven consecutive months. The eye dose occupational radiation exposure of seven IVR physicians was evaluated during various procedures. All IVR physicians wore eye dosimeters (DOSIRIS™) close to the left side of the left eye. To calculate the shielding effects of the glasses, this same type of eye dosimeter was worn both inside and outside of the Pb lenses. The average shielding effect of the novel glasses across the seven physicians was 61.4%. Our results suggest an improved shielding effect for IVR physicians that use these glasses. No physician complained that the new glasses were uncomfortable; therefore comfort is not a problem. The lightweight glasses were acceptable to IVR physicians, who often must perform long procedures. Thus, the novel glasses are comfortable and reasonably protective. Based on the results of this study, we recommend that IVR physicians use these novel 0.07 mm Pb glasses to reduce their exposure.

Keywords: radiation safety; eye lens dose; interventional radiology (IVR); fluoroscopically guided procedures; radiation disaster medicine; 3 mm dose equivalent [Hp(3)]; Pb glasses (lead eyewear); X-ray fluoroscopy; disaster medicine

INTRODUCTION

Interventional radiology (IVR) procedures, which can substantially benefit patients, can also injure both patients and physicians due to exposure to X-ray radiation [1–9]. Thus, radiation protection of patients and physicians in IVR is very important [10–18].

The new recommendation of the International Commission on Radiological Protection (ICRP) for occupational eye dose is an equivalent dose limit to the eye of 20 mSv year^{-1} , averaged over a 5-year period, with no single year exceeding 50 mSv [19, 20]. This recommendation

is a drastic reduction from the previous limit of 150 mSv year^{-1} . Hence, it has become more important than ever to evaluate the occupational exposure of IVR physicians and protect their eyes from X-rays using glasses with lead (Pb)-infused lenses [21–28].

Because IVR involves procedures of long duration, lightweight Pb glasses (i.e. 0.07 mm Pb-equivalent) are preferable for physicians. Thus, 0.07 mm Pb glasses have gradually become widely used in IVR procedures. While such glasses are lightweight and comfortable, the version currently on the market reduces X-rays in IVR procedures by

only ~50–60% [29–31]. We believe that this shielding effect is not sufficient and that more effective eye protection is needed.

Although the radiation shielding effect of 0.75 mm Pb-equivalent glasses is excellent, such glasses are heavy and uncomfortable, especially during long procedures [32].

Recently, an improved version of X-ray-protective 0.07 mm Pb eyewear has been developed. In this study, we evaluated the X-ray shielding effects of these novel glasses in an IVR clinical setting.

MATERIALS AND METHODS

Novel 0.07 mm Pb-equivalent eyewear

The novel glasses (XR-700) have Pb-acrylic lens molded in three dimensions; thus, we can expect that scattered radiation from the sides and underneath will be cut drastically. The novel glasses are lightweight, with a mass of 42 g. For improved fit, and thus improved protection by minimizing the gaps between the Pb-acrylic lenses and the face, the glasses offer two ways in which they can be adjusted to the facial shape of the physician: (i) the gap between the nose pads has an adjustable width, allowing the bridge to be adjusted by up to ~5 mm; and (ii) the angle of the sides (temples) of the glasses can be adjusted in four steps, with a change of 9° for each step.

Dosimetry

We used digital angiography X-ray systems with a flat-panel detector (Infinix Celeve-i, CANON, Japan) for all procedures. We studied the novel type of 0.07 mm Pb glasses (Fig. 1) over a period of seven consecutive months, during which time doses were monitored over 1-month intervals. In our institution, the eye dose occupational radiation exposure of seven IVR physicians was evaluated during various procedures: coronary angiography, percutaneous coronary intervention, percutaneous peripheral intervention, pacemaker implantation and catheter ablation. During these procedures, the IVR physicians wore the novel glasses.

During all procedures, the physicians were typically positioned close to the right side of the patient and used a ceiling protection plate (0.5 mm Pb) if one was available. The methods used to evaluate the eye radiation dose have been described previously [29]. Briefly, all IVR physicians wore eye dosimeters (DOSIRIS™) close to the left side of the left eye; these measure the 3 mm dose equivalent, Hp(3). To calculate the shielding effects of the glasses, this same type of eye dosimeter was worn both inside and outside of the Pb lenses, as in our previous study [29]. Using the resulting outside (D_{out}) and inside (D_{in}) doses, we calculated the shielding effect of the glasses as follows:

$$\text{Shielding effect} = (D_{out} - D_{in})/D_{out} \times 100\%$$

We also determined the estimated annual eye dose (EAED) as follows:

$$\text{EAED (mSv year}^{-1}\text{)} = \text{measured monthly dose} \times 12$$

RESULTS

Table 1 lists details about the procedures conducted by the seven physicians. No physician complained that the new glasses were uncomfortable, thus comfort is not a problem.

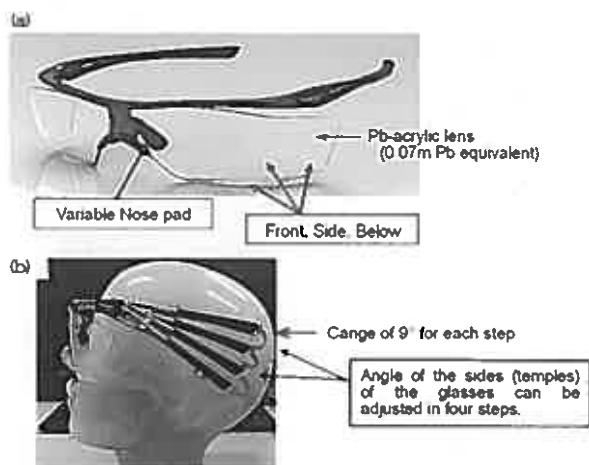


Fig. 1. Novel protective eyewear that shields the eyes from X-ray radiation. (a) Details of the new 0.07 mm Pb protective glasses.

- The lenses of the novel glasses are molded three-dimensionally, so that they can block scattered radiation not only from the front but also from the sides and below.
- The nose pad and side (temple) of the spectacles can be adjusted.

These light and comfortable 0.07 mm Pb protective glasses have been adapted to reduce the burden on the operator during a long procedure.

- (b) Overview of how the angle of the temple can be adjusted. Four adjustments can be made in steps, with a change of 9° for each step.

Table 2 summarizes the results of our study. The average shielding effect of the novel glasses across the seven physicians was 61.4%. The glasses come in three sizes (small, regular and large), and it seems that the shielding effect did not significantly differ with the size.

Table 3 lists the estimated annual equivalent dose to the lens of the eye across all physicians while using the novel glasses. The radiation doses (mean \pm standard deviation) inside and outside of the novel glasses were 7.9 ± 3.6 and $20.4 \pm 9.2 \text{ mSv year}^{-1}$, respectively.

Figure 2 shows a bar graph of the average shielding effect of the novel glasses, and Figure 3 shows the numbers and types of procedure for each physician; most of them were for coronary angiography. Figure 4 shows the correlations between the doses (mSv month^{-1}) inside and outside the novel glasses, which were significant ($R^2 = 0.98$).

DISCUSSION

Although reports have been published on the basic effects of radiation protection products [33–43], few studies have evaluated the shielding effects of Pb glasses in a clinical setting, such as IVR [29–31]. Prevention of occupational eye radiation dose is important, particularly for IVR physicians; thus, Pb glasses that provide better shielding are required. Although heavy Pb glasses (i.e. 0.75 mm Pb) have such an effect, they are uncomfortable and thus physicians might not tolerate

Table 1. Details of the procedures conducted by each physician

Physician no.	Number of procedures	Fluoroscopy time (min)	Used size of the Pb glasses
1	20.9 ± 5.2	508.8 ± 169.1	Small
2	21.9 ± 3.4	247.3 ± 83.8	Large
3	10.4 ± 3.6	120.5 ± 44.6	Large
4	19.4 ± 4.3	218.6 ± 55.0	Large
5	12.7 ± 3.0	183.7 ± 35.1	Regular
6	22.0 ± 6.1	254.6 ± 89.4	Regular
7	10.9 ± 3.5	136.3 ± 73.2	Regular
Average ± SD	15.1 ± 6.2	238.5 ± 120.2	

Results are presented as the mean ± standard deviation (SD) of the monthly averages

Table 2. Summary of the results of our 7-month study

Physician no.	Inside dose [Hp(3)] (mSv)	Outside dose [Hp(3)] (mSv)	Shielding effect (%)
1	1.04 ± 0.17	2.64 ± 0.3	60.9 ± 2.43
2	0.80 ± 0.38	1.97 ± 0.85	59.61 ± 2.93
3	0.17 ± 0.09	0.44 ± 0.28	60.13 ± 5.12
4	0.59 ± 0.18	1.61 ± 0.41	63.36 ± 3.23
5	0.50 ± 0.22	1.31 ± 0.60	58.85 ± 4.12
6	1.04 ± 0.33	2.76 ± 0.93	60.81 ± 1.06
7	0.45 ± 0.2	1.14 ± 0.51	61.83 ± 0.77
Average ± SD	0.66 ± 0.30	1.70 ± 0.77	61.4 ± 1.91

Results are presented as the mean ± standard deviation (SD) of the monthly averages.

Table 3. Estimated annual dose to the lens of the eye

Physician no.	Inside dose [Hp(3)] (mSv)	Outside dose [Hp(3)] (mSv)
1	12.5 ± 2.0	31.7 ± 3.6
2	9.6 ± 4.6	23.6 ± 10.2
3	2.0 ± 1.1	5.3 ± 3.4
4	7.1 ± 2.2	19.3 ± 4.9
5	6.0 ± 2.6	15.7 ± 7.2
6	12.5 ± 4.0	33.1 ± 11.2
7	5.4 ± 2.4	13.7 ± 6.1
Average ± SD	7.9 ± 3.9	20.3 ± 10.0

wearing them for long procedures. Thus the development of new, light (0.07 mm Pb) eyewear is desirable.

Now, such eyewear has been developed, and we performed a clinical study of their use during IVR procedures. For the first time, we present occupational eye dose data of seven physicians over 7 months and can report the shielding effects of these glasses. Previous versions of these glasses could block ~50–60% of the X-ray dose in clinical settings [29–31]. We found that the new versions block ~61.4% (Table 2), a slight improvement, although it is not clear whether there is a statistically significant difference.

One likely reason for this improvement is that the scattered rays coming from below may be shielded by the new glasses as the gap

between the lenses and the face is reduced through adjustments at the nose and at the temples. Moreover, there are three different sizes of glasses, possibly further improving fit. These results indicate that the novel glasses are useful for reducing eye exposure.

Because of the strong correlation ($R^2 = 0.979$) between the measurements made inside and outside of the novel glasses, it may be possible to estimate the inner dose from one dosimeter placed outside of them. However, in our dosimeter test setting, the shielding effect may contribute to a reduction in radiation exposures, mainly in the AP direction, because, the dosimeters are attached on the front and back of the glass. In actual exposure scenarios (i.e. in a clinical setting), scattered radiation can enter the eyes from above, from below and from

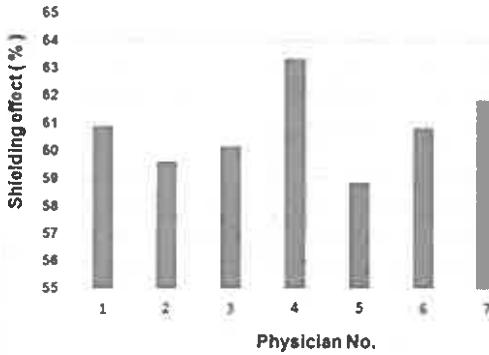


Fig. 2. Seven-month average of the shielding effect for each physician.

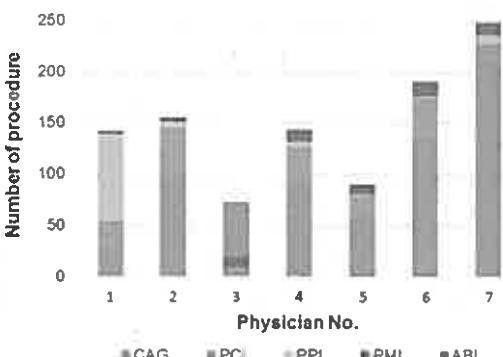


Fig. 3. Numbers and types of procedures performed by each physician.
CAG, coronary angiography; PCI, percutaneous coronary intervention; PPI, percutaneous peripheral intervention; PMI, pacemaker implantation; ABL, catheter ablation.

the side, as well as from the front. Therefore, more research may be required in actual exposure scenarios in order to estimate the eye doses more accurately.

The shielding effect of the glasses, the type and number of procedures for each physician and the fluoroscopic time are shown in Figs 2 and 3 and Table 1, respectively. The results show that the shielding effect did not differ greatly with the type and number of procedures or the fluoroscopic time.

In our study, the occupational EAED of the IVR physicians was lower than the new maximum allowable radiation limit (20 mSv year⁻¹).

Finally, like the previous versions, the new glasses are also light and comfortable. However, a previous study (Monte Carlo simulation method, i.e. computer-based calculation) reported a shielding effect of

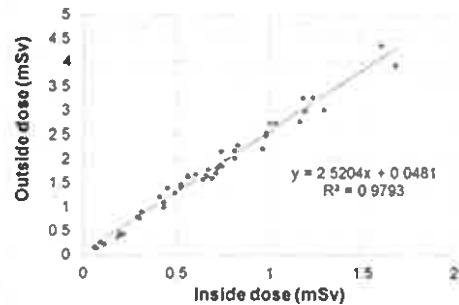


Fig. 4. Differences between the doses measured near the eye inside and outside the glasses.

74% for 'wrap-around' 0.07 mm Pb glasses [36]. The novel 0.07 mm Pb glasses tested in this clinical study are of a 'wrap-around' design, but the shielding effect was lower than projected by the Monte Carlo simulation. This was probably because the glasses are not fully 'wrap-around' when in use in the clinical IVR setting because there is a small gap between the face and the glasses. In addition, the value of the shielding effect might be affected by variations in the direction, position and angle of the physician's head during the procedure. Thus, the version we tested requires further improvement to achieve a fully 'wrap-around' design in clinical settings.

In summary, it is important to protect physicians' eyes from X-ray radiation. Particularly in IVR procedures, many physicians use protective Pb glasses to reduce their occupational exposure. However, the shielding effects of Pb glasses depend on their specific features, and the impact of these is unclear in clinical settings. This study assessed the shielding effects of novel 0.07 mm Pb glasses worn by seven physicians in IVR laboratories for seven consecutive months. The average shielding effect was 61.4%. The new, improved 0.07 mm Pb glasses are as comfortable as the previous version. Because IVR procedures are typically of long duration, we recommend that physicians wear lightweight glasses. We particularly recommend that IVR physicians use the novel 0.07 mm Pb glasses to reduce their X-ray exposure.

This was an initial study of the novel 0.07 mm Pb glasses. Further investigation and statistical analysis are required based on a controlled comparison study, such as a multi-institute evaluation over a long duration (a full year).

CONCLUSIONS

We performed a clinical study of the physician eye dose and shielding effect of novel 0.07 mm Pb glasses during cardiac IVR procedures. The average shielding effect of the glasses was >60%. Our results imply some improvement in shielding of the eyes of IVR physicians that use these glasses. The lightweight glasses were found acceptable by IVR physicians, who often must perform long procedures. Thus, the novel glasses are comfortable and reasonably protective. Based on the results of this study, we recommend that IVR physicians use these novel 0.07 mm Pb glasses to reduce their exposure.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Dr Mamoru Kato, Research Institute for Brain and Blood Vessels-Akita, Japan, for his invaluable assistance. We also thank Mr Hiroki Ishii, Tohoku University, Japan, for helpful advice regarding the technical analysis.

CONFLICT OF INTEREST

None declared

FUNDING

This study was supported in part by the Industrial Disease Clinical Research grant (200601), Japan.

REFERENCES

1. Valentin J. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. *Ann ICRP* 2001; 30:7–67.
2. Kato M, Chida K, Nakamura M et al. New real-time patient radiation dosimeter for use in radiofrequency catheter ablation. *J Radiat Res* 2019;60:215–20.
3. Chida K, Kato M, Saito H et al. Radiation dose of interventional radiology system using a flat-panel detector. *Am J Roentgenol* 2009;193:1680–5.
4. Clairand I, Ginjaume M, Vanhavere F et al. First EURADOS intercomparison exercise of eye lens dosimeters for medical applications. *Radiat Prot Dosimetry* 2016;170:21–6.
5. Chida K, Saito H, Otani H et al. Relationship between fluoroscopic time, dose-area product, body weight, and maximum radiation skin dose in cardiac interventional procedures. *Am J Roentgenol* 2006;186:774–8.
6. Inaba Y, Chida K, Murabayashi Y et al. An initial investigation of a wireless patient radiation dosimeter for use in interventional radiology. *Radiol Phys Technol* 2020;13:321–6.
7. Martin CJ, Magee JS. Assessment of eye and body dose for interventional radiologists, cardiologists, and other interventional staff. *J Radiol Prot* 2013;33:445–60.
8. Chida K, Kato M, Inaba Y et al. Real-time patient radiation dosimeter for use in interventional radiology. *Phys Med* 2016;32:1475–8.
9. Nakamura M, Chida K, Zuguchi M. Novel dosimeter using a nontoxic phosphor for real-time monitoring of patient radiation dose in interventional radiology. *AJR Am J Roentgenol* 2015;205:W202–6.
10. Cousins C, Miller DL, Bernardi G et al. ICRP PUBLICATION 120: Radiological protection in cardiology. *Ann ICRP* 2013;42: 1–125.
11. Chida K, Ohno T, Kakizaki S et al. Radiation dose to the pediatric cardiac catheterization and intervention patient. *Am J Roentgenol* 2010;195:1175–9.
12. Kato M, Chida K, Sato T et al. The necessity of follow-up for radiation skin injuries in patients after percutaneous coronary interventions: radiation skin injuries will often be overlooked clinically. *Acta Radiol* 2012;53:1040–4.
13. Vano E, Fernandez JM, Resel LE et al. Staff lens doses in interventional urology. A comparison with interventional radiology, cardiology and vascular surgery values. *J Radiol Prot* 2016;36:37–48.
14. Chida K, Inaba Y, Masuyama H et al. Evaluating the performance of a MOSFET dosimeter at diagnostic X-ray energies for interventional radiology. *Radiol Phys Technol* 2009;2:58–61.
15. Inaba Y, Chida K, Kobayashi R et al. A cross-sectional study of the radiation dose and image quality of X-ray equipment used in IVR. *J Appl Clin Med Phys* 2016;17:391–401.
16. Chida K, Kagaya Y, Saito H et al. Total entrance skin dose: an effective indicator of maximum radiation dose to the skin during percutaneous coronary intervention. *AJR Am J Roentgenol* 2007;189:W224–7.
17. Matin CJ. Protecting interventional radiology and cardiology staff: are current designs of lead glasses and eye dosimeters fit for purpose? *J Radiol Prot* 2018;38:E22–5.
18. Kawauchi S, Chida K, Moritake T et al. Estimation of patient lens dose associated with c-arm cone-beam computed tomography usage during interventional neuroradiology. *Radiat Prot Dosimetry* 2019;184:138–47.
19. ICRP Statement on Tissue Reactions, April 2011, <http://www.icrp.org/page.asp?id=123>
20. ICRP. ICRP Publication 118: ICRP statement on tissue reactions/early and late effects of radiation in normal tissues and organs, threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Ann ICRP* 2012;41:1–132.
21. Chida K, Kaga Y, Haga Y et al. Occupational dose in interventional radiology procedures. *Am J Roentgenol* 2013;200:138–41.
22. Inaba Y, Chida K, Kobayashi R et al. Fundamental study of a real-time occupational dosimetry system for interventional radiology staff. *J Radiol Prot* 2014;34:N65–71.
23. Vano E, Sanchez RM, Fernandez JM. Strategies to optimise occupational radiation protection in interventional cardiology using simultaneous registration of patient and staff doses. *J Radiol Prot* 2018;38:1077–88.
24. Chida K, Takahashi T, Ito D et al. Clarifying and visualizing sources of staff-received scattered radiation in interventional procedures. *Am J Roentgenol* 2011;197:W900–3.
25. Haga Y, Chida K, Kimura Y et al. Radiation eye dose to medical staff during respiratory endoscopy under X-ray fluoroscopy. *J Radiat Res* 2020;691–6.
26. Morishima Y, Chida K, Watanabe H. Estimation of the dose of radiation received by patient and physician during a Videofluoroscopic swallowing study. *Dysphagia* 2016;31:574–8.
27. Chida K, Morishima Y, Inaba Y et al. Physician-received scatter radiation with angiography systems used for interventional radiology: comparison among many X-ray systems. *Radiat Prot Dosimetry* 2012;149:410–6.
28. Efstatopoulos EP, Pantos I, Andreou M et al. Occupational radiation doses to the extremities and the eyes in interventional radiology and cardiology procedures. *Br J Radiol* 2011;84:70–7.
29. Haga Y, Chida K, Kaga Y et al. Occupational eye dose in interventional cardiology procedures. *Sci Rep* 2017;7:569.
30. Kato M, Chida K, Ishida T et al. Occupational radiation exposure of the eye in neurovascular interventional physician. *Radiat Prot Dosimetry* 2019;185:151–6.

31. Kato M, Chida K, Ishida T et al. Occupational radiation exposure dose of the eye in department of cardiac arrhythmia physician. *Radiat Prot Dosimetry* 2019;187:361–8.
32. Endo M, Haga Y, Abe M et al. Clinical study on the shielding effect of the 0.75mmPb glasses in cardiac IVR procedures. *Rinsho Hoshasen* 2020;65:71–5 (in Japanese).
33. Morishima Y, Chida K, Meguro T. Effectiveness of additional lead shielding to protect staff from scattering radiation during endoscopic retrograde cholangiopancreatography procedures. *J Radiat Res* 2018;59:225–32.
34. Zuguchi M, Chida K, Taura M et al. Usefulness of non-lead aprons in radiation protection for physicians performing interventional procedures. *Radiat Prot Dosimetry* 2008;131:531–4.
35. Ishii H, Haga Y, Sota M et al. Performance of the DOSIRIS™ eye lens dosimeter. *J Radiol Prot* 2019;39:N19–26.
36. Koukorava C, Farah J, Struelens L et al. Efficiency of radiation protection equipment in interventional radiology: a systematic Monte Carlo study of eye lens and whole body doses. *J Radiol Prot* 2014;34:S09–28.
37. Ishii H, Chida K, Satsurai K et al. A phantom study to determine the optimal placement of eye dosimeters on interventional cardiology staff. *Radiat Prot Dosimetry* 2019;185:409–13.
38. Chida K, Kato M, Kagaya Y et al. Radiation dose and radiation protection for patients and physicians during interventional procedure. *J Radiat Res* 2010;51:97–105.
39. Chida K, Nishimura Y, Sato Y et al. Examination of the long-term stability of radiation survey meters and electronic pocket dosimeters. *Radiat Prot Dosimetry* 2008;129:431–4.
40. Koenig AM, Maas J, Viniol S et al. Scatter radiation reduction with a radiation-absorbing pad in interventional radiology examinations. *Eur J Radiol* 2020;132:109245.
41. Chida K, Morishima Y, Masuyama H et al. Effect of radiation monitoring method and formula differences on estimated physician dose during percutaneous coronary intervention. *Acta Radiol* 2009;50:170–3.
42. ORAMED: Optimization of Radiation Protection of Medical Staff. EURADOS Report 2012–02, Braunschweig, 2012, April, http://www.eurados.org/~media/Files/Eurados/documents/EURADOS_Report_201202.pdf
43. Morishima Y, Chida K, Katahira Y. The effectiveness of additional lead-shielding drape and low pulse rate fluoroscopy in protecting staff from scatter radiation during cardiac resynchronization therapy (CRT). *Jpn J Radiol* 2019;37:95–101.

令和2年度(2020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

【放射線シールドドレープ改良に関する基礎検討(放射線防護機材の改良等に関する研究)】

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

当研究は「放射線防護機材の改良等に関する研究」の中で、放射線防護機材の改良等の一例として、X線防護壁付放射線シールドドレープを試作開発し、その初期調査検討等を実施した。

放射線シールドドレープの使用は医療スタッフの職業被ばくを低減するための比較的シンプルで有用な方法である。だが放射線シールドドレープの遮蔽効果は限定的であり、防護能力をさらに改善する必要があると考えられている。さらに術者水晶体防護において、放射線シールドドレープの遮蔽効果を明らかにした報告は今までない。そこで本稿では放射線シールドドレープ改良に関する基礎検討について報告する。具体的には、心臓カテーテル検査治療における橈骨動脈アプローチ用のX線防護壁付放射線シールドドレープを試作し、その遮蔽効果に関する初期的検討を行った。

改良ドレープは、0.25mm鉛当量の含鉛ビニル製(縦75cm横35cm)の放射線シールドドレープが基本となっており、それにX線防護壁を装着できるように試作した。X線防護壁は、高さ7cmでマジックテープにて貼り付けることでX線防護壁付放射線シールドドレープが構成されている。基礎実験は、胸腹部ファントム(京都科学)と20cm×20cmのアクリルファントムを配置して行った。ファントムの腹部に、①X線防護壁付放射線シールドドレープを置いた場合、②壁無し放射線シールドドレープを置いた場合、③何も置かない場合について測定した。①、②、③のそれぞれでシネ撮影を行い、電離箱線量計を用いて散乱X線量を測定し遮蔽効果の比較を行った。

試作した放射線シールドドレープは橈骨動脈アプローチの心臓IVRにおいて想定したIVR術者の被ばく線量を、平均60%、最大90%低減できる可能性があることが示唆された。特にIVR術者の頭部、水晶体の被曝低減において、従来型の放射線シールドドレープ(壁無しタイプ)よりも効果的であると思われた。IVR手技等に支障がないこと、および患者負担が無いことを前提として、X線防護壁付放射線シールドドレープの遮蔽能力向上、IVR術者の水晶体被曝の低減を目指して、今後、さらなる改良と種々の検討を行う必要がある。

*主な研究協力者:芳賀 喜裕(仙台厚生病院主任)、曾田 真宏(仙台厚生病院)

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。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「放射線防護機材の改良等に関する研究」であり、そのなかで、放射線防護機材の改良等の一例、すなわち、X線防護壁付放射線シールドドレープの試作およびその初期検討結果等について報告する。

なお放射線シールドドレープは、患者の腹部等を覆う防護具であり、その使用によって患者から発生する散乱線を遮蔽することで、医療スタッフの放射線防護を行うものである。

X線透視撮影下で実施される心臓カテーテル検査などの被ばく線量が多い手技において、放射線シールドドレープの使用は、医療スタッフの職業被ばくを低減するための比較的シンプルで有用な方法であると思われる。放射線シールドドレープを使用することで、照射時間が長く複雑な手技である経カテーテル冠動脈形成術 (percutaneous coronary intervention; PCI) などのインターベンションナルラジオロジー (Interventional Radiology; IVR) において、術者の被ばくを減少させるのに一定の効果があることはすでに報告されている。

だが放射線シールドドレープの遮蔽効果は限定的であり、防護能力をさらに改善する必要がある。

さらに術者水晶体防護において、放射線シールドドレープの遮蔽効果を明らかにした報告は今までない。

そこで本稿では放射線シールドドレープ改良に関する基礎検討について報告する。

具体的には、橈骨動脈アプローチ用のX線防護壁付放射線シールドドレープを試作し、その遮蔽効果に関する初期的検討を行うことが目的である。

B. 研究方法

B-1. X線防護壁付放射線シールドドレープの試作

X線防護壁付放射線シールドドレープの外観等をFig. 1~5に示す。

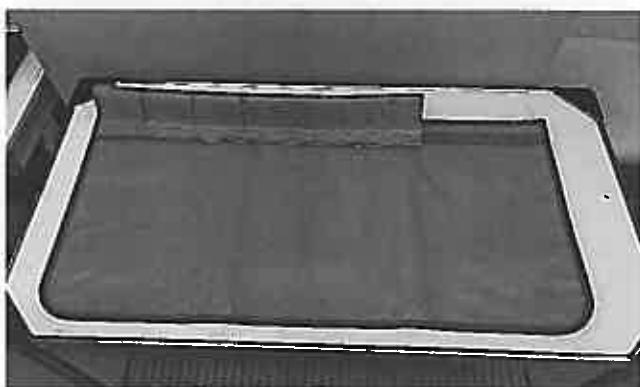


Fig.1 試作したX線防護壁付放射線シールドドレープの外観

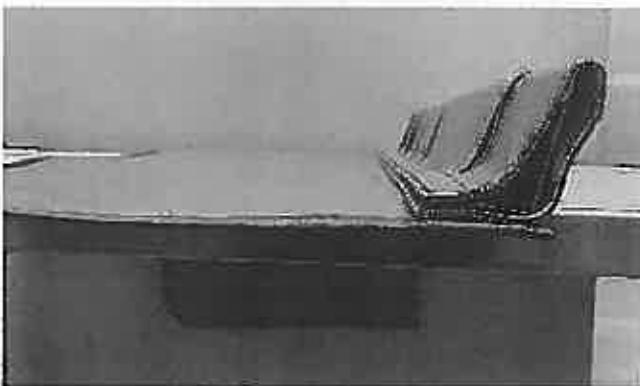


Fig.2 試作したX線防護壁付放射線シールドドレープの外観（横から見た様子）

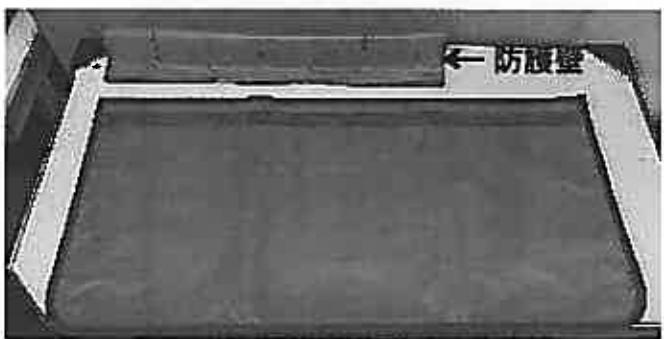


Fig.3 試作したX線防護壁付放射線シールドドレープの外観。(X線防護壁を放射線シールドドレープから外したところ)



Fig.4 試作したX線防護壁付放射線シールドドレープの外観。(左橈骨動脈アプローチの場合を想定した様子)



Fig.5 試作したX線防護壁付放射線シールドドレープの外観。(右橈骨動脈アプローチの場合を想定した様子)

X線防護壁付放射線シールドドレープは、0.25mm鉛当量の含鉛ビニル製(縦75cm横35cm)の放射線シールドドレープが基本となっており、それにX線防護壁を装着できるようになっている。X線防護壁は、高さ7cm幅5cm長さ55cmでマジックテープで貼り付けることでX線防護壁付放射線シールドドレープが構成されている(Fig.3)。

X線防護壁は任意の位置に貼り付けることができる。すなわち具体的には、カーテル挿入が左橈骨動脈アプローチの場合はX線防護壁を右側寄りにシフト(Fig.4)させることや、右橈骨動脈アプローチの場合はX線防護壁を左側寄りに貼り付けること(Fig.5)が可能である。それによってX線防護壁が、カーテルのアプローチ部位と干渉することを避けることができ邪魔にならないように配慮した。X線防護壁付放射線シールドドレープの重量は約2kgで、患者の腹部に載せても大きな負担にならないと思われる。X線防護壁は2重構造でスリットが入っているため、スリット部からのX線漏洩を防ぎ、かつ患者の体表面にフィットするような構造になっている。

B-2. 基礎実験方法(測定法・使用機器)

X線防護壁付放射線シールドドレープの基礎実験は、胸腹部ファントム(京都科学)と20cm×20cmのアクリルファントムを配置して行った。ファントムの腹部に、①X線防護壁付放射線シールドドレープを置いた場合、②壁無し放射線シールドドレープを置いた場合、③何も置かない場合について測定した。

①、②、③のそれぞれでシネ撮影を行い、電離箱線量計を用いて散乱X線量を測定し遮蔽効果の比較を行った。

X線防護壁付放射線シールドドレープは照射野から5cm尾側に設置し、防護板や寝台側

面の防護カーテンの併用はせずに評価を行った。シネ撮影条件は自動露出条件で、フレームレート 10f/s、照射野サイズは 6 インチで 10 秒間の撮影を 3 回行い平均値で評価した。

シネ撮影角度は、心臓 IVR を想定した次の角度で測定比較した。

・正面方向

- ・ Left Anterior Oblique(LAO)30°
Cranial(CRA)30°
- ・ LAO45° Caudal (CAU)10°
- ・ LAO 30° CAU 30°
- ・ Right Anterior Oblique (RAO)30° CRA30°
- ・ RAO30° CAU30°
- ・ CRA30°

それぞれ FPD はできる限りファントムに近接させて撮影を行った。使用した血管撮影装置は東芝メディカルシステムズ社製 Infinix Celeve-I 8000V である。

線量計は電離箱線量計(ラドカル社製モデル 9015 型、6cc 指頭形チェンバー)を使用し、線量測定単位は(μ Gy)とした。測定点は術者の立ち位置と、手指の位置を想定(術者が前傾した状態を想定した位置)した 2 点とし、それぞれ床上 120cm, 140cm, 160cm の高さで測定を行った。

C. 研究結果

Table 1 に、術者立ち位置での各測定高さ(120 cm, 140 cm, 160 cm)における、各線量測定結果(①X 線防護壁付放射線シールドドレープを置いた場合、②壁無し放射線シールドドレープを置いた場合、③何も置かない場合)について測定した結果、および各線量測定結果の値から算出した X 線防護壁付放射線シールドドレープ(壁付ドレープ)および放射線シールドドレープ(壁無しドレープ)の X 線遮蔽効果(%)を示す。

Table 2 は、術者手指位置(術者が前傾した状態を想定した位置)での各測定高さ(120 cm, 140 cm, 160 cm)における、各線量測定結果(①X 線防護壁付放射線シールドドレープを置いた場合、②壁無し放射線シールドドレープを置いた場合、③何も置かない場合)について測定した結果、および各線量測定結果の値から算出した X 線防護壁付放射線シールドドレープ(壁付ドレープ)および放射線シールドドレープ(壁無しドレープ)の X 線遮蔽効果(%)である。

術者の立ち位置では、X 線防護壁付放射線シールドドレープは平均で約 60%、最大 87% の遮蔽効果を示した。また壁無し放射線シールドドレープに比べ、X 線防護壁付放射線シールドドレープは、平均で約 15%、最大 49% 高い遮蔽効果があった。測定点の高さが高くなると X 線防護壁付放射線シールドドレープの遮蔽効果が低くなる傾向があり、160cm では壁無し放射線シールドドレープとほぼ同等の遮蔽効果であった。LA030° CRA30° の撮影角度で、X 線防護壁付放射線シールドドレープは、特に高い遮蔽効果を示した(120cm : 83.8%, 140cm : 84.4%, 160cm : 81.3%)。一方で、LA030° CAU30° では、X 線防護壁付放射線シールドドレープの遮蔽効果が低く、140cm 以上では 10%未満となつた(120cm : 25.1%, 140cm : 5.7%, 160cm : 3.4%)。

術者手指位置(術者が前傾した状態を想定した位置:つまり左橈骨動脈アプローチの場合に好発する位置であり、その場合は術者の頭部位置に該当することが多い)では、X 線防護壁付放射線シールドドレープは平均で約 60%、最大 92% の遮蔽効果を示し、壁無し掛布に比べ平均で約 20%、最大 56% 高い結果となつた。特に撮影角度 RA030° CRA30°(120cm : 91.6%, 140cm : 86.8%,

160cm : 75.6%) や LA045° CAU10° (120cm : 76.5%, 140cm : 79.8%, 160cm : 61.7%)において、X線防護壁付放射線シールドドレープは高い遮蔽効果を示した。術者立ち位置の結果と同様に測定点高さが高くなると、X線防護壁付放射線シールドドレープの遮蔽効果は低くなる傾向があった。

D. 考察

IVR は、低侵襲性と IVR デバイス開発の発展、手技の向上によって、適応となる疾患・症例が増え、現在欠かせないものになっている。しかし、IVR では患者および医療従事者の X 線被ばく増大が問題となり、それらをいかに低減できるかが課題である。

放射線医療従事者は、防護衣 (プロテクター) や防護眼鏡の着用、追加鉛防護板等の使用によって職業被ばく低減に努めている。

近年、国際放射線防護委員会 (ICRP) 勧告 (Publication 118) に伴い水晶体等価線量限度が大幅に引き下げられた。それによって、特に IVR における医療従事者の更なる水晶体被ばく低減の検討が行われているものの、十分な成果が挙がっているとは言えないのが現状である。

一方、カテーテル検査治療において、橈骨動脈アプローチは、大腿動脈アプローチに比べて、患者に与える侵襲性は低いため、現在、橈骨動脈アプローチは IVR でも広く普及している。

だが橈骨動脈アプローチによる心臓 IVR は、大腿動脈アプローチに比べて IVR 術者の被ばくが多くなる傾向があると言われている。そこで、患者の腹部に放射線シールドドレープを置くことで術者への散乱 X 線被曝低減について検討した報告もなされているが、遮蔽効果が十分であるとは言えない。

加えて放射線シールドドレープの術者水晶体被曝防護効果については明らかになっていない。

そこで今回我々は、従来の放射線シールドドレープに X 線防護壁を設ける改良を行った X 線防護壁付放射線シールドドレープを独自に試作し、IVR 医療従事者の更なる被ばく低減が可能かファントムを用いて初期検討を行った。

IVR では、放射線医療従事者の被ばく低減のため放射線防護具の使用が当然必要不可欠である。しかし放射線防護具はできるだけ簡便で、かつ IVR 手技に影響を及ぼさないことが必要である。我々が独自に開発した X 線防護壁付放射線シールドドレープは、従来の X 線防護掛布に高さ 7cm の壁を付けた簡便な防護具である。

今回試作した X 線防護壁付放射線シールドドレープの基礎的ファントム実験の結果から、X 線防護壁付放射線シールドドレープは平均 60%、最大 90% の X 線遮蔽効果があることが分かった。すなわち従来の壁無し放射線シールドドレープよりも、X 線防護壁付放射線シールドドレープは平均 20%、最大 60% 高い遮蔽効果を有することが示され、有用性が確認できた。

前述の如く、近年のいくつかの研究で、橈骨動脈アプローチの心臓 IVR において、患者の腹部に放射線シールドドレープ（従来の壁無しタイプ）を置くことにより術者の被ばくを低減できることが臨床的に報告されている（なお、これらの臨床研究結果は天吊り防護板などと従来型の併用によるものである。）

今回われわれが行ったファントム実験は他の防護具を使用せず、X 線防護壁付放射線シールドドレープ単体の実験結果である。すなわち X 線防護壁付放射線シールドドレ

ープ単体使用でも、高い遮蔽効果が示されたことになる。そのため、X線防護壁付放射線シールドドレープを他の防護具と併用した場合は、従来の臨床結果と同等以上の術者被ばくの低減が期待できる。よって、X線防護壁付放射線シールドドレープは、臨床的にも非常に有用であると推測できる。

今回の初期実験結果では、X線防護壁付放射線シールドドレープ単体の遮蔽効果は撮影角度と測定の高さによって大きく異なった。そのため条件によってはX線防護壁付放射線シールドドレープも、従来の壁無し放射線シールドドレープと同様に、あまり遮蔽効果を得られない場合があったため、臨床では天吊り防護板などの併用が重要であると考えられる。

前述のように、IVR術者の眼の水晶体やさらに頭部への被曝の影響が注目されており、水晶体被曝防護に対する関心は非常に高い。カテーテル挿入において、左橈骨動脈アプローチの心臓IVRは、大腿動脈アプローチや右橈骨動脈アプローチの心臓IVRに比べ、カテーテル操作の容易さや、患者の負担が少ないといった利点がある。一方、術者は患者の上に身を乗り出してシースやカテーテル操作を行うため、術者の上半身、特に水晶体や頭部への被ばく線量の増加が問題になると考えられる。

今回の初期実験結果において、X線防護壁付放射線シールドドレープは、IVR術者の手指を想定した測定位置の測定点高さ140cm、160cm(つまり左橈骨動脈アプローチ時のIVR術者の頭部位置に相当)において、従来型の壁無し放射線シールドドレープと比べ高い遮蔽効果を示した。この測定位置と高さの点は、患者の上に身を乗り出した術者の水晶体や頭部の位置になるため、X線防護壁付放射線シールドドレープは、左

橈骨動脈アプローチの心臓IVRにおける術者の水晶体や頭部の被ばく低減にも有用であると考えられる。

今回の初期検討において試作した、X線防護壁付放射線シールドドレープのX線防護壁の高さは7cmとした。それは、IVR術者のIVR手技の妨げにならない高さを想定したためである。

X線防護壁の高さを高くすることでより高い遮蔽効果を得られることが期待できる可能性がある。だがIVR手技等において高いX線防護壁が障害や邪魔になる危険性もある。よってX線防護能力の向上とIVR手技のスムーズな実施の両立させることが重要である。すなわち最も適したX線防護壁の高さに関しては、今後さらなる検討が必要である。

また、今回の測定ではX線防護壁付放射線シールドドレープをファントムの腹部上でFPDと干渉しない最も照射野に近接したところに配置した。X線防護壁付放射線シールドドレープの置く位置が適切でないとX線防護壁の効果が十分に発揮されず遮蔽効果が下がることが考えられる。そのため、X線防護壁付放射線シールドドレープの位置の違いによる遮蔽効果の変化についても、今後検討をしなければならない。

また、放射線シールドドレープを使用することによって、患者の被ばくが増加するという報告がある。すなわち放射線シールドドレープ部に直接X線が入射し、受像系の自動露出機構が誤って動作し、X線出力が過度に上昇することに起因し、結果的に患者被ばくが増大してしまうことが考えられる。よって、放射線シールドドレープ部に直接X線が入射しないようにすること、すなわち放射線シールドドレープは、患者からの散乱線のみを遮蔽するように留意して使

用する必要がある。

E. 結論

今回我々は、放射線シールドドレープ改良に関する基礎検討を行った。すなわち、橈骨動脈アプローチ用のX線防護壁付放射線シールドドレープを試作し、その遮蔽効果に関する初期検討を行った。

今回の基礎的ファントム実験結果から、試作した放射線シールドドレープは橈骨動脈アプローチの心臓IVRにおいて想定したIVR術者の被ばく線量を、平均60%、最大90%低減できる可能性があることが示唆された。特にIVR術者の頭部、水晶体の被曝低減において、従来型の放射線シールドドレープ(壁無しタイプ)よりも効果的であると思われた。一方、今回試作したX線防護壁付放射線シールドドレープ単体の評価では、透視や撮影の角度によって十分な遮蔽効果が得られないことがあるため、臨床IVRでは天吊り防護板など他の防護具との併用が重要であると考えられる。

X線防護壁付放射線シールドドレープは試作品である。IVR手技等に支障がないこと、および患者負担が無いことを前提として、X線防護壁付放射線シールドドレープの遮蔽能力向上、IVR術者の水晶体被曝の低減を目指して、今後、さらなる改良と種々の検討を行う必要がある。

F. 論文報告

- 曾田 真宏, 芳賀 喜裕, 荒井 剛, 鈴木 新一, 加賀 勇治, 阿部 美津也, 千田 浩一. X線防護壁付掛布による心臓IVR術者の被ばく低減に関する基礎的検討. 臨床放射線 66巻5号 2021. 印刷中

G. 研究発表

- Mamoru Kato, Koichi Chida, et al. Occupational eye lens dose measurement using direct eye dosimeters in interventional cardiac electrophysiology procedures . European Congress of Radiology ECR2020. 令和2年7月, ウィーン、オーストリア, (Web)
- Mamoru Kato, Koichi Chida, et al. Evaluation of usefulness of neurovascular interventional radiology procedure supported using MR-3D road-mapping. 第76回日本放射線技術学会 JRC2020. 令和2年5月, 横浜 (Web)
- Kentaro Sakamoto, Mamoru Kato, Noriyuki Takahashi, Koichi Chida, et al. Evaluation of Patient Radiation Dose in Percutaneous Coronary Intervention Using Radiophotoluminescence Dosimeter. 第76回日本放射線技術学会 JRC2020. 令和2年5月, 横浜 (Web)
- Morishima Y, Chida K, et al. Radiation Protection Effect of Novel Pb Plate in Videofluoroscopic Swallowing Study. Radiological Society of North America (RSNA2020), 令和2年11月 シカゴ アメリカ合衆国 web 開催.

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

次ページ以降にTable 1およびTable 2を示す。

Table 1 術者立ち位置での各測定高さ(120cm、140cm、160cm)における、各線量測定結果(X線防護壁付放射線シールドドレープを置いた場合:壁付ドレープ、壁無し放射線シールドドレープを置いた場合:壁無しドレープ、何も置かない場合:ドレープ無し)、および各線量測定結果の値から算出したX線防護壁付放射線シールドドレープ(壁付ドレープ)および放射線シールドドレープ(壁無しドレープ)のX線遮蔽効果(%)

術者立ち位置

	正面	LAO30, Cra30	LAO45, Cau10	LAO30, Cau30	RAO30, Cra30	Cra30	RAO30, Cau30	平均
高さ120cm								
実測値	ドレープ無し	5	19	12	26.3	1.2	4	2
(μ Gy)	壁無しドレープ	1.1	4	9.7	25	0.35	0.77	0.7
	壁付ドレープ	0.65	3.07	3.4	19.7	0.18	0.72	0.41
低減率	壁無しドレープ	78	79	19	5	71	81	65
(%)	壁付ドレープ	87	84	72	25	85	82	73
高さ140cm								
実測値	ドレープ無し	4	14.1	10	24.5	1	1.8	1
(μ Gy)	壁無しドレープ	1.68	2.8	9.2	24	0.53	0.5	0.65
	壁付ドレープ	1.1	2.2	6.3	23.1	0.27	0.3	0.43
低減率	壁無しドレープ	58	80	8	2	47	72	35
(%)	壁付ドレープ	73	84	37	6	73	83	57
高さ160cm								
実測値	ドレープ無し	3	10.2	8	21.6	0.8	1.2	0.8
(μ Gy)	壁無しドレープ	1.43	2.3	7.6	21.2	0.54	0.55	0.58
	壁付ドレープ	1.05	1.91	7.3	20.87	0.41	0.43	0.57
低減率	壁無しドレープ	52	77	5	2	33	54	28
(%)	壁付ドレープ	65	81	9	3	49	64	29
								43

シネ撮影角度（測定角度）

- ・正面方向
- ・Left Anterior Oblique (LAO) 30° Cranial (Cra) 30°
- ・LAO45° Caudal (Cau) 10°
- ・LAO 30° Cau 30°
- ・Right Anterior Oblique (RAO) 30° Cra30°
- ・RAO30° Cau30°
- ・Cra30°

Table 2 術者手指位置(術者が前傾した状態を想定した位置)での各測定高さ(120cm、140cm、160cm)における、各線量測定結果(X線防護壁付放射線シールドドレープを置いた場合:壁付ドレープ、壁無し放射線シールドドレープを置いた場合:壁無しドレープ、何も置かない場合:ドレープ無し)、および各線量測定結果の値から算出したX線防護壁付放射線シールドドレープ(壁付ドレープ)および放射線シールドドレープ(壁無しドレープ)のX線遮蔽効果(%)

術者手指位置

	正面	LAO30, Cra30	LAO45, Cau10	LAO30, Cau30	RAO30, Cra30	Cra30	RAO30, Cau30	平均
高さ120cm								
実測値	ドレープ無し	1	1	1	2.2	2.85	1.4	2
(μ Gy)	壁無しドレープ	0.47	0.17	0.45	0.95	0.47	0.37	0.9
	壁付ドレープ	0.22	0.12	0.235	0.55	0.24	0.28	0.5
低減率	壁無しドレープ	53	83	55	57	84	74	55
(%)	壁付ドレープ	78	88	77	75	92	80	75
								81
高さ140cm								
実測値	ドレープ無し	2.6	2.1	3.87	5.9	3.65	2	7.5
(μ Gy)	壁無しドレープ	1.75	0.95	2.27	4.9	1	1.2	6.4
	壁付ドレープ	0.9	0.72	0.78	3.1	0.48	0.82	2.5
低減率	壁無しドレープ	33	55	41	17	73	40	15
(%)	壁付ドレープ	65	66	80	47	87	59	67
								67
高さ160cm								
実測値	ドレープ無し	2.1	2	5.22	4.6	3.69	2	5.8
(μ Gy)	壁無しドレープ	1.65	1.29	4.8	4.15	1.4	1.35	5.6
	壁付ドレープ	1.28	1.1	2	3.9	0.9	1.1	5.4
低減率	壁無しドレープ	21	36	8	10	62	33	3
(%)	壁付ドレープ	39	45	62	15	76	45	7
								41

シネ撮影角度(測定角度)

- ・正面方向
- ・Left Anterior Oblique (LAO) 30° Cranial (Cra) 30°
- ・LAO45° Caudal (Cau) 10°
- ・LAO 30° Cau 30°
- ・Right Anterior Oblique (RAO) 30° Cra30°
- ・RAO30° Cau30°
- ・Cra30°

令和 2 年度(2020 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 2 年の活動として、X 線撮影装置から水ファントムに対して照射した際の周囲の散乱線分布をサーベイメータにより 20 点程度測定し、モンテカルロシミュレーションで同じ照射条件の散乱線分布を計算することで、10%程度の差でシミュレーションが可能であることを確認した。次に水ファントムを患者ファントムに入れ替え、臥位および座位にした状態での胸部撮影と、臥位での骨盤撮影におけるX線検査時の室内の散乱線分布の 3 次元情報を取得した。この情報を基に、3 次元物体データ(ポリゴンデータ)として X 線装置、患者、散乱線分布を作成し、拡張現実(Augmented Reality)のアプリケーションとして iPad に取り込むことで、X 線照射時の散乱線分布を任意の位置から可視化し、散乱線の広がり方や適切な介助位置について理解する放射線防護教育教材を開発した。また血管造影や透視検査における、天吊りの防護板や放射線防護眼鏡、防護衣等放射線防護具の有無による検査室内の散乱線分布や術者の被ばく分布の違いについてシミュレーションを実施した。今後は、この教材を iPad 以外の端末からでも表示できるようにすること、実際に放射線業務従事者等が教材を使用することによる放射線防護教育の学習効果について評価を進める。

A. 研究目的

医療機関での放射線診療において、診療放射線技師以外の多くの医療従事者が関わる。看護師等の医療従事者は、就職前に放射線防護教育をあまり受けたことがない、または就職後に業務が多忙で放射線防護に関する教育を受ける機会が少ない。しかし、放射線防護教育の機会の欠如は、放射線被ばくに対する防護方法の理解の欠如につながり、医療従事者の放射線被ばくのリスクを高めることにつながる。放射線被ばくの低減において、散乱線の分布の理解は重要なことであるが、散乱線は目に見えないものであるため、イメージ・理解が難しい。胸部一般撮影、CT検査、血管造影検査の散乱線分布をディスプレイ内の仮想現実(Virtual Reality、以下VR)上で可視化した先行研究がある。この研究では、仮想現実上に散乱線の広がりを可視化した。しかし、仮想現実上の散乱線の可視化では、リアリティが欠けており、イメージ・理解が難しい部分がある。

そこで、拡張現実(Augmented Reality、以下AR)を用いて散乱線を現実空間に可視化した。ARはユーザーが見ている現実の空間にコンピューターグラフィックス(Computer Graphics、以下CG)によって描かれた仮想物体を重ねて表示する技術の総称である³⁾。本研究において、ARを用いた理由は3つある。1つ目は、散乱線の分布を立体的に実際に近い大きさで可視化できること。2つ目は、実際の位置関係で任意の場所で観察ができてリアリティがあること。3つ目は、特別な装置を必要とせず、タブレット端末さえあれば簡単に現実空間に投影することができる。

本研究では看護師等の放射線防護教育の機会が少ない医療従事者に対して、ARを

用いて病棟撮影時の散乱線の挙動を可視化する放射線防護教育用のアプリケーションを開発した。

B. 研究方法

1. 病棟撮影時の散乱線の挙動のシミュレーション

今回、診療放射線技師以外の医療従事者が携わる放射線業務の代表例として、ポータブルX線撮影装置による病棟撮影時の散乱線の挙動のシミュレーションをした。散乱線の挙動のシミュレーションには、モンテカルロシミュレーションコードのParticle and Heavy Ion Transport code System(PHITS) version3.17を用いた。今回、臥位胸部X線撮影を想定し、病室内にX線管、X線源、ベッド(高さ60cm、縦240cm、横120cm)、ポータブルX線装置および患者として国際放射線防護委員会(International Commission on Radiological Protection: ICRP)のICRP 110の男性人体ボクセルファントムを用意した。幾何学的配置をFig. 1に示す。線源は、診断領域X線スペクトル計算ソフトウェアであるX-ray spectrum by Tucker's formula Version 4(X-Tucker-4)により管電圧80kV、固有濾過2.5mmAlの連続エネルギースペクトルを0.5keV間隔で算出したデータを用いた。焦点・検出器間距離120cmで照射野を半切サイズとなるよう照射させた。PHITS上で管電流の設定はできないため、周辺線量当量をSurface Dose Evaluation Code Visual version 6(Sdec_V6)で求めたシミュレーション条件時の1回照射当たりの入射表面線量0.2mGyで除した相対線量を表示した。また、分解能は撮影室を一辺が2cmの立方体で分割し、散乱線の挙動のシ

ミュレーションの結果を二次元で、患者の正面と側面の二方向で確認した。二次元での散乱線の挙動を Fig. 2 に示す。

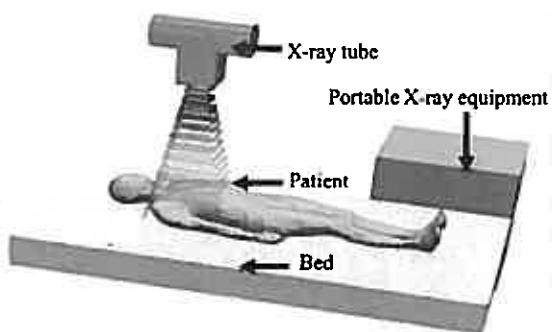


Fig. 1 Geometric layout during simulation

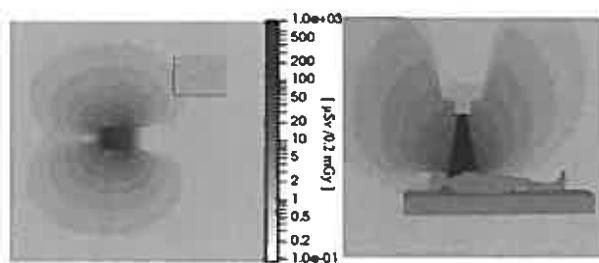


Fig. 2 Simulation results of scattered radiation behavior

(A) Front of patient, (B) Side of patient

また、散乱線の挙動のミュレーションの結果が実際の病棟撮影時と大きな差異がないことを確認するために、今研究のミュレーションしたデータと、病棟撮影時に熱ルミネセンス線量計で線量測定をしたデータを比較した。Table 1 に示すように、実際に病棟撮影時の胸部臥位における測定値は $0.7 \mu\text{Sv}$ で、今回のミュレーションの結果では同地点での測定値は $0.54 \mu\text{Sv}$ となった。今回のミュレーション条件は文献のデータよりも管電流時間積 (mAs 値) が

小さく、焦点受像器間距離 (Source to image receptor distance, SID) が大きい値である事を考慮すると大きな差異はないことが確認できた。

Table 1 Comparison between actual measurement and simulation

Measurement condition	Measured data	Simulation result
Tube voltage [kV]	80	80
mAs value [mAs]	3.2	2
SID [cm]	100	120
Dose value at 1 m from the radiation source [μSv]	0.7	0.54

2. シミュレーションデータの三次元表示

ParaView version 5.6.0 を用いて、散乱線の広がりを Table 2 に示す線量値毎に、VR 上に Fig.3 のように三次元表示した。また、線量値毎に色を決めて、対応した散乱線の広がりに色をつけて、区別をした。

また、PHITS のミュレーションの三次元ボリュームデータの拡張子 (.vtk) が AR アプリケーションの開発に用いた Unity version2017.4.15f1 に対応していなかったため、ParaView で対応している三次元ジオメトリのみを表現するデータの拡張子 (.obj) に変換した。

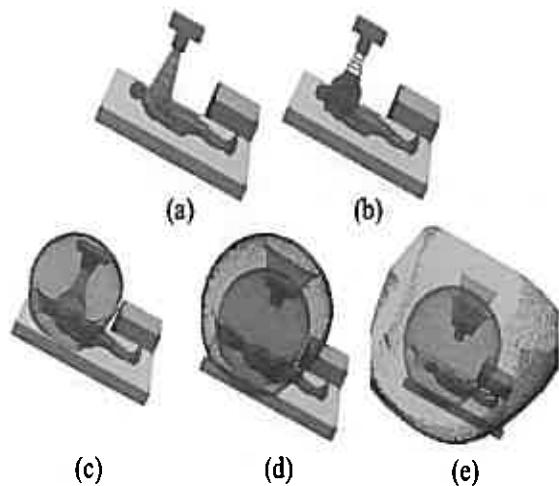


Fig. 3 Three-dimensional display of the spread of scattered radiation

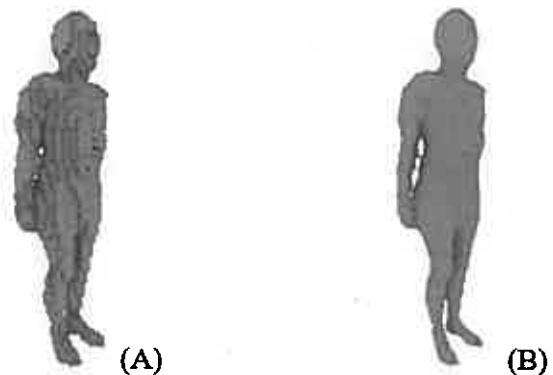


Fig. 4 Voxel phantom before and after smoothing
(A) Before smoothing (B) After smoothing

Table 2 Range of displayed dose values

	Displayed relative dose Range [μSv]
(a)	100-1000
(b)	10-100
(c)	1-10
(d)	0.5-1
(e)	0.1-0.5

3. AR アプリケーションの開発

始めに、ParaView で出力した三次元ジオメトリデータの表面が粗かったため、Blender version 2.79 でスムージングをし、表面を滑らかにした(Fig. 4)。スムージング処理後のデータをもとにして、Unity で X 線管等の三次元データの配置、散乱線の分布の切り替え表示のためのボタンの配置など機能の追加を行い、アプリケーションの開発をした(Fig. 5)。



Fig.5 Unity development screen

また、アプリケーションに AR 機能を追加するために ARKit 2.0 を用いた。ARkit は Apple 社が作成した iOS11 以上のタブレット端末で動作する AR アプリケーション開発用のフレームワークである。ARkit は、平面検出、現実空間とのスケールの同期、距離の検出など多くの機能を使用可能とする。

4. タブレット端末で散乱線分布の表示（機能の説明）

作成した AR アプリケーションのタブレット端末での画面を Fig. 6 に示す。最初は、画面上にカラースケール & 切替ボタン

とサブモニタ、距離計測ボタンが表示されている。タブレット端末のカメラに現実の平面を写すと平面検出面、距離計測面が表示される。平面検出面をタップすることでX線管、散乱線、患者、ベッド、ポータブルX線撮影装置が表示される。画面の左にある線量値の範囲が記されたカラースケールがボタンになっており、タップすることで散乱線を表示したり、非表示にしたりすることができる。距離計測面と距離計測ボタンを用いることで、任意の2点を指定し、距離を測ることができる。距離を測ることで、例えば患者からどのくらい離れているのか数値的に知ることができます。サブモニタは、患者とベッドのみを表示し、患者との位置関係を把握しやすくする。

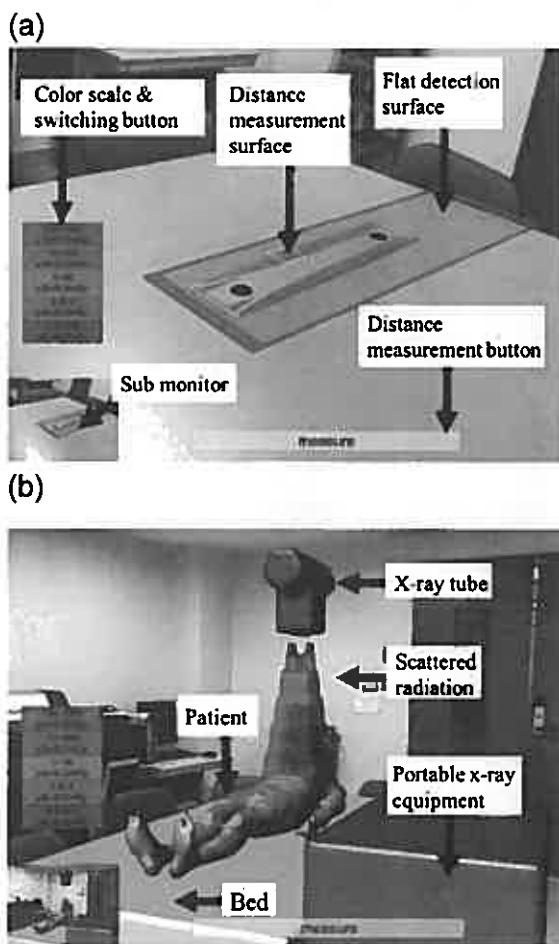


Fig. 6 AR application screen on tablet device
(A) Before displaying scattered radiation,
(B) After displaying scattered radiation

作成したARアプリケーションのタブレット端末上での画面をFig. 6に示す。最初は、画面上にカラースケール、切替ボタンとサブモニタ、距離計測ボタンが表示されている。タブレット端末のカメラに現実の平面を写すと平面検出面、距離計測面が表示される。平面検出面をタップすることでX線管、散乱線、患者、ベッド、ポータブルX線撮影装置が表示される。画面の左にある線量値の範囲が記されたカラースケールがボタンになっており、タップすることで散乱線を表示したり、非表示にしたりすることができる。距離計測面と距離計測ボタンを用いることで、任意の2点を指定し、距離を測ることができる。距離を測ることで、例えば患者からどのくらい離れているのか数値的に知ることができます。サブモニタは、患者とベッドのみを表示し、患者との位置関係を把握しやすくする。

C. 研究結果

1. AR アプリケーションを使用した様子

Table 2 の線量値の範囲毎に散乱線を現実空間に表示した様子をFig. 8に示す。散乱線の相対線量の値が小さくなるほど散乱線の広がりが大きくなっていることがわかる。また、タブレット端末を持って移動することで任意の位置から観察することができる。そして、観察位置で散乱線を切り替えて表示し、目の前に見える散乱線の線量値のカラースケールの色が、観察位置でのおおよかな相対線量と推定できる。

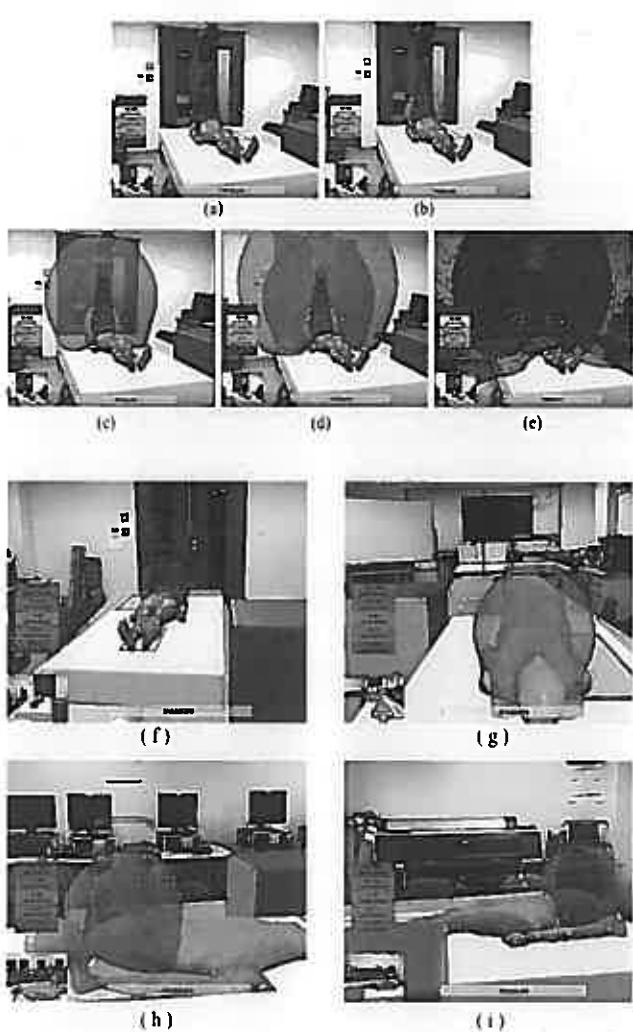


Fig. 8 Scattered radiation displayed for each dose range and observation of the patient from multiple directions

(a) 100-1000 [μSv / 0.2 mGy], (b) 10-100 [μSv / 0.2 mGy], (c) 1-10 [μSv / 0.2 mGy], (d) 0.5-1 [μSv / 0.2 mGy], (e) 0.1-0.5 [μSv / 0.2 mGy], (f) Feet side, (g) Head side, (h) Right side, (i) Left side

D. 考察

1. 散乱線の分布の計算精度

病棟撮影時の散乱線の挙動をシミュレーションした結果と、実際にポータブル X 線撮影装置を用いた際の散乱線について計測

した研究と線量の値を比較し、大きな差異は見られなかったことから AR アプリケーションを用いた被ばく線量の推定は、実際の被ばく線量と大きくは差異がないと考えられる。ただし、実測を行った研究との比較では、撮影条件などの違いがあったため、より細かい比較を行うためにシミュレーションと同様の条件で、実測する必要がある。

2. AR アプリケーションの表示方法

散乱線の分布を切り替えて表示ができるたが、アプリケーションの作成の段階で指定した範囲毎の離散的な値での表示であるため、より詳しい相対線量の推定のためには散乱線の相対線量値の連続的な表示が必要であると考えられる。ただし、連続的な表示に近づくほどデータ量が多くなり動作が重くなることや、外部機器を用いる必要性があるという課題がある。

3. 今回作成した散乱線可視化 AR アプリケーションの有用性、課題

VR を用いた散乱線の可視化では散乱線の広がりはディスプレイ内の大きさで実際の大きさとは異なっていたが、AR を用いて散乱線の分布を現実空間に投影することで、実際に近い大きさで立体的に観察できるためリアリティが増す。そのため、使用者の散乱線の広がりに対するイメージ・理解が容易になると考えられる。しかし、放射線防護教育の機会が少ない医療職や、学生に対して今回作成した AR アプリケーションを用いると、散乱線の広がりが目に見えてしまうことは誤った認識、恐怖を与える可能性がある。そのため、AR アプリケーションを用いる前に確定的影響の閾値などについての講義をするなど放射線防護教育で用いる方法を検討する必要がある。

VR での散乱線の挙動の表示では専用の機器・ソフトウェアが必要であったが、AR アプリケーションの表示は特別な装置を必要とせずに、現代では多くの方が所持しているタブレット端末さえあれば観察できる。そのため、VR アプリケーションより AR アプリケーションの方が、より多くの施設で放射線防護教育に用いることができる。また、VR での表示では、操作が複雑で専用マニュアルを用意してサポートする必要があるが、今回作成した AR アプリケーションは、自分で観察位置に移動し、観察したい方向にカメラを向け、タブレット端末の画面をタップすることで散乱線を表示できるなど直感的かつ簡単な操作で散乱線の分布を観察・学習することができる。故に AR を用いることで放射線防護教育において学習効果が高くなる可能性があるため、AR アプリケーションを用いた際の放射線防護教育において、散乱線の挙動についての理解度を具体的にアンケート等で評価する方法を検討する必要がある。

また、現実世界の観察者の位置において、おおまかな被ばく線量を目の前の散乱線の色とカラースケールの色から推定することができるため、被ばく線量が少ない位置および適切な介助位置を実際の検査に近い形で把握でき、臨場感のある放射線防護教育が可能になると考えられる。しかし、表示しているポータブル X 線撮影装置などの CG は簡易的なものであるため、よりリアリティを出すためには実際の検査の部屋で使用する必要がある。さらにリアリティのある可視化を可能にする方法として Head Mounted Display (HMD) の使用が挙げられる。HMD を頭部に装着し、自由に頭を動かし、直感的に様々な方向から表示物を観察することができる。ただし、HMD は視野が

狭くなる事や、HMD を所有している施設が少なく、HMD を用いた防護教育を行える場所に制限があるという課題がある。そのため、放射線防護教育でのより良い散乱線の挙動の可視化を行える表示機器についても検討する必要がある。

E. 結論

AR を用いて現実空間に病棟撮影時の散乱線の挙動を可視化することで、任意の位置、角度から観察ができる臨場感のある放射線防護教育に用いる AR アプリケーションを開発し、臨床において適切な介助位置の把握、介助位置でのおおまかな被ばく線量の推定ができた。また、AR アプリケーションをさらに有用なものにするために表示の方法や、放射線防護教育での使用方法を検討する必要がある。

F. 論文報告

1. Kazuki Nishi, Toshioh Fujibuchi, Takashi Yoshinaga, Development of an application to visualise the spread of scattered radiation in radiography using Augmented Reality, Journal of Radiological Protection, 11, 4, 1299-1310, 2020.11.

G. 研究発表

1. 西和紀、藤淵俊王、吉永崇、ウェブブラウザ上で拡張現実を利用した散乱放射線分布の可視化システムの開発、第 19 回 日本放射線安全管理学会学術大会(2020 年 12 月 9-11 日、web)

H. 知的所有権の取得状況

なし

次ページ以降に参考資料（掲載論文）を示す。

Development of an application to visualise the spread of scattered radiation in radiography using augmented reality

Kazuki Nishi¹, Toshioh Fujibuchi² and Takashi Yoshinaga³

¹ Department of Health Sciences, Graduate School of Medical Sciences, Kyushu University, 3-1-1, Maidashi, Higashi-ku, Fukuoka 812-8582, Japan

² Department of Health Sciences, Faculty of Medical Sciences, Kyushu University, 3-1-1, Maidashi, Higashi-ku, Fukuoka 812-8582, Japan

³ Institute of Systems, Information Technologies and Nanotechnologies (ISIT), Fukuoka, Japan

E-mail: nishi.kazuki.273@s.kyushu-u.ac.jp

Received 29 June 2020; revised 11 October 2020

Accepted for publication 14 October 2020

Published 11 November 2020



Abstract

As radiation is widely used in medical institutions, the lack of radiation protection education for health workers increases the risk of radiation exposure. The purpose of this study is to develop an application for radiation medical personnel that visualises the distribution of scattered radiation by using augmented reality (AR). The irradiation conditions for mobile chest and pelvic radiography were simulated using Monte Carlo simulations (Particle and Heavy Ion Transport code System). Monte Carlo results were verified using physical measurements. The behaviour of scattered radiation was displayed three-dimensionally in virtual reality using ParaView. Subsequently, an application to visualise scattered rays was developed in Unity for tablet devices. An application with a sense of reality was developed by visualising the scattered radiation distribution of a mobile imaging in a real space in AR in a three-dimensional size, which is close to the actual size. The radiation dose could be estimated at any position and the behaviour of scattered radiation became easier to understand.

Keywords: Monte Carlo simulation, mobile imaging, AR, Unity, radiation protection education

Some figures may appear in colour only in the online journal

1. Introduction

Many medical workers are exposed to radiation as part of patient diagnosis and treatment. However, radiation protection education provided at professional health training institutions is

insufficient. During employment, medical workers have few opportunities to receive radiation protection education [1], which leads to a lack of understanding about protection from radiation exposure [2]. This increases the risk of radiation exposure for medical workers [1]. The understanding of scattered radiation is important in radiation protection education. Scattered radiation is invisible, which makes it difficult to understand. In conventional radiation protection education, the scattered radiation is shown by two-dimensional dose distribution [3]. This makes scattered radiation, which has a three-dimensional (3D) spread, difficult to visualise and understand.

In recent years, technologies such as augmented reality (AR) and virtual reality (VR) have been introduced in the medical field [4–6]. AR and VR enable our understanding of invisible things. AR displays a virtual image using computer graphics (CG) in the real space and creates a virtual space in the user's field of view [7]. VR provides users with an internal virtual 3D model and builds a virtual world that looks real to the user's eyes [7]. Earlier studies have reported radiation protection education using AR [8–10]. One of the studies involved the use of AR markers to display the AR electromagnetic cascade [8]. Visualisation of the invisible electromagnetic cascade using AR improves user understanding. Earlier reports suggest the application of VR for radiation protection education [11–13]. Using VR, scattered radiation of various modalities such as angiography were displayed [11]. The use of VR allows the user to see and learn the 3D spread, which improves the user's understanding of scattered radiation. In fact, the use of AR and VR has been shown to improve the educational effect [11, 14].

However, the teaching materials developed so far for radiation protection education using AR and VR require special equipment and few facilities own AR or VR display devices. Therefore, the practical application in radiation protection education is difficult. In addition, the display of scattered radiation using VR on display was different from the actual size.

In this study, we developed an application that displays the behaviour of scattered radiation using AR without using specialist equipment. A tablet device is not a special device and can be used anywhere regardless of location. By using AR, scattered rays can be displayed in the real world at a size similar to the actual size. In addition, this study has targeted portable radiography, which involves many medical personnel in radiology.

The purpose of this paper is to develop an application for radiation protection education with AR that can be displayed only on a tablet terminal that visualises the behaviour of scattered radiation during portable imaging for medical workers who have few opportunities in educating themselves from radiation protection education.

2. Materials and methods

2.1. Confirmation of simulation accuracy

The behaviour of scattered rays was simulated using the Monte Carlo simulation code Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.17 [15]. Photons were transported using the EGSS (Electron-Gamma Shower version 5) code system in the PHITS setting [16]. EGSS uses the more recent photon cross sections of the PHOTX library [17]. In a study by Iwamoto *et al*, the simulation validation has been done using EGSS [18]. The reproducibility accuracy of the behaviour of scattered rays in the simulation was investigated. Irradiation was carried out using a portable x-ray machine. The measurement of incident surface dose and the scattered dose was performed using RaySafe X2 (Unfors RaySafe, Uggledalsvägen, Sweden), which is an x-ray measuring device. Ray Safe device was calibrated. In the simulation, a cube of 1 cm on each side of the cube was constructed, and the number of photons passing through the cube was counted and the dose was detected by the fluence-ambient dose

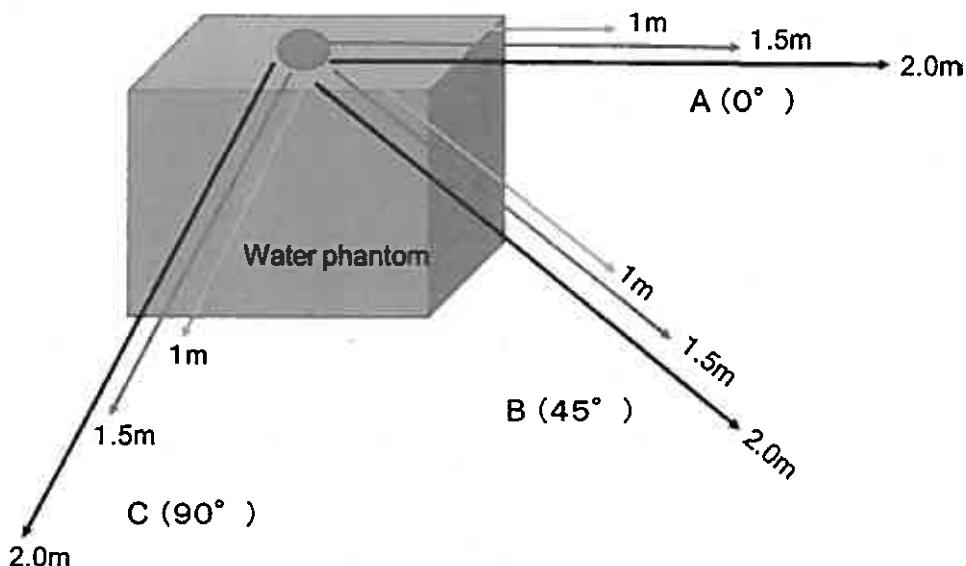


Figure 1. Placement during experiment.

equivalent factor of ICRP74 [19]. The simulation results and the measurement results are compared. The portable x-ray equipment used was IME-100A (TOSHIBA MEDICAL, Kanagawa, JAPAN). The exposure conditions for a supine chest radiograph were recreated. The irradiation conditions were a tube voltage of 80 kV with 2.7 mm Al specific filtration, focus-detection surface distance of 120 cm, tube current-time product of 2.0 mAs, and irradiation field size of $35.4 \times 43 \text{ cm}^2$ [20]. The subject was a $30 \times 30 \times 15 \text{ cm}^3$ water phantom. The measurement was performed three times at each measurement point, and the average value was used as the measured value.

First, the incident dose was measured, at the position of the phantom surface, to determine the scattered dose per incident surface dose. The measurement was performed using a measuring device at the centre of the water phantom.

Next, at the height of the surface of the water phantom, a total of 9 points were measured at a distance of 1 m, 1.5 m, and 2 m from the centre of the water phantom, in the directions of 0, 45, and 90 degrees (respectively A, B, and C) (figure 1).

Similarly, at the height of 80 cm of the water phantom a total of 9 points were measured at a distance of 1 m, 1.5 m, and 2 m from the centre of the water phantom in the directions of 0, 45, and 90 degrees (respectively A, B, and C). After the actual measurement, the same system was reproduced on PHITS. X-ray spectrum by Tucker's formula Version 4 (X-Tucker-4) [21], which is a diagnostic region x-ray spectrum calculation software, was used to calculate the continuous energy spectrum of tube voltage 80 kV and intrinsic filtration 2.7 mm Al at 0.5 keV intervals. The data obtained was used as the radiation source.

2.2. Simulation of the behaviour of scattered radiation during hospital room imaging

A typical example of radiation work that many medical workers are involved in is imaging using portable x-ray equipment. PHITS was used to simulate the behaviour of scattered radiation imaging in a ward with portable x-ray equipment. In order to observe the difference in

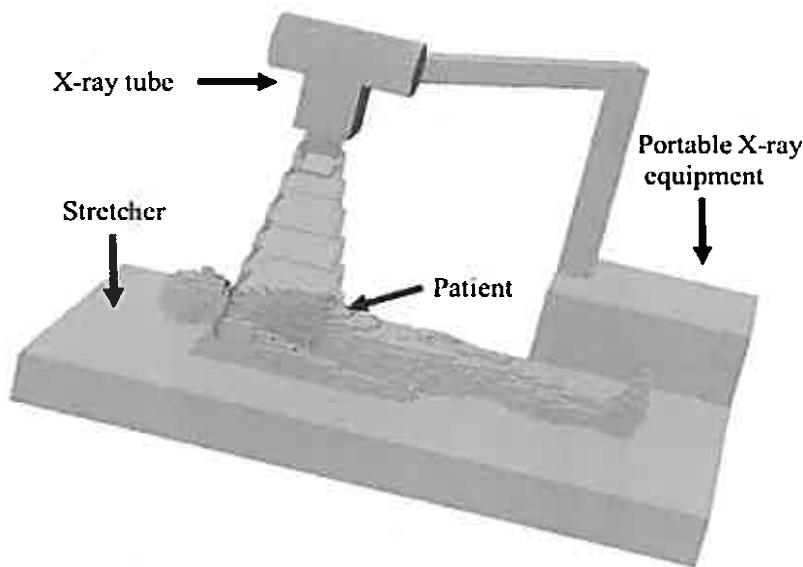


Figure 2. Geometric layout during simulation.

dose distribution and the difference in relative dose depending on the arrangement, the behaviour of scattered rays during chest supine position, sitting position and antero-posterior pelvis radiography was simulated. The irradiation conditions for the supine and sitting positions were the same. The pelvic irradiation conditions were a tube voltage of 80 kV with 2.7 mm Al specific filtration, focus-detection surface distance of 120 cm, tube current-time product of 22 mAs, and irradiation field size of $43 \times 35.4 \text{ cm}^2$ [22]. An x-ray tube, an x-ray source, a bed (height 60 cm, length 240 cm, width 120 cm), portable x-ray equipment, and a phantom simulating a patient were prepared in a virtual hospital room filled with air consisting of density $0.001293 (\text{g cm}^{-3})$, composition ^{14}N (79.6%), ^{15}N (0.4%), ^{16}O (20%). The x-ray tube is an iron box with a density of $7.874(\text{g cm}^{-3})$ and a thickness of 5 mm, and interior of the x-ray tube is vacuum. The collimator in the irradiation side of the x-ray tube is made of lead with a density of $11.34(\text{g cm}^{-3})$ and a thickness of 2 mm. The stretcher is made of polyurethane foam (0.3 g cm^{-3} density). In addition, an aluminium (2.7 g cm^{-3} density) plate that simulates flat panel detector was placed behind the imaging site. The portable x-ray equipment is made of iron. As the phantom, a male human body voxel phantom [23] of ICRP (International Commission on Radiological Protection) 110 of the ICRP was used. The geometric arrangement is depicted in figure 2. X-ray spectrum (X-Tucker-4) was used to calculate the continuous energy spectrum of tube voltage 80 kV and intrinsic filtration 2.7 mm Al at 0.5 keV intervals. The obtained data was used as the radiation source.

The x-rays were emitted with a fan beam of continuous-spectrum photons from the focal point, and the collimator opening in the x-ray tube was set so that the irradiation field was $35.4 \times 43 \text{ cm}^2$ at the position of the detector. We were unable to set the tube current through PHITS. The relative dose was calculated by dividing the fluence-ambient dose equivalent factor [19] by the entrance surface dose of 0.2 mGy, per irradiation under the simulation conditions. The values displayed on the screen were relative doses. The created space by PHITS was divided into voxels with side length 2 cm. The result of the simulation of the behaviour

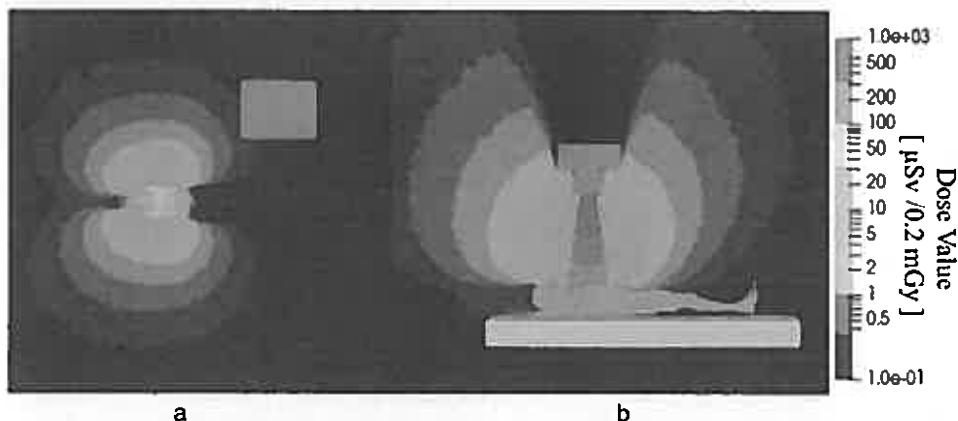


Figure 3. Simulation results of scattered radiation behaviour. (a) Front of patient (Coronal section), (b) Side of patient (Sagittal section).

of scattered radiation was confirmed in two dimensions, the front and the side of the patient (figure 3).

2.3. 3D display of simulation data

The spread of scattered radiation was displayed for each dose value, shown in figure 4, using the 3D visualisation software ParaView, version 5.6.0 [24]. The 3D image that is displayed on VR is as shown in figure 4. In addition, each dose value was coloured, corresponding to the scattered radiation spreads colour to distinguish them.

Moreover, the 3D volume data of the PHITS simulation was converted to polygon data, in the format (.obj) in the corresponding extension of Unity version 2017.4.15f1 [25] used to develop the AR application. Initially, the volume data of PHITS was in (.vtk) format, which was later converted to (.obj) format that represents only 3D geometry in ParaView.

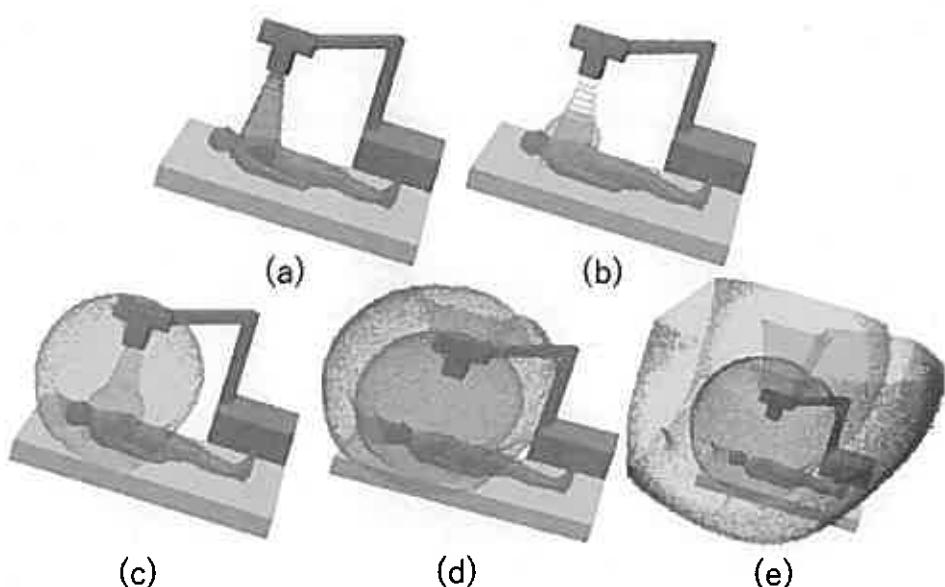
2.4. AR application development

The surface of the 3D geometry data output generated with ParaView was rough. The 3D data smoothening was performed with 3D data processing software (figure 5). An application was developed with Unity based on the smoothening data, and functions were added, such as the arrangement of 3D data like x-ray tube and positioning of buttons for switching display of scattered radiation distribution.

Also, the AR function was incorporated into the application using ARKit 2.0 [26]. ARkit is a framework created by Apple for AR application development that runs on tablet terminals with iOS 11 or higher. ARkit enables many functions such as plane detection, scale synchronisation with real space, and distance detection.

2.5. Display of scattered radiation distribution on a tablet device (description of functions)

The screen of the created AR application on the tablet terminal is shown in figure 6. Initially, a colour scale & switch button, sub monitor, and distance measurement button are displayed on the screen. When an actual plane is taken by the tablet terminal camera, the plane detection



Displayed		
	relative dose range [$\mu\text{Sv}/0.2\text{mGy}$]	Display colour
(a)	100-1000	Red
(b)	10-100	Yellow
(c)	1-10	Green
(d)	0.5-1	Light blue
(e)	0.1-0.5	Blue

Figure 4. Three-dimensional display of the spread of scattered radiation (The unit 0.2 mGy is the entrance surface dose).

surface and the distance measurement surface are displayed. By tapping on the flat detection surface, the x-ray tube, scattered radiation, the patient, the bed, and the portable x-ray equipment are displayed. The button on the left denotes a colour scale with a range of dose values. One can toggle between the scattered radiation displays by tapping on it. The distance can be measured by designating two arbitrary points using the distance measurement surface and the distance measurement button. By measuring the distance, for example, how far the observer is from the phantom can be numerically known. The sub-monitor displays only the patient and the bed, making it easy to understand the positional relationship with the patient.

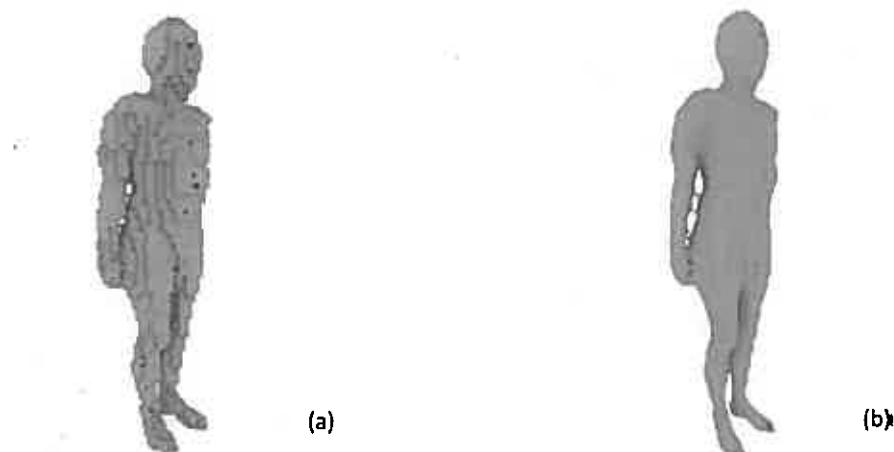


Figure 5. Voxel phantom before and after smoothing. (a) Before smoothing, (b) After smoothing.

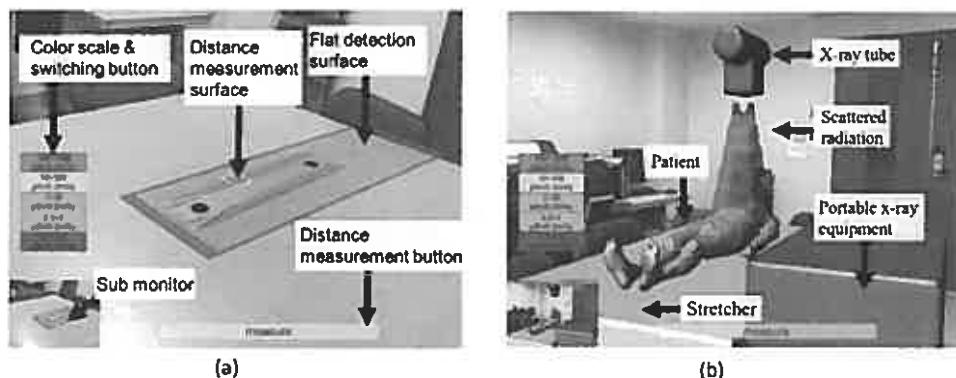


Figure 6. AR application screen on tablet device. (a) Before displaying scattered radiation, (b) After displaying scattered radiation.

3. Results

3.1. Simulation accuracy verification result

Figure 7 illustrates the measured and simulated results. The relative value at other points is shown, with the dose value at a point with a height of 0 cm and the distance of 1 m, as 1. These outcomes indicate that the simulation result in PHITS was within 5% of the actual dose values.

3.2. Actual use of the AR application

Figure 8 depicts how scattered rays were displayed in real space for each range of dose values. The spread of scattered radiation increases as the relative dose of scattered radiation decreases. The user can observe the tablet terminal from any position by moving with it, as shown in

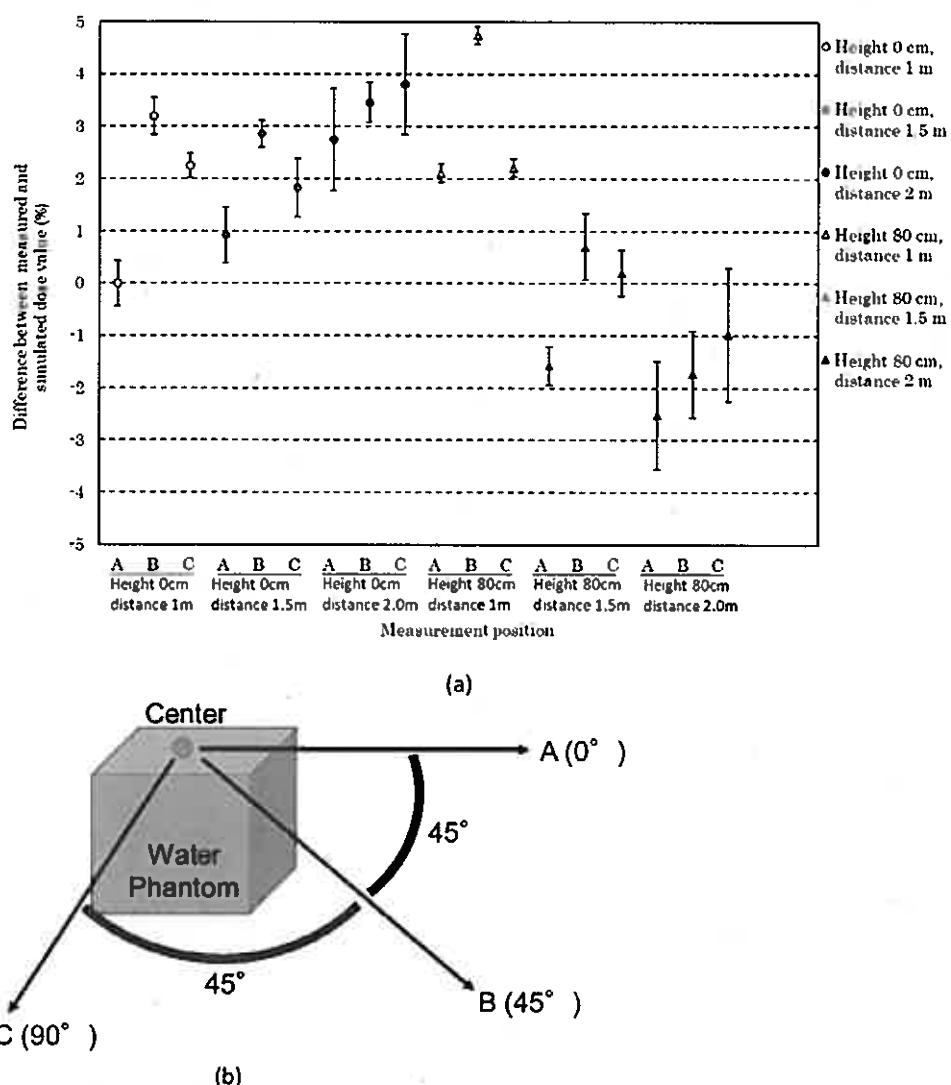


Figure 7. (a) Difference between measured and simulated dose values, (b) Positional relationship between points A, B, and C (Based on a height of 0 cm and distance 1 m).

figure 9. Then, scattered rays can be switched ON and displayed for each dose value at the observation position. The colour on the colour scale of the dose value of the scattered radiation seen in front of the user can be estimated as the approximate relative dose at the observation position.

Figure 10 shows comparative images of the behaviour of scattering rays in the supine chest, seated and frontal pelvic imaging. In the sitting position, the behaviour of scattered radiation was more diffuse toward the feet than in the supine position. In the pelvic examination, the scattered-ray behaviour in the same dose value was larger than that in the chest examination. Different imaging conditions resulted in different behaviour of the scattering rays.

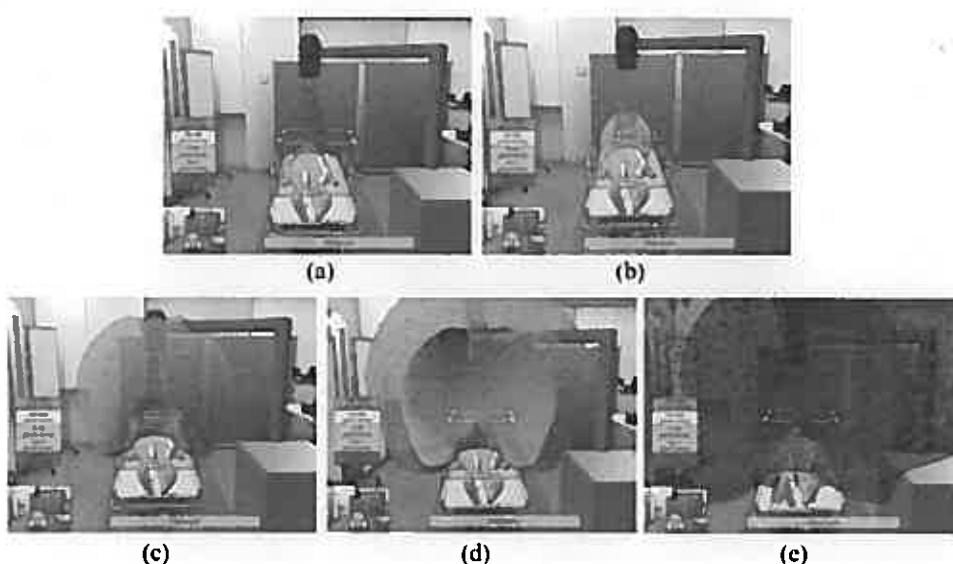


Figure 8. Scattered radiation displayed for each dose range. (a) 100–1000[$\mu\text{Sv}/0.2 \text{ mGy}$], (b) 10–100[$\mu\text{Sv}/0.2 \text{ mGy}$], (c) 1–10[$\mu\text{Sv}/0.2 \text{ mGy}$], (d) 0.5–1[$\mu\text{Sv}/0.2 \text{ mGy}$], (e) 0.1–0.5[$\mu\text{Sv}/0.2 \text{ mGy}$].

4. Discussion

4.1. Calculation accuracy of scattered ray distribution

The differences between the simulation and the measured values were all within 5%. The difference may have been caused by the accuracy of the position of the dosimeter in the actual measurement, which may even affect the accuracy of the simulation. The dosimeter used this time has energy dependence, dose dependence, and direction dependence [27]. It is considered that the difference was caused by the orientation of the measurement points in the simulation and the orientation of the measured dosimeter. Therefore, the PHITS simulation results are valid.

4.2. How to display the scattered rays

The distribution of scattered rays can be switched ON and displayed. The scattered ray values are displayed as discrete values for each range specified at the time of creating the application. For a more detailed estimation of relative dose, continuous display of relative dose values of scattered radiation is required. However, the closer the continuous display, the larger the amount of data and the heavier the operation. Another issue is the need to use external equipment.

The difference in the behaviour of the scattered rays between supine and sitting positions was thought to be due to the difference in imaging positions. The larger scatter ray behaviour in pelvic imaging is thought to be due to the higher mAs value in pelvic imaging than in chest imaging.

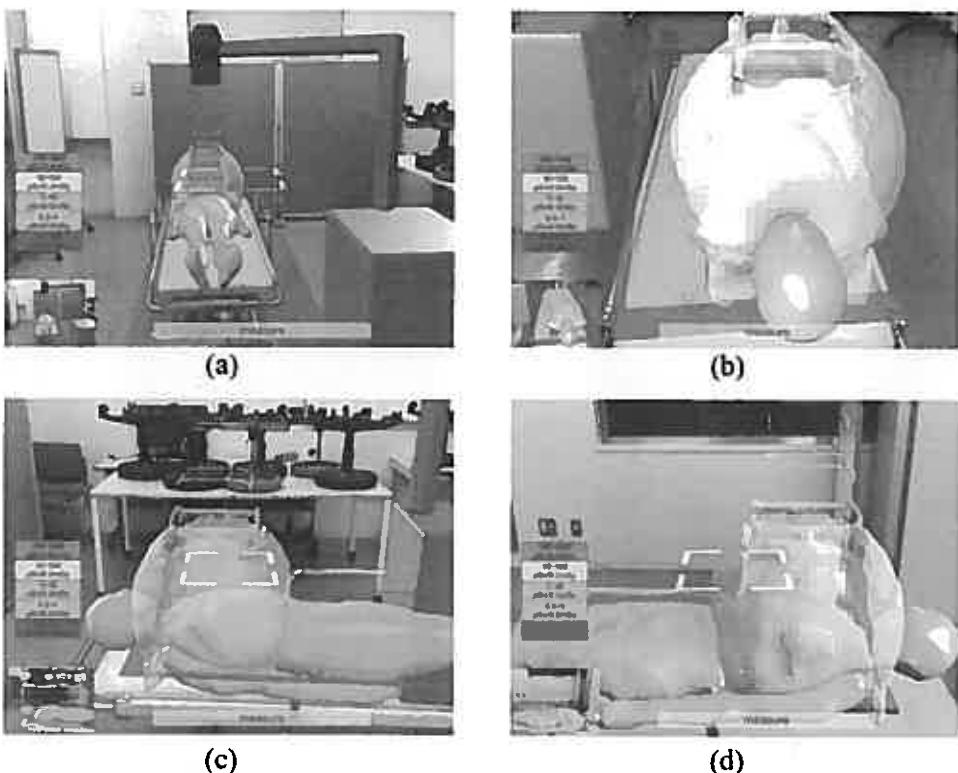


Figure 9. Observation of the patient from multiple directions. Displayed dose value is 10–100 [$\mu\text{Sv}/0.2 \text{ mGy}$]. (a) Foot side, (b) Head side, (c)/(d) Side.

4.3. Usefulness and issues of scattered ray visualisation AR application

In the visualisation of scattered radiation using VR [11], the spread of scattered radiation was different from the actual size because of variation in the display size. Projecting the distribution of scattered radiation in the real space using AR enables a stereoscopic observation with a size close to the real object, thus enhancing the reality of the scattered behaviour. Therefore, the user can easily understand the spread of scattered radiation. When the AR application of this research is used for medical professionals and students who have few opportunities for radiation protection education, the visible spread of scattered radiation may give a false recognition and fear [3]. The AR applications need to consider the methods used in radiation protection education. For example, a lecture for students on the threshold of deterministic influence can be considered.

Dedicated equipment and software were required to display the behaviour of scattered radiation in VR [11]. However, displaying the developed AR application does not require any special device. Scattered radiation can be observed only on tablet devices. Therefore, AR applications can be used for radiation protection education in more facilities compared to VR applications. When using VR to display radiation, the use of an operation manual is required [11]. However, you can display scattered radiation using the developed AR application by moving to the observation position and pointing the tablet terminal in the direction you want to observe,

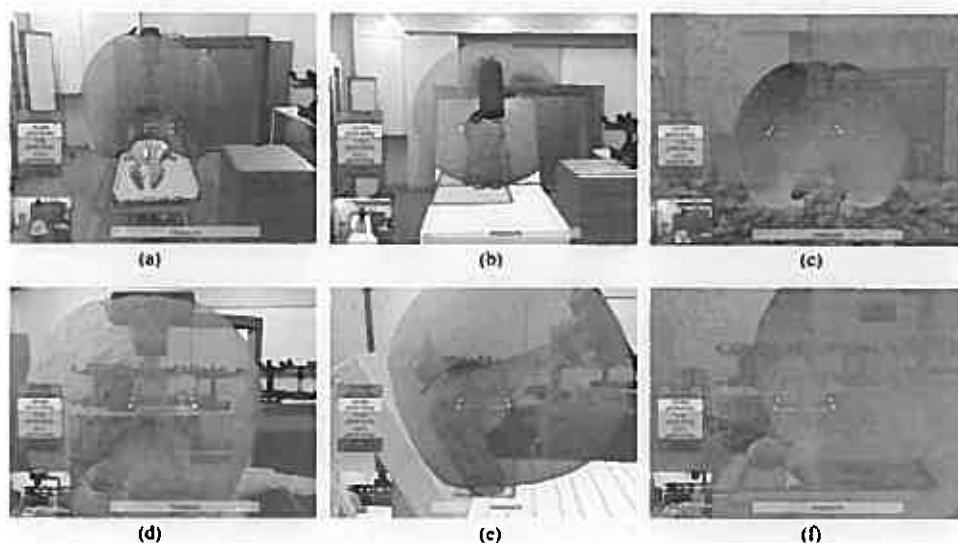


Figure 10. AR display of scattered radiation behaviour under different shooting conditions. Displayed dose value is $1\text{--}10[\mu\text{Sv}/0.2\text{ mGy}]$. Foot side (a) chest supine (b) chest sitting (c) front of the pelvis Side, (d) chest supine (e) chest sitting (f) front of the pelvis.

and tapping on the screen. The distribution of scattered radiation can be observed and learned with intuitive and simple operations. Therefore, the use of AR may improve the learning effect in radiation protection education. The teaching material needs to be modified for using AR in radiation protection education. For example, the development of a method of evaluating the degree of comprehension of the behaviour of scattered radiation when using an AR application can be considered.

At the position of the observer in the real world, the rough exposure dose can be estimated from the colour of the scattered rays in front of the eyes and the colour scale. Therefore, the position where the exposure dose is low, and the appropriate assistance position can be grasped in a form close to the actual inspection. Teaching materials using AR have the potential to provide realistic radiation protection education. However, the CG of the portable x-ray equipment and the like that is displayed is simple. AR needs to be used in an actual inspection room to provide additional reality.

5. Conclusions

An AR application has been developed, by using AR to visualise the behaviour of scattered radiation during mobile imaging in the real space for use in radiation protection education with a sense of existence that allows observation from any position and angle. The AR application made it possible to grasp the appropriate care position in the clinic and roughly estimate the exposure dose at the care position. In addition, AR application needs to be examined how to make it user friendly for applications in radiation protection education.

Acknowledgments

This research was supported by the Ministry of Health, Labor and Welfare in the Industrial Disease Clinical Research Grants (200601), Japan.

ORCID iD

Kazuki Nishi  <https://orcid.org/0000-0002-0137-1175>

References

- [1] Rehani M M, Ciraj-Bjelac O, Vañó E, Miller D L, Walsh S, Giordano B D and Perslidén J 2010 *Ann. ICRP* 40 1
- [2] Brun A, Mor R A, Bourrelly M, Dalivoust G, Gazazian G, Boufercha R, Lehucher-Michel M P and Sari-Minodier I 2018 *J. Radiol. Prot.* 38 175
- [3] Arakawa H, Tokumori K, Kamzawa H and Fujibuchi T 2018 *Radioisotopes* 67 11
- [4] Negrillo-Cárdenas J, Jiménez-Pérez J R and Feito F R 2020 *Comput. Methods Programs Biomed.* 191 105407
- [5] Coelho G et al 2020 *Neurosurg. Focus* 48 E19
- [6] Phan T, Bracegirdle L and Chambers R 2020 *Br. J. Gen. Pract.* 70 124
- [7] Lohre R, Wang J C, Lewandrowski K-U and Goel D P 2020 *J. Spine Surg.* 10 208
- [8] Yano A, Ikegami H, Mouri K, Mouri C, Yamashita S and Tenzou H 2014 *Prog. Nucl. Sci. Technol.* 4 565
- [9] Bork F, Stratmann L, Enssle S, Eck U, Navab N, Waschke J and Kugelmann D 2019 *Anatomical Sci. Educ.* 12 585
- [10] Rodas N L and Padoy N 2015 *Int. J. CARS* 10 1181
- [11] Fujibuchi T, Ueda K, Kadoyanagi S, Ueno D and Nakamura C 2019 *Japan. J. Radiol. Technol.* 75 1297
- [12] Takata T, Kotoku J, Maejima H, Kumagai S, Arai N, Kobayashi T, Shiraishi K, Yamamoto M, Kondo H and Furui S 2018 *J. Radiat. Res.* 59 233
- [13] Brown R K J, Petty R, O'Malley S, Stojanovska J, Davenport M S, Kazerooni E A and Fessahazion D 2018 *Tomography* 4 95
- [14] Ball S and Hussey L C 2020 *J. Nurs. Educ.* 59 142
- [15] Sato T et al 2018 *J. Nucl. Sci. Technol.* 55 684
- [16] Hirayama H, Namito Y, Bielajew A F, Wilderman S J and Nelson W R 2005 The EGSS code system *SLAC-R-730 and KEK Report 2005-8 Stanford (CA) and Tsukuba: SLAC and KEK* (<https://doi.org/10.2172/877459>)
- [17] PHOTX 1995 Photon interaction cross-section library for 100 elements *Data Package DLC136/PHOTX* (Oak Ridge, TN: Radiation Shielding Information Center Oak Ridge National Laboratory) <https://www.oecd-nea.org/tools/abstract/detail/dlc-0136/>
- [18] Iwamoto Y, Sato T, Hashimoto S, Ogawa T, Furuta T, Abe S, Kai T, Matsuda N, Hosoyamada R and Niita K 2017 *J. Nucl. Sci. Technol.* 54 617
- [19] ICRP Publication 74 1996 *Ann. ICRP* 26 179
- [20] Takaki T, Fujibuchi T, Murakami S, Aoki T and Ohki M 2019 *Phys. Med.* 63 35
- [21] Kato H, Fujii S, Shirakawa S, Suzuki Y and Nishii Y 2011 *Japan. J. Radiol. Technol.* 67 193
- [22] Mratty H A A B, Walton L, England A, Thompson J, Lanca L and Hogg P 2020 *Radiography* 26 e103
- [23] Menzel H G, Clement C and DeLuca P 2009 *Ann. ICRP* 39 1
- [24] Paraview <https://www.paraview.org/> (Accessed September 1, 2020)
- [25] Unity Real-Time Development Platform | 3D, 2D VR & AR Engine Unity for all <https://unity.com/> (Accessed September 1, 2020)
- [26] ARKit - Augmented Reality - Apple Developer Introduce ARKit <https://developer.apple.com/augmented-reality/arkit/> (Accessed September 1, 2020)
- [27] Ishii H, Satsurai K, Uesugi N, Kato M, Sannohe M, Miyata K, Inaba Y and Chida K 2018 *Japan. J. Rad. Safe Man* 17 2

令和 2 年度(2020 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/放射線医学総合研究所・人材育成センター・研究統括)

研究要旨

令和 2 年度は、国内外における眼の水晶体の放射線防護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

- 一般社団法人日本保健物理学会は、2020 年 7 月に「眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン」を出した。
- 令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(円滑な規制運用のための水晶体の放射線防護に係るガイドラインの作成)事業の成果として、2020 年 8 月に「医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン～水晶体の被ばく管理を中心に～」が出された。
- 一般社団法人日本放射線看護学会は、2020 年 12 月 17 日に「看護職のための眼の水晶体の放射線防護ガイドライン」を出した。
- 公益社団法人日本適合性認定協会は、2020 年 4 月 1 日に「『認定の基準』についての指針—放射線個人線量測定試験分野—JAB RL 380:2020」を出した(第 2 版)。

・国際学会等

- 国際放射線防護学会(IRPA)の第 15 回大会が韓国ソウルで現地及びウェブ開催され、世界各国から 732 名が参加し、眼の水晶体防護を含む、放射線防護に関する発表が行われた。
- 国際原子力機関(International Atomic Energy Agency: IAEA)は、2020 年 11 月 9 日から 20 日まで、"(Virtual event) International Conference on Radiation Safety: Improving Radiation Protection in Practice"を開催した。

・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際学会に参加し、発表内容の情報を得た。

C. 研究結果

・国内学会等

○日本保健物理学会

一般社団法人日本保健物理学会は、2020年7月に「眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン」を出した。

適用の範囲は、光子、電子(700keV以上)、中性子による計画被ばく状況における放射線業務従事者の眼の水晶体の等価線量のモニタリングである。線量モニタリングの考え方は、事業者、放射線取扱主任者等は、眼の水晶体の等価線量限度の遵守及び防護の最適化を実施するために、眼の水晶体の等価線量をモニタリングする部位及びモニタリングに使用する実用量を、フロー図を参照して決定するというものである。また、眼の近傍で線量を測定することを開始すべきかを判断する線量レベル(管理基準)及び線量の記録を開始するレベル(記録レベル)は、作業環境に応じて設定するとしている。

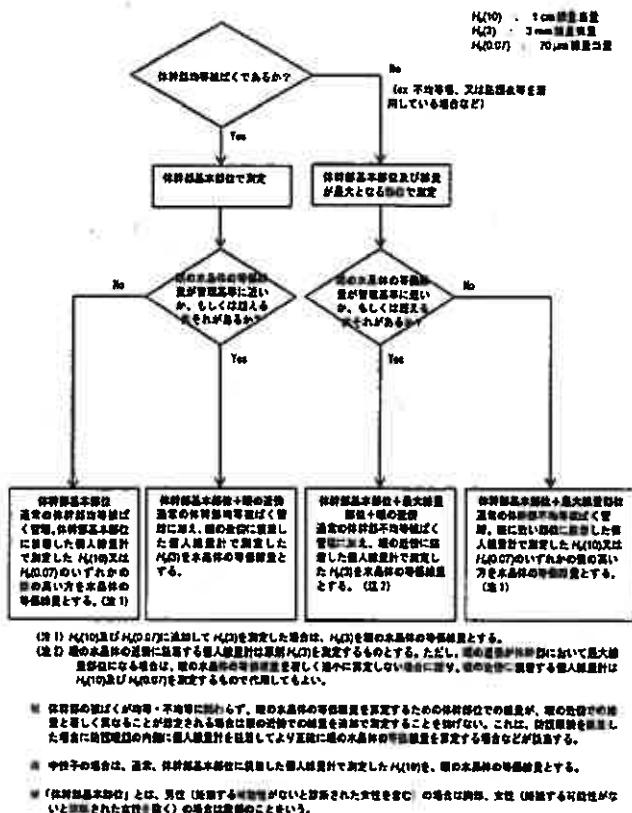


図1 眼の水晶体の等価線量の算定方法を決定するためのフロー図

眼の水晶体の等価線量をモニタリングする部位は、体幹部均等被ばくの場合、次の通りである。

①眼の水晶体の等価線量が、管理基準に近づく又は超えるおそれのない場合

体幹部基本部位に装着した個人線量計で眼の水晶体の等価線量を算定。

②眼の水晶体の等価線量が、管理基準に近づく又は超えるおそれのある場合

体幹部基本部位での測定に追加して、眼の近傍に装着した個人線量計で眼の水晶体の等価線量を算定。

体幹部不均等被ばくの場合、次の通りである。

①体幹部不均等被ばく管理時の個人線量計装着部位で測定し、その結果で算定した眼

の水晶体の等価線量が管理基準に近づく又は超えるおそれのない場合

通常の体幹部不均等被ばく管理時の個人線量計装着部位（体幹部基本部位+線量が最大となる体幹部位）で測定し、眼に近い部位に装着した個人線量計で眼の水晶体の等価線量を算定。

②体幹部不均等被ばく管理時の個人線量計装着部位で測定し、その結果で算定した眼の水晶体の等価線量が管理基準に近づく又は超えるおそれのある場合

通常の体幹部不均等被ばく管理時の個人線量計装着部位（体幹部基本部位+線量が最大となる体幹部位）の測定に追加して、眼の近傍に装着した個人線量計で眼の水晶体の等価線量を算定。

体幹部の被ばくが均等・不均等に関わらず、より正確に眼の水晶体の等価線量を算定する場合について、眼の近傍での線量を追加で測定することを妨げないとしている

（防護眼鏡を装着した場合に防護眼鏡の内側に個人線量計を装着してより正確に眼の水晶体の線量を算定する場合など）。

中性子については、通常、均等被ばくとして扱うが、事業所の線量管理に責任を有する者の判断で、中性子について不均等被ばく管理が必要となった場合は、その被ばくの状況に応じて、眼の水晶体の等価線量を算定できるような適切な個人線量計を選択している。

眼の水晶体の等価線量のモニタリングに使用する実用量については、ガイドラインで取り扱う実用量は個人線量当量である。眼の水晶体の等価線量の算定に用いる実用量は3 mm 線量当量である。しかしながら以下の①、②の場合を除いて、眼の水晶体の等価線量を著しく過小に算定しない場合には、従来用いられてきた 1 cm 線量当量又は 70

μm 線量当量のいずれかの値の高い方を眼の水晶体の等価線量としてもよいとしている。

①眼の水晶体の等価線量が管理基準に近づく、又は超えるおそれがある場合

②上述①以外で、より正確に眼の水晶体の等価線量を算定する場合

中性子による被ばくの場合は、1 cm 線量当量を眼の水晶体の等価線量である。

○放射線安全規制研究戦略的推進事業

令和元年度放射線 安全規制研究戦略的推進事業費(円滑な規制運用のための水晶体の放射線防護に係るガイドラインの作成)事業の成果として、2020年8月に「医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン～水晶体の被ばく管理を中心～」が出された。今後も患者に不可欠な放射線診療が継続して発展しつつ規制を円滑に運用するためには、具体的な水晶体等価線量モニタリングのめやす、その考え方や分野個別の放射線防護及び最適化方法を示したガイドラインの作成が急務であり、放射線を用いた診療行為に関する全ての医療スタッフと患者双方の放射線安全に配慮した放射線の利用方法について令和元年度放射線 安全規制研究戦略的推進事業費(円滑な規制運用のための水晶体の放射線防護に係るガイドラインの作成)事業において 20 の関係学協会の協力を得て検討し提言としてまとめられたものである。構成は、ガイドライン作成の背景と目的、放射線の安全利用、透視を用いた検査・治療、歯科領域の放射線防護、参考文献、資料となっている。

水晶体の防護については、「防護メガネの効果」のところで、基本的に放射線防護の原則である線源管理として遮へい板を用いその後防護メガネの着用を検討すること、防

護メガネには一般的な眼鏡と同様の形の物から顔の両横までレンズが広がる形状やゴーグルタイプの物まで様々な形のものがあること、レンズの放射線遮へい効果は50%程度あり適切な利用は水晶体の被ばく低減に効果的であること、X線管を2個備える装置やX線管の位置を細かく変える手技では幅広く放射線を防護できるゴーグルタイプの物が効果的であること、しかしながらレンズの遮へい能力が高いほど重い眼鏡になることから各自のこれまでの水晶体の被ばく線量を確認し被ばくが少ない場合は遮へい能力は低くても軽い物を用いるなど個別に判断すること、などが述べられている。また、放射線科、整形外科、消化器科、呼吸器科のIVRで、手技の際に透視台の近傍に立つ術者と医療スタッフ、CT検査時に患者の容体管理等の目的で検査室内に残る医師等は防護メガネを着用し、循環器科のIVR術者はゴーグルタイプの着用が望まれ、安全衛生管理上も病院管理者が必要な人数分以上の防護メガネを揃えておくことが望ましいとも言っている。

○日本放射線看護学会

一般社団法人日本放射線看護学会は、2020年12月17日に「看護職のための眼の水晶体の放射線防護ガイドライン」を出した。

ガイドラインは、2021年4月に施行される医療法ならびに電離放射線障害防止規則等の改正で求められている放射線診療従事者等に対する水晶体の等価線量の限度の引き下げに的確に対処するために、医療従事者の中の看護職者のみに焦点を当て、看護職者の放射線診療への関わりと業務内容に応じた、より適切かつ合理的な放射線防護のための考え方と具体的方策を示すもので

ある。一般社団法人日本保健物理学会「眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン」および「医療領域の放射線安全ガイドライン」(大野研究班)の内容との整合性にも配慮されている。看護職者の放射線被ばくの現状について全身の被ばくと水晶体の被ばくに分けて概説し、具体的な放射線防護の方策や被ばく線量の測定法などの詳細は想定質問に答える形式(Q&A方式)と補足説明で解説しており、提示した防護方策等について推奨レベルの高い順に「する(すること)」、「した方が良い」、「しても良い」と表現を使い分けて、より合理的な対応策の選択の判断につながるように示されている。

○日本適合性認定協会

公益社団法人日本適合性認定協会は、2020年4月1日に『認定の基準』についての指針—放射線個人線量測定試験分野—JAB RL 380:2020を出した(第2版)。これは、JIS Q 17025「試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項」を放射線個人線量測定を行う機関の認定へ適用するに際しての指針を示すもので、JIS Q 17025の要求事項を線量計を用いた個人線量測定試験分野の特殊性に合わせてより詳細に記述した指針であり、当該試験を実施する試験所及び審査員が審査の際に考慮すべき内容を示したものである。基本的には、JIS Q 17025の要求事項を越えるものではないが、一部の要求事項については当該試験分野の現状及び国際的な整合性を考慮しつつ、その運用を円滑にするために補足的な指針や要求事項を規定している。

眼の水晶体の線量については、体幹部均等被ばくでは眼の水晶体の等価線量(HTL)は、

$$HTL = [H_p(10) \text{ } 1\text{p} \text{ と } H_p(0.07) \text{ } 1\text{p} \text{ の最大値}]$$

- + $H_p(0.07)1b + H_p(10)1n$
体幹部不均等被ばくでは、
 $HTL = [H_p(10)2p \text{ と } H_p(0.07)2p \text{ の最大値}]$
- + $H_p(0.07)2b + H_p(10)1n$
となる。ここで、
 $H_p(d)ij$
 $H_p(d)$: 測定した個人線量当量の値 d は
10 mm, 0.07 mm 深さの個人線量当量
i : 1 は D1 線量計、2 は D2 線量計、3 は
D3 線量計による個人線量当量(表 3.3 参照)
j : p は光子、b は β 線、n は中性子を対象とした個人線量当量である。

・国際学会等

○IRPA

国際放射線防護学会 (International Radiation Protection Association: IRPA) は、世界の 68 カ国の 53 の放射線防護関連組織が所属する国際学会である。日本は一般社団法人日本保健物理学会が加盟している。IRPA は 4 年に 1 回の頻度で国際学会を開催しており、その第 15 回会議が 2021 年 1 月 18 日から 2 月 5 日にかけて、韓国ソウルにて現地および Web の両方で開催された。参加者リストに登録されている人数は、732 名である。

Enhanced Topic Session (ETS)

ETS3. Eye Lens Exposure

· Findings from the 2019 IRPA survey on the implementation of the eye dose limit
Marie Claire Cantone (Univ. of Milan, Italy)

IRPA は ICRP の新しい眼の水晶体の線量限度に関するタスクグループを 2012 年に 2 番目のタスクグループを 2015 年に作り、

2017 年に従事者に対する眼のモニタリングと防護の実施に関するガイドラインを出した。2018 年に 3 番目のタスクグループを作り、2019 年に新しい IRPA サーベイを立ち上げた。解析した結果と議論が示されている。
· Lens of the Eye Dosimetry and Beta Radiation Protection Factors
Donald Cool (EPRI, USA)

The Electric Power Research Institute (EPRI) は、眼の線量測定に用いるファントムの特性や角度依存性を、X 及びガンマ線とベータ線で調べた。

· Assessment of the Occupational Doses to the Eye Lens in Interventional Radiology
Ana Morcillo (La Paz Univ. Hospital, Spain)

インターベンショナルラジオロジー術者の眼の水晶体の年間線量と、襟と胸部の線量及び kerma area product との関係が調べられた。18 ヶ月間に 3 名の医師が 3 つの異なるタイプの線量計 (鉛ガラスの内外に OSL、甲状腺シールドの上に OSL、鉛エプロンの胸部上に固体線量計) で測定した。メガネがなければ容易に 20mSv/年を超えることがわかった。

· Practical Experiences of Regulators and Stakeholders Worldwide for Implementing the ICRP's Recommended Equivalent Dose Limit for the Lens of the Eye for Occupational Exposure
Christina Dodkin (CNSC, Canada)

OECD/NEA の Committee on Radiological Protection and Public Health (CRPPH) は、眼の水晶体の線量限度に関するエキスパートグループ (Expert Group on the Dose Limit for the Lens of the Eye: EGDLE) を作り、2019 年 7 月から活動が開始された。

報告が出されることになっているが、そのためにサーベイが行われ、その最初の結果が報告された。

·Development of Guidelines on Radiation Protection for the Lens of the Eye in Japan

Sumi Yokoyama (Fujita Health Univ, Japan)

日本の放射線審議会の、眼の水晶体の放射線防護に関する小委員会は報告書を出した。2018年12月に、厚生労働省は審議会の勧告の議論を開始し、規制が2020年に改正され、2021年に施行される予定である。原子力規制委員会の補助金で研究が行われているが、モニタリング方法と将来の取り組みに関する報告がなされた。

Refresher Course: For Beginners

·Radiological Protection of the Lens of the Eye

Marie-Claire Cantone (University of Milan, Italy)

Topic Session Program: Oral Presentation

Topic 2. Dosimetry and Measurement

Measurement of Radiation Dose: External Dosimetry/Retrospective Dosimetry

·Experimental Evaluation of Scattered X-ray Spectra due to X-ray Therapeutic and Diagnosis Equipment for Eye Lens Dosimetry of Medical Staff

Munehiko Kowatari (JAEA, Japan)

医療従事者が受ける散乱X線のエネルギースペクトルが、RANDOファントムとスラブファントム、CdZnTe半導体検出器を用いて

実験的に評価された。

Measurement of Radiation Dose: Patient Dosimetry

·Assessment of Radiation Dose to Eye Lens during Rapid Arc Treatment of Head and Neck Cancer Patients

Gourav Kumar Jain (SMS Medical College and Hospital, India)

強度変調回転放射線治療システム(Rapid Arc)で治療を受けている頭頸部がんの患者の眼の水晶体の線量が評価された。20人の患者(38-65歳、平均51歳)の眼にできるだけ近づけたOSLのnanoDotsを置き測定が行われた。平均累積線量は42cGyであった。

Topic Session Program: Poster Presentation

Topic 2. Dosimetry and Measurement

·A Workplace Trial of Eye Lens Dosimetry at the Atomic Weapons Establishment, UK

Matt Stuart-White AWE Plc, United Kingdom

Atomic Weapons Establishmentで、3つの施設(A、B-製造、C-機器試験)の32名に対し、眼の水晶体の線量測定が行われた。全ての人がSignificant dose(1mSv)より低く、超えた人の割合はAとB施設ではそれぞれ38%と27%、平均年線量が0.90mSvと0.70mSvであった。全身に対する眼の水晶体の線量の比は、Aで2.4、Bは3.0であった。Cでは値の出た人はいなかった。

·A Comprehensive Analysis of Eye Lens Radiation Doses During External Beam Radiotherapy of Head and Neck Cancer Patients

ARUN SMS MEDICAL COLLEGE, India CHOUGULE

外照射を受けている頭頸部がんの患者の眼の水晶体線量が評価された。患者は60名

(35-70歳、平均55歳)で、眼にできるだけ近づけたOSLのnanoDotで測定が行われた。テレコバルトコンベンショナル2DRTではフラクション当たり9.05 cGy、リニアック3DRTは3.84 cGy、Rapid Arcは1.26 cGyで、平均累積線量は2DCRT、3DCRT、Rapid Arcでそれぞれ316 cGy、314 cGy、42 cGyであった。

·Dose Reassessment in TL Dosimetry by Using the Phototransferred Thermoluminescence (PTTL) Phenomenon to the High Sensitive LiF: Mg

Anna Sas- Bieniarz Cu, P Detectors used in Environmental and Eye Dosemeters Institute of Nuclear Physics PAN, Poland

TLDは再読み取りができないが、紫外線(UV)を当てることにより再読み取りができるようにした。これは、phototransferred thermoluminescence (PTTL) 現象に基づくものである。環境及び眼の水晶体の線量測定に、高感度のLiF: Mg, Cu, P (MCP-N) 検出器が用いられている。UVの波長、照射条件、二度目の読み取りパラメータの影響と、線量評価の可能性がチェックされた。

·Estimation of Eye Lens Dose In Scattered Radiation Fields

Maru Yamamoto Fujita Health University, Japan

ガンマ線場のデコミッショニング従事者の眼の水晶体線量を計算により評価した。ICRP Publication 116のMIRDファントムに置かれた詳細な眼のモデルを、PHITSコードで計算した。ガンマ線源は、1Fの2号炉の周りのガンマ線スペクトロメータの測定結果に基づく。防護衣の外側では Hp(10),

(3), (0.07)は眼の等価線量より高かったが、防護衣の内側では Hp(3)は眼の線量の計算値のほぼ半分であった。

·Estimating Real-Time Measurement Doses for Eyes in Interventionist Procedures

HUGO REUTERS SCHELIN PELE PEQUENO PRINCIPLE RESEARCH INSTITUTE, Brazil

インターベンショナルでの眼の水晶体の線量をリアルタイムに評価可能なシステムを開発した。散乱線測定におけるリモートコントロール透視システムが、50kV・30mAで、電離箱とPMMAファントムを用いてテストされた。地上166cm(眼の水晶体の場所)で、主ビームから19・38・76・152cmの距離で、データはソフトウェアに送られて等価線量が計算され、リアルタイムにディスプレイ表示された。25x25x7cmのファントムで76.58・35.09・23.96・0.27μSv、30x30x15cmファントムで686.17・318.61・108.5・2.45μSvであった。

Topic 4. Practical Implementation:
Medical Sector

·Estimation of the Eye Lens Dose in Interventional Radiology

Marcel Greuter University of Groningen, University Medical Center, Netherlands

インターベンショナルラジオロジーの術者の眼の水晶体線量を評価し、個人線量計の値と比較した。Mirion Dosimetry Servicesの11の眼の水晶体用線量計を用いて、4名の術者の4週間の全手技に対する累積線量を測定した。また、別個に7つの手技(3 FEVAR, 2 SIRT, 2 TIPS)の眼の水晶体の線量を、面積線量積(DAP)に基づく推定値と比較した。4名の術者全員、個人線量計の累積値よりも眼の水晶体の累積線量は

低かった（平均-83%）。TIPS、FEVAR、SIRT の眼の水晶体の線量は、推定等価線量よりも高かった。

Enhanced Topic Session

·Lens of the Eye Dosimetry and Beta Radiation Protection Factors

Donald A. Cool, Lawrence T. Dauer, and Phung K. Tran

The Electric Power Research Institute (EPRI) の研究で、眼の水晶体の線量測定におけるファントムについて、応答特性、X・γ・β線における角度依存性を調べた。20cm 直径、20cm 高さのシリンドー水ファントムを作成し、固体 Lexan ファントムと比較した。両ファントム間で、低エネルギーX線でおよそ 7%、斜めの入射で 10%のファクターであった。原子力発電所の典型的なガンマ線スペクトルではもっと小さく 1%であった。0 度から 60 度までの角度依存性は、ベータ線でおよそ 2 のファクター、ガンマ線は 2~3%の違いであった。異なるエネルギーと角度でも、ほとんどのシステムがファクター2 の範囲内の結果を示した。防護メガネについても、防護の要素を評価する簡単なシステムを開発した。

·Findings from the 2019 IRPA Survey on the Implementation of the Eye Dose Limit

Marie Claire Cantone, Merce Ginjaume, Colin Martin, Nobuyuki Hamada, Sumi Yokoyama, Jean-Marc Bordy, Lawrence Dauer, Ariel Durán, Cameron Jeffries, Willie Harris, Olga Kashirina, Arthur Omandi Koteng, Severino Michelin, Waraporn Sudchai (再掲)

·Practical Experiences of Regulators and Stakeholders Worldwide for

Implementing the ICRP's Recommended Equivalent Dose Limit for the Lens of the Eye for Occupational Exposure

C. Dodkin, M. C. Cantone, and J. Garnier-Laplace (再掲)

·Assessment of the Occupational Doses to the Eye Lens in Interventional Radiology

A. Morcillo, L. Alejo, C. Huerga, J. Bayón, E. Corredoira, J. Novo, T. Hernández, D. Ponce, G. Garzón, and E. Guibelalde (再掲)

·Practical Implications of the Revised Dose Limit to the Lens of the Eye at Swedish Nuclear Power Plants

Virva Nilsson

The Swedish Radiation Safety Authority (SSM) は、2013 年にスウェーデンの原子力施設に対し、眼の水晶体の引き下げられた線量限度に関するサービスを、全国レベルで行った。また、いつ眼の水晶体の線量モニタリングを行うかというガイドラインを作成した。Forsmark 原子力発電所からの結果から、沸騰水型原子炉では、ある作業カテゴリに対しては、パッシブ型 TLD の測定では、眼の水晶体の線量は全身の実効線量を最大 50%超えることがわかった。

Oral Session T2

·Experimental Evaluation of Scattered X-ray Spectra due to X-ray Therapeutic and Diagnosis Equipment for Eye Lens Dosimetry of Medical Staff

Munehiko Kowatari, Keisuke Nagamoto, Koich Nakagami, Yoshihiko Tanimura, Takashi Moritake and Naoki Kunugita (再掲)

·Assessment of radiation dose to eye lens during Rapid Arc treatment of Head and Neck cancer patients

Gourav Kumar Jain, Arun Chougule, Rajni Verma (再掲)

·A workplace trial of eye lens dosimetry at the Atomic Weapons Establishment, UK Matt Stuart-White, Amit Desai (再掲)

Poster Session T2

·A comprehensive analysis of eye lens radiation doses during external beam radiotherapy of Head and Neck cancer patients

Arun Chougule, Gourav Kumar Jain, Rajni Verma (再掲)

·Direct monitoring of HP(3) neutron exposure of workers' eye lenses in NPPs
Marko Fülöp, Dušan Solivajs, Pavol Ragan, Andrea Šagátová, Denisa Nikodémová, Ľubica Foltínová Faculty of Public Health, Slovak Medical University, Slovakia

原子力発電所の中性子線とガンマ線場における作業時の従事者の頭部に付けための水晶体の線量モニターのデザインと適用に関するもの。その感度・サイズ・方向依存性から Hp(3) モニターとしてアルベド線量計を選んだ。モニターの特性を MCNP6 モンテカルロコードと Zubal の頭部ファントムのシミュレーションによって決定し、原子炉作業の場で実験的に確認した。調査した二つの作業場で、同様な重鋼技術機器から散乱される中性子エネルギースペクトルが測定された。およそ 20 の作業場所で中性子の Hp(3) と Hp(10) の平均の比は 1 に近かった。

·Dose reassessment in TL dosimetry by

using the phototransferred thermoluminescence (PTTL) phenomenon to the high sensitive LiF: Mg, Cu, P detectors used in environmental and eye dosimeters

Anna Sas-Bieniarz*, Izabela Milcewicz-Mika, Maciej Budzanowski, Ewelina Pyszka (再掲)

·Calculation of equivalent dose to the lens of the eye for patients during head IVR procedures by using detailed eye model

Ryuta Hayashi, Masaharu Yamagashira, Sumi Yokoyama, Yoshihiro Ida, Satoshi Inoue, Shinji Arakawa and Hiromune Ito

頭部 IVR における患者の眼の水晶体の等価線量を、PHITS と詳細な眼のモデルを入れた MIRD ファントムのシミュレーションで評価した。条件は、脳内動脈瘤塞栓術を想定し、8x8 インチ (PA 方向) と 10x10 インチ (LR 方向) の照射野、MIRD ファントムの後頭部から 65cm の線源、管電圧は 93kV(PA) と 92kV(LR)、X 線はコーンビーム形である。LR 方向の等価線量は平均で PA 方向のおよそ 17 倍で、右目の等価線量は左目のおよそ 1/4 であった。PA 方向では、X 線は頭部を透過するため低減する。LR 方向では X 線は眼に直接入る可能性が高い。

·Current Status of Regulatory Requirements and Technical Standards on Radiation Dose Limits for the Lens of the Eye

Yoonhee Jung, Tae Young Kong, and Jeong Mi Kim

作業者的眼の水晶体の放射線被ばくに関する規制の要件と技術基準について情報を与えるものである。

·Investigation of Radiation Fields and

Radiation Work Tasks for Establishing a Dosimetry Program for the Lens of the Eye in Korean Nuclear Power Plants

Yoonhee Jung, Tae Young Kong, and Jeong Mi Kim

文献によれば、眼の水晶体の被ばくを受ける放射線作業者は 3 つのカテゴリーに分けられる。一様な放射線場、眼の水晶体に高い等価線量を受ける不均一な放射線場、700keV 以上のベータ線により眼の水晶体に高い被ばくを受けるが実効線量は低い作業者である。一様な放射線場では、胸部の線量計だけでも眼の水晶体の適切な線量評価ができる。不均一場は主に蒸気発生装置で生じ、メンテナンス作業で眼の被ばくが起きうる。

· Estimation of Eye Lens Dose In Scattered Radiation Fields

Masaharu Yamagashira, Ryuta Hayashi, Mayu Yamamoto, Sumi Yokoyama, Norio Tsujimura, Katsuya Hoshi, Yoshihiko Tanimura and Hiroshi Yoshitomi (再掲)

· Estimating real-time measurement doses for eyes in interventionist procedures

J.C. de Camargo Lourenco, Sergei A. Paschuk, and Hugo R. Schelin (再掲)

Poster Session T3

· Development of Guidelines on Radiation Protection for the Lens of the Eye in Japan

Sumi Yokoyama, Satoshi Iwai, Norio Tsujimura, Makoto Hashimoto, Hiroshi Yoshitomi, Masahiro Kato, Tadahiro Kurosawa, Hideo Tatsuzaki, Hiroshi Sekiguchi, Yasuhiro Koguchi, Koji Ono, Masahumi Akiyoshi, Naoki Kunugita,

Masahiro Natsuhori, Yoshinori Natsume, Kuniaki Nabatame, Tsunenori Kawashima and Kazuko Ohno (再掲)

Poster Session T4

· Estimation of the eye lens dose in interventional radiology

Hildebrand' Dijkstra, Sophie R. Hinterding and Marce J.W. Greuter (再掲)

· Radiation exposure of staff in brachytherapy of eye tumors

H. Graf, J. Hofinger, M. Friedlein, A. Hustedt, I. Wölwitsch, G. Fehrenbacher

悪性の眼腫瘍の小線源治療における、装置を直接操作あるいは患者に近い作業者の職業被ばく線量と手の線量評価を行なった。作業者は、ブラークを扱う作業者（操作室スタッフとクリーニング及び消毒スタッフ）と、ブラーク適用の数日患者の世話をする医師と介護者の 2 グループに分けられる。最初のグループはベータ線に被ばくするリスクがあり、標準の個人線量計でモニタされる。ブラークが眼に付けられた場合、眼は電子を吸収し、低 Z 組織での制動放射の発生は小さいので、年間に接する患者数がない 2 番目のグループは 1mSv/a よりも遥かに低い年間被ばく線量である。

また、IRPA は、“ IRPA Guidance on Implementation of Eye Dose Monitoring and Eye Protection of Workers ” を 2017 年に出している。構成は、イントロダクション、眼の水晶体のモニタリングが必要なとき、線量モニタリングを実施するための提案線量レベル、眼の水晶体のモニタリング手順、眼の防護用具の使用に関するガイダンス

ンス（医療分野、天井吊り下げスクリーン・眼の防護具）、参考文献である。

D. 考察

国内では、日本保健物理学会から出されたガイドラインは、フロー図で測定方法を決定することができ、管理基準に近づく又は超えるおそれがある場合と、より正確に眼の水晶体の等価線量を算定する場合は、1 cm 又は 70 μm 線量当量のいずれかの値の高い方を眼の水晶体の等価線量としてもよいとされている。3mm の測定が推定されてはいない。放射線安全規制研究戦略的推進事業の「医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン～水晶体の被ばく管理を中心～」では、防護メガネの遮蔽効果の有効性と、被ばくが少ない場合は軽いメガネの利用が推奨されている。日本放射線看護学会のガイドラインは、日本保健物理学会及び推進事業の両ガイドラインを考慮したものになっている。日本適合性認定協会の指針では、Hp(10)と Hp(0.07)に基づく眼の水晶体の線量の計算式が示されている。

国際的には、IRPA 15 における IRPA タスクグループの活動報告や測定に関するデータ、実際の医療現場における眼の水晶体の被ばく線量、放射線防護手法の効果などに関する発表があった。また、IAEA の放射線安全に関する国際会議では、医療現場での眼の水晶体の被ばく線量に関するものや、ファントムに関する発表が出されていた。

最近の文献では、インターベンショナル手技における被ばく線量が多い。核医学に関する報告も出されていた。

E. 結論

眼の水晶体の線量を評価する手法は、Hp(3)を直接測定するというよりは、従来の Hp(10)及び Hp(0.07)に基づくものが多い。被ばく線量は、医療、特にインターベンショナル手技における被ばくに対する関心が高く、新しい線量限度を超える事例の報告もなされている。評価手法としては、線量計による測定だけではなく、モンテカルロ計算データを利用した推定方法も提案されている。防護手法の効果に関するデータも出されており、これらの状況に関する情報を確認した。

F. 論文報告

- Kosuke Matsubara, Yasutaka Takei, Hiroshige Mori, Ikuo Kobayashi, Kimiya Noto, Takayuki Igarashi, Shoichi Suzuki, Keiichi Akahane. A multicenter study of radiation doses to the eye lenses of medical staff performing non-vascular imaging and interventional radiology procedures in Japan. *Physica Medica*, 74, 83 – 91, 2020-06, DOI:10.1016/j.ejmp.2020.05.004

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

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 (200601-01)
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
Nagamoto K, Moritake T, Nakagami K, Morota K, Matsuzaki S, Nihei S, Kamochi M, Kunugita N	Occupational radiation dose to the lens of the eye of medical staff who assist in diagnostic CT scans	Heliyon.	30;7(1)	e06063. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06063.	2021
Mime Endo, Yoshihiro Haga, Masahiro Sota, Akiko Tanaka, Kazuki Otomo, Yuuki Murabayashi, Mitsuya Abe, Yuji Kaga, Yohei Inaba, M satoshi Suzuki, Taiichiro Meguro and Koichi Chida.	Evaluation of novel X-ray protective eye wear in reducing the eye dose to interventional radiology physicians.	Journal of Radiation Research, International radiology physicians.	62 (3)	Published 12 April 2021, doi: 10.1093/jrr/rbab014	2021
曾田 真宏, 芳賀 喜裕, 荒井 剛, 鈴木 新一, 加賀 勇治, 阿部 美津也, 千田 浩一.	X線防護壁付掛布による心臓IVR術者の被ばく低減に関する基礎的検討	臨床放射線	66卷5号	印刷中	2021
Kazuki Nishi, Toshioh Fujibuchi, Takashi Yoshinaga	Development of an application to visualise the spread of scattered radiation in radiography using Augmented Reality	Journal of Radiological Protection,	40 (4)	1299-1310, doi: 10.1088/1361-6498/abc14b	2020

