

労災疾病臨床研究事業費補助金

医療機関における放射線被ばく防護教育等に
関する包括的研究

令和 6 年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 千田 浩一

令和 7 年（2025 年）3 月

目 次

I. 総括研究報告

- 医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究・・・ 5
千田 浩一

II. 分担研究報告

1. 医療施設における放射線防護の管理と教育に関するアンケート調査・・・ 19
富田 博信
2. 看護専門学校における放射線被ばく防護教育等に関する予備調査・・・ 27
小野 孝二
(資料) 看護師養成学校における放射線教育に関するアンケート
3. 脊椎外科医を対象とした被ばく管理・防護状況と放射線障害に関する実態調査・・・ 37
中山 文明
4. 整形外科医らの職業被ばくの実態・・・ 47
盛武 敬
(資料) Hijikata 論文
5. 医療従事者の逆行性線量評価推定における推定モデルの検討・・・ 63
古渡 意彦
6. 気管支鏡検査に従事する医師の水晶体被ばくの評価・・・ 73
千田 浩一
7. 線量限度引き下げ前後の心臓血管カテーテル手技における医師の水晶体被ばく線量・・・ 79
千田 浩一
8. 病床規模が心血管系IR看護師の立ち位置に及ぼす影響・・・ 91
盛武 敬
(資料) Kuriyama 論文
9. 整形外科領域における被ばく線量実測調査・・・ 113
山下 一太
10. 放射線防護板の適切な使用に関する教材の開発・・・ 115
藤淵 俊王
11. 放射線防護のためのゲーミフィケーションプロダクトとデジタルプロテクションツールの開発・・・ 121
石垣 陽
12. Mixed Reality 技術を活用した放射線防護教育ツールの開発・・・ 127
赤羽 正章
13. 末梢血管治療 (EVT) を行う医師のリアルタイム線量測定・・・ 137
千田 浩一
14. 放射線 MS による被ばく管理と教育・・・ 141
喜多村 紘子
(資料)

III. 研究成果の刊行に関する一覧表

・・・ 159

I. 総括研究報告

令和 6 年度(2024 年度)労災疾病臨床研究事業
総括研究年度終了報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

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

放射線医療従事者において、皮膚がんや白内障などの労災認定事例が散見されている。電離放射線障害防止規則に定める線量測定や放射線業務従事者の被ばく限度等の遵守が不十分であることが医療機関で認められている。これら原因として、放射線被ばくについての教育の不足が一因として挙げられる。

そこで医療機関における放射線業務管理及び教育等の状況を調査するとともに、放射線業務従事者教育の具体的な内容を含め、医療機関における放射線被ばくについての必要な教育内容を取り纏める。さらには、皮膚等の有所見事例集を作成し、今後の教育に活用することにより、医療機関における放射線業務従事者の労災疾病となる放射線障害の防止に寄与する。

そのために、医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究を行う。具体的には、1.放射線被ばく管理と防護教育の現状調査、2.職業被ばくにおける放射線障害の実状調査、3.被ばく線量の実測評価、4.教材開発、5.被ばく低減対策の技術的検討、そして6.放射線マネジメントシステム(MS)による被ばく管理と教育に取り組む。

以上これらについて、初年度[令和 6 年度(2024 年度)]は、方法論検討と初期調査研究、次年度は本格的な調査と研究、最終年度は追加調査研究と体系的な取り纏めを行い、以上を踏まえて「事例集作成等」を行う。

令和 6 年度(2024 年度)に取り組んだ具体的な研究結果の主なものを以下に記す。

放射線被ばく管理と防護教育の現状調査結果から、一定水準の放射線安全管理が図られていることが示唆されたが、放射線防護教育の講師不足や受講率の課題、眼の水晶体線量計の装着率の低さ、防護メガネなどの防護備品の整備状況には大きな施設間格差が存在することが明らかになった。

職業被ばくにおける放射線障害の実状調査については、考案した撮影法は概ね有効であったが、さらなる最適化が今後の課題として考えられた。また、アンケートの結果から、手指の被ばく線量管理が不十分であり、防護具の使用率が低いことが明らかとなった。さらに、皮膚写真より有所見の存在が認められた。また多くの脊椎外科医において散乱線による白内障性変化、直接線による手部慢性炎症が示唆された。整形外科医および脊椎外科医に対する被

ばく防護の推進, すなわち線量測定の普及, 保護具の使用や防護行動の推進は喫緊の課題である. 医療従事者の逆行性線量評価推定における推定モデルの検討については、対数正規分布による推定を行うことで、文献値の示す統計量を非常によく再現することができた。

被ばく線量の実測評価に関して、気管支鏡検査に従事する医師が水晶体の等価線量限度を超過する可能性があることや、手技件数、透視時間、撮影回数、患者の BMI が危険因子となっている可能性があることが明らかとなった。心臓血管カテーテル手技に携わる医師の眼の水晶体被ばく線量は線量限度が引き下げられても大きな変化は認められず、防護具の使用方法の最適化や新たな防護具の開発などの防護策の再検討が必要であるといえる。また、頸部個人線量計は水晶体被ばく線量を過大評価する可能性があるため、水晶体用線量計を用いて評価することが望ましい。また病院規模並びに病床規模に影響を受けるこれらの要素を総合的に考えることで、心血管系 IR 看護師の職業被ばくリスク評価が実施可能になれば、リスクが高い病院に勤務する IR 看護師への個別・優先的な被ばく低減策が講じることができるとおもわれる。整形外科領域における被ばく線量実測調査については、X 線透視の使用場面に応じて、医療者の被ばく部位とその強度は大きく異なることが明らかとなった。

教材開発については、今回の開発により、放射線防護対策を視覚的に支援する可能性が示されたが、今後の改善が必要である。また直感的学習と、装着型線量モニタによる即時フィードバックを組み合わせることで、知識獲得にとどまらない行動変容支援の可能性が示された。

被ばく低減対策の技術的検討については、MR ゴーグル使用による放射線防護に関する知識の向上が医療従事者の安全意識を高め、患者や医療スタッフの安全性向上につながることを期待された。リアルタイム線量測定システムを活用して EVT における術者の放射線被ばく状況を明らかにした。その結果、術中の立ち位置や天吊り防護板の配置状況、DSA 時の術者の行動などが被ばく線量に大きく影響することが確認された。

放射線マネジメントシステム (MS) による被ばく管理と教育については、放射線 MS 導入支援の一環として、役割ごとに必要な知識を整理し、実効性と現実性を両立させた研修プログラムのデザインを行った。今後は、本プログラムを実際の研修に展開し、効果の検証を通じて内容を改訂することで、多様な医療機関に適応可能な教育体系として確立させることを目指す。

【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	量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所・部長
赤羽 正章	国際医療福祉大学・医学部放射線医学・教授
森 晃爾	産業医科大学・産業生態科学研究所・産業保健経営学・教授
藤淵 俊王	九州大学・大学院医学研究院・教授
小野 孝二	東京医療保健大学・看護学科・教授
富田 博信	帝京大学・診療放射線学科・教授
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
山下 一太	徳島大学・大学院医歯薬学部研究部・特任准教授
古渡 意彦	量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所・グループリーダー
中山 文明	量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所・専門業務員
石垣 陽	電気通信大学・国際社会実装センタ・教授(特任)

主な研究協力者

土方 保和	京都大学・疫学講座・非常勤講師
稲葉 洋平	東北大学・災害科学国際研究所・講師
初坂 奈津子	金沢医科大学・眼科学講座・助教
永田 竜朗	産業医科大学・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 副技師長
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
松崎 賢	量子科学技術研究開発機構
中上 晃一	産業医科大学
曾田 真宏	東北大学 非常勤講師
山田 歩実	東北大学 大学院生
加藤 聖規	東北大学 大学院生
藤沢 昌輝	東北大学 大学院生
ほか	

A. 研究目的

放射線医療従事者において、皮膚がんや白内障などの労災認定事例が散見されている。電離放射線障害防止規則に定める線量測定や放射線業務従事者の被ばく限度等の遵守が不十分であることが医療機関で認められている。これら原因として、放射線被ばくについての教育の不足が一因として挙げられる。

過去に実施された労災疾病研究である、「不均等被ばくを伴う放射線業務における被ばく線量の実態調査と線量低減に向けた課題評価に関する研究(180501) [樺田(不均等)班研究]」、「眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究(200701) [千田班研究]」、「放射線防護マネジメントシステム(MS)の適用と課題解決に関する研究(210501) [樺田(MS)班研究]」は、どれも放射線業務に従事する労働者の被ばくを可能な限り低減する、ひいては労働安全衛生全体の水準を向上させることに大きく貢献している。だが、放射線被ばく防護教育については未だ不十分な状況であると考えられる。

そこで医療機関における放射線業務管理及び教育等の状況を調査するとともに、放射線業務従事者教育の具体的な内容を含め、医療機関における放射線被ばくについての必要な教育内容を取り纏める。さらには、皮膚等の有所見事例集を作成し、今後の教育に活用することにより、医療機関における放射線業務従事者の労災疾病となる放射線障害の防止に寄与する。

そのために、医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究を行う。具体的には、1. 放射線被ばく管理と防護教育の現状調査(富田、小野ほか)、2. 職業被ばくにおける放射線障害の実状調査(盛

武、山下、古渡、中山、千田ほか)、3. 被ばく線量の実測評価(盛武、山下、古渡、千田ほか)、4. 教材開発(藤淵、石垣、盛武ほか)、5. 被ばく低減対策の技術的検討(赤羽、千田ほか)、そして6. 放射線マネジメントシステム(MS)による被ばく管理と教育(森、喜多村ほか)に取り組む。

以上これらについて、初年度[令和6年度(2024年度)]は、方法論検討と初期調査研究、次年度は本格的な調査と研究、最終年度は追加調査研究と体系的な取り纏めを行い、以上を踏まえて「事例集作成等」を行う。令和6年度(2024年度)に取り組んだ具体的な研究の主なものを以下に記す。

B. 研究方法

1. 放射線被ばく管理と防護教育の現状調査

①医療施設における放射線防護の管理と教育に関するアンケート調査、②看護専門学校における放射線被ばく防護教育等に関する予備調査について、主に実施した。

①医療施設における放射線防護の管理と教育に関するアンケート調査

全国の医療施設の診療放射線技師を対象に日本診療放射線技師会、47都道府県診療放射線技師会、診療放射線技師職域団体の協力を得てオンラインフォーム(Googleフォーム)よりアンケート調査を実施した。主なアンケート項目の内容は、施設概要、放射線防護管理体制、放射線防護教育、個人線量計、放射線業務従事者の防護備品とした。

②看護専門学校における放射線被ばく防護教育等に関する予備調査

全国の看護専門学校および看護師養成所92施設を対象に実施した。調査対象は、地域的な偏りを避けるため各都道府県から2施設ずつ無作為に抽出した。本調査では、看護師養成学校における放射線教育の実施状

況を把握することを目的に、「アンケート調査」を実施した。

2.職業被ばくにおける放射線障害の実状調査

①脊椎外科医を対象とした被ばく管理・防護状況と放射線障害に関する実態調査、②整形外科医らの職業被ばくの実態、③医療従事者の逆行性線量評価推定における推定モデルの検討、について主に実施した。

①脊椎外科医を対象とした被ばく管理・防護状況と放射線障害に関する実態調査

脊椎外科医を対象に、放射線被ばく管理・防護状況と皮膚障害の発生について調査し、医療現場における被ばく防護対策の現状と課題を明らかにすることを目的とした。調査では、個人線量計や防護具の使用実態をアンケートで確認し、皮膚科専門医による診察と皮膚写真撮影を実施して皮膚障害の発生を評価した。

②整形外科医らの職業被ばくの実態

第 38 回日本脊椎外科学会および第 31 回日本腰痛学会で放射線被ばく検診（白内障と手部慢性炎症）を行った。白内障の検診としては、簡易徹照カメラを用いて徹照撮影を行い、眼科専門医が瞳孔径 3mm 以内における水晶体微小混濁 (vacuoles) および後囊下白内障の評価を行った。手部慢性炎症の検診は、産業医もしくは環境衛生の学位を取得した者が爪甲色素線条と手荒れの評価を行った。

③医療従事者の逆行性線量評価推定における推定モデルの検討

高線量被ばくのリスクにさらされ、累積被ばく線量が高いと考えられる医療従事者の遡及的な被ばく線量の推定手法を検討するにあたり、過去の研究者らによるモデルを導入する際の、手技当たりの被ばく線量、年間の手技回数、放射線防護装備の使用の

有無等のパラメータに導入する数値の推定手法について検討した。

3.被ばく線量の実測評価

①気管支鏡検査に従事する医師の水晶体被ばくの評価、②線量限度引き下げ前後の心臓血管カテーテル手技における医師の水晶体被ばく線量、③病床規模が心血管系 IR 看護師の立ち位置に及ぼす影響、そして④整形外科領域における被ばく線量実測調査について、主に実施した。

①気管支鏡検査に従事する医師の水晶体被ばくの評価

気管支鏡検査に従事する 15 名の医師の水晶体被ばく線量を測定し、年間積算線量を評価した。この測定について、医師は水晶体用の防護具を使用していない。また、手技件数、透視時間、撮影回数、患者の BMI との関係調べ、水晶体被ばく線量増加の要因について検討した。

②線量限度引き下げ前後の心臓血管カテーテル手技における医師の水晶体被ばく線量

14 名の心臓血管カテーテル手技に携わる医師の眼の水晶体の被ばく線量について頸部個人線量計（ガラスバッジ）と水晶体用線量計（DOSIRIS）を用いて計測を行い、年間積算線量、手技 1 件当たりの線量、頸部個人線量計と水晶体用線量計の計測値の相関が線量限度引き下げ前後でどの程度変化したのかについて調査した。

③病床規模が心血管系 IR 看護師の立ち位置に及ぼす影響

日本国内における 3 つの救急指定病院を対象にした IR 看護師の職業被ばくに関する質問票による調査を主に行った。

④整形外科領域における被ばく線量実測調査

整形外科における X 線透視下手技中の医療者の被ばく実態を把握するため、術者・助手・器械出し看護師を対象に、OSL 線量計を用いて各身体部位の実測線量を評価した。測定部位は水晶体（眼瞼近傍）、甲状腺（前頸部）、胸部、性腺（鼠径部）、手指（両示指先端）とした。

4.教材開発

①放射線防護板の適切な使用に関する教材の開発、②放射線防護のためのゲーミフィケーションプロダクトとデジタルプロテクションツールの開発について主に実施した。

①放射線防護板の適切な使用に関する教材の開発

X 線透視ガイド下手技における医療スタッフの職業被ばく低減を目的として、散乱線分布をリアルタイムに可視化するアプリケーションの開発を目指した。そこで本研究では、光線追跡技術（ray tracing）を用いて、散乱線を可視光のように扱い、瞬時に分布を計算する手法を導入した。

②放射線防護のためのゲーミフィケーションプロダクトとデジタルプロテクションツールの開発

模擬線源とスマートフォンを用いた疑似的な教育セッションを実施し、放射線に対する心理的抵抗感の軽減や防護行動の理解促進に資する可能性を確認した。

5.被ばく低減対策の技術的検討

①Mixed Reality 技術を活用した放射線防護教育ツールの開発、②末梢血管治療（EVT）を行う医師のリアルタイム線量測定について、主に実施した。

①Mixed Reality 技術を活用した放射線防護教育ツールの開発

複合現実（=Mixed Reality:MR）技術を活用して、医療現場における放射線防護教育の推進をはかることを目的に、血管撮影室での放射線被ばく低減に向けた学習ツールとその有効性の評価方法の開発を目指した。MR ゴーグルで散乱線の空間線量分布の実測値を可視化するコンテンツを作成し、医師・看護師・診療放射線技師・臨床工学技士を対象に、学習効果を従来の紙資料と比較した。

②末梢血管治療（EVT）を行う医師のリアルタイム線量測定

天吊り防護板などの防護具を導入しているが、防護具の配置困難や業務の多忙さ、視野の制限などを理由に、十分な被ばく対策が講じられていない症例も少なくない。また、術者自身が自身の被ばく線量や防護策の効果を正確に把握していないことが、放射線防護の実効性を低下させる一因となっている。本研究では、末梢血管治療（Endovascular Therapy: EVT）に従事する術者の被ばく状況を詳細に評価するため、リアルタイム線量測定システム RaySafe i3 を用いて術中の線量率を経時的に記録し、被ばく要因の分析を行った。

6.放射線マネジメントシステム(MS)による被ばく管理と教育

令和 6 年度は導入支援教育の研修プログラムをデザインすることを目標とした。

放射線 MS のシステムマニュアルに含まれる職種を、放射線 MS において必要な知識でグループ化し、教育グループを1)組織トップ等（G1）、2)放射線業務従事者である現場の管理者・管理の実務者（G2-1）、3)放射線業務従事者ではない現場の管理者・管理の実務者（G2-2）、4)放射線業務従事者（G3）、5)産業保健スタッフ（G4）とした。教育グループごとに、放射線MSを運用するために必要な知識・技術、

学生時代に学習・習得する知識・技術、職場の教育で学習・習得する知識・技術を整理し、教育すべき事項を抽出し、研修プログラムをデザインした。

C. 研究結果

1. 放射線被ばく管理と防護教育の現状調査

①医療施設における放射線防護の管理と教育に関するアンケート調査

580 施設からの回答の分析の結果、放射線防護管理は診療放射線技師が 98.6%、放射線科医師 24.3% で担っていた。労働安全衛生マネジメントシステムの認識度は 55.3% であった。放射線防護研修は 91% の施設で定期的実施され、方法は院内イントラネット配信 51.9%、集合型 22.9%、外部インターネット 19.8% が中心だった。研修における課題は、受講率の低さ 41.6%、講義内容 23.4%、講師不在 17.6% であった。放射線管理区域への立入り措置は、ポケット線量計装着 77.4%、台帳記録 47.2%、措置無し 16.6% だった。

②看護専門学校における放射線被ばく防護教育等に関する予備調査

対象施設 92 校のうち 28 校 (回答率 30.4%) から回答を得た。「放射線被ばく防止の実施」に関する教育 (講義・演習のいずれか) を行っている施設は 25 校 (89.3%) であり、3 校 (10.7%) は実施していなかった。教育内容のうち「講義」を実施している施設は 25 校 (100%)、「演習」を実施している施設は 4 校 (16.0%) と演習の実施率は講義に比べて大幅に低かった。

2. 職業被ばくにおける放射線障害の実状調査

①脊椎外科医を対象とした被ばく管理・防護状況と放射線障害に関する実態調査

個人線量計の配布はされているものの、

特に手指被ばく線量計の未配布や鉛手袋の低い使用率が確認された。また、皮膚写真撮影を通じて、放射線障害が疑われる症例も複数確認された。

②整形外科医らの職業被ばくの実態

162 人が検診に参加し、勤務年数の中央値は 23 年であった。水晶体微小混濁が 32 人 (20%)、白内障が 32 人 (20%) にみられ、合計 64 人 (40%) が白内障性変化を有していた。爪甲色素線条もしくは手荒れの有病は 62 人 (38%) であった。手を直接被ばくし得る手技件数は手術室で中央値 70 件 (四分位範囲 20-123)、透視室で 20 件 (0-60) であった。

③医療従事者の逆行性線量評価推定における推定モデルの検討

元の生データの推定、及び推定された生データより頻度分布を推定することで、適切なパラメータの数値が推定可能か検証した。対数正規分布による推定を行うことで、文献値の示す統計量を非常によく再現することができた。

3. 被ばく線量の実測評価

①気管支鏡検査に従事する医師の水晶体被ばくの評価

水晶体被ばく線量が 20mSv/年を超える医師がいることや、10mSv/年に近い医師も多くいることが明らかになった。また、手技件数、透視時間、撮影回数、患者の BMI すべてにおいて、水晶体被ばく線量と正の相関が見られた。特に、手技件数、透視時間、の相関が強く、水晶体被ばく線量の予測に使える可能性が示唆された。

②線量限度引き下げ前後の心臓血管カテーテル手技における医師の水晶体被ばく線量

水晶体用線量計を用いて計測した、防護

メガネの遮蔽効果を考慮した 3mm 線量当量において線量限度引き下げ前後ともに年間 20mSv を超過する医師を確認した。手技 1 件当たりの線量は平均値に増加が見られたものの有意差は確認できなかった。頸部個人線量計は水晶体被ばく線量を過大評価していることが確認できたが、頸部個人線量計と水晶体用線量計は相関が認められた。頸部個人線量計で計測された $70\mu\text{m}$ 線量当量から防護メガネを考慮した水晶体の 3mm 線量当量が推算可能であるといえる。これらの相関関係に関しては線量限度引き下げ前後で大きな変化はなかった。

③病床規模が心血管系 IR 看護師の立ち位置に及ぼす影響

病床規模が小さい病院ほど X 線照射野と IR 看護師の立ち位置との間の距離は短くなり、水晶体等価線量が高かったことを明らかにした。そして 病床規模が X 線照射野と IR 看護師との間の距離に影響を及ぼすという仮説を提唱した。

④整形外科領域における被ばく線量実測調査

脊椎手術および大腿骨手術では、側面透視による散乱線の影響で水晶体・甲状腺部の被ばくが高値を示した。一方、神経根ブロックおよび手外科手術では、直接 X 線による示指部の被ばくが顕著であった。

4.教材開発

①放射線防護板の適切な使用に関する教材の開発

本アプリケーションでは患者の断面画像や術者の影響による散乱線の減弱を視覚的に確認できた。しかし、モンテカルロシミュレーションと比較すると、線量プロファイルが完全には一致せず、特に寝台や X 線管、ヘッド部分からの散乱線の影響を正確に考

慮する必要があることが分かった。

②放射線防護のためのゲーミフィケーションプロダクトとデジタルプロテクションツールの開発

模擬線源とスマートフォンを用いた疑似的な教育セッションを実施し、放射線に対する心理的抵抗感の軽減や防護行動の理解促進に資する可能性を確認した。

5.被ばく低減対策の技術的検討

①Mixed Reality 技術を活用した放射線防護教育ツールの開発

血管撮影室における散乱線の空間線量分布について、MR ゴーグルで可視化するツールを作成した。看護師や若手医師において散乱線の分布に対する理解が向上したことが示された。

②末梢血管治療 (EVT) を行う医師のリアルタイム線量測定

対象症例では、天吊り防護板が術者の背後に位置していた場面や、DSA 実施時に処置室内で撮影を行っていた場面で線量率が顕著に上昇し、最大で約 7 mSv/h に達した。手技全体の総線量は 97 μSv であり、術者の行動様式や装置との相対位置が被ばくに大きく影響することが示された。

6.放射線マネジメントシステム (MS) による被ばく管理と教育

G1 研修は、放射線 MS においてリーダーシップを発揮するために必要な事項にしぼり、30 分を想定した。G2-1 研修は、放射線 MS 運用の要となる者が対象の研修で、概念編 30 分、実践編 30 分の構成とした。G2-2 は G2-1 の補助的な役割を果たすため、G2-2 研修は G2-1 研修を 30 分に凝縮した構成とした。G3 研修は、システムマニュアルで示される手順を理解し現場の管理者・管理の実務者

の指示に従い行動することに必要な事項とし、20～30分を想定した。G4研修は、独立した助言者としての役割を果たすために放射線MSの理解を深める事項を中心に30分を想定した。

D. 考察

1.放射線被ばく管理と防護教育の現状調査

①医療施設における放射線防護の管理と教育に関するアンケート調査

医療施設の放射線防護管理は、診療放射線技師は主導的役割を担っていた。しかし、放射線防護教育においては「講師の不在」、「受講率の低迷」、「講義内容の選定困難」といった課題が明らかとなり、教育体制の継続性や実効性は依然として施設間格差があることが示唆された。今後、放射線防護教育の質の確保には、教材の標準化やICTの活用、継続教育プログラムの導入など、体制的整備が求められる。

②看護専門学校における放射線被ばく防護教育等に関する予備調査

看護師養成課程における放射線被ばく防止教育は、講義の実施率が高い一方で、演習の実施率が低いことが明らかとなった。これは、看護基礎教育が過密なカリキュラムの中で運営されていることに加え、演習に必要な教材や設備の不足、指導者の確保が難しいといった現場の実情を反映していると考えられる。

2.職業被ばくにおける放射線障害の実状調査

①脊椎外科医を対象とした被ばく管理・防護状況と放射線障害に関する実態調査

考案した撮影法は概ね有効であったが、追加撮影が必要なケースもあり、さらなる最適化が求められる。これらの結果は、放射線被ばく防護教育の強化や、適切な線量管

理・防護具の使用促進の必要性を示唆している。今後、調査対象を拡大し、医療従事者の被ばくリスクの低減に向けた実践的な対策を検討することが求められる。

②整形外科医らの職業被ばくの実態

本研究では162名の参加者中1名に手部皮膚がんが確認された。より広範な高リスク群を対象とした調査により、驚くべき結果が得られる可能性がある。

③医療従事者の逆行性線量評価推定における推定モデルの検討

対数正規分布による推定を行うことで、文献値の示す統計量を非常によく再現することができた。だが、医療従事者の遡及的な被ばく線量推定（逆行性線量推定）では、対数正規分布を採用することとしたいが、データが極端に少ない場合は、カーネル密度推定の利用も検討する必要がある。

3.被ばく線量の実測評価

①気管支鏡検査に従事する医師の水晶体被ばくの評価

防護具を使用しない場合、比較的透視時間が短いとされている気管支鏡検査であっても、線量限度を超過してしまう可能性があると考えられる。そのため、被ばく低減策が必要であり、防護具の使用を推奨するが、現在、気管支鏡検査に適した防護具は無く今後の開発が必要である。

②線量限度引き下げ前後の心臓血管カテーテル手技における医師の水晶体被ばく線量

治療を主に行う医師は診断を主に行う医師と比較して相関が強いことが明らかになった。治療を主に行う医師では頸部線量からより正確な水晶体3mm線量当量を推測することが可能である一方、水晶体線量が多いため水晶体用線量計を使用した直接的な

3mm 線量当量の計測が望ましい。

③病床規模が心血管系 IR 看護師の立ち位置に及ぼす影響

IR 手技を担当する術者の数や X 線照射野と IR 看護師との間の距離が病床規模に影響を受けることが明らかとなった。さらには、病院の種類、救急医療体制、年間 IR 実施回数、医療機材の配置場所、IR 看護師の立ち位置の方向についても、病床規模との関連性が示唆された。

④整形外科領域における被ばく線量実測調査

脊椎や大腿骨手術では散乱線による水晶体・甲状腺の被ばくが無視できず、鉛入り眼鏡や頸部シールドの着用が強く推奨される。一方、神経根ブロックや手外科では手指の直接被ばくが問題となり、透視中の手指位置や器具の工夫、防護用手袋の導入などの対策が必要である。

4.教材開発

①放射線防護板の適切な使用に関する教材の開発

本計算手法による線量プロファイルとモンテカルロシミュレーションによる線量プロファイルは一致しなかった。この原因として寝台や X 線管、ヘッド部分の内部からの散乱線の吸収や広がりに関する設定が不十分であり、装置の詳細な構造やベクトル情報の取得方法について再考する必要がある。

②放射線防護のためのゲーミフィケーションプロダクトとデジタルプロテクションツールの開発

教育用アプリ「USOTOPE」は、測定値の信頼性、表示応答の速度、ユーザーの操作動線における挙動の再現性の観点から、距離による被ばく線量変化を定量的に提示できる訓

練装置として成立できる。今後さらに、測定単位、数値の変化幅（レンジ）、しきい値警告といった設定項目を臨床現場のニーズに合致させつつ追加実装する必要がある、

5.被ばく低減対策の技術的検討

①Mixed Reality 技術を活用した放射線防護教育ツールの開発

看護師においては、MR 体験による学習効果の上昇が有意差をもって認められた。MR は 3D 空間で視覚的に体験できるため、実際の状況に近い感覚で学習が進みやすいと考えられる。看護師は臨床現場で施術者の次に血管撮影装置付近で作業をする機会が多いため、その動線上の空間線量分布を可視化する MR による学習が受け入れやすかった可能性がある。

②末梢血管治療（EVT）を行う医師のリアルタイム線量測定

対側アプローチによる骨盤部通過や手技時間の長さも被ばく線量の増加に寄与する可能性が示唆された。これらの結果から、術中の防護具配置に加え、術者の行動や認識の改善が放射線防護上きわめて重要であることが明らかとなった。

6.放射線マネジメントシステム(MS)による被ばく管理と教育

導入のハードルを低くし、比較的短期間にシステム構築と導入を行うことができる研修プログラムをデザインした。しかし、放射線 MS は、医療機関の理事長や院長等の経営トップ層のリーダーシップがなければ有効に機能しない。適切な管理が一部の医療機関に止まっている状況があり、今後、経営トップ層の認識を向上させるための取り組みが必要と考える。

E. 結論

放射線被ばく管理と防護教育の現状調査結果から、一定水準の放射線安全管理が図られていることが示唆されたが、放射線防護教育の講師不足や受講率の課題、眼の水晶体線量計の装着率の低さ、防護メガネなどの防護備品の整備状況には大きな施設間格差が存在することが明らかになった。

職業被ばくにおける放射線障害の実状調査については、考案した撮影法は概ね有効であったが、さらなる最適化が今後の課題として考えられた。また、アンケートの結果から、手指の被ばく線量管理が不十分であり、防護具の使用率が低いことが明らかとなった。さらに、皮膚写真より有所見の存在が認められた。また多くの脊椎外科医において散乱線による白内障性変化、直接線による手部慢性炎症が示唆された。整形外科医および脊椎外科医に対する被ばく防護の推進、すなわち線量測定の普及、保護具の使用や防護行動の推進は喫緊の課題である。医療従事者の逆行性線量評価推定における推定モデルの検討については、元データは、対数正規分布を推定することで復元を試み、元データの分布を推定する手法として、対数正規分布による推定を行うことで、文献値の示す統計量を非常によく再現することができた。

被ばく線量の実測評価に関して、気管支鏡検査に従事する医師が水晶体の等価線量限度を超過する可能性があることや、手技件数、透視時間、撮影回数、患者のBMIが危険因子となっている可能性があることが明らかとなった。心臓血管カテーテル手技に携わる医師の眼の水晶体被ばく線量は線量限度が引き下げられても大きな変化は認め

られず、防護具の使用方法の最適化や新たな防護具の開発などの防護策の再検討が必要であるといえる。また、頸部個人線量計は水晶体被ばく線量を過大評価する可能性があるため、水晶体用線量計を用いて評価することが望ましい。また病院規模並びに病床規模に影響を受けるこれらの要素を総合的に考えることで、心血管系IR看護師の職業被ばくリスク評価が実施可能になれば、リスクが高い病院に勤務するIR看護師への個別・優先的な被ばく低減策が講じることができるとおもわれる。一方、整形外科領域における被ばく線量実測調査については、X線透視の使用場面に応じて、医療者の被ばく部位とその強度は大きく異なることが明らかとなり、これらの結果は、手技ごとの防護対策の優先順位を再評価する上で有用である。

教材開発については、今回の開発により、放射線防護対策を視覚的に支援する可能性が示されたが、今後の改善が必要である。また直感的学習と、装着型線量モニタによる即時フィードバックを組み合わせることで、知識獲得にとどまらない行動変容支援の可能性が示された。

被ばく低減対策の技術的検討については、MRゴーグル使用による放射線防護に関する知識の向上が医療従事者の安全意識を高め、患者や医療スタッフの安全性向上につながることを期待された。リアルタイム線量測定システムを活用してEVTにおける術者の放射線被ばく状況を明らかにした。その結果、術中の立ち位置や天吊り防護板の配置状況、DSA時の術者の行動などが被ばく線量に大きく影響することが確認された。

放射線マネジメントシステム (MS) による被ばく管理と教育については、放射線 MS 導入支援の一環として、役割ごとに必要な知識を整理し、実効性と現実性を両立させた研修プログラムのデザインを行った。今後は、本プログラムを実際の研修に展開し、効果の検証を通じて内容を改訂することで、多様な医療機関に適応可能な教育体系として確立させることを目指す。

F. 論文報告

1. Tomoko Kuriyama, Takashi Moritake*, Go Hitomi, Koichi Nakagami, Koichi. Morota, Satoru Matsuzaki, Hajime Sakamoto, Kazuma Matsumoto, Mamoru Kato, Hiroko Kitamura. Influence of hospital bed count on the positioning of cardio-vascular interventional radiology (IR) nurses: Online questionnaire survey of Japanese IR-specialized radiological technologists . Nursing Report. 15(1), 11, 2025, Jan. 2
2. Hijikata Y, Yamashita K, Hatsusaka N, Nagata T, Kitamura H, Morota K, Matsuzaki S, Nakagami K, Hitomi G, Kuriyama T, Kowatari M, Chida K, Sasaki H, Moritake T. Prevalence of Cataractous Changes in the Eyes and Chronic Inflammatory Changes in the Hands Among Spine Surgeons. J Bone Joint Surg Am. 107(7), e25, 2025
3. 喜多村絃子, 中上晃一. 医療機関における放射線業務従事者の被ばく線量管理の課題-放射線マネジメントシステム導入支援事業参加機関へのアンケート調査. 産業衛生学雑誌, in press, 2025
4. Katsumi Shozugawa, Mayumi Hori, Thomas E. Johnson, Yo Ishigaki, Yoshinori Matsumoto. Projections of future ambient dose rates in a mountainous area in the

Fukushima evacuation zone, Japan. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 334(5), Online, 2024.10

5. 高平咲希, 芳賀喜裕, 曾田真宏, 阿部美津也, 加賀勇治, 木村雄一郎, 稲葉洋平, 千田浩一. X 線透視下での気管支鏡検査における医師の水晶体被ばくの評価. 日本放射線安全管理学会, 23(2), 62-69, 2024 年 12 月 doi: 10.11269/jjrsm.23.51
6. Sagehashi K, Haga Y, Takahira S, Tanabe M, Nakamura M, Sota M, Kaga Y, Abe M, Tada N, Chida K. Evaluation of radiation dose to the lens in interventional cardiology physicians before and after dose limit regulation changes. J Radiol Prot. 2024 Sep 2; 44(3). 031512, doi: 10.1088/1361-6498/ad6f19
7. 永田 竜朗, 栗山 知子, 喜多村 絃子, 盛武 敬, 近藤 寛之: 医療放射線業務従事者の放射線白内障の実態 (Verification of Radiation Cataract in Medical Radiation Workers) 日本眼科学会誌. (in print)

G. 研究発表

分担報告書の記載の通り。

H. 知的所有権の取得状況

ありません。

II. 分担研究報告

令和 6 年度(2024 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

医療施設における放射線防護の管理と教育に関するアンケート調査

研究分担者 富田博信（帝京大学医療技術学部・教授）
小野孝二（東京医療保健大学東が丘看護学部/大学院看護研究科・教授）
研究協力者 金子順一（駒澤大学医療健康科学部・教授）
新井知大（駒澤大学医療健康科学部・准教授）
小林隆幸（帝京大学医療技術学部・講師）
城處洋輔（済生会川口総合病院放射線科部・診療放射線技師 副技師長）
森 一也（済生会川口総合病院放射線科部・主任診療放射線技師）

研究要旨

2011 年の国際放射線防護委員会の勧告を受け、本邦では、2021 年 4 月 1 日に電離放射線障害防止規則における放射線作業従事者の眼の水晶体に対する等価線量限度は 150mSv/年から 50mSv/年かつ 100mSv/5 年に改定された。これに伴い、医療現場における放射線管理の重要性は一層高まっている。

本研究は、全国の医療施設の診療放射線技師を対象に放射線防護管理の状況と医療従事者に対しての放射線防護教育に関するアンケート調査を実施し、現況の課題を整理することを目的とした。

令和 6 年度は、580 施設からの回答の分析の結果、放射線防護管理は診療放射線技師が 98.6%、放射線科医師 24.3%で担っていた。労働安全衛生マネジメントシステムの認識度は 55.3%であった。放射線防護研修は 91%の施設で定期的実施され、方法は院内イントラネット配信 51.9%、集合型 22.9%、外部インターネット 19.8%が中心だった。研修における課題は、受講率の低さ 41.6%、講義内容 23.4%、講師不在 17.6%であった。放射線管理区域への立入り措置は、ポケット線量計装着 77.4%、台帳記録 47.2%、措置無し 16.6%だった。不均等被ばく管理ができない理由は、装着忘れ 44%、予算不足 36.3%などであった。眼の水晶体モニタリングで近傍装着は 47.2%、線量限度超過対策では防護指導 68%、水晶体線量計追加 35%、対策なし 16%であった。防護品の不足は防護メガネ 28.6%、防護手袋（デイスポ）24%などが挙げられた。防護衣の点検・メンテナンスは診療放射線技師が 99.1%で実施していた。防護メガネ装着率は医師 85%、診療放射線技師 45%、看護師 43.3%で、整備率は放射線科 61%、循環器内科 42%などであった。診療科別の着用率は循環器内科 55.5%、放射線科 50.9%、消化器内科 49%などで、CT 検査介助時の防護メガネ常時着用は 7.2%に留まった。

本研究により、医療現場においては定期的な放射線防護教育の実施や不均等被ばくへの対応、個人線量計の装着状況などから、一定水準の放射線安全管理が図られていることが示唆された。しかしながら、放射線防護教育の講師不足や受講率の課題、眼の水晶体線量計の装着率の低さ、防護眼鏡などの防護備品の整備状況には大きな施設間格差が存在していた。これらの課題は、法令遵守のみならず、被ばく低減と医療の質を両立させるうえで看過できない問題であり、教育内容の標準化、職種間連携の強化、装備体制の整備を含めた包括的な対策が求められる。

A. 研究目的

本研究は、全国の医療施設の放射線防護管理の状況と医療従事者に対しての放射線防護教育に関する現況の課題を整理することを目的とした。

B. 研究方法

本研究は、全国の医療施設の診療放射線技師を対象に日本診療放射線技師会、47 都道府県診療放射線技師会、診療放射線技師職域団体の協力を得てオンラインフォーム（Google フォーム）よりアンケート調査を実施した。実施期間は2025年2月7日から2025年3月31日の51日間とした。主なアンケート項目の内容は、施設概要、放射線防護管理体制、放射線防護教育、個人線量計、放射線業務従事者の防護備品とした（別添資料）。

なお、本研究は帝京大学の倫理委員会の審査申請を行ったが、「人を対象としておらず施設を対象とした研究」であるため倫理審査不要との審査結果であった。

C. 研究結果

アンケート調査の結果、580 施設の医療機関の診療放射線技師から回答を得られた。

（1）施設の概要

1.1 病院区分

その他法人病院は124 施設（21.4%）、公的病院（赤十字、済生会、JCHO など）は112 施設（19.3%）、私立病院は87 施設（15%）、公立病院は78 施設（13.4%）、国立病院機構68 施設（11.7%）は、大学病院は67 施設（11.6%）、クリニック・有床診療所健診機関は25 施設（4.3%）であった。

1.2 病床数

「200～399 床」の施設が最も多く201 施設（34.7%）、「100～199 床」は118 施設（20.3%）、

「400～599 床」は105 施設（18.1%）、「600 床以上」は77 施設（13.3%）、「50～99 床」は37 施設（6.4%）、「0 床」は6 施設（1%）、「20-49 床」は10 施設（1.7%）「1～19」は6 施設（1%）であった。

（2）放射線防護管理体制

2.1 放射線防護管理体制を実施している職種

診療放射線技師が管理を担う施設が572 施設（98.6%）と圧倒的に多く、次いで放射線科医師が141 施設（24.3%）であった。看護部は30 施設（5.2%）、事務部門は56 施設（9.7%）と関与は少ないものの一定の割合で関与が認められた（図1）。

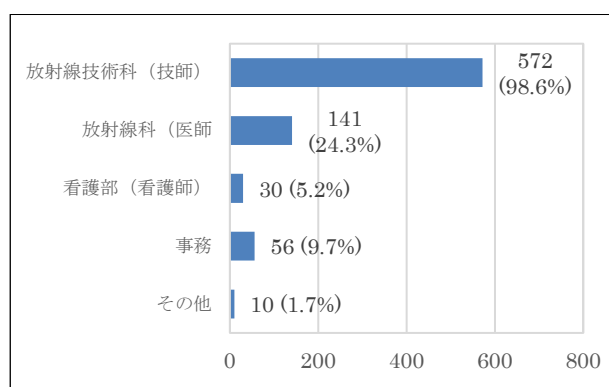


図1. 放射線防護管理を実施している職種

（3）放射線防護教育

3.1 労働安全衛生マネジメントシステムの認知

認知している施設は320 施設（55.3%）と半数を超えた。

3.2 定期的な放射線防護研修を実施

実施している施設は528 施設（91%）と高率であった。

3.3 防護教育研修の講師

診療放射線技師が496 施設（85.5%）で主に担当し、医師も161 施設（27.8%）で一定の割合を占めた。

3.4 研修の主な受講者

看護師は 519 施設 (89.5%)、診療放射線技師は 511 施設 (88.1%)、医師は 500 施設 (86.2%) であった。

3.5 研修の方法

集合型研修は 133 施設 (22.9%)、院内イントラネット配信方式は 296 施設 (51.9%)、インターネットを用いた外部研修は 115 施設 (19.8%) であった。

3.6 放射線防護教育で困っていること

講師の不在は 102 施設 (17.6%)、受講率が悪い 241 施設 (41.6%)、講義内容の選定が分からない 136 施設 (23.4%) に及んだ。

(図 2)。その他、少数解答は複数認められた。

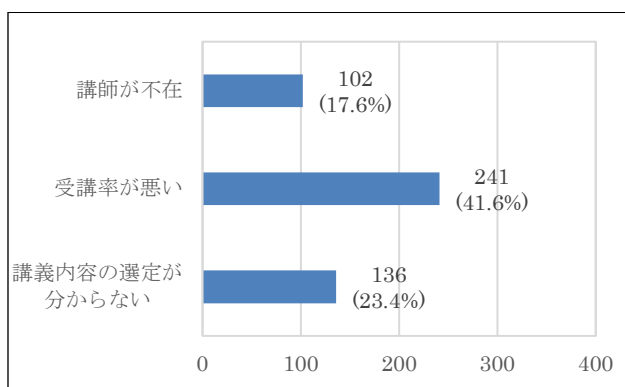


図 2. 放射線防護教育の課題

(4) 個人線量計の装着状況

4.1 個人線量計の装着状況

均等被ばくまたは不均等被ばく管理を実施している施設の職種は、診療放射線技師は 574 施設 (99.0%) で最も高く、次いで医師は 542 施設 (93.4%)、看護師は 489 施設 (84.3%)、臨床工学士は 344 施設 (59%) であった (図 3)。

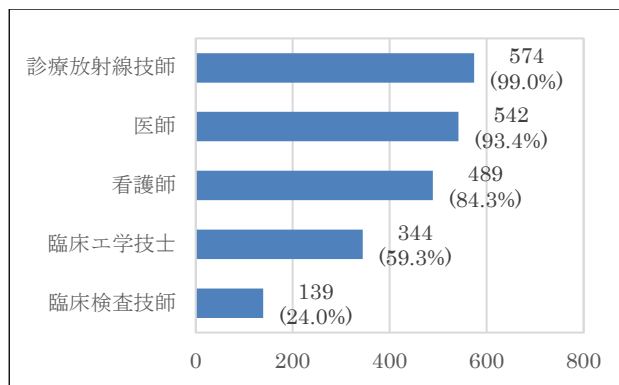


図 3. 個人線量計の装着状況

4.1 管理区域への一時的な立入りの措置ポケット線量計の装着は 449 施設 (77.4%)、台帳記録は 274 施設 (47.2%) と広く採用されている。一方で措置無しは 96 施設 (16.6%) であった。

4.2 均等被ばくのみを実施している施設の職種内内訳

看護師は 237 施設 (40.9%)、医師は 40.2%、診療放射線技師は 233 施設 (40.2%)、薬剤師は 4.8%、歯科衛生士は 1.2%、着用無しは 1% あった。

4.3 不均等被ばく管理を実施している職種

診療放射線技師は 530 施設 (91.4%)、医師は 502 施設 (86.6%)、看護師は 417 施設 (71.9%)、臨床工学技士は 286 施設 (49.3%)、臨床検査技師は 112 施設 (19.3%)、薬剤師は 23 施設 (4%)、言語聴覚士は 21 施設 (3.6%)、歯科衛生士は 8 施設 (1.4%) であった (図 4)。

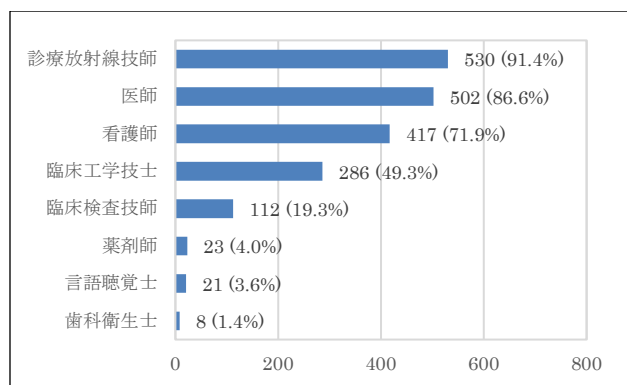


図 4. 不均等被ばく管理を実施している職種

4.4 不均等被ばく管理の実施状況

本人の装着忘れは 74 施設 (44%)、予算的な問題は 61 施設 (36.3%)、医師とのコミュニケーション不足は 11 施設 (6.5%)、手技の妨げは 8 施設 (4.8%) などが挙げられた (図 5)。

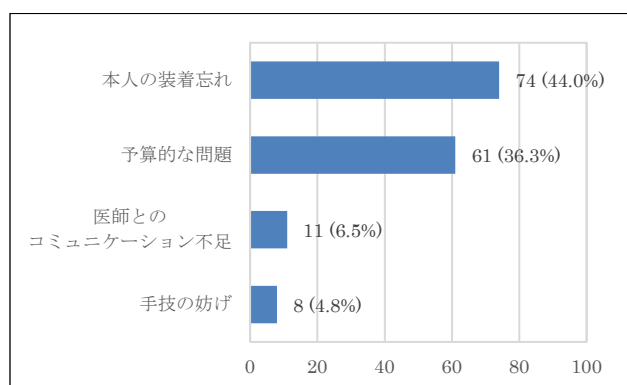


図 5. 不均等被ばく管理の実施状況

4.5 眼の水晶体専用線量計の使用

使用していない施設は 306 施設 (52.8%)

で使用している 274 施設 (47.2%) を上回った。

4.6 眼の水晶体専用線量計使用施設の職種内訳

医師は 259 施設 (94.2)、診療放射線技師は 54 施設 (19.6%)、看護師は 40 施設 (14.5%)、臨床工学技士は 10 施設 (3.6%)、臨床検査技師は 2 施設 (0.7%) に留まった (図 6)。

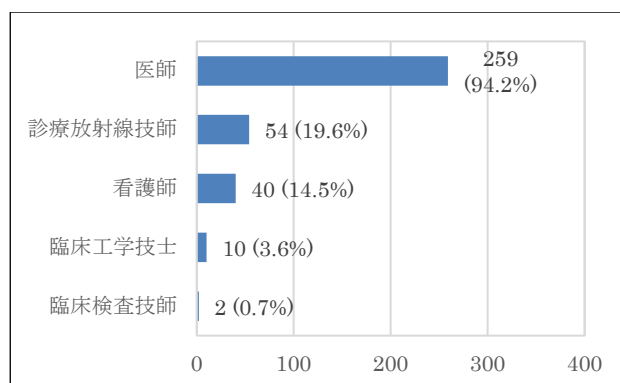


図 6. 眼の水晶体専用線量計使用施設の職種内訳

4.7 眼の水晶体の線量限度を超える恐れがある場合の対策

防護の指導 (介入) は 370 施設 (63.8%)、水晶体線量計の追加は 206 施設 (35.5%)、対策なしは 93 施設 (16%)、配置換えは 90 施設 (15.5%)、業務停止は 55 施設 (9.5%)、であった (図 7)。

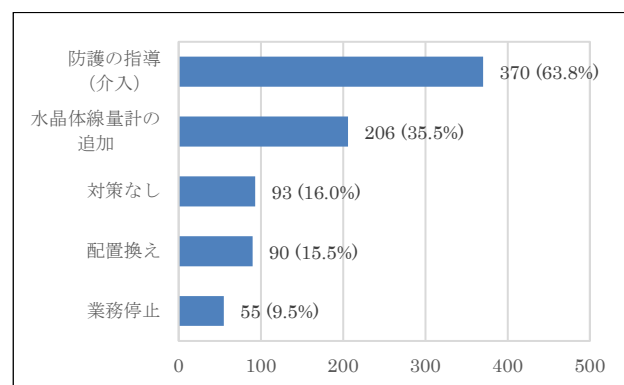


図 7. 眼の水晶体の線量限度を超える恐れがある場合の対策

(5) 放射線作業従事者の防護備品

5.1 防護具で不足しているもの

「不足なし」と回答した施設は 259 施設 (44.7%) で最多だった。一方、防護メガネの不足は 166 施設 (28.6%)、防護手袋 (デイスポ) 不足は 139 施設 (24%)、防護手袋不足は 120 施設 (20.7%)、ネックガード不

足は 97 施設 (15.9%)、防護版不足は 92 施設 (15.9%) であった (図 8)。

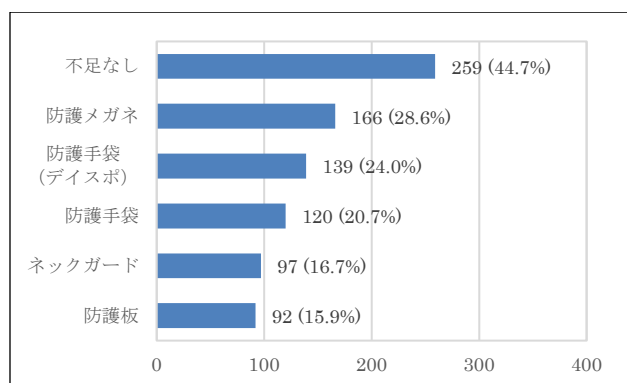


図 8. 放射線作業従事者の謀議品不足状況

5.2 防護衣の点検を行っている職種

診療放射線技師は 575 施設 (99.1%) で担当しており、看護師は 17 施設 (2.9%) に関与していた。

5.3 防護メガネを整備している職種

診療放射線技師は 424 施設 (73.1%)、医師は 278 施設 (47.9%)、看護師は 157 施設 (27.1%)、臨床工学技士は 61 施設 (10.5%) であった。

5.4 防護メガネを着用している職種

医師は 493 施設 (85.0%)、診療放射線技師は 266 施設 (45.9%)、看護師は 251 施設 (43.3%)、臨床工学技士は 97 施設 (16.7%)、臨床検査技師は 26 施設 (4.5%)、いずれの職種も着用していない施設は 33 施設 (5.7%) であった (図 9)。

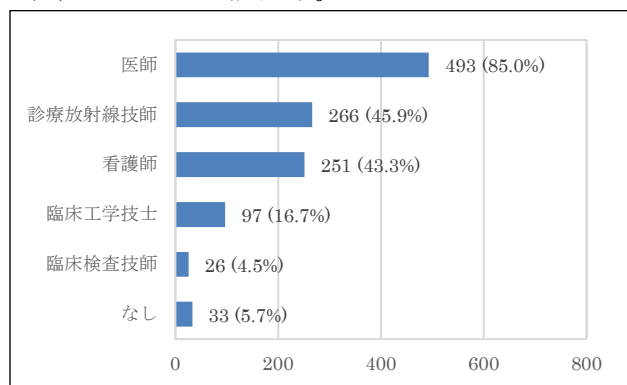


図 9. 防護メガネを着用している職種

5.5 防護メガネを整備している診療科

放射線科は整備 355 施設 (61.2%)、循環器内科は 245 施設 (42.2%)、消化器内科 194 は施設 (33.4%)、整形外科は 114 施設 (19.7%)、脳外科は 124 施設 (21.4%) で顕著であった。

5.6 防護メガネを使用している診療科

循環器内科は 322 施設 (55.5%)、放射線科は 295 施設 (50.9%)、消化器内科は 284 施設 (49%)、脳外科は 172 施設 (29.7%)、整形外科は 168 施設 (29%)、外科は 110 施設 (19%)、心臓外科は 91 施設 (15.7%)、小児科は 28 施設 (4.8%)、泌尿器科は 12 施設 (2.1%)、腎内科は 9 施設 (1.6%)、内科は 7 施設 (1.2%) であった。

5.7 CT 検査介助時の防護メガネ着用状況

「一部着用」は 173 施設 (29.8%)、「未着用」は 365 施設 (62.9%)、「常に着用」は 42 施設 (7.2%) であった (図 10)。

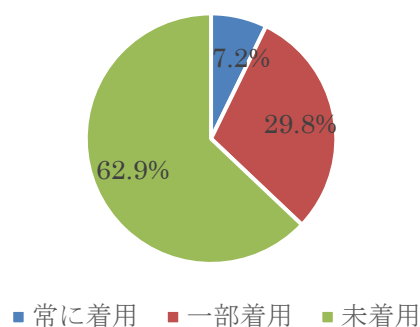


図 10. CT 検査介助時の防護メガネ着用状況

D. 考察

医療施設の放射線防護管理は、診療放射線技師は主導的役割を担っていた。しかし、放射線防護教育においては「講師の不在」、「受講率の低迷」、「講義内容の選定困難」といった課題が明らかとなり、教育体制の継続性や実効性は依然として施設間格差があることが示唆された。今後、放射線防護教育

の質の確保には、教材の標準化や ICT の活用、継続教育プログラムの導入など、体制的整備が求められる。

不均等被ばくを考慮した 2 個以上の個人線量計を装着している職種は、診療放射線技師は 91.4%と高く、他職種と比較して高い状況にあった。一方で、個人線量計の未装着の要因として「装着忘れ」や「医師とのコミュニケーション不足」などが挙げられており、個人レベルの意識改革と施設内の協働体制の双方に改善の余地はある。

眼の水晶体の線量計の着用率は全体の 47.2%に留まった。これは、2021 年の法令改正により眼の水晶体の等価線量限度の引き下げられた現状を踏まえると普及に向けた改善の余地はあると考える。さらに、CT 検査介助時の防護眼鏡の着用率においても、「常に着用」は 7.2%、「未着用」は 62.9%と防護措置の実施は十分でないことが明らかとなった。眼の水晶体の防護については、全職種において線量管理の徹底と防護眼鏡の着用の促進をおこなう必要がある。

防護備品の整備に関しては、防護眼鏡（28.6%）や防護手袋（24.0%）の不足が一定数の施設で見受けられ、予算的制約や装備管理体制の不備が示唆される。これらは放射線被ばく管理の物理的基盤に直結する問題であり、防護備品の整備状況を含めた包括的な安全管理体制の再構築が急務である。

E. 結論

本研究により、医療現場においては定期的な放射線防護教育の実施や不均等被ばくへの対応、個人線量計の装着状況などから、一定水準の放射線安全管理が図られていることが示唆された。しかしながら、放射線防護教育の講師不足や受講率の課題、眼の水

晶体線量計の装着率の低さ、防護メガネなどの防護備品の整備状況には大きな施設間格差が存在していた。これらの課題は、法令遵守のみならず、被ばく低減と医療の質を両立させるうえで看過できない問題であり、教育内容の標準化、職種間連携の強化、装備体制の整備を含めた包括的な対策が求められる。

F. 論文報告

特になし

G. 研究発表

特になし

H. 知的所有権の取得状況

特になし

令和 6 年度(2024 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

看護専門学校における放射線被ばく防護教育等に関する予備調査

研究分担者 小野孝二（東京医療保健大学東が丘/大学院看護研究科・教授）
富田博信（帝京大学医療技術学部・教授）
研究協力者 金子順一（駒澤大学医療健康科学部・教授）
新井知大（駒澤大学医療健康科学部・准教授）
大嶋可胡（駒澤大学大学院・修士課程）

研究要旨

令和 6 年度(2024 年度)は、全国の看護専門学校および看護師養成所を対象に放射線教育の実施状況を調査した。本調査は、令和 7 年度に予定されている全国調査に先立つ予備調査として実施したものである。

2018～2019 年に厚生労働省の「看護基礎教育検討会」において、看護師に必要な能力や教育内容の見直しが実施され、2020 年に「保健師助産師看護師学校養成所指定規則」等が改正された。2022 年度からの新カリキュラムでは、「地域・在宅看護論」などの強化により、総単位数は 97 単位から 102 単位に増加した。しかし、看護養成校における 3 年間の教育課程はすでに過密化しており、実習時間も従来の半分程度に短縮されるなどの課題が指摘されている。新カリキュラムにおいては「放射線の被ばく防止策の実施」が演習および実習項目として規定され、卒業時には最も高い到達レベル「I（モデル人形・学生間で実施可、単独で実施可）」を満たすことが求められている。

日本看護学校協議会教材開発プロジェクト 2019 年および 2020 年に実施した調査によると、当該項目の実施率は 32.5%と全体でワースト 4 位であり、十分に教育が実施されていない現状が明らかになっている。このような背景を踏まえ、今後の看護基礎教育においては、放射線業務に関する教育の充実を図るとともに、看護学校の負担軽減につながる支援体制の強化が求められる。

本調査では、対象施設 92 校のうち 28 校（回答率 30.4%）から回答を得た。「放射線被ばく防止の実施」に関する教育（講義・演習のいずれか）を行っている施設は 25 校（89.3%）であり、3 校（10.7%）は実施していなかった。教育内容のうち「講義」を実施している施設は 25 校（100%）、「演習」を実施している施設は 4 校（16.0%）と演習の実施率は講義に比べて大幅に低かった。本調査の結果、看護師養成課程における放射線被ばく防止教育は講義の実施率が高い一方で演習の実施率が低いことが明らかとなった。

A. 研究目的

医療施設等における看護師は多岐にわたる業務に従事する中で、診療放射線を扱う業務にも関与する機会がある。一方、看護教育における放射線関連の学習機会は限定的である。新カリキュラムにおいては「放射線の被ばく防止策の実施」が演習および実習項目として規定され、卒業時には最も高い到達レベル「I（モデル人形・学生間で実施可、単独で実施可）」を満たすことが求められている。しかしながら、日本看護学校協議会教材開発プロジェクトが 2019 年および 2020 年に実施した調査によると、当該項目の実施率は 32.5%と全体でワースト 4 位であり、十分に教育が実施されていない現状が明らかになっている。このような背景を踏まえ、今後の看護基礎教育においては、放射線業務に関する教育の充実を図るとともに、看護学校の負担軽減につながる支援体制の強化が求められる。本調査では、看護師養成学校における放射線教育の実施状況を把握することを目的に「アンケート調査」を実施した。本調査は、令和 7 年度に予定されている全国調査に先立つ予備調査として実施したものである。

B. 研究方法

本調査は、全国の看護専門学校および看護師養成所 92 施設を対象に実施した。調査対象は、地域的な偏りを避けるため各都道府県から 2 施設ずつ無作為に抽出した。

本調査では、看護師養成学校における放射線教育の実施状況を把握することを目的に、「アンケート調査」を実施した。アンケートは、郵送にて QR コードを送付し、オンラインフォーム（Google フォーム）により回答を収集した。設問は、放射線被ばく防止教育の実施状況、教育方法、担当者の専門分

野、実施時間、使用教材、教育上の課題などに関する内容で構成した。なお、具体的な設問内容については別添資料に記載する。

C. 研究結果

本調査では、対象施設 92 校のうち 28 校（回答率 30.4%）から回答を得た。

（1）放射線被ばく防止教育（講義・教育）の実施状況

「放射線被ばく防止の実施」に関する教育（講義・演習のいずれか）を行っている施設は 25 校（89.3%）であり、3 校（10.7%）は実施していなかった（図 1）。教育内容のうち「講義」を実施している施設は 25 校（100%）、「演習」を実施している施設は 4 校（16.0%）と演習の実施率は講義に比べて大幅に低かった（図 2,図 3）。

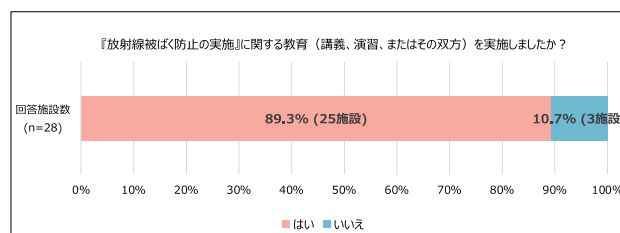


図 1

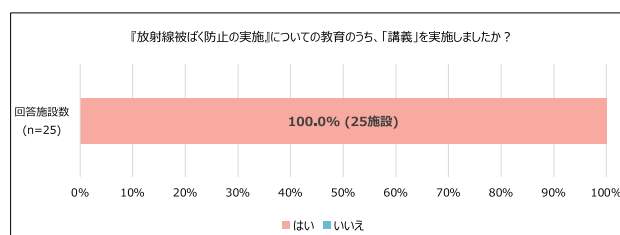


図 2

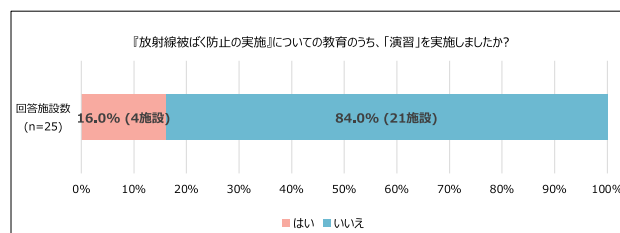


図 3

（２）放射線被ばく防止教育に係る「講義」の担当者の専門分野

講義を実施している担当者は、看護師 15 校（60.0%）、医師 5 校（20.0%）、診療放射線技師 4 校（16.0%）、その他（看護師教員と放射線診断医が共同で担当）1 校（4.0%）であった（図 4）。

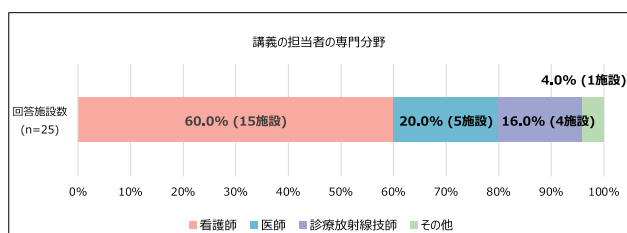


図 4

（３）放射線被ばく防止教育に係る「講義」の担当者の勤務形態

講義を担当する教員の勤務形態は、常勤教員は 16 校（64.0%）、非常勤教員は 9 校（36.0%）であった（図 5）。

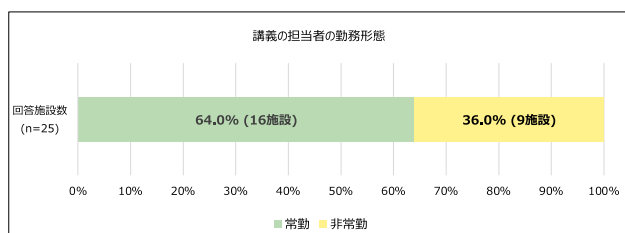


図 5

（４）放射線被ばく防止教育に係る「講義」の実施時間

講義の実施時間は、30 分未満：2 校（8.0%）、30 分以上 60 分未満：7 校（28.0%）、60 分以上 90 分未満：7 校（28.0%）、90 分以上 120 分未満：7 校（28.0%）、120 分以上：2 校（8.0%）であった（図 6）。

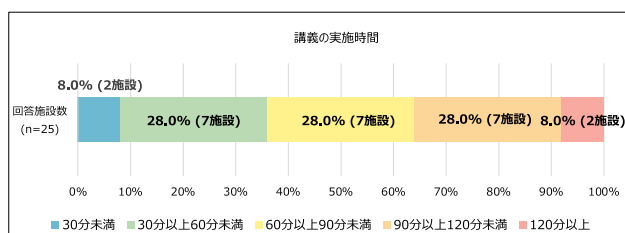


図 6

（５）演習の実施状況と担当者

演習を実施している施設数は全体のうち 4 校（16.0%）である。そのうち「演習」を実施している担当者は、看護師 3 校（75.0%）診療放射線技師 1 校（25.0%）、その他（診療放射線技師とがん放射線療法看護師認定看護師が共同で担当）1 校（25.0%）であった（図 7）。

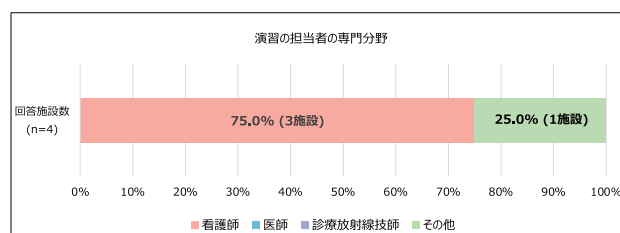


図 7

（６）放射線被ばく防止教育に係る「演習」の担当者の勤務形態

演習を担当する教員の勤務形態は、常勤教員は 3 校（75.0%）、非常勤教員は 1 校（25.0%）であった（図 8）。

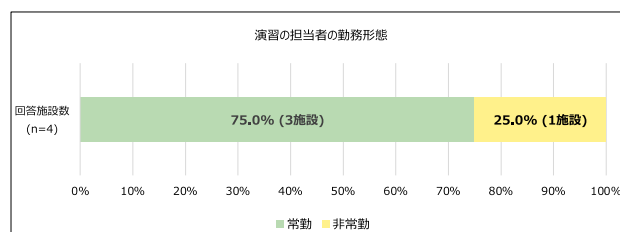


図 8

（７）放射線被ばく防止教育に係る「演習」の実施時間

演習の実施時間は、30 分未満：2 校（50.0%）、30 分以上 60 分未満：1 校（25.0%）、60 分以上 90 分未満：1 校（25.0%）であった（図 9）。

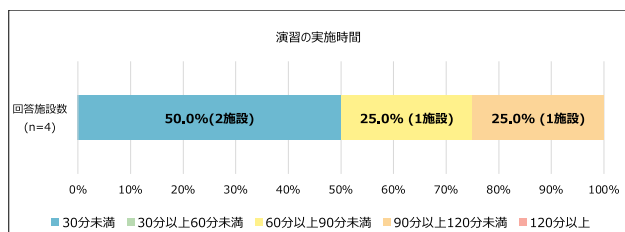


図 9

(8) 放射線被ばく防止の教育（講義・教育）の実施内容

放射線被ばく防止教育に関する実施内容において、外部被ばく防護の三原則（距離・遮蔽、時間）は最も多く、次いで放射線の影響、放射線防護のための安全対策、放射線の単位と続いた（図10）。

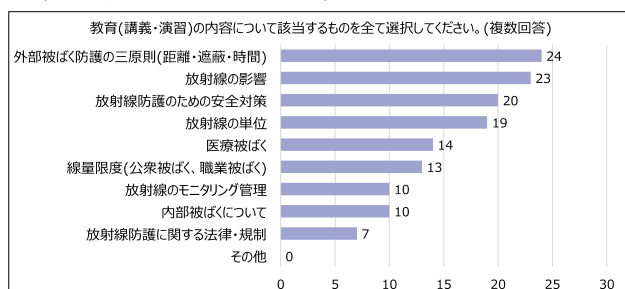


図 10

(9) 放射線被ばく防止の教育に関する教材の整備予定

放射線被ばく防止教育に関する教材整備予定については、最も多く挙げられたのは「放射線防護マニュアル(教科書)」であり、次いで「放射線に関するDVD教材」、「放射線防護衣」が続いた（図11）。その他の項目については、16件の施設は「整備の予定がない」と回答しており、その理由としては、以下のような具体的な記述があった。

- 実験セットおよび測定器の整備は金額面で実現困難であり、無料レンタルで対応している。
- 担当者が機材を持参してくる。

これらの回答は、施設ごとの予算や設備の整備状況に基づいており、今後の整備計画

において重要な参考となる。

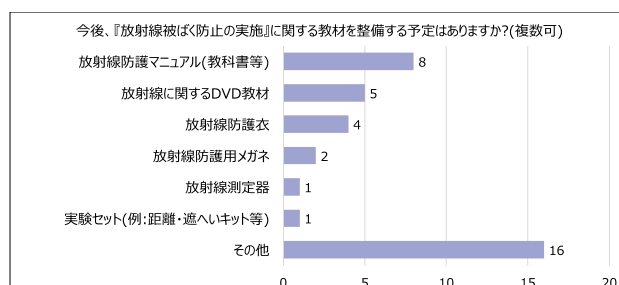


図 11

(10) 放射線被ばく防止の教育上の課題

放射線被ばく防止教育に関する教育上の課題については、最も多く挙げられたのは「演習方法」であった（図12）。次いで「教員の確保」、「演習教材の不足」、「学生の理解度」が続いた。その他の項目については、8件の施設が「整備の予定がない」と回答しており、その理由としては、以下のような具体的な記述があった。

- コロナ禍以前は病院内で演習を行っていたが、現在は感染防止のため実施していない
- 放射線治療以外に看護視点で学ぶ分野を検討していない

これらの結果から、教育の実施においては一部施設で困難がある一方、特に問題を感じていない施設も存在しており、放射線教育の不足や必要性を感じていない施設も見受けられた。

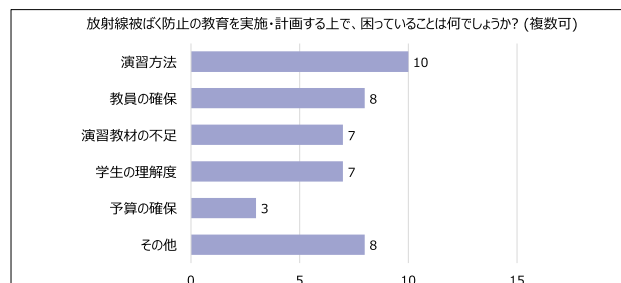


図 12

(11) 放射線被ばく防止の教育上の課題 2025 年度に放射線被ばく防護の「演習」を

予定している施設は5件(17.9%)、予定していない施設は23件(82.1%)であった(図13)。予定していない理由としては、以下のような具体的な記述があった。

- 演習に関する時間及び資機材等の不足
- 演習の必要性を感じていない(シラバスに計画されていない教員間のコンセンサスが不十分)
- 臨地実習で対応している(外部講師に依頼している)
- 演習はせず講義のみで対応する

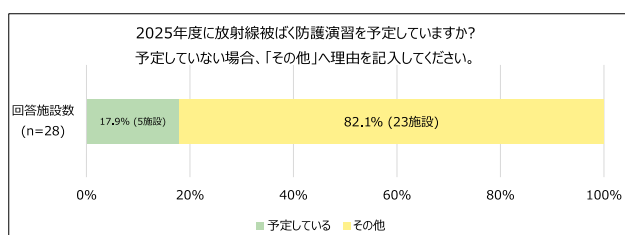


図 13

以上のことから課題を整理し、以下に示す。

○ 演習の実施率が低い背景

- 放射線に関する演習の導入には、専用の教材・設備の整備が必要である。しかし、コスト面や時間的制約により導入が進んでいない。
- 指導できる教員の確保が難しく、放射線教育の専門性を備えた人材が限られている。

○ 教材整備・教育資源の不足

- 放射線防護に関する演習教材の確保が難しく、特に放射線測定器や実験セットなどの機材は高額であり、各学校が独自に準備するには負担が大きい。
- 演習の具体的な実施方法に関する知見が十分に共有されておらず、実施に向けた指導方法の標準化が求められる。

○ 看護学校の負担軽減と質の向上の両立

- 過密なカリキュラムの中で放射線教育の強化を求めることは、指導者の負担をさらに増やすことにつながる。
- 現場の負担を増やすことなく、効果的な放射線教育を広域的に展開するための仕組みが必要である。

D. 考察

本調査の結果、看護師養成課程における放射線被ばく防止教育は、講義の実施率が高い一方で、演習の実施率が低いことが明らかとなった。これは、看護基礎教育が過密なカリキュラムの中で運営されていることに加え、演習に必要な教材や設備の不足、指導者の確保が難しいといった現場の実情を反映していると考えられる。また、看護学校の教育体制は、現場の実務に即した多様な知識や技術を涵養することを求められる一方で、限られた時間と人員の中で指導を行う必要がある。

このような状況下において、放射線教育の拡充を個々の学校単位で完結させることは難しく、外部機関との連携を強化し、体系的な支援体制を構築することが不可欠であると考えられる。

解決に向けた支援体制の構築としては、看護学校が単独で放射線教育を充実させるのではなく、外部の専門機関と連携し、支援体制を整備することが重要である。特に、以下のような協力機関との連携を強化することで、看護教育の質を向上させつつ、教育現場の負担を軽減できる可能性がある。

E. 結論

本調査は、看護師養成学校における放射線教育の現状を把握するための予備調査として実施した。その結果、放射線被ばく防止

教育は講義中心で進められている一方で、演習の実施率が低いことが明らかとなり、教育体制の課題や支援の必要性が浮き彫りとなった。今後は、調査対象をさらに拡大し、より多くの施設の実態を反映した大規模調査を実施することで、看護教育全体における放射線教育の課題をより詳細に明らかにする必要がある。

F. 論文報告

特になし

G. 研究発表

特になし

H. 知的所有権の取得状況

特になし

看護師養成学校における放射線教育に関するアンケート

本アンケートは、看護師養成学校における放射線教育の実施状況を把握することを目的としています。
ご協力のほど、よろしくお願いいたします。

1. 『放射線被ばく防止の実施』についての教育を実施しましたか？

はい

いいえ

※「いいえ」の場合、7の質問へお進みください。

2. 『放射線被ばく防止の実施』について「講義」を実施しましたか？

はい

いいえ

※「いいえ」の場合、4の質問へお進みください。

3. 講義の担当者についてお聞かせください。

3-1. 担当者の専門分野

看護師

医師

診療放射線技師

その他（ ）

3-2. 担当者の勤務形態

常勤

非常勤

3-3. 講義時間

30分未満

30分以上 60分未満

60分以上 90分未満

90分以上 120分未満

120分以上

3. 『放射線被ばく防止の実施』について「演習」を実施しましたか？

はい

いいえ

※「いいえ」の場合、7の質問へお進みください。

参考資料

4. 『放射線被ばく防止の実施』について「演習」を実施しましたか？

演習の担当者についてお聞かせください。

4-1. 担当者の専門分野

看護師

医師

診療放射線技師

その他（ ）

4-2. 担当者の勤務形態

常勤

非常勤

4-3. 演習時間

30 分未満

30 分以上 60 分未満

60 分以上 90 分未満

90 分以上 120 分未満

120 分以上

5. 教育内容について具体的にご記入ください。（複数選択可）

放射線の単位

放射線の影響

外部被ばく防護の三原則（距離・遮蔽・時間）

内部被ばくについて

線量限度（公衆被ばく、職業被ばく）

医療被ばく

放射線のモニタリング管理

放射線防護に関する法律・規制

放射線防護のための安全対策

その他（ ）

6. 今後、『放射線被ばく防止の実施』に関する教材を整備する予定はありますか？（複数選択可）

放射線防護マニュアル（教科書等）

放射線防護衣

放射線防護用メガネ

放射線測定器

放射線に関する DVD 教材

実験セット（例：距離・遮へいキット等）

その他（ ）

参考資料

7. 『放射線被ばく防止の実施』についての教育で困っていることは何でしょうか？（複数選択可）

教員の確保

演習教材の不足

演習方法

予算の確保

学生の理解度

その他（ ）

8. 2025 年度に放射線被ばく防護演習を予定していますか？

予定している

予定していない（理由： ）

令和 6 年度(2024 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

脊椎外科医を対象とした被ばく管理・防護状況と放射線障害に関する
実態調査

研究分担者 中山 文明(国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
放射線医学研究所 放射線規制科学研究部)
盛武 敬(国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
放射線医学研究所 放射線規制科学研究部・部長)
古渡 意彦(国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
放射線医学研究所 計測・線量評価部物理線量評価グループ・
グループリーダー)

研究協力者 平井 悠大、松崎 賢(国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
放射線医学研究所 放射線規制科学研究部)

研究要旨

本研究は、脊椎外科医を対象に、放射線被ばく管理・防護状況と皮膚障害の発生について調査し、医療現場における被ばく防護対策の現状と課題を明らかにすることを目的とした。調査では、個人線量計や防護具の使用実態をアンケートで確認し、皮膚科専門医による診察と皮膚写真撮影を実施して皮膚障害の発生を評価した。その結果、個人線量計の配布はされているものの、特に手指被ばく線量計の未配布や鉛手袋の低い使用率が確認された。また、皮膚写真撮影を通じて、放射線障害が疑われる症例も複数確認された。考案した撮影法は概ね有効であったが、追加撮影が必要なケースもあり、さらなる最適化が求められる。これらの結果は、放射線被ばく防護教育の強化や、適切な線量管理・防護具の使用促進の必要性を示唆している。今後、調査対象を拡大し、医療従事者の被ばくリスクの低減に向けた実践的な対策を検討することが求められる。

A. 研究目的

現在、放射線管理区域に立ち入るすべての者は、電離放射線障害防止規則第八条（昭和四十七年労働省令第四十一号）により、個人線量計を装着する必要がある。この測定結果に基づき、個人の被ばく線量が放射線管理責任者等によって管理される。また、同規則第一条により、労働者の被ばく線量をできるだけ少なくするように努めることが求められているため、防護具の適切な利用は欠かすことができない。しかし、医療施設や放射線業務従事者によって被ばく線量測定および被ばく防護策の実施が一貫しておらず、さらには皮膚がんが労災認定される事例も散見されている[1]。そこで、Hijikata らは医療現場における放射線障害の実態把握を目的とし、整形外科系と脳神経外科系の脊椎外科医ら 162 名を対象に手指の放射線障害の調査を行った。その結果、調査対象者の 62 名（38%）に慢性手炎症の症状が確認されている[2]。特に、最も被ばく機会の多いグループでは被ばく機会の少ないグループと比較して 2.94 [95%信頼区間：1.51, 5.75] の慢性手炎症の有病率が確認され、透視室での手の放射線被ばく機会が多いほど慢性手炎症のリスクが上昇する可能性が示唆されている[2]。また、Asari らの報告では、皮膚写真を撮影することで、それを利用した皮膚科専門医による診断と調査対象者による自己診断を比較している[3]。その結果、皮膚科専門医の診断と自己診断には乖離があり、特に自己診断による偽陰性率は 0.294 であった[3]。したがって、放射線業務中の被ばく線量管理の徹底や被ばく防護強化、さらには皮膚科専門医による診断が非常に重要だと考えられる。一方、これらの報告におけるリミテーションとして、結果が一部の任意の参加者に基づいて

いる点が挙げられる。臨床現場における被ばく管理・防護状況と皮膚障害の発生の解明のためには、被ばく機会の多い脊椎外科医を対象とした、さらなる皮膚障害調査が求められている。

そこで本研究では、被ばく管理・防護状況と皮膚障害発生についての現状と課題を明らかにすることを目的に、被ばく機会の多い医療従事者である脊椎外科医を対象とした調査を実施した。

B. 研究方法

1. 調査に向けた環境整備

1-1. 皮膚写真撮影法の考案

皮膚写真を利用した診断を皮膚科専門医が行うために、実態調査対象者の皮膚写真の撮影を実施することとした。この撮影を行うにあたり、以下の点を考慮する必要がある。

- 皮膚撮影にかかる時間

実態調査を行う際には多くの対象者について、短時間で対応することが求められる。そのため、対象者一人当たり 5 分程度で終える必要がある。

- 再現性

多くの対象者に対して撮影を円滑に進めるために、複数の撮影者で調査を実施する。そのため、評価・解析時に撮影者ごとの写真の精度のばらつきを最小限に抑えることが求められる。

- 効率的な撮影法

前述のように、調査時は多くの対象者に対応できる効率的な撮影が重要となる。そのため、一枚の写真からより多くの所見情報を得ることができるような死角の少ない網羅的な撮影法が必要である。

以上の3つの点に注意し、

- ① 両手全体像（手背側広域撮影）
- ② 両手全体像（手掌側広域撮影）
- ③ 右手のみ全体像（手背側）
- ④ 左手のみ全体像（手背側）
- ⑤ 両方の第1指全体（手背側）
- ⑥ 両手の第1-5指爪部の接写撮影

の計6種類の撮影法を考案した。考案した撮影法を用いて実際に皮膚写真撮影を行った。



図2 遮光テントを用いた撮影ブース

1-2. 皮膚写真撮影時の補助具の作成と周囲光対策

皮膚写真撮影では、対象者の手の位置が安定した状態であることが求められる。そこで今回の調査では、手を置く台として30×45 cmの亚克力板を用意した。また、被写体が映える背景にするため、亚克力板に紺色の布を巻きつけ、補助具を作成した（図1）。この補助具を対象者の膝上に設置し、補助具の上に対象者の手指を置いて撮影を行うこととした。

また、撮影写真は室内照明や太陽光など周囲光に影響される。これらの影響の低減を目的とし、撮影ブースに遮光テントの導入も行った（図2）。



図1 作成した補助具（左：亚克力板、右：紺色の布を巻きつけた時の亚克力板）

2. 皮膚障害調査

皮膚障害の実態解明に向けて整備した内容をもとに、脊椎外科医を対象とした学会において実態調査を行った。

2-1. 調査学会概要

幕張メッセ国際会議場（千葉県千葉市）にて開催された第32回日本腰痛学会学術集会会場内に特設ブースを設置し、皮膚障害の実態調査を行った。調査期間は2024年10月25日から26日とした。調査対象者は、学術集会に参加し、同意の得られた医師を対象とした。

2-2. 使用機器

皮膚写真撮影には皮膚観察/撮影用デジタルカメラ（ダーモカメラ DZ-D100, 山形カシオ株式会社 製造, カシオ計算機株式会社 販売, 日本）を使用した。本カメラはレンズを交換せずに通常撮影と接写撮影の両方を行うことができる。また、接写撮影時には専用アダプタを取り付け、偏光/非偏光/紫外線 (Ultraviolet; UV) 光の3種類の画像を撮影できる。各画像の特徴を以下に示す[4]。

● 偏光画像

皮膚表面の反射を抑え、皮膚内面の色素分布を明瞭に観察可能

- 非偏光画像

皮膚表面の状態を明瞭に観察可能

- UV 画像

UV 光を照射し、隠れたシミやぼやけたホクロなどの辺縁部を明瞭に観察可能

接写撮影時には一度の撮影操作で上記の3種類の画像を同一画角で撮影するため、フィルターを切り替える手間がない[4]。よって、所見診断に必要な写真を短時間で得ることができる[4]。

2-3. 調査の流れ

実態調査の流れは、問診、皮膚科専門医の所見確認、皮膚写真撮影の順で行った。問診では調査対象となる医師に対し、所属施設での個人線量計・防護具の配布状況や使用頻度を評価したアンケートを基に、対面式の聞き取り調査を実施した。問診は10分程度で終える内容とし、自由記載欄を除いたすべての回答は選択式とした。

次に、皮膚科専門医が対象者の手指の状況（乾燥、湿疹、潰瘍などの所見）を直接診察した。その結果を踏まえ、考案した撮影法に基づいた皮膚の写真撮影を実施した。その際、必要に応じて所見部の詳細な接写撮影などを追加した。

C. 研究結果

1. 調査に向けた環境整備

1-1. 皮膚写真撮影法の考案

以下の図3から図8に考案した撮影法を用いて撮影した皮膚写真を示す。



図3 両手全体像（手背側広域撮影）



図4 両手全体像（手掌側広域撮影）



図5 右手のみ全体像（手背側）



図6 左手のみ全体像（手背側）



図 7 両方の第 1 指全体（手背側）

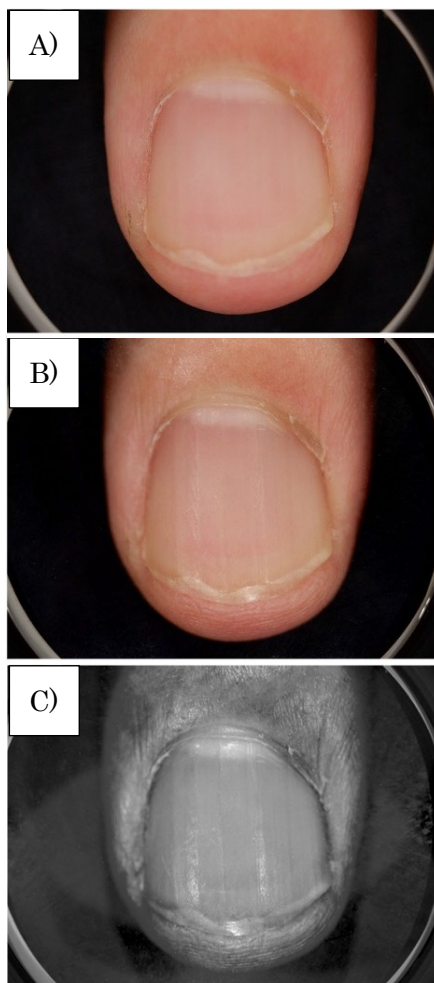


図 8 指爪部の接写像

A) 偏光、B) 非偏光、C) UV 写真

1-2. 皮膚写真撮影時の補助具作成と周囲光対策

作成した補助具を使用することで、手の位置を安定させ、撮影時のブレを防ぐことができた。また、アクリル板に巻いた紺色の布により、不必要な背景の映り込みを防ぎ、

被写体の色を明瞭に撮影できた。さらに、撮影場所に遮光テントを設置したことで撮影写真への周囲光の影響を低減することができた。

2. 皮膚障害調査

アンケートを用いた対面式問診調査で得られたデータのうち、解析が済んでいる計 30 名の調査結果について報告する（表 1）。

表 1 調査対象者の年齢及び職業経験年数の内訳（n = 30）

	年齢（歳）	職業経験（年）
平均値±標準偏差	51.6±8.8	25.5±9.4
最小値	34.0	7.0
第一四分位数	44.0	19.0
中央値	51.0	25.0
第三四分位数	58.8	32.8
最大値	66.0	41.0

表 2 に個人線量計・防護具の配布状況、表 3 に個人線量計・防護具の使用頻度に関する調査結果を示す。

表 2 個人線量計・防護具の配布状況（n = 30）

個人線量計	人数（%）
基本部位（1 個目）	27 (90%)
頭頸部（2 個目）	14 (46.7%)
水晶体被ばく線量計	3 (10.0%)
手指被ばく線量計	0 (0.0%)
個人防護具	人数（%）
鉛防護衣	30 (100.0%)
鉛甲状腺プロテクター	27 (90.0%)
鉛防護眼鏡	23 (76.7%)
鉛手袋	16 (53.3%)

表3 個人線量計・個人防護具の使用頻度 (n = 30)

透視室	0%	25%	50%	75%	100%
個人線量計	12(40)	0(0.0)	4(13.3)	2(6.7)	12(40.0)
鉛防護衣	2(6.7)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	28(93.3)
鉛甲状腺プロテクター 人数 (%)	17(56.7)	0(0.0)	3(10.0)	1(3.3)	9(30.0)
鉛防護眼鏡	17(56.7)	1(3.3)	4(13.3)	1(3.3)	7(23.3)
鉛手袋	23(76.7)	1(3.3)	2(6.7)	0(0.0)	4(13.3)
手術室	0%	25%	50%	75%	100%
個人線量計	16(53.3)	0(0.0)	3(10.0)	1(3.3)	10(33.3)
鉛防護衣	2(6.7)	0(0.0)	0(0.0)	1(3.3)	27(90.0)
鉛甲状腺プロテクター 人数 (%)	12(40.0)	3(10.0)	2(6.7)	0(0.0)	13(43.3)
鉛防護眼鏡	13(43.3)	6(20.0)	2(6.7)	2(6.7)	7(23.3)
鉛手袋	26(86.7)	1(3.3)	1(3.3)	1(3.3)	1(3.3)

表2の結果より、対象者のほとんどが、少なくとも一つは基本部位に装着する個人線量計を配布されていることが判明した。一方、手指被ばく線量計に関してはどの施設も配布していないことが判明した。個人防護具については鉛手袋の配布状況が50%程度であることが明らかとなった。

また、表3より、鉛防護衣を毎回使用する対象者（使用頻度が100%の対象者）は透視室と手術室のいずれにおいても全体の90%以上いた。しかし、そのほかの個人線量計や防護具を使用していない対象者（使用頻度が0もしくは25%の対象者）の割合は、過半数を占めていることが明らかとなった。考案した撮影法により、概ね5分以内に撮影を終えることができた。ただし、撮影者には、立ち座りの連続動作が必要であり、負担を強いることとなった。また、接写撮影時のUV画像には、撮影時のフラッシュ光が背部に反射して写りこむケースが認められた（図9）。



図9 UV画像中のフラッシュ光の反射(矢印)

一方、撮影では爪の剥離・変形や黒色線条、手背部分の手荒れや赤地を背景とした点状皮膚色痴皮などの放射線影響が示唆される所見を捉えることができた。なお、本調査では3名の対象者において、がんが疑われる所見が確認された。

D. 考察

1. 調査に向けた環境整備

1-1. 皮膚写真撮影法の考案

考案した撮影法により、スムーズな撮影が可能となった。しかし、調査対象者の中には当該手法のみでは網羅できない所見を有する可能性もあり、臨機応変な追加撮影が必要となる場合もある。そのため、今後の課

題として有所見をより網羅できるように最適化された撮影法の考案が必要であると考える。

1-2. 皮膚写真撮影時の補助具作成と周囲光対策

作成した補助具は、アクリル板の適度な剛性と軽量性が活かされ、安定した体勢で撮影できると考える。また、アクリル板に紺色の布を巻いたことでコントラストが十分な写真を得ることができ、被写体そのものの色を明瞭に写す効果を得ることに繋がったと考える。

2. 皮膚障害調査

表 2 および 3 の結果より、基本部位に装着する個人線量計は 90%以上の施設で配布されているにも関わらず、約半数の対象者が使用していない状況が浮き彫りとなった。これは、医師らの被ばく線量測定・評価への意識が低いことが原因と考えられる。さらに、手指被ばく線量計に関しては配布すらしていない施設も多かったことから、医療業界全体として手指の被ばく管理体制が不十分であり、手技中に最も被ばくしていると予想される手指部分の被ばく線量を知る術がほとんどない現状が窺える。個人防護具に関しては、鉛防護衣の使用率は高いものの、手指を保護する鉛手袋の使用率は著しく低かった。これは、整形外科領域の手技では精密な動作が求められることが多いため、放射線業従事者らが防護具の装着によって操作性が低下し、手技の妨げになることを懸念しているためと考えられる。

UV 写真にフラッシュ光の反射が写り込んでしまった原因については、使用した布の材質による可能性が考えられる。本調査にて用いた布は光を反射しやすいポリエス

テル製であった。そこで、次回の調査では光を吸収しやすい木綿製などの採用を検討し、より影響を低減できるよう布材質の最適化を進める。また、考案した撮影法や補助具を用いることで調査対象者の体勢は安定したが、撮影者は連続した立ち座りの動作もあり、負担を感じる場面も多かった。そのため、今後は撮影者の負担も低減するような撮影法を考案する必要があると考える。

また本調査では、放射線による皮膚障害が疑われる対象者が確認された。この管理不十分な状況が続けば、将来的に皮膚障害を発症する医師が増加する可能性がある。この課題を解決するためには、放射線被ばく防護に関する教育や線量管理の強化、定期的な皮膚科専門医の診察も必要であるだろう。今後、本調査で明らかになった課題に取り組みつつ、さらなる調査を通じて実態を解明していくことが求められる。

E. 結論

本研究では、放射線業務従事者の皮膚障害の実態調査を目的とし、被ばく管理に関するアンケートと皮膚写真撮影を行った。その結果、考案した撮影法は概ね有効であったが、さらなる最適化が今後の課題として考えられた。また、アンケートの結果から、手指の被ばく線量管理が不十分であり、防護具の使用率が低いことが明らかとなった。さらに、皮膚写真より有所見の存在が認められた。今後、実態のさらなる解明のためにも、調査の一層の充実が求められる。

参考文献

1. 電離放射線障害防止規則等について ～医療従事者に係る事項～
<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10801000-Iseikyoku->

Soumuka/0000191785.pdf

(Accessed March 12, 2025)

- 2 . Hijikata Y, Yamashita K, Hatsusaka N, Nagata T, Kitamura H, Morota K, Matsuzaki S, Nakagami K, Hitomi G, Kuriyama T, Kowatari M, Chida K, Sasaki H, Moritake T. Prevalence of Cataractous Changes in the Eyes and Chronic Inflammatory Changes in the Hands Among Spine Surgeons. *J Bone Joint Surg Am.* 2025 Feb 18. doi: 10.2106/JBJS.24.00433. Epub ahead of print. PMID: 39965042.
- 3 . Asari T, Rokunohe D, Sasaki E, Kaneko T, Kumagai G, Wada K, Tanaka S, Sawamura D, Ishibashi Y. Occupational ionizing radiation-induced skin injury among orthopedic surgeons: A clinical survey. *J Orthop Sci.* 2022 Jan;27(1):266-271. doi: 10.1016/j.jos.2020.11.008. Epub 2020 Dec 19. PMID: 33349545.
- 4 . D' zIMAGE STORE カシオ医療機器 オンラインストア -CASIO
<https://dz-image-store.casio.jp/d100/>
(Accessed March 19, 2025)

F. 論文報告

- 1) Hijikata Y, Yamashita K, Hatsusaka N, Nagata T, Kitamura H, Morota K, Matsuzaki S, Nakagami K, Hitomi G, Kuriyama T, Kowatari M, Chida K, Sasaki H, Moritake T. Prevalence of Cataractous Changes in the Eyes and Chronic Inflammatory Changes in the Hands Among Spine Surgeons. *J Bone Joint Surg Am.* 2025 Feb 18. doi: 10.2106/JBJS.24.00433. Epub ahead of print. PMID: 39965042.
- 2) 永田 竜朗, 栗山 知子, 喜多村 紘子, 盛武 敬, 近藤 寛之: 医療放射線業務従

事者の放射線白内障の実態 (Verification of Radiation Cataract in Medical Radiation Workers) *日本眼科学会誌.* (in print)

- 3) Tomoko Kuriyama, Takashi Moritake, Koichi Nakagami, Koichi Morota, Go Hitomi, Hiroko Kitamura: Background Factors Affecting the Radiation Exposure of the Lens of the Eye among Nurses in Interventional Radiology: A Quantitative Observational Study. *Nursing Report.* 2024 Feb 10; 14: 413-427. doi: 10.3390/nursrep14010032.

G. 研究発表

- 1) 松崎 賢, 盛武 敬: 放射線業務従事者の放射線防護に対する意識と防護知識の現状. (日本産業衛生学会 医療従事者のための産業保健研究会 2024), Web, 2024 年 11 月 30 日.
- 2) S. Matsuzaki, T. Moritake, M. Egawa, K. Morota: Occupational Radiation Exposure of MEDICAL STAFF involved in ERCP. European Radiation Protection Week 2024, Rome, the Italian Republic, 12-14 November 2024.
- 3) T. Kuriyama, T. Moritake, H. Kitamura: Survey of physicians' perceptions of occupational exposure management: differences in perceptions by gender. European Radiation Protection Week 2024, Rome, the Italian Republic, 12-14 November 2024.
- 4) 盛武 敬: 被ばく防護教育セッション はじめての放射線防護, 第 32 回日本腰痛学会, 幕張メッセ国際会議場 (千葉県・千葉市), 2024 年 10 月 25 日.
- 5) 松崎 賢: 医療機関における放射線防護. (第 34 回日本産業衛生学会全国協議会_シンポジウム), かずさアカデミアパーク (木更

津市・千葉県), 2024 年 10 月 3-5 日.

- 6) 人見 剛: 整形外科手術領域における放射線防護の最適化. (Web 開催) 第 2 回 Moments, PHILIPS Mobile surgery users meeting, 2024 年 9 月 21 日.
- 7) 盛武 敬: 放射線影響に関する最近の話題, 第 6 回放射線影響と防護量の考え方を学ぶ Web セミナー, 日本放射線技術学会 (Web 開催), 2024 年 7 月 31 日.
- 8) 栗山 知子, 喜多村 紘子, 永田 竜朗, 前野 孝明, 大橋 秀晃, 藤瀬 瞳実: 某大学・大学病院の電離放射線健康診断における白内障調査, 第 97 回日本産業衛生学会, 広島国際会議場・中国新聞ビル (広島市), 2024 年 5 月 22-25 日.
- 9) 喜多村 紘子, 栗山 知子, 永田 竜朗: 某大学・大学病院の放射線業務従事者における白内障と被ばく線量の関係, 第 97 回日本産業衛生学会, 広島国際会議場・中国新聞ビル (広島市), 2024 年 5 月 22-25 日.
- 10) 永田 竜朗, 栗山 知子, 喜多村 紘子, 盛武 敬, 近藤 寛之: 医療放射線業務従事者の放射線白内障の実態, 日本眼科学会総会, 東京国際フォーラム (東京都千代田区), 2024 年 4 月 18-21 日.
- 11) 盛武 敬: JSRT-JSMP 合同講演会 2 医療従事者の被ばく低減のためのマネジメントシステム～眼の水晶体の被ばくに対する取組～ 職業被ばく管理の法体系を再確認する, 第 127 回日本医学物理学会学術大会, 2024 年 4 月 11-14 日.

H. 知的所有権の取得状況

なし

令和 6 年度(2024 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究(240401-02)

整形外科医らの職業被ばくの実態

- 研究分担者 盛武 敬（量子科学技術研究開発機構(QST) 放射線医学研究所 放射線規制科学研究部・部長）
喜多村 紘子（量子科学技術研究開発機構(QST) 放射線医学研究所 放射線規制科学研究部 リスク評価グループ・グループリーダー）
古渡 意彦（量子科学技術研究開発機構(QST) 放射線医学研究所 計測・線量評価部 物理線量評価グループ・グループリーダー）
山下 一太（徳島大学大学院医歯薬学部研究部 地域運動器・スポーツ医学・特任准教授）
- 研究協力者 土方 保和（京都大学 地域医療システム学 臨床疫学グループ・研究員/北須磨病院 脊椎・腰痛センター・副センター長）
初坂 奈津子（金沢医科大学 眼科学講座・助教）
永田 竜朗（産業医科大学 眼科学教室・准教授）
栗山 知子（産業医科大学 産業保健学部 看護学科 産業・地域看護学・講師）
中上 晃一（産業医科大学病院 放射線部・診療放射線技師）
茂呂田 孝一（新小文字病院 放射線科・診療放射線技師）
松崎 賢（量子科学技術研究開発機構(QST) 放射線医学研究所 放射線規制科学研究部・日本学術振興会特別研究員(PD)）
人見 剛（川崎医科大学附属病院 中央放射線部・診療放射線技師）

研究要旨

令和 5 年度に第 38 回日本脊髄外科学会（6 月）および第 31 回日本腰痛学会（12 月）で放射線被ばく検診（白内障と手部慢性炎症）を行い、令和 6 年度はその結果をまとめ論文発表した。白内障の検診としては、簡易徹照カメラを用いて徹照撮影を行い、眼科専門医が瞳孔径 3mm 以内における水晶体微小混濁（vacuoles）および後囊下白内障の評価を行った。手部慢性炎症の検診は、産業医もしくは環境衛生の学位を取得した者が爪甲色素線条と手荒れの評価を行った。また、前年度（令和 4 年度）の放射線を使用する手技の件数に関する調査も行った。

結果 162 人が検診に参加し、勤務年数の中央値は 23 年であった。水晶体微小混濁が 32 人 (20%)、白内障が 32 人 (20%) にみられ、合計 64 人 (40%) が白内障性変化を有していた。爪甲色素線条もしくは手荒れの有病は 62 人 (38%) であった。手を直接被ばくし得る手技件数は手術室で中央値 70 件 (四分位範囲 20-123)、透視室で 20 件 (0-60) であり、手術室・透視室それぞれを四分し、第 1 四分位を基準とした第 2-4 四分位の手部慢性炎症の有病割合比を算出した。結果、手術室での手部慢性炎症の有病割合比は第 2-4 四分位がそれぞれ 0.91 (95%信頼区間 0.50-1.66)、0.72 (0.50-1.66)、1.56 (0.97-2.50) であった。透視室での手部慢性炎症の有病割合比は第 2-4 四分位がそれぞれ 2.31 (1.16-4.58)、2.03 (1.00-4.09)、2.94 (1.51-5.75) であった。いずれも一部の被ばく集団 (第 4 四分位) で手部慢性炎症の有病が高く、手術室より透視室でその傾向は強かった。

本研究成果により、脊椎外科医における白内障性変化および手部慢性炎症の有病割合が高い可能性が示唆された。とくに手被ばく機会と手部慢性炎症の関連が示され、脊椎外科医における被ばく防護の推進は喫緊の課題であることが明らかとなった。

A. 研究目的

医療施設等における低線量から高線量までの長期多分割被ばくの影響は明らかではないが、とくに白内障と手部皮膚がんの発生が懸念されている。白内障についてはその前病変と考えられる水晶体微小混濁がどの程度生じ、どの程度が視力低下を伴う白内障に進展するかの検証が求められている。その第一歩として、とくに中長期的に高線量被ばくを受ける可能性がある脊椎外科医を対象に、水晶体微小混濁および白内障の有病を調査した。また、手部慢性炎症（爪甲色素線条および手荒れ）に関しては近年脊椎外科医における有病割合（自己申告）が高いことが報告された¹⁾。そこで、脊椎外科医を対象に実際に検診を行い、手部慢性炎症の有病を調査した。また前年度の手部被ばく機会を聴取し、手部慢性炎症との関連を検証した。

B. 研究方法

2023年6月に開催された第38回日本脊椎外科学会（愛知）、12月に開催された第31回日本腰痛学会の学会会場において検診を行った。検診は1) 視力と眼圧測定 2) 前年度被ばく機会を中心とした問診および手部診察 3) 簡易徹照カメラを用いた無散瞳下の徹照撮影 4) 眼底写真撮影 5) 眼科専門医による白内障評価、の順に行った。白内障評価は瞳孔径 3mm 以内の微小混濁および後囊下白内障の有無の評価を行った。手部診察では産業医もしくは環境衛生学位を取得した者が爪甲色素線条、手荒れおよび皮膚がんの評価を行った。

解析は水晶体微小混濁、白内障、両者をあわせた白内障性変化の有病割合の記述、および爪甲色素線条、手荒れ、両者をあわせた手部慢性炎症の有病割合の記述を行った。

また、前年度の手術室および透視室での手部被ばく機会を四分し、第1四分位を基準とした第2-4四分位の手部慢性炎症の有病割合を、修正ポアソン回帰を用い算出した。交絡因子として所属科（整形外科か脳神経外科か）と勤務年数を調整した。

C. 研究結果

検診参加者は162人とであった。参加者の背景情報、所属先の情報を表1表2に示す。

表1 対象者の背景情報

年齢（歳）	48 ± 11 (24 to 82) [48 (39, 56)]
勤務年数（年）	23 ± 11 (0 to 57) [23 (14, 30)]
男性	157 (97%)
高血圧症	31 (19%)
糖尿病	7 (4.3%)
喫煙習慣	41 (25%)
右利き	156 (96%)
整形外科医	85 (53%)
脊椎外科指導医	93 (57%)
2022年度の放射線を使用した手技件数	
脊椎手術	77 ± 81 (0 to 400) [50 (18, 105)]
非脊椎整形外科手術	23 ± 81 (0 to 730) [0 (0, 2)]
神経根ブロック	35 ± 55 (0 to 300) [11.5 (0, 50)]
脊椎造影	13 ± 30 (0 to 250) [0 (0, 10)]
カテーテル手技	12 ± 38 (0 to 250) [0 (0, 0)]
2022年度の手部被ばく機会	147 ± 140 (0 to 869) [110 (40, 200)]

手術室	99 ± 115 (0 to 835) [70 (20, 123)]
透視室	47 ± 64 (0 to 302) [20 (0, 60)]

＊平均値±標準偏差〔最大最小値〕〔中央値
(四分位範囲)〕

表 2 参加者の所属施設の情報

私立病院	75 (46%)
病床数	
≤199	27 (17%)
200 to 399	32 (20%)
≥400	103 (64%)
ナビゲーションシステム所有	67 (41%)
個人線量計	
主	159 (98%)
副	108 (67%)
眼	21 (13%)
指	21 (13%)
防護具	
鉛プロテクター	160 (99%)
鉛カラー	100 (62%)
鉛ゴーグル	74 (46%)
鉛手袋	48 (30%)

水晶体微小混濁は 32 名 (20%)、白内障は 32 名 (20%)、両者をあわせた白内障性変化は 64 名 (40%) に認められた。白内障性変化の有病は左眼 (27%) が右眼 (24%) よりもやや高かった。若年層 (39 歳以下) では白内障の有病率が年長層よりも低かったものの (9.8%対 23%)、水晶体微小混濁がより多く認められ、両者を合わせた白内障性変化の有病は若年層と年長層で類似していた (37%対 41%)。

手部慢性炎症は 62 名 (38%) に認められ、そのうち 52 名 (総数の 32%) に爪甲色素線条、23 名 (総数の 14%) に手荒れが認められ

た。爪甲色素線条は利き手の 39 手 (24%) と非利き手 27 手 (17%) にみられ、手荒れは利き手 22 手 (14%) と非利き手 14 手 (8.6%) に認められた。爪甲色素線条の分布は利き手・非利き手ともに橈側に偏っていた。手荒れは利き手において橈側に偏っていた。1 名の参加者 (0.6%) が手の皮膚がんを申告した。

手部被ばく機会別の参加者の特徴を表 3 に示す。手部被ばく機会は相加的というより相乗的に分布していた。手部慢性炎症の有病はとくに第 4 四分位で高く (63%)、第 3 四分位 (34%) の約 2 倍であった。

表 3 手部被ばく機会別の特徴

	第1 四分位	第2 四分位	第3 四分位	第4 四分位
年齢 (歳)	47 (37, 55)	48 (40, 55)	45 (40, 58)	51 (42.5, 56)
勤務年数 (年)	23 (11, 30)	23 (16, 30)	20 (14, 34)	24.5 (15, 30)
整形外科医	13 (32%)	17 (40%)	23 (61%)	32 (80%)
脊椎外科指 導医	14 (34%)	24 (56%)	26 (68%)	29 (73%)
私立病院	18 (44%)	19 (44%)	19 (50%)	19 (48%)
病床数				
≤199	4 (10%)	6 (14%)	6 (16%)	11 (28%)
200 to 399	8 (20%)	7 (16%)	12 (32%)	5 (13%)
≥400	29 (71%)	30 (70%)	20 (53%)	24 (60%)
ナビゲーションシステム所有	15 (37%)	18 (42%)	17 (45%)	17 (43%)

2022年度手 部被ばく機 会	12 (2, 25)	83 (58, 96)	154.5 (137, 180)	322 (257.5 , 394)
手術室	5 (1, 15)	50 (30, 80)	113 (85, 140)	210 (102.5 , 328.5)
透視室	0 (0, 10)	18 (3, 31)	47.5 (25, 60)	107.5 (44.5, 196)
手部慢性炎 症	9 (22%)	15 (35%)	13 (34%)	25 (63%)
爪甲色 素線条	6 (15%)	13 (30%)	9 (24%)	24 (60%)
手荒れ	4 (10%)	5 (12%)	6 (16%)	8 (20%)

手術室における手部被ばく機会の、第1四分位を基準とした第2-4四分位の手部慢性炎症の調整有病割合はそれぞれ 0.91 (0.50-1.66), 0.72 (0.41-1.25), 1.56 (0.97-2.50) であった。透視室での手部被ばく機会の手部慢性炎症の調整有病割合はそれぞれ 2.31 (1.16-4.58), 2.03 (1.00-4.09), 2.94 (1.51-5.75) であった。

手部慢性炎症と関連する要因として、手術室での手部被ばく機会 ($p=0.009$)、透視室での手部被ばく機会 ($p<0.001$)、勤務年数 ($p<0.001$)、整形外科医 ($p=0.003$)、脊椎外科指導医 ($p<0.001$)、および病床数の少ない病院での勤務 ($p=0.044$) が挙げられた。

D. 考察

162 人の脊椎外科医を対象に検診を行った結果、20%に白内障が認められ、40%に白内障変化 (水晶体微小混濁を含む) が観察された。注目すべき点は、白内障性変化の有病が若年層 (37%) と年長層 (41%) で類似してい

た点である。手部慢性炎症は参加者の 38%に認められた。さらに、透視室での手部被ばく機会が最も高い群 (第4四分位) の脊椎外科医は、最も低い群に比べて手部慢性炎症の有病が 3 倍高く、日常診療における直接被ばくと手部慢性炎症との関連が示唆された。

これまでに循環器内科において白内障の有病が 38% (58 名) と 52% (56 名) と報告されている^{2,3)}。チェルノブイリ原子力発電所作業員を対象とした調査では白内障の有病率が 17%と報告されており⁴⁾、当研究の結果と一致していた。一般人口の白内障有病率は 5%未満であり⁵⁾、脊椎外科医を含む職業性放射線の高被曝集団における高い有病が懸念される。福島原発緊急作業員を対象とした眼科検査では、479 名 (平均年齢 54 歳) の 72%に白内障が認められ⁶⁾、本研究の 40%と比べて高い有病が報告されている。本研究は無散瞳下に行われたため、実際の有病率が過小評価されている可能性がある。

診療放射線被ばくによる発がんについての報告は数件の症例報告に限られる⁷⁾。皮膚がんは、爪甲色素線条や手荒れと同様に放射性皮膚炎が発生母地となる。すなわち、爪甲色素線条や手荒れと手部被ばく機会の関連は、間接的に皮膚がんの発生との関連を示唆する。脊椎外科医の 91%が「時々」またはそれ以上の頻度で手を直接放射線照射野にかざすことが報告されている⁸⁾。過去の調査では、227 名の参加者のうち 3 名が手部皮膚がんを申告し¹⁾、本研究では 162 名の参加者中 1 名に手部皮膚がんが確認された。より広範な高リスク群を対象とした調査により、驚くべき結果が得られる可能性がある。

E. 結論

本研究では、多くの脊椎外科医において散乱線による白内障性変化、直接線による手

部慢性炎症が示唆された。整形外科医および脊椎外科医に対する被ばく防護の推進、すなわち線量測定の普及、保護具の使用や防護行動の推進は喫緊の課題である。より調査を拡大し、不十分な放射線防護に伴う長期的な健康リスクに関する事例を集積すること、また効果的な教育プログラムを作成することが望まれる。

参考文献

1. Hijikata Y, Association of occupational direct radiation exposure to the hands with longitudinal melanonychia and hand eczema in spine surgeons: a survey by the Society for Minimally Invasive Spinal Treatment (MIST). *Eur Spine J*. 2021;30(12):3702-8.
2. Vano E, Cabrera M. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat Res*. 2010;174(4):490-5.
3. Ciraj-Bjelac O, Risk for radiation-induced cataract for staff in interventional cardiology: is there reason for concern? *Catheter Cardiovasc Interv*. 2010;76(6):826-34.
4. Worgul BV, Cataracts among Chernobyl clean-up workers: implications regarding permissible eye exposures. *Radiat Res*. 2007;167(2):233-43.
5. Adamsons I, Prevalence of lens opacities in surgical and general populations. *Arch Ophthalmol*. 1991;109(7):993-7.
6. Hatsusaka N, [Epidemiological study of health effects in emergency workers at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: cataracts nationwide survey]. *The Journal of The Japanese Society for Cataract Research*. 2020;32:49-51. In Japanese.
7. Nikaido T. [Occupational radiation exposure to orthopaedic surgeons; current situation and issues of radiation-induced hand skin disorders]. *Orthop Surg Traumatol*. 2021;64(6):759-64. In Japanese.
8. Hijikata Y, Protective attitudes toward occupational radiation exposure among spine surgeons in Japan: an epidemiological description from the survey by the Society for Minimally Invasive Spinal Treatment. *Medicina (Kaunas)*. 2023;59(3):545.

F. 論文報告

1. Hijikata Y, Yamashita K, Hatsusaka N, Nagata T, Kitamura H, Morota K, Matsuzaki S, Nakagami K, Hitomi G, Kuriyama T, Kowatari M, Chida K, Sasaki H, Moritake T. Prevalence of Cataractous Changes in the Eyes and Chronic Inflammatory Changes in the Hands Among Spine Surgeons. *J Bone Joint Surg Am* 2025;107(7):e25. doi: 10.2106/JBJS.24.00433.

G. 研究発表

1. 土方保和, 脊椎外科医における白内障性変化と手部慢性炎症, 日本臨床疫学会第7回年次学術大会, 口演発表, 2024年11月
2. 盛武敬, はじめての放射線防護, 第32回日本腰痛学会, 被ばく防護セッション, 2024年10月
3. 土方保和, 脊椎外科医に忍び寄る3つの放射線被ばく関連事象～腰痛学会2023の調査結果をふまえて, 第32回日本腰痛学会, 被ばく防護セッション, 2024年10月

<その他の発表>

1. 土方保和，どう防ぐ？ 医師の職業被曝
「学会会場で被曝検診」プロジェクトから
見えてきた実態を踏まえ，Medical
Tribune 社 MT 突撃インタビュー，2025
年3月
2. 土方保和，脊椎外科医に忍び寄る3つの
放射線被ばく関連事象～学会会場で
の被ばく検診の結果をふまえて，
Medtronic 社 脊椎外科医の職業被ばく
と画像支援機器を考える 4，2025 年1月
3. 山下一太，脊椎外科と職業被曝～「見え
る化」で明らかになる安全管理～，
Medtronic 社 脊椎外科医の職業被ばく
と画像支援機器を考える 2，2024 年10
月

H. 知的所有権の取得状況

なし

Prevalence of Cataractous Changes in the Eyes and Chronic Inflammatory Changes in the Hands Among Spine Surgeons

Yasukazu Hijikata, MD, DrPH*, Kazuta Yamashita, MD, PhD*, Natsuko Hatsusaka, BEng, Tatsuo Nagata, MD, PhD, Hiroko Kitamura, MD, PhD, Koichi Morota, RT, PhD, Satoru Matsuzaki, RT, PhD, Koichi Nakagami, RT, PhD, Go Hitomi, RT, MOH, Tomoko Kuriyama, BSN, MOH, Munehiko Kowatari, PhD, Koichi Chida, PhD, Hiroshi Sasaki, MD, PhD, and Takashi Moritake, MD, PhD

Investigation performed at the Department of Radiation Regulatory Science Research, National Institute of Radiological Sciences, National Institutes for Quantum Science and Technology, Chiba, Japan

Background: The impact of radiation exposure on cataracts and hand skin cancer in orthopaedic and spine surgeons remains understudied. This study aimed to investigate the prevalence of cataracts and chronic hand inflammation in orthopaedic and spine surgeons and to assess their association with radiation exposure.

Methods: A cross-sectional analysis was conducted on orthopaedic and spine surgeons attending the 38th Annual Meeting of the Neurospinal Society of Japan or the 31st Annual Meeting of the Japanese Society for the Study of Low Back Pain. Cataractous changes were categorized into none, lens micro-opacity, or cataracts and were detailed alongside the prevalence of chronic hand inflammation, which included longitudinal melanonychia and hand eczema. Participants were divided into quartiles according to hand-exposure opportunities in the operating and fluoroscopy rooms in 2022. Prevalence ratios and 95% confidence intervals (CIs) of chronic hand inflammation in the upper quartiles relative to the first quartile were calculated using modified Poisson regression adjusted for potential confounders.

Results: The median work experience of the 162 participants was 23 years, and the median number of hand-exposure opportunities was 70 (interquartile range [IQR], 20 to 123) in the operating room and 20 (IQR, 0 to 60) in the fluoroscopy room. The prevalence of cataracts was 20% (32 participants), and the prevalence of cataractous changes, including lens micro-opacity, was 40% (64 participants). Chronic hand inflammation was present in 62 participants (38%), of whom 52 had longitudinal melanonychia and 23 had hand eczema. The adjusted prevalence ratios of chronic hand inflammation relative to the lowest quartile of hand-exposure opportunities in the operating room were 0.91 (0.50, 1.66) for quartile 2, 0.72 (0.41, 1.25) for quartile 3, and 1.56 (0.97, 2.50) for quartile 4. For fluoroscopy room exposure, the adjusted prevalence ratios were 2.31 (1.16, 4.58) for quartile 2, 2.03 (1.00, 4.09) for quartile 3, and 2.94 (1.51, 5.75) for quartile 4.

Conclusions: This study highlighted substantial cataractous and chronic hand inflammatory changes in spine surgeons, indicating indirect and direct radiation exposure effects. Therefore, radiation safety and protective measures must be emphasized. Comparative studies with other populations and longitudinal observations are required to better understand the effects of radiation on health.

Level of Evidence: Prognostic Level III. See Instructions for Authors for a complete description of levels of evidence.

*Yasukazu Hijikata, MD, DrPh, and Kazuta Yamashita, MD, PhD, contributed equally to this work.

Disclosure: This study was supported by a Project Grant from the Co-creation Center for Disaster Resilience, IRDeS, Tohoku University (2-HR014); Industrial Disease Clinical Research Grants (210501-01/240401-02) from the Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan; and a grant from JSPS KAKENHI (18H03376/24H00665/JP23K09682). The **Disclosure of Potential Conflicts of Interest** forms are provided with the online version of the article (<http://links.lww.com/JBJS/I432>).

Copyright © 2025 The Authors. Published by The Journal of Bone and Joint Surgery, Incorporated. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution-Non Commercial-No Derivatives License 4.0](#) (CCBY-NC-ND), where it is permissible to download and share the work provided it is properly cited. The work cannot be changed in any way or used commercially without permission from the journal.

Radiography has become increasingly vital in modern medicine, particularly for procedures such as catheterization. This has brought considerable attention to occupational radiation exposure to the lens of physicians' eyes due to scattered rays^{1,2}. The International Commission on Radiological Protection (ICRP) underscored this concern in 2011 and recommended a reduction in the occupational exposure limit to 100 mSv for lenses within 5 years³, which was based on growing evidence suggesting that the threshold for radiation-induced cataracts could be lower than what was previously thought or even nonexistent. Following ICRP recommendations, global efforts to protect eye lenses from exposure have been increasing⁴. Nevertheless, most existing evidence has been derived from studies on atomic bomb survivors subjected to acute high-dose radiation exposure⁵. The effects of low-dose to high-dose prolonged multifractional exposure, which is more common in health-care settings, remain not well understood. One critical question is whether prolonged multifractional exposure results in lens micro-opacity, early signs of cataracts as with acute exposure, and progression to vision-impairing cataracts. As a first step to address this, an investigation of the prevalence of lens micro-opacity in various populations, focusing on orthopaedic and spine surgeons, who are most likely to be exposed to high-dose radiation in the medium to long term among medical personnel, is essential.

Another problem among health-care workers exposed to radiation is the development of skin cancer caused by direct exposure to their hands⁶. The carcinogenicity of exposure to high-dose ionizing radiation is undisputed⁷, and chronic inflammation due to radiation is a major cause of skin cancer⁸. Orthopaedic and spine surgeons often place their hands over the radiation field during fluoroscopic procedures⁹. Given the recent minimally invasive nature of surgical procedures, the frequency of fluoroscopic guidance has increased. Furthermore, the surgeons' awareness of radiation protection is low⁹⁻¹². Therefore, there is concern about cancer due to direct exposure to the hands, especially among orthopaedic and spine surgeons. However, because of its rarity, it remains unclear whether skin cancer occurs because of direct exposure to the hands within the scope of the usual medical practice; thus, further evidence is urgently needed.

In the current study, we focused on longitudinal melanonychia and hand eczema as proxies for underlying skin cancer caused by radiation-induced chronic skin inflammation because these conditions have recently been reported to be more prevalent among orthopaedic and spine surgeons^{13,14}. In particular, in order to promote radiation protection or motivate further research, the current study aimed to describe the prevalence of cataractous changes, longitudinal melanonychia, and hand eczema in spine surgeons as possible effects of occupational radiation exposure and to investigate the association between hand-exposure opportunities and the prevalence of longitudinal melanonychia or hand eczema.

Materials and Methods

Study Design and Participants

This descriptive and cross-sectional study included spine surgeons who participated in a voluntary radiation expo-

sure screening at the 38th Annual Meeting of the Neurospinal Society of Japan on June 15 to 16, 2023 (all 826 participants) and at the 31st Annual Meeting of the Japanese Society for the Study of Low Back Pain on December 1 to 2, 2023 (all 652 participants). Participants were recruited through online reservations on the conference website and by invitations to attendees who visited the site on the day of the screening. This study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki¹⁵ and the STROBE (Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology) statement¹⁶. This study was approved by an accredited institutional review board (approval no.: I552), and written informed consent was obtained from all participants.

Screening was conducted in the following order: (1) basic ophthalmological measurements (i.e., visual acuity and intraocular pressure); (2) an interview with regard to radiation exposure and a hand examination, which was conducted by an occupational health professional; (3) cataract screening, in which a simple darkroom was set up in a tent and skilled investigators took images of the lens using a transillumination camera without mydriasis; (4) fundus photography; and (5) comprehensive ophthalmological examination. Participants with screening reservations were provided with a medical questionnaire before attending the meeting and were instructed to complete it after reviewing information on radiation use in the previous year.

Outcomes

At the cataract screening, vacuoles and posterior subcapsular cataracts within 3 mm of the pupils were evaluated by an ophthalmologist, who classified cataractous changes into 3 categories: (1) none, (2) lens micro-opacity, and (3) cataract. Cataracts can be classified into 3 main types: (1) nuclear, (2) cortical, and (3) posterior subcapsular. Radiation exposure has been reported to be associated with posterior subcapsular cataracts¹⁷. Vacuoles are micro-opacities that can only be determined by transillumination photography and are not evaluated in routine ophthalmologic practice; however, they are of interest as an important early lesion in radiation-induced posterior subcapsular cataracts¹⁸.

On hand examination, longitudinal melanonychia and hand eczema were determined for each site on the dominant and nondominant hands. If a diagnosis was difficult to make, the final decision was made through consultation with another examiner. In the case of ambidexterity, the dominant hand was defined as the hand that grasped the needle during a nerve root block. When evaluating the association between hand-exposure opportunities and chronic inflammation, the presence of these changes in either hand was defined as positive for chronic inflammation. A history of hand skin cancer was also obtained.

Exposure Variables in the Cross-Sectional Analysis

The number of fluoroscopy procedures in 2022, including spine surgeries, non-spine orthopaedic procedures, nerve root blocks, myelographies, and catheter procedures, was collected as a variable related to radiation exposure. For the cross-sectional analysis that investigated the association between hand-exposure opportunities and chronic inflammation, the

sum of spine surgeries and non-spine orthopaedic procedures was defined as hand-exposure opportunities in the operating room, the sum of nerve root blocks and myelographies was defined as hand-exposure opportunities in the fluoroscopy room, and the sum of both was defined as hand-exposure opportunities.

Covariates

Information on participant characteristics such as age, work experience, sex, hypertension status, diabetes status, smoking habits (including the current smoking status and smoking history), corticosteroid use, whether they had orthopaedic training (Orthospine) or neurosurgical training (Neurospine), and board-certified specialist status were also collected. In addition, data about the institutions were collected, including whether they were public or private, the number of beds available (categorized as ≤ 199 , 200 to 399, and ≥ 400), and whether the department had a navigation system, personal dosimeters, and personal protective equipment.

In this study, data on personal dosimeters and personal protective equipment were obtained to ascertain availability, which would not necessarily reflect actual usage. With regard to personal dosimeters, we inquired about the provision of a primary dosimeter (worn inside the lead apron at the chest or waist), additional dosimeters (worn outside the collar of the lead apron), eye dosimeters, and finger dosimeters by their facility. With respect to personal protective equipment, the provision of lead aprons, thyroid protectors, glasses, and caps was investigated.

Statistical Analysis

First, the background characteristics of the study population were described. Continuous variables were expressed as the mean, standard deviation, minimum, maximum, median, and interquartile range (IQR), whereas categorical variables were presented as numbers and percentages. Subsequently, the distribution of cataractous changes was detailed. Considering the age-related nature of cataracts, the results were stratified using a 40-year threshold. The prevalences of longitudinal melanonychia, hand eczema, and skin cancer, including their detailed prevalence at each hand site, were reported.

For the investigation of the association between hand-exposure opportunities and the prevalence of chronic inflammation, we stratified the participants into 4 groups using hand-exposure opportunities in 2022 and described the characteristics of each group. Furthermore, a modified Poisson regression analysis was conducted, with chronic hand inflammation as the outcome variable and hand-exposure opportunities in the operating and fluoroscopy rooms as the explanatory variables. This analysis facilitated the calculation of prevalence ratios and 95% confidence intervals (CIs) for the upper quartiles relative to the first quartile, computed after adjustment for work experience and Orthospine as confounders. Additionally, participants were stratified by the presence of chronic hand inflammation, and their characteristics were compared using the Fisher exact test or

the Wilcoxon rank sum test. All statistical analyses were performed using STATA (version 17.0; StataCorp).

Results

A total of 162 spine surgeons participated in the screening; of these surgeons, 85 were Orthospine surgeons and 77 were Neurospine surgeons. Table I summarizes their demographic characteristics, and Table II summarizes their affiliations' characteristics. None of the participants were corticosteroid users or were provided with lead caps. The median work experience of the spine surgeons was 23 years (IQR, 14 to 30 years). The median number of hand-exposure opportunities for 2022 was 70 (20 to 123) in the operating room and 20 (0 to 60) in the fluoroscopy room.

Table III shows the eye findings. Cataractous changes, including lens micro-opacities, were observed in 64 participants (40%), of whom 32 (20% of the total) had cataracts. The prevalence of cataractous changes was slightly higher in the left eye (27%) compared with the right eye (24%). Although cataracts were less common in the younger group (9.8%) compared with the older group (23%), lens micro-opacities were

TABLE I Demographic Characteristics of the Participants* (N = 162)

Age (yr)	48 ± 11 (24 to 82) [48 (39, 56)]
Work experience (yr)	23 ± 11 (0 to 57) [23 (14, 30)]
Male sex	157 (97%)
Hypertension	31 (19%)
Diabetes	7 (4.3%)
Smoking habit	41 (25%)
Right-handed	156 (96%)
Orthospine†	85 (53%)
Board-certified specialist	93 (57%)
Fluoroscopy procedure in 2022	
Spine surgery	77 ± 81 (0 to 400) [50 (18, 105)]
Non-spine orthopaedic procedure	23 ± 81 (0 to 730) [0 (0, 2)]
Nerve root block	35 ± 55 (0 to 300) [11.5 (0, 50)]
Myelography	13 ± 30 (0 to 250) [0 (0, 10)]
Catheter procedure	12 ± 38 (0 to 250) [0 (0, 0)]
Hand-exposure opportunity in 2022	147 ± 140 (0 to 869) [110 (40, 200)]
In the operating room	99 ± 115 (0 to 835) [70 (20, 123)]
In the fluoroscopy room	47 ± 64 (0 to 302) [20 (0, 60)]

*The values are given as the mean and the standard deviation, with the 95% CI in parentheses and the median and the IQR in brackets, or as the number of participants, with the percentage in parentheses. †Orthospine refers to spine surgeons with orthopaedic rather than neurosurgical training.

**TABLE II The Affiliated Institutions of the Participants*
(N = 162)**

Private hospital	75 (46%)
No. of beds	
≤199	27 (17%)
200 to 399	32 (20%)
≥400	103 (64%)
Navigation system	67 (41%)
Personal dosimeters	
Primary	159 (98%)
Additional	108 (67%)
Eye	21 (13%)
Finger	21 (13%)
Personal protective equipment	
Lead apron	160 (99%)
Lead thyroid protector	100 (62%)
Lead glasses	74 (46%)
Lead gloves	48 (30%)

*The values are given as the number of participants, with the percentage in parentheses.

more prevalent, resulting in a similar prevalence of overall cataractous changes in the younger group (37%) and the older group (41%).

Chronic hand inflammation was present in 62 participants (38%), of whom 52 (32% of the total) had longitudinal melanonychia and 23 (14% of the total) had hand eczema. Longitudinal melanonychia was detected in 39 dominant hands (24%) and 27 nondominant hands (17%). Hand eczema was identified in 22 dominant hands (14%) and 14 nondominant hands (8.6%). The distribution of longitudinal melanonychia was biased toward the radial side in both dominant and nondominant hands (Fig. 1-A). The distribution of hand eczema in dominant hands was also biased toward the radial side (Fig. 1-B). One participant (0.6%) reported having hand skin cancer.

Table IV shows the characteristics of participants stratified into 4 groups based on hand-exposure opportunities in 2022. Hand-exposure opportunities were distributed synergistically rather than additively. Chronic hand inflammation was particularly frequent in quartile 4 (63%), which was twice as frequent as in quartile 3 (34%). The crude prevalence ratios of the hand-exposure opportunities in the operating room were 0.95 (95% CI, 0.50, 1.80) for quartile 2, 0.82 (0.43, 1.58) for quartile 3, and 1.71 (1.01, 2.91) for quartile 4 for chronic inflammation; the adjusted prevalence ratios were 0.91 (0.50, 1.66) for quartile 2, 0.72 (0.41, 1.25) for quartile 3, and 1.56 (0.97, 2.50) for quartile 4. For the hand-exposure opportunities in the fluoroscopy room, the crude prevalence ratios were 2.00 (1.00, 4.00) for quartile 2, 1.69 (0.83, 3.42) for quartile 3, and 2.71 (1.41, 5.21) for quartile 4, with adjusted prevalence ratios of 2.31 (1.16, 4.58) for quartile 2, 2.03 (1.00, 4.09) for quartile 3, and 2.94 (1.51, 5.75) for quartile 4. Although a clear dose-response relationship was not evident, quartile 4 showed a higher prevalence of chronic hand inflammation than quartile 1 for hand-exposure opportunities in the fluoroscopy room.

Table V shows the characteristics of the participants stratified by the presence of chronic hand inflammation. Various factors were suggested to be associated with chronic hand inflammation, including the number of hand-exposure opportunities in the operating room (97.5 compared with 55; $p = 0.009$) and the fluoroscopy room (40 compared with 15; $p < 0.001$). Participants with chronic hand inflammation had more work experience (26 compared with 19 years; $p < 0.001$), included more Orthospine surgeons (68% compared with 43%; $p = 0.003$) and more board-certified specialists (82% compared with 42%; $p < 0.001$), and worked at institutions with fewer beds ($p = 0.044$).

Discussion

Of 162 spine surgeons screened, 20% had cataracts, whereas 40% showed cataractous changes, including lens micro-opacity as well as cataracts. Notably, the prevalence of cataractous changes was similar between the younger group (37%) and the older group (41%). Chronic hand inflammation was

TABLE III Eye Findings*

	Total (N = 162)			<40 Years of Age (N = 41)			≥40 Years of Age (N = 121)		
	Right Eye	Left Eye	Total	Right Eye	Left Eye	Total	Right Eye	Left Eye	Total
Visual acuity†	0.15 (0.06, 0.4)	0.18 (0.065, 0.5)		0.1 (0.04, 0.4)	0.1 (0.05, 0.7)		0.15 (0.08, 0.3)	0.2 (0.08, 0.5)	
Corrected	1.5 (1.2, 1.5)	1.5 (1.2, 1.5)		1.5 (1.2, 1.5)	1.5 (1.2, 1.5)		1.5 (1.2, 1.5)	1.5 (1.2, 1.5)	
Intraocular pressure (mm Hg)	14 (13, 16)	15 (13, 16)		14 (12, 16)	14 (13, 17)		14 (13, 16)	15 (13, 16)	
Cataractous change	38 (24%)	43 (27%)	64 (40%)	8 (20%)	8 (20%)	15 (37%)	30 (25%)	35 (29%)	49 (41%)
Lens micro-opacity	19 (12%)	22 (14%)	32 (20%)	5 (12%)	7 (17%)	11 (27%)	14 (12%)	15 (12%)	21 (17%)
Cataract	19 (12%)	21 (13%)	32 (20%)	3 (7.3%)	1 (2.4%)	4 (9.8%)	16 (13%)	20 (17%)	28 (23%)

*The values are given as the median, with the IQR in parentheses, or as the number of participants, with the percentage in parentheses. †Visual acuity is expressed in decimal units used in Japan (e.g., 1.0 = standard vision).

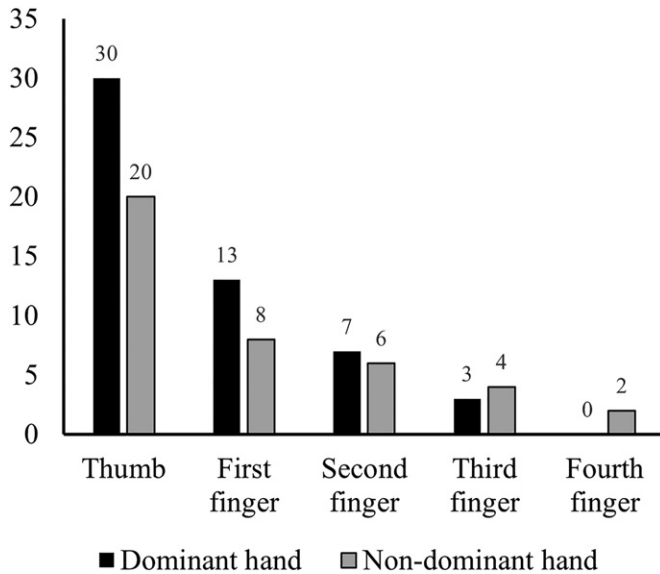


Fig. 1-A

Fig. 1-A Number of longitudinal melanonychia by site. **Fig. 1-B** Number of hand eczemas by site.

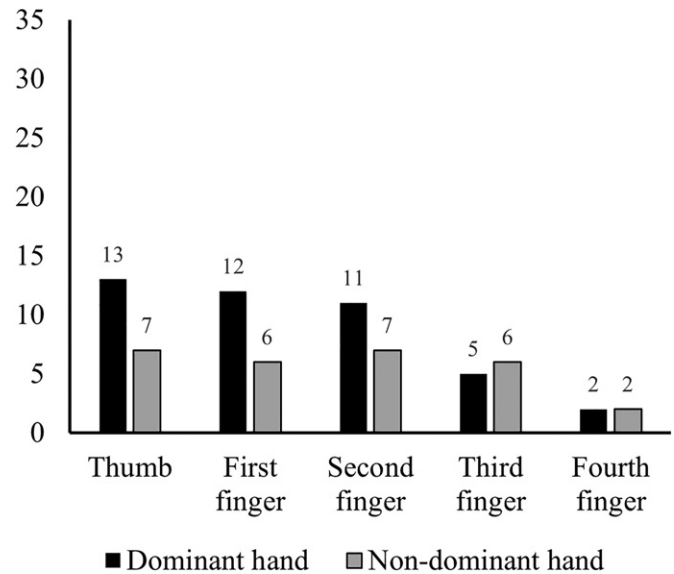


Fig. 1-B

found in 38% of the participants. Furthermore, spine surgeons in the highest quartile of hand-exposure opportunities in the fluoroscopy room were 3 times more likely to have chronic inflammation than those in the lowest quartile, suggesting an association between direct radiation exposure in daily practice and chronic hand inflammation. The current study underscores the importance of promoting behavioral changes toward

radiation protection among orthopaedic and spine surgeons, encouraging health screening, and motivating further nationwide research.

Previous surveys at conference venues reported a higher cataract prevalence of 38% (58 participants) and 52% (56 participants) among cardiologists^{17,19}. A survey of 32,826 Chernobyl nuclear power plant workers reported a prevalence of 17% for

TABLE IV Characteristics of Participants Stratified on the Basis of the Hand-Exposure Opportunities in 2022*

	Quartile 1 (N = 41)	Quartile 2 (N = 43)	Quartile 3 (N = 38)	Quartile 4 (N = 40)
Age (yr)	47 (37, 55)	48 (40, 55)	45 (40, 58)	51 (42.5, 56)
Work experience (yr)	23 (11, 30)	23 (16, 30)	20 (14, 34)	24.5 (15, 30)
Orthospine†	13 (32%)	17 (40%)	23 (61%)	32 (80%)
Board-certified specialist	14 (34%)	24 (56%)	26 (68%)	29 (73%)
Private hospital	18 (44%)	19 (44%)	19 (50%)	19 (48%)
No. of beds				
≤199	4 (10%)	6 (14%)	6 (16%)	11 (28%)
200 to 399	8 (20%)	7 (16%)	12 (32%)	5 (13%)
≥400	29 (71%)	30 (70%)	20 (53%)	24 (60%)
Navigation system	15 (37%)	18 (42%)	17 (45%)	17 (43%)
Hand-exposure opportunity in 2022	12 (2, 25)	83 (58, 96)	154.5 (137, 180)	322 (257.5, 394)
In the operating room	5 (1, 15)	50 (30, 80)	113 (85, 140)	210 (102.5, 328.5)
In the fluoroscopy room	0 (0, 10)	18 (3, 31)	47.5 (25, 60)	107.5 (44.5, 196)
Chronic hand inflammation	9 (22%)	15 (35%)	13 (34%)	25 (63%)
Longitudinal melanonychia	6 (15%)	13 (30%)	9 (24%)	24 (60%)
Hand eczema	4 (10%)	5 (12%)	6 (16%)	8 (20%)

*The values are given as the median, with the IQR in parentheses, or as the number of participants, with the percentage in parentheses.

†Orthospine refers to spine surgeons with orthopaedic rather than neurosurgical training.

cataracts, which is consistent with our findings²⁰. The prevalence of cataracts in the general population is <5%²¹, raising concerns about higher prevalence in populations with occupational radiation exposure, including spine surgeons. Information on the prevalence of early cataractous changes, including lens micro-opacity, remains limited. However, an ophthalmological examination of 3,673 Fukushima nuclear emergency workers reported a prevalence of 72% among 479 participants (mean age, 54 years)²², compared with 40% in this study. This study was conducted under the limitation of no mydriasis; therefore, caution must be exercised, as the actual prevalence might have been underestimated. There is an urgent need to accumulate and compare knowledge about the prevalence in more diverse populations, particularly those without radiation exposure, and to follow these populations to investigate how the observed lens micro-opacity progresses to vision-impairing cataracts²³.

Studies suggesting that radiation exposure within the scope of medical practice leads to cancer have been limited to a few reports²⁴. Skin cancer develops from radiation-induced chronic inflammation; longitudinal melanonychia and hand eczema originate from the same condition. Thus, longitudinal melanonychia and hand eczema can be considered proxies for skin cancer, and their increase indirectly suggests the potential for skin cancer development. This current study demonstrates that spine surgeons in quartile 4 of hand-exposure opportunities perform almost 1 fluoroscopic procedure daily and that 63% have chronic inflammation. In our previous survey, 91% of Japanese spine surgeons reported experiencing direct hand radiation exposure “sometimes” or more often¹⁴. Radiation doses during nerve root blocks are typically around 13 mGy²⁵. These findings raise concerns that a subset of spine surgeons may be at high risk for radiation-induced skin cancer. Given that a previous study involving 227 participants identified 3 cases of hand skin

cancer¹⁴ and that this study found 1 case among 162 participants, surveying a broader high-risk group, such as all members of an orthopaedic association, could yield surprising findings.

Recent advances in minimally invasive techniques, such as percutaneous pedicle screw insertion, lateral interbody fusion, or endoscopic procedures, have been remarkable²⁶. Although beneficial for patients because of reduced invasiveness, these techniques increase radiographic application because of the difficulty in visualizing anatomical structures²⁷. In this study, fluoroscopy room exposure was more strongly associated with chronic hand inflammation than operating room exposure was. This could be attributed to the fact that approximately 60% of the participants were from large hospitals with ≥400 beds and the high availability of navigation systems, which might have contributed to the adoption of radiation protection measures in operating rooms. Therefore, promoting radiation protection and developing assistive devices will become increasingly crucial.

This study had several limitations. First, screening was voluntary, resulting in a lack of representativeness. It was presumed that those with high exposure and health concerns were more likely to participate, while those who were already undergoing treatment or considered themselves at low risk were less likely to participate. In addition, the targeted society was not the Japanese Society for Spine Surgery and Related Research, the largest spine surgery society in Japan. Therefore, the prevalence of cataractous changes and chronic hand inflammation in this study may differ from that of the source population. Second, the lack of actual radiation dose data prevented a direct verification of the association between direct hand exposure and chronic inflammation. However, as dosimetry is not widely used among spine surgeons, using individual cumulative exposure data for research is impractical. To validate the effects of real-world exposure, the development of methods for estimating doses for

TABLE V Characteristics of the Participants Stratified by Chronic Hand Inflammation*

	Chronic Hand Inflammation (N = 62 [38%])	No Chronic Hand Inflammation (N = 100 [62%])	P Value
Work experience (yr)	26 (22, 35)	19 (11, 26)	<0.001
Orthospine†	42 (68%)	43 (43%)	0.003
Board-certified specialist	51 (82%)	42 (42%)	<0.001
Hand exposure opportunity in 2022	167.5 (90, 299)	89.5 (30, 155)	<0.001
In the operating room	97.5 (30, 155)	55 (15, 104)	0.009
In the fluoroscopy room	40 (10, 100)	15 (0, 50)	<0.001
Private hospital	28 (45%)	47 (47%)	0.87
No. of beds			0.044
≤199	14 (23%)	13 (13%)	
200 to 399	16 (26%)	16 (16%)	
≥400	32 (52%)	71 (71%)	
Navigation system	24 (39%)	43 (43%)	0.63

*The values are given as the median, with the IQR in parentheses, or as the number of participants, with the percentage in parentheses.

†Orthospine refers to spine surgeons with orthopaedic rather than neurosurgical training.

eye lenses and hand exposure during procedures is desirable. Additionally, exposure intensity was estimated only by the number of exposure opportunities in the previous year, lacking detailed procedural breakdowns and information on protective measures. This variation introduces potential misclassification, and the study thus suggests a possible causal relationship rather than yields a quantitative causal effect. Moreover, hand-exposure opportunities associated with chronic inflammation in this study were limited to “recent exposure opportunities” because the effects of cumulative exposure were not considered. Finally, whether the lens micro-opacities and chronic hand inflammation observed in this study genuinely progressed to vision-impairing cataracts or skin cancer remains speculative and awaits further evidence.

In conclusion, our screening revealed substantial cataractous changes and chronic hand inflammation in several spine surgeons, indicating the effects of indirect and direct radiation exposure. Educating orthopaedic and spine surgeons to avoid radiation exposure is essential. This includes promoting the widespread adoption of dosimetry and protective equipment, encouraging efforts to avoid direct hand exposure to radiation, and raising awareness about the long-term health risks associated with insufficient radiation protection. Future studies should compare these findings with those of other populations, especially those of countries other than Japan, and conduct longitudinal observations. ■

Yasukazu Hijikata, MD, DrPH^{1,2,3}
Kazuta Yamashita, MD, PhD⁴
Natsuko Hatsusaka, BEng⁵
Tatsuo Nagata, MD, PhD⁶
Hiroko Kitamura, MD, PhD⁷
Koichi Morota, RT, PhD⁸
Satoru Matsuzaki, RT, PhD⁹
Koichi Nakagami, RT, PhD¹⁰
Go Hitomi, RT, MOH¹¹
Tomoko Kuriyama, BSN, MOH¹²
Munehiko Kowatari, PhD¹³
Koichi Chida, PhD^{14,15}
Hiroshi Sasaki, MD, PhD⁵
Takashi Moritake, MD, PhD⁹

¹Spine and Low Back Pain Center, Kitasuma Hospital, Hyogo, Japan

²Section of Clinical Epidemiology, Department of Community Medicine, Kyoto University, Kyoto, Japan

³Department of Healthcare Epidemiology, School of Public Health, Graduate School of Medicine, Kyoto University, Kyoto, Japan

⁴Department of Orthopedics, Institute of Biomedical Sciences, Tokushima University Graduate School, Tokushima, Japan

⁵Department of Ophthalmology, Kanazawa Medical University, Ishikawa, Japan

⁶Department of Ophthalmology, University of Occupational and Environmental Health, Japan, Fukuoka, Japan

⁷Occupational Health Training Center, University of Occupational and Environmental Health, Japan, Fukuoka, Japan

⁸Department of Radiology, Shinkomonji Hospital, Fukuoka, Japan

⁹Department of Radiation Regulatory Science Research, Institute for Radiological Science, National Institutes for Quantum Science and Technology, Chiba, Japan

¹⁰Department of Radiology, Hospital of the University of the Occupational and Environmental Health, Japan, Fukuoka, Japan

¹¹Department of Radiological Technology, Kawasaki Medical School Hospital, Okayama, Japan

¹²Department of Occupational and Community Health Nursing, School of Health Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Japan, Fukuoka, Japan

¹³Department of Radiation Measurement and Dose Assessment, Institute for Radiological Science, National Institutes for Quantum Science and Technology, Chiba, Japan

¹⁴Department of Radiological Technology, Tohoku University Graduate School of Medicine, Miyagi, Japan

¹⁵Division of Disaster Medical Science, International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, Miyagi, Japan

Email for corresponding author: hijikata.yasukazu.7i@kyoto-u.ac.jp

References

- Karatasakis A, Brilakis HS, Danek BA, Karacsonyi J, Martinez-Parachini JR, Nguyen-Trong PJ, Alame AJ, Roesle MK, Rangan BV, Rosenfield K, Mehran R, Mahmud E, Chambers CE, Banerjee S, Brilakis ES. Radiation-associated lens changes in the cardiac catheterization laboratory: results from the IC-CATARACT (CATaracts Attributed to RAdiation in the CaTh lab) study. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2018 Mar 1;91(4):647-54.
- Haga Y, Chida K, Kaga Y, Sota M, Meguro T, Zuguchi M. Occupational eye dose in interventional cardiology procedures. *Sci Rep*. 2017 Apr 3;7(1):569.
- Stewart FA, Akleyev AV, Hauer-Jensen M, Hendry JH, Kleiman NJ, Macvittie TJ, Aleman BM, Edgar AB, Mabuchi K, Muirhead CR, Shore RE, Wallace WH; Authors on behalf of ICRP. ICRP publication 118: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs—threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Ann ICRP*. 2012 Feb;41(1-2):1-322.
- Chida K. What are useful methods to reduce occupational radiation exposure among radiological medical workers, especially for interventional radiology personnel? *Radiol Phys Technol*. 2022 Jun;15(2):101-15.
- Hammer GP, Scheidemann-Wesp U, Samkange-Zeeb F, Wicke H, Neriishi K, Blettner M. Occupational exposure to low doses of ionizing radiation and cataract development: a systematic literature review and perspectives on future studies. *Radiat Environ Biophys*. 2013 Aug;52(3):303-19.
- Gawkrödger DJ. Occupational skin cancers. *Occup Med (Lond)*. 2004 Oct;54(7):458-63.
- Ron E. Cancer risks from medical radiation. *Health Phys*. 2003 Jul;85(1):47-59.
- Davis MM, Hanke CW, Zollinger TW, Montebello JF, Hornback NB, Norins AL. Skin cancer in patients with chronic radiation dermatitis. *J Am Acad Dermatol*. 1989 Apr;20(4):608-16.
- Hijikata Y, Kotani Y, Suzuki A, Morota K, Funao H, Miyagi M, Morimoto T, Kanno H, Ishii K. Protective attitudes toward occupational radiation exposure among spine

surgeons in Japan: an epidemiological description from the survey by the Society for Minimally Invasive Spinal Treatment. *Medicina (Kaunas)*. 2023 Mar 10;59(3):545.

10. Falavigna A, Ramos MB, Iutaka AS, Menezes CM, Emmerich J, Taboada N, Riew KD. Knowledge and attitude regarding radiation exposure among spine surgeons in Latin America. *World Neurosurg*. 2018 Apr;112:e823-9.

11. Fidan F, Çetin MÜ, Kazdal C, Kılıç F, Özkaya U. Behaviour and knowledge skill levels of orthopedic surgeons about radiation safety and fluoroscopy use: a survey analysis. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2019 Jul;53(4):301-5.

12. Kang S, Cha ES, Bang YJ, Na TW, Lee D, Song SY, Lee WJ. Radiation exposure and fluoroscopically-guided interventional procedures among orthopedic surgeons in South Korea. *J Occup Med Toxicol*. 2020 Aug 11;15:24.

13. Fujibayashi S, Murata K, Shimizu T, Otsuki B, Masamoto K, Shimizu Y, Matsuda S. An observational survey of nail and skin of spine surgeons-possible damage by occupational ionizing radiation exposure. *Spine Surg Relat Res*. 2021 Feb 9;5(6):359-64.

14. Hijikata Y, Kamitani T, Yamamoto Y, Itaya T, Kogame T, Funao H, Miyagi M, Morimoto T, Kanno H, Suzuki A, Kotani Y, Ishii K. Association of occupational direct radiation exposure to the hands with longitudinal melanonychia and hand eczema in spine surgeons: a survey by the Society for Minimally Invasive Spinal Treatment (MIST). *Eur Spine J*. 2021 Dec;30(12):3702-8.

15. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*. 2013 Nov 27;310(20):2191-4.

16. von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gøtzsche PC, Vandenbroucke JP; STROBE Initiative. The Strengthening of Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *Ann Intern Med*. 2007 Oct 16;147(8):573-7.

17. Vano E, Kleiman NJ, Duran A, Rehani MM, Echeverri D, Cabrera M. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat Res*. 2010 Oct;174(4):490-5.

18. Tan AG, Mitchell P, Rochtchina E, Hong T, Cumming RG, Wang JJ. Lens retrodots and vacuoles and their associations with the prevalence and incidence of age-related cataract. *Eye (Lond)*. 2012 Apr;26(4):568-75.

19. Ciraj-Bjelac O, Rehani MM, Sim KH, Liew HB, Vano E, Kleiman NJ. Risk for radiation-induced cataract for staff in interventional cardiology: is there reason for concern? *Catheter Cardiovasc Interv*. 2010 Nov 15;76(6):826-34.

20. Worgul BV, Kundiye YI, Sergiyenko NM, Chumak VV, Vitte PM, Medvedovsky C, Bakhanova EV, Junk AK, Kyrychenko OY, Musijachenko NV, Shylo SA, Vitte OP, Xu S, Xue X, Shore RE. Cataracts among Chernobyl clean-up workers: implications regarding permissible eye exposures. *Radiat Res*. 2007 Feb; 167(2):233-43.

21. Adamsons I, Muñoz B, Enger C, Taylor HR. Prevalence of lens opacities in surgical and general populations. *Arch Ophthalmol*. 1991 Jul;109(7):993-7.

22. Hatsusaka N, Miyashita H, Kubo E, Kitamura H, Okubo T, Sasaki H. [Epidemiological study of health effects in emergency workers at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: cataracts nationwide survey]. *The Journal of The Japanese Society for Cataract Research*. 2020;32:49-51. In Japanese.

23. Hamada N, Azizova TV, Little MP. An update on effects of ionizing radiation exposure on the eye. *Br J Radiol*. 2020 Nov 1;93(1115):20190829.

24. Nikaido T. [Occupational radiation exposure to orthopaedic surgeons; current situation and issues of radiation-induced hand skin disorders]. *Orthop Surg Traumatol*. 2021;64(6):759-64. In Japanese.

25. Cohen SL, Schneider R, Carrino JA, Zeldin R, Pavlov H. Radiation dose practice audit of 6,234 fluoroscopically-guided spinal injections. *Pain Physician*. 2019 Mar; 22(2):E119-25.

26. Jain D, Ray WZ, Vaccaro AR. Advances in techniques and technology in minimally invasive lumbar interbody spinal fusion. *JBJS Rev*. 2020 Apr;8(4): e0171.

27. Wang E, Manning J, Varlotta CG, Woo D, Ayres E, Abotsi E, Vasquez-Montes D, Protosaltis TS, Goldstein JA, Frempong-Boadu AK, Passias PG, Buckland AJ. Radiation exposure in posterior lumbar fusion: a comparison of CT image-guided navigation, robotic assistance, and intraoperative fluoroscopy. *Global Spine J*. 2021 May;11(4):450-7.

令和6年度(2024年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究
医療従事者の逆行性線量評価推定における推定モデルの検討

研究分担者 古渡 意彦(国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究
所計測・線量評価部 物理線量評価グループ グループリーダー)

研究要旨

本分担研究では、高線量被ばくリスクにさらされ、累積被ばく線量が高いと考えられる医療従事者の遡及的な被ばく線量の推定手法を検討するにあたり、過去の研究者らによるモデルを導入する際の、手技当たりの被ばく線量、年間の手技回数、放射線防護装備の使用の有無等のパラメータに導入する数値の推定手法について検討を進めた。

令和6年度に実施したパラメータ検討では、特に術式当たりの被ばく線量についての推定手法を検討することとした。使用したデータは、文献から参照した整形外科医の術式当たりの被ばく線量である。本分担研究では、元の生データの推定、及び推定された生データより頻度分布を推定することで、適切なパラメータの数値が推定可能か検証した。元データは、対数正規分布を推定することで復元を試み、元データの分布を推定する手法として、1) 対数正規分布及び2) カーネル密度推定の両方を採用し、統計量を比較して評価した。その結果、1) 対数正規分布による推定を行うことで、文献値の示す統計量を非常によく再現することができた。医療従事者の遡及的な被ばく線量推定(逆行性線量推定)では、対数正規分布を採用することとしたいが、データが極端に少ない場合は、カーネル密度推定の利用も検討している。

A. 研究目的

本研究事業は、医療従事者の被ばく線量低減に資する放射線教育の在り方について研究する者であり、特に医療機関における放射線被ばく防護について包括的に研究を進めるものである。被ばく線量が他の業種と比較して高い医療の現場において、医療業務従事者を雇用する事業者は、電離放射線障害防止規則(以下「電離則」という。)における線量限度の遵守、線量計の装着等の基本的な法定措置の確実な実施はもとより、国際的な動向も踏まえて規制を最適化する

と共に放射線業務に従事する労働者の被ばくを可能な限り低減する管理体制を構築しなければならない。前身の研究班ではそれらに係る検討を進めてきたが、本研究事業においては、より包括的な視点で医療の現場における放射線防護研究を眺めて、医療従事者の放射線事故発生に伴う疾病防止及び被ばく線量低減に資する放射線教育の在り方を提案するものである。

本分担研究では、高線量被ばくリスクにさらされ、累積被ばく線量が高いと考えられる医療従事者の被ばく線量を遡及的に

推定する手法を開発するにあたり、どのようなパラメータが検討されるか、また、そのパラメータに入る数値をどのように推定するかについて検討を行った。本分担研究で行う遡及的な被ばく線量推定（逆行性線量推定）の精度良い推定手法を検討するにあたり、過去の研究者らによるモデルを導入する際の、手技当たりの被ばく線量、年間の手技回数、放射線防護装備の使用の有無等のパラメータに導入する数値の推定手法について検討を行った。

本分担研究は、医療従事者、特に医師の個人線量計装着率が低い事実が明らかとなったことに端を発している。労災疾病臨床研究事業費補助金研究「不均等被ばくを伴う放射線業務における被ばく線量の実態調査と線量低減に向けた課題評価に関する研究（平成30年度－令和2年度）」において実施された、医療従事者の個人線量計装着状況調査とその結果は、「全職種の個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率は65.3%と低値」[1]であった。調査結果は、特に医師の個人線量計装着率が低く、手術室での装着率が低いとのことであった[1]。この結果により、医療従事者の職業上の被ばくによる労災認定について、極めて困難な状況を考慮しなければならない。現在の労災認定基準である「電離放射線に係る疾病の業務上外の認定基準について」（基発第810号昭和51年11月8日）[2]によると、電離放射線障害の類型に当てはまるものであって、相当量の放射線被ばくに対し、被ばくした事実のみならず、ある期間内での被ばく線量を定量的に示す必要がある。例えば、慢性放射線皮膚障害（医師らの皮膚潰瘍、皮膚がん等）では「3か月以上の期間に概ね25シーベルト（Sv）以上の被ばく」、白内障（視

力障害を伴うもの）では「3か月以内の期間に概ね2Sv以上、又は3か月以上の期間に概ね5Svの被ばく」が示されている。被ばく線量結果は、事業所において30年保管されることが電離放射線障害防止規則でも定められているところであり、適切な個人被ばく管理、つまり線量計が確実に装着され、最も被ばく線量が高くなると想定される位置に追加で個人モニタリングを行うための線量計が準備され、労働者によって適切に使用されている場合には、被ばく線量を過去にさかのぼり計算・推定することは比較的容易であろう。しかしながら、上述のように被ばく線量の記録がない状況であれば、被ばく線量の推定は非常に困難であり、疾病が放射線業務に起因することも証明できない。

本研究事業において、上記のような線量情報のない医療従事者の被ばく線量を過去に遡って精度よく推定する手法を新規に開発する。被ばく線量の測定結果が存在しない場合の線量の推定手法は、これまでも広く検討・開発されてきた。医療従事者に対するものとして、近年検討が進められてきたものの一つに、IVR術者の眼の水晶体被ばく線量の正確な推定手法の検討である。2011年の国際放射線防護委員会（以下、「ICRP」という。）におけるソウル声明発出の後、我が国においても電離放射線障害防止規則の改正に伴い、眼の水晶体等価線量限度の年間線量限度が、令和3年度より、これまでの150 mSvから5年平均で20 mSv、単年度1年間で50 mSvを超えないように引き下げされることとなった。世界各国においてもICRPソウル声明に伴う眼の水晶体等価線量の年間線量限度引き下げに伴い、研究者らにより眼の水晶体被ばく線量の測

定に加えて、これまで測定されてこなかった眼の水晶体被ばく線量をどのように推定するかについて盛んに研究が行われてきている。

医療従事者のうち、高被ばくリスク群の一つに挙げられるのが IVR 術者である。IVR 術者の眼の水晶体被ばくリスクについては、2011年の ICRP ソウル声明以前より知られていたが、これまで個人モニタリングの対象とはなっていなかった。そのため、これまで測定されていなかった IVR 術者の眼の水晶体被ばく線量の遡及的線量推定手法が検討され、論文で公表されている。

例えば、Struelens らは、IVR 術者にたいする累積水晶体線量推定のため、以下の2つのモデルを導入し、モデル及びパラメータに関する検証を行っている [3]。

アプローチ①：手技ごとの被ばく線量とある期間の症例実施数から求める方法

アプローチ②：測定で得られた全身被ばく線量から適切な水晶体被ばく線量の比を求めて、それを乗じることで導出する方法

アプローチ①は以下の式で表現され、

$$ED_{\text{cum}} = \sum_{i,j,x,y,z} D_{j,x,y,z} \times N_{i,j,x,y,z},$$

ここでのDは、ばく露条件ごとに区別された症例ごとの眼の水晶体被ばく線量の確率分布であり、Nはある症例の積算手技回数となる。ばく露条件には、ある施術で防護眼鏡を装着したかどうか(x)、防護板を用いたかどうか(y)、X線装置の設定(z)を加味するとある。[3]

アプローチ②の測定で得られた全身被ばく線量から適切な水晶体被ばく線量の比を求めて、それを乗じる場合のモデルは、以下

の式で表される。

$$ED_{\text{cum}} = \sum_i D_{WB;i,p,x,z} \times C_{p,x,z},$$

ここでのD_{WB}は、ばく露条件ごとに区別された IVR 術者の測定で得られた年間の体幹部線量であり、症例ごとの眼の水晶体被ばく線量の確率分布であり、Cが体幹部線量と眼の水晶体等価線量の比である。ばく露条件には、アプローチ①の式と同様に、ある施術で防護眼鏡を装着したかどうか(x)、X線装置の設定(z)に加えて、測定に用いた線量計の装着位置(p)を考慮するとある。[3]

本分担研究では、医療従事者の累積被ばく線量の遡及的推定手法の開発を進めるにあたり、過去に医師の眼の水晶体等価線量の適切な推定のための開発されたモデルを援用し、体幹部等に装着された個人線量計からの測定値がない場合の、被ばく線量推定に資する適切なモデル構築を進める。

本分担研究では医療従事者のうち、特に被ばくリスクが高く、個人線量計装着率が低かった整形外科医の累積被ばく線量推定について進め、整形外科医を含めた医療従事者の線量計装着、及び被ばく線量低減に資するものであり、それをもって労働者の労働災害疾病防止に努めるものである。

B. 研究方法

本分担研究では、高線量被ばくのリスクにさらされ、累積被ばく線量が高いと考えられる医療従事者の遡及的な被ばく線量の推定手法を検討するにあたり、過去の研究者らによるモデルを導入する際の、手技当たりの被ばく線量、年間の手技回数、放射線防護装備の使用の有無等のパラメータに導

入する数値の推定手法について検討を進めた。研究を進めるにあたり、査読付き論文のうち、医療従事者の個人モニタリングに係る研究について収集し、内容の確認を行った。本分担研究における線量推定モデルでは、Struelens らが眼の水晶体等価線量推定で示したパラメータである、手技あたりの線量及び累積手技回数を導入することを検討している。令和6年度の研究着手段階では、これらのパラメータについて、どのような数値を当てはめて計算するのが良いか、その推定手法について検討した。

特に、文献 [3]のアプローチ①で示された方法には、手技ごとの被ばく線量に、手技の違い(j)、に加えて、該当する手技の施術で防護眼鏡を装着したかどうか(x)、防護板を用いたかどうか(y)、X線装置の設定(z)と細分化されている。整形外科医の正確な累積被ばく線量を求めるためには、上記のばく露条件の違いによる被ばく線量 D の変化は別途詳細な調査が必要であるが、研究着手初年度は、被ばく線量の程度を把握することを目的に、手技あたりの被ばく線量を統

計的に推定する手法について検討した。

本分担研究における手技あたりの被ばく線量の推定では、査読付き論文である Kouyoumdjian らの論文[4]より、手技あたりの体幹部線量についてのデータを用いて手技ごとの被ばく線量データを正確に推定するために、どのような手法で行うと正確に求めることができるかの評価を行った。

表1に、文献[4]における Table 7の結果を示す。Table 7では手技ごとの体幹部線量について、中央値と第1及び第3四分位の値を示している。この結果は、同一の手技であっても胸椎から腰仙椎までの手技を行う部位によって体幹部線量が変化していることを示していると同時に、すべての部位ごとの線量から求められた結果も示している (all centers の値を参照)。この結果を用いて、施術の部位にかかわらず手技ごとの線量が推定可能か、以下の手順で進めることとした。

- 1) 元データの復元
- 2) 復元したデータの分布の推定法の検討

Table 7
Whole-body personal equivalent dose (Hp(10)) per procedure for each level of the surgery.

	Operational dosimeter (EPD) Whole-body Hp(10) (μSv)
Thoracic	0.805 (0.103; 1.063)
Thoraco-lumbar	0.380 (0.165; 0.690)
Lumbar	0.530 (0.140; 3.090)
Lumbo-sacral	1.920 (0.690; 3.113)
All centers	0.490 (0.163; 1.505)

Data are presented as median (first quartile; third quartile). Hp: personal equivalent dose.

表1 本分担研究で使用した整形外科医の手技ごとの線量の分布。文献[4]の Table 7を引用した。

文献 4 では、100 症例での被ばく線量を収集しているとあり、元のデータは利用可能ではない。そこで、Table 7 の記載から、各部位での手技ごとの被ばく線量は対数正規分布に従って存在したと仮定し、元データの度数分布を推定した。

元データの推定後、このデータ 100 件を用いて、あらゆる部位全体を含んだ手技ごとの被ばく線量の推定を行った。(Table 7における all centers の値の復元を試みた) 推定では、対数正規分布に加え、少ない点からなめらかな確率分布関数を推定するために用いられるカーネル密度推定についても採用し、評価を進めた。

本事業を遂行するに当たり、研究対象者に対する人権擁護上の配慮、研究方法による研究対象者に対する不利益、危険性の排除や説明と同意(インフォームド・コンセント)に関わる状況、実験動物に対する動物愛護上の配慮等への観点を十分考慮し、モデルに導入するパラメータの数値推定手法の検討では、医療従事者の手技中に被ばくした体幹部、眼の水晶体及び手指部線量を取得するという、研究を進める手法を取らなかった。

以上により、当該事業に関し、倫理面への配慮が十分になされ、事業遂行に倫理面での問題がないと判断される。

(倫理面への配慮)

C. 研究結果

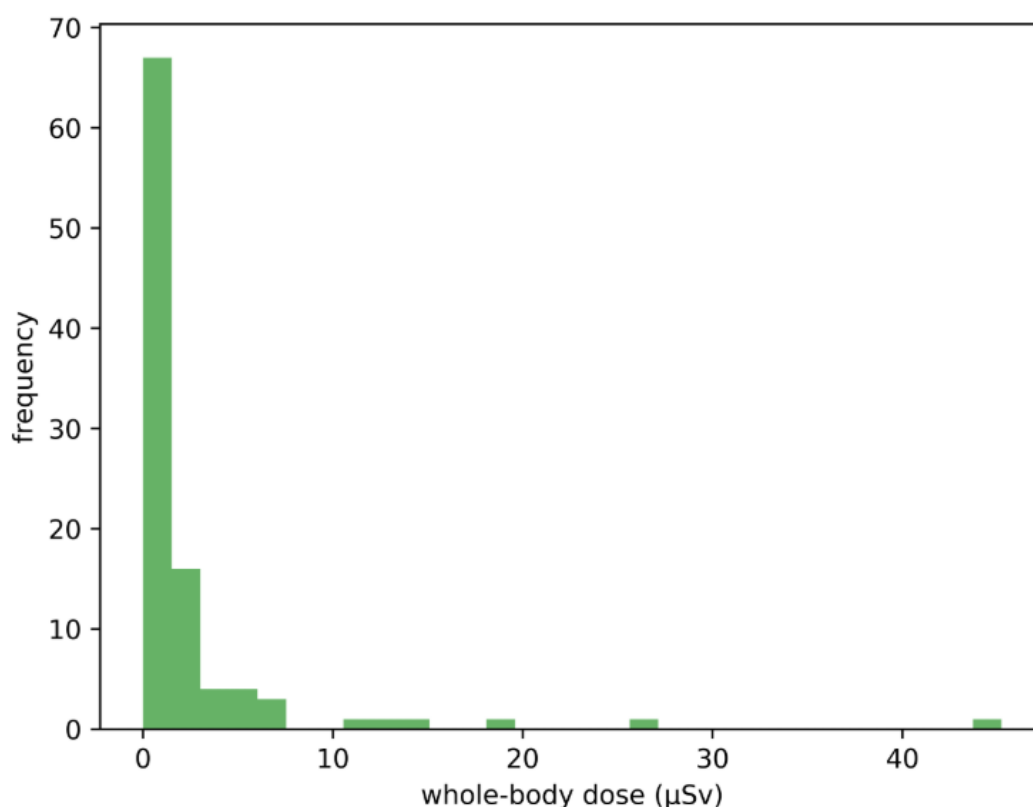


図1 本分担研究で使用した整形外科医の手技ごとの線量の推定分布。文献[4]の Table 7 から対数正規分布による確率分布を推定して合計 100 点サンプリングした。

本分担研究では、高線量被ばくリスクにさらされ、累積被ばく線量が高いと考えられる医療従事者のうち、整形外科医の累積被ばく線量を遡及的に推定するための適切なモデル構築のため、モデルに導入するための手技当たりの被ばく線量、年間の手技回数、放射線防護装備の使用の有無等のパラメータについて、それらへ導入する数値の推定手法について検討した。検討では、Kouyoumdjian らの論文[4]より、整形外科医の行う Percutaneous thoraco-lumbar pedicle screw fixation（経皮的胸腰椎椎弓根スクリュー固定術）における手技あたりの体幹部線量についてのデータを用い、手技ごとの被ばく線量データを正確に推定するために、どのような手法で行うと正確に

求めることができるかの評価を行った。

図1では、本分担研究で用いた整形外科医の手技ごとの線量の元データを推定した者である。文献[4]の Table 7 中の各部位である、Thoracic（胸椎）、Thoraco-lumbar（胸腰椎）、Lumbar（腰椎）及び Lumbo-sacral（腰仙椎）への施術時の被ばく線量の分布を対数正規分布で推定し、各部位の施術回数分ランダムサンプリングを行って得られた分布である。

この分布を用い、全体をA) 対数正規分布で推定、及びB) カーネル密度推定の2種類の手法で確率密度関数を推定したのが図2である。図1で示した分布に対しては、A) の対数正規分布による確率密度関数がよりよく度数分布全体を表現できていることが

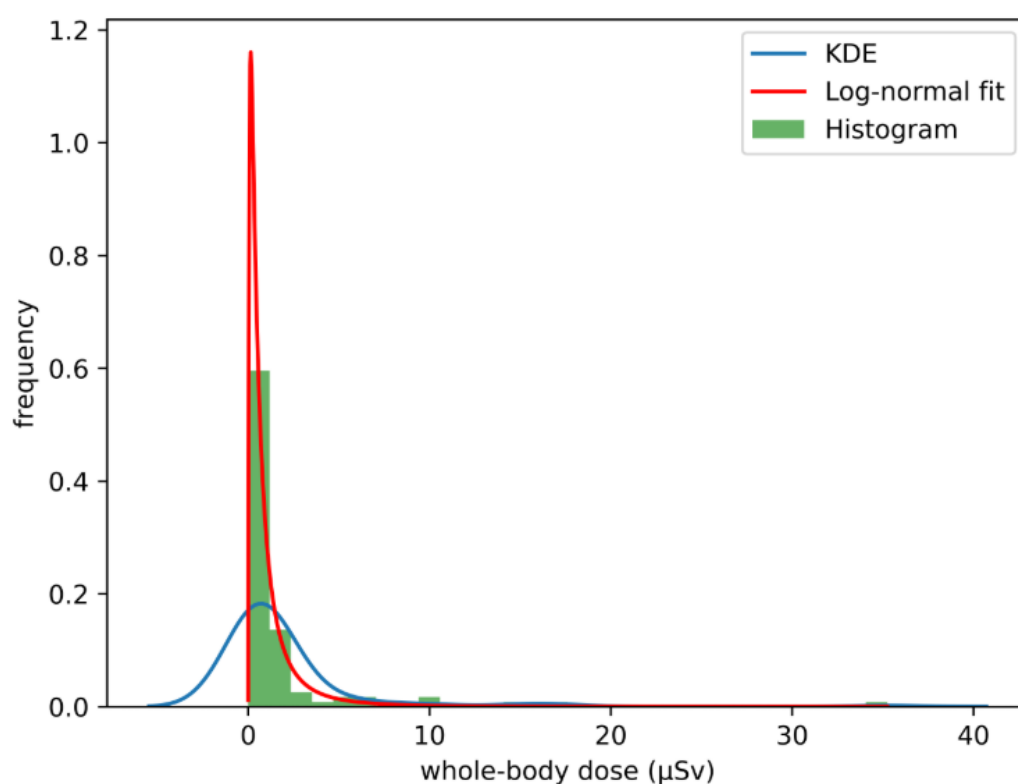


図2 本分担研究で使用した整形外科医の手技ごとの線量の確率分布の推定結果。文献[4]の Table 7 から推定した分布にA) 対数正規分布、及びB) カーネル密度推定により分布を求めた。

表2 図2で得られた確率分布からの統計量の比較

	文献[4] Table 7 より (μ Sv)	元データの推定 値 (μ Sv)	A) 対数正規分布で推定 (μ Sv)	B) カーネル密度推定 (μ Sv)
中央値	0.490	0.466	0.634	21.7
第1四分位	0.163	0.204	0.285	7.27
第3四分位	1.505	1.531	1.72	36.2
平均値	—	6.26	2.49	21.7
標準偏差	—	26.2	5.99	16.8

わかった。

D. 考察

本研究で得られた結果より、確率分布関数の推定に用いた推定手法とその応用例について述べる。

表2では、C. 結果で得られた、対数正規分布及びカーネル密度推定により推定した手技ごとの被ばく線量の統計量の違いについて記載した。表2では、元のデータの推定値に対する統計量についても記載した。表2に示す通り、論文に掲載されていた値と比較し、対数正規分布で推定した元のデータ尾推定値は、特に中央値と第1四分位及び第3四分位で非常によく一致していることがわかる。このことから、元のデータは100点余りと多くないデータ点ではあるが、全体の傾向として対数正規分布に従う確率密度関数で記述できることが分かった。そのうえで、さらにA) 及びB) の推定を行い、統計量を求めたところ、A) の対数正規分布については、特に中央値でファクター1.3以下に収まっており、非常に良い推定ができていることが明らかとなった。一方の、B) のカーネル密度推定ではすべての統計量で大幅な過大評価となっていることがわかる。これは、今回のケースで言えば、カー

ネル密度推定で用いるバンド幅と分布を広げる際の関数によるものと考えられ、手法自体の導入が不適切であると言い切れない。カーネル密度推定については、特に離散的データをスムーズに分布を補完して確率密度関数を求めるのに優れている。文献[3]でも現れているが、手技あたりの被ばく線量の場合、極端に大きな値が出現することがあり、これは手技自体が長時間にわたる、患者のBMIが高い、使用したエックス線装置が古く出力が大きい、防護対策が不十分だった等の諸条件によって生じる。この値を考慮すれば、必然的に平均値は大きくなるため、被ばく線量の全体の大きな傾向を評価するには、中央値を用いる方が適当であるといえる。一方で、手技にはこのような高い被ばく線量が生じるようなものもあることを推定に反映させることも重要であり、目的に応じたような推定手法によって統計量を求め、その値をパラメータに入れるか、の検討は今後も進める必要がある。

今回推定の検証に用いた値は、整形外科医の手技ごとの体幹部線量で、エプロン下で測定されたものである。本分担研究では、統計的な推定の検証の一環として、エプロン外の被ばく線量の統計量の導出が可能な検討を進めた。

検証は、表2のA) 対数正規分布で推定した量を用い、得られた確率分布関数から10000点サンプリングしこれを(A)とする。次いで、分布の範囲を、0から1の間で、中央値0.9 第1四分位0.80 第3四分位0.985の対数正規分布で鉛エプロン着用の分布を表現し、同じく10000点サンプリングしこれを(L)とする。得られた値に対し、 $(A) / (1.0 - (L))$ を求め、その統計量を評価した。得られた結果は図3のとおりである。統計量は、中央値5.4 第1四分位1.7 第3四分位18.0(いずれも単位は μSv)と推定され、元のデータの約10倍になり、エプロン外側の被ばく量も適切に求めることができた。

E. 結論及び今後の課題

令和6年度に実施したパラメータ検討では、特に手技当たりの被ばく線量についての推定手法を検討することとした。使用したデータは、文献から参照した整形外科医の術式当たりの被ばく線量である。本分担研究では、元の生データの推定、及び推定された生データより頻度分布を推定することで、適切なパラメータの数値が推定可能か検証した。元データは、対数正規分布を推定することで復元を試み、元データの分布を推定する手法として、1) 対数正規分布及び2) カーネル密度推定の両方を採用し、統計量を比較して評価した。その結果、1) 対数正規分布による推定を行うことで、文献値の示す統計量を非常によく再現することができた。医療従事者の遡及的な被ばく線量

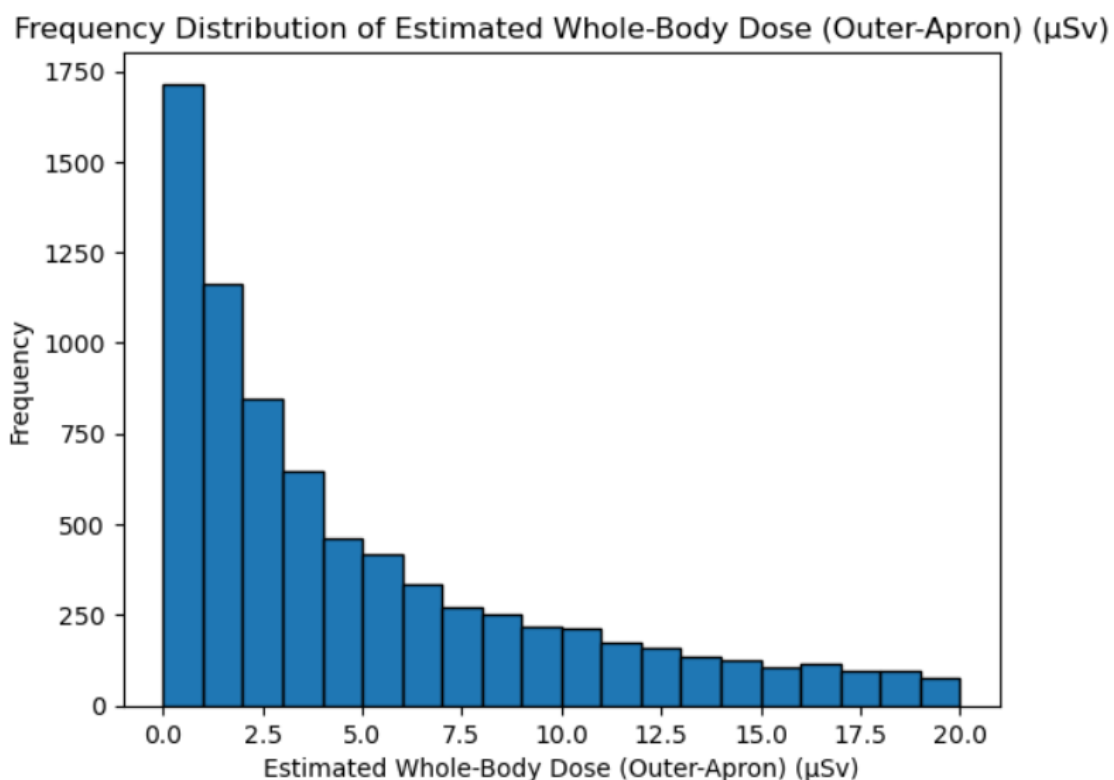


図3 本分担研究で使用した整形外科医の手技ごとのエプロン外の被ばく線量の推定結果。文献[4]のTable 7から推定した分布にA) 対数正規分布とエプロンの遮へい効果を考慮して分布を求めた。

推定（逆行性線量推定）では、対数正規分布を採用することとしたいが、データが極端に少ない離散的な分布を持つような手技あたりの被ばく線量の確率分布を推定する場合には、カーネル密度推定の利用も検討している。

本研究課題は今年度開始され初年度を終了した。事業期間4か年における次年度以降の課題として以下の点が挙げられる。

（１）整形外科医の被ばく線量の収集

（２）前向き被ばく線量推定とその精度検証

（１）整形外科医の被ばく線量の収集

本分担研究で示した通り、手技あたりの被ばく線量については、統計量のデータ、特に中央値、第一四分位、第三四分位がそろっている場合、分布を推定して評価することもできる。文献による手技あたりの被ばく線量評価も進める他、実際に整形外科の施術する現場での被ばく線量評価を行うことも非常に重要な研究となろう。特に、個人線量計により、手技ごとに一貫して被ばく線量分布をモニタリングできれば、飛躍的に情報量は高まり、それに伴い被ばく線量推定の精度も向上するであろう。分担研究者らは、小型ガラス線量計素子を用いた被ばく線量測定プラットフォームを構築済みであり、医療現場における測定も経験済みである。今後整形外科医への協力を仰ぎ、測定ができるよう準備をすすめられるとよい。

（２）前向き被ばく線量推定とその精度検証

（２）について、本分担研究で得られた成果より、整形外科医の手技ごとの被ばく線量について、適切な分布を推定すれば、手技ごとの被ばく線量を分布として適切に求め

ることもできることが分かった。これを援用し、各手技の年間の施術回数を求め、被ばく線量を推定することもかかろうであろう。得られた被ばく線量について、例えば（１）で行う被ばく線量測定の際に、実際に被ばく線量としてどのように記録されたか比較を行い、モデルの精緻化等に資することを検討している。本分担研究の目標は、医療従事者の生涯にわたる医療従事者の累積被ばく線量の精度良い推定を可能とするモデルの開発である。特に、鉛エプロンの防護効果や天吊り式の防護板の有無等の効果を導入し、より精度の高い被ばく線量評価が行えるよう検証を進めていく。

F. 健康危機情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

H. 知的財産権の出版・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

I. 引用文献

[1] 樫田尚樹 “不均等被ばくを伴う放射線業務における被ばく線量の実態調査と線量低減に向けた課題評価に関する研

- 究 総合研究報告書概要”
<https://www.mhlw.go.jp/content/000812189.pdf> access on 17th March 2025.
- [2] 「電離放射線に係る疾病の業務上外の認定基準について (昭和 51 年 11 月 8 日付基発第 810 号) 労働省労働基準局長通知。
https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=00tb8956&dataType=1&pageNo=1 Available on 17th March 2025.
- [3] Struelens, L. et al., “Radiation-Induced Lens Opacities among Interventional Cardiologists: Retrospective Assessment of Cumulative Eye Lens Doses”, Radiation Research, 189(4):399-408.
- [4] Kouyoumdjian, P. et al. “Surgeon’s and patient’s radiation exposure during percutaneous thoraco-lumbar pedicle screw fixation: A prospective multicenter study of 100 cases” Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research 104 (2018) 597–602.

令和 6 年度(2024 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

【気管支鏡検査に従事する医師の水晶体被ばくの評価】

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

研究要旨

令和 6 年度(2024 年度)は、気管支鏡検査に従事する医師の水晶体被ばく線量の評価およびその危険因子を明らかにするための調査を行った。

本研究では、気管支鏡検査に従事する 15 名の医師の水晶体被ばく線量を測定し、年間積算線量を評価した。この測定について、医師は水晶体用の防護具を使用していない。また、手技件数、透視時間、撮影回数、患者の BMI との関係を調べ、水晶体被ばく線量増加の要因について検討した。

その結果、水晶体被ばく線量が 20mSv/年を超える医師がいることや、10mSv/年に近い医師も多くいることが明らかになった。また、手技件数、透視時間、撮影回数、患者の BMI すべてにおいて、水晶体被ばく線量と正の相関が見られた。特に、手技件数、透視時間、の相関が強く、水晶体被ばく線量の予測に使える可能性が示唆された。これらの結果から、防護具を使用しない場合、比較的透視時間が短いとされている気管支鏡検査であっても、線量限度を超過してしまう可能性があると考えられる。そのため、被ばく低減策が必要であり、防護具の使用を推奨する。

本研究の結果から、気管支鏡検査に従事する医師が水晶体の等価線量限度を超過する可能性があることや、手技件数、透視時間、撮影回数、患者の BMI が危険因子となっている可能性があることが明らかとなった。しかしながら、1 施設のデータのみを使用しているため、今後対象施設を増やした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 副技師長)

A. 研究目的

医療施設等における水晶体被ばく線量の低減が重要視されている。国際放射線防護委員会 (ICRP) は、職業被ばくの水晶体等価線量限度の大幅な引き下げを勧告し、150mSv/年だったものが、100mSv/5年かつ50mSv/年となった。それに伴い、日本の法律も2021年4月から新たな線量限度が施行された。そのため、手技中に医療従事者が受ける水晶体被ばく線量を評価することは重要である。

本研究では、気管支鏡検査に従事する医師の水晶体被ばく線量とその危険因子の評価について述べる。

気管支鏡検査において、手技中の被ばく線量が医療従事者の中で最も高いのは医師であると報告されている。しかし、医師の水晶体被ばく線量を測定した報告は少なく、1年間にわたって測定を行ったものは報告されていない。また、気管支鏡検査における水晶体被ばく線量の危険因子について述べられた報告も少ない。

そこで、本研究の目的を、X線透視下で気管支鏡検査を行う医師の水晶体被ばく線量をDOSIRISで測定し、水晶体等価線量限度を超えていないか評価すること、また、手技件数、透視時間、撮影回数、患者のBMIとの関係を調べることで、水晶体被ばく線量増加の危険因子を明らかにすることとする。

B. 研究方法

本研究は、1年間の計663件の気管支鏡検査に対して調査を行った【表1】。測定対象は気管支鏡検査に従事する医師15名である。手技中の位置関係を図1に示す。

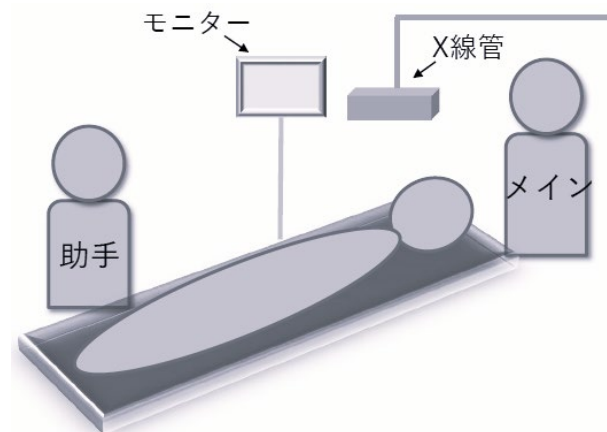


図1 気管支鏡検査中の立ち位置

手技中、医師は防護エプロンを使用していたが、防護メガネは使用していない。

水晶体被ばく線量の測定にはDOSIRISを使用した。DOSIRISとは、特に水晶体被ばく線量(3mm線量当量)の測定に優れた水晶体直接線量計である。本研究においてDOSIRISを装着した位置は左目のすぐ外側である。

本研究では、DOSIRISを用いて気管支鏡検査を担当した医師の1年間の水晶体被ばく線量を測定し、その値が20mSv/年を超えていないかを調べた。また、1年間の水晶体被ばく線量を担当した手技件数で割ることで、1件あたりの水晶体被ばく線量も求めた。

医師が担当した手技件数、透視時間、撮影回数、患者のBMI、医師の身長、経験年数を調べ、水晶体被ばく線量とどのような関係があるかを調べた。手技件数については、検査に関わった総件数と、メイン術者だった場合のみのメイン件数の2通りで評価した。透視時間についても、関わった検査の総透視時間と、メイン術者だった場合のみのメイン透視時間の2通りで評価した。

C. 研究結果

気管支鏡検査の手技を行った医師について

ての詳細を表 2 に示す。

水晶体被ばく線量

15 名の医師の 1 年間の水晶体被ばく線量は図 2 のようになった。

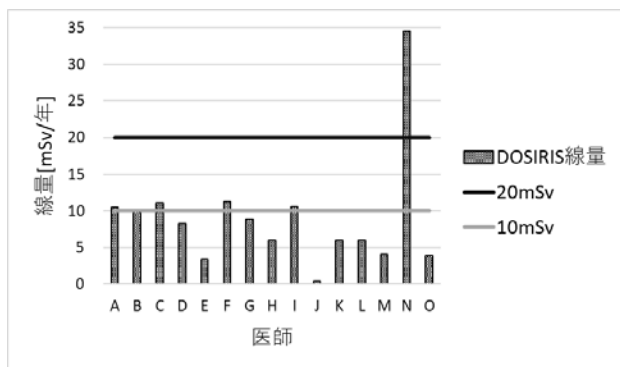


図 2 1 年間の水晶体被ばく線量

(X 線透視下での気管支鏡検査における医師の水晶体被ばくの評価。日本放射線安全管理学会, 23 (2), 2024 年 12 月, 改変)

1 番高い医師は 1 年間で 34.48mSv であり、20mSv/年を大きく超えていた【表 2】。また、1 件あたりの水晶体被ばく線量は図 3 のようになった。

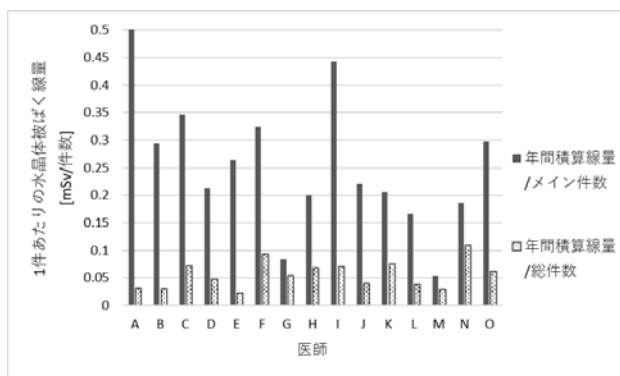


図 3 1 件あたりの水晶体被ばく線量

(X 線透視下での気管支鏡検査における医師の水晶体被ばくの評価。日本放射線安全管理学会, 23 (2), 2024 年 12 月, 改変)

水晶体被ばく線量と各因子の関係

水晶体被ばく線量と手技件数の相関は図 4 のようになった。

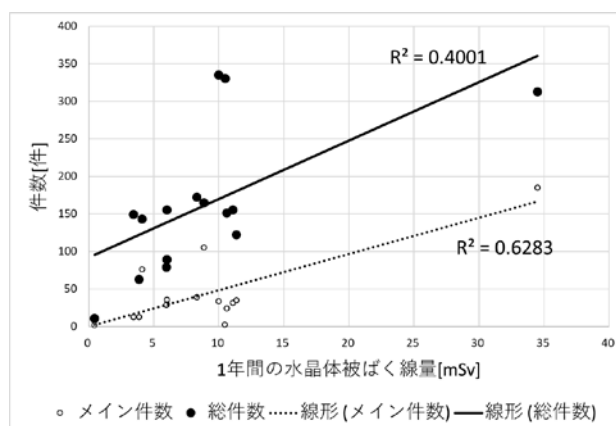


図 4 1 年間の水晶体被ばく線量と手技件数の相関

(X 線透視下での気管支鏡検査における医師の水晶体被ばくの評価。日本放射線安全管理学会, 23 (2), 2024 年 12 月, 改変)

どちらも比較的強い相関が見られ、メイン件数で評価した方がより強い相関となった。

水晶体被ばく線量と透視時間の相関は図 5 のようになった。

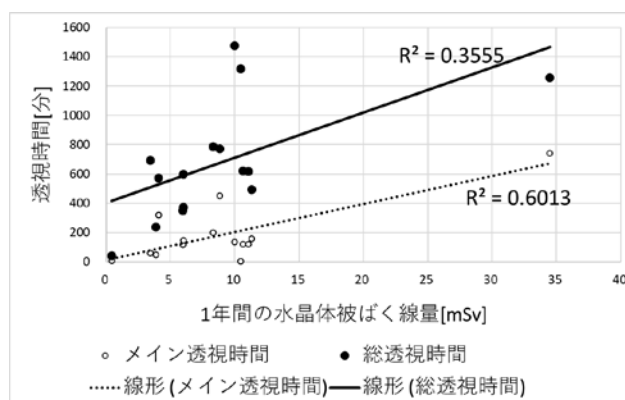


図 5 1 年間の水晶体被ばく線量と透視時間の相関

(X 線透視下での気管支鏡検査における医師の水晶体被ばくの評価。日本放射線安全管理学会, 23 (2), 2024 年 12 月, 改変)

透視時間も手技件数の結果と同様に、どちらも比較的強い相関が見られ、メイン透視時間で評価した方がより強い相関となった。

水晶体被ばく線量と撮影回数、患者の BMI

の相関は図 6 のようになった。

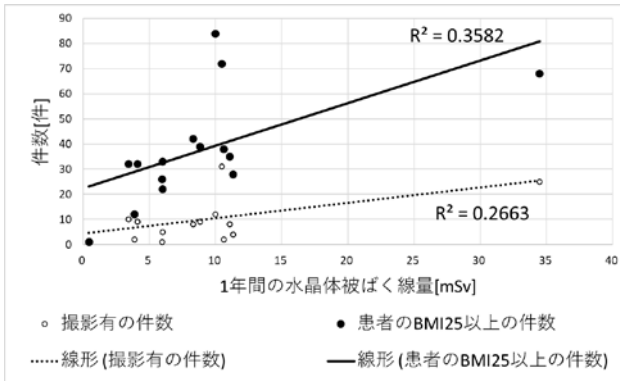


図 6 1 年間の水晶体被ばく線量と撮影有の件数、患者の BMI が 25 以上の件数の相関

(X 線透視下での気管支鏡検査における医師の水晶体被ばくの評価. 日本放射線安全管理学会, 23 (2), 2024 年 12 月, 改変)

これらについても相関が見られたが、手技件数や透視時間と比較すると弱い相関となった。

D. 考察

水晶体被ばく線量

本研究では、DOSIRIS を用いて 1 年間の測定を行ったことで、より正確な水晶体被ばく線量を評価することができた。1 年間の水晶体被ばく線量を測定した結果、20mSv/年を超える医師がいたことや、その他にも 10mSv/年に近い医師が多くいることが明らかになった。医師 N の水晶体被ばく線量が高かったのは、他の医師と比べてメイン術者として入った件数が多かったためであると考えられる。このように、水晶体等価線量限度を超過する恐れがあることから、比較的 X 線透視時間が短いとされている気管支鏡検査であっても防護具を使用すべきであると考え。今回の調査で明らかになった水晶体被ばく線量について、医師への

フィードバックを行うことで、水晶体被ばくに対する意識を高め、防護具の使用率向上につなげていくべきである。

また、本研究での水晶体被ばく線量は、気管支鏡検査によるものしか含まれていないため、その他に放射線を使用する手技に関わった場合、更に大きな値になる可能性がある。そのため、X 線の防護がより重要になってくる。気管支鏡検査においても、水晶体被ばく線量を低減するために防護メガネを使用することは有効な手段である。

本研究ではオーバーテーブル型 X 線透視装置を用いたため、医師の上半身は高い散乱線を受け、水晶体被ばく線量が大きくなってしまった。また、パルス透視ではなく連続透視を用いたことも値が大きくなってしまった原因であると考えられる。可能であればパルス透視を用いることが望ましい。

水晶体被ばく線量と各因子の関係

本研究では、手技件数や透視時間、撮影回数他に患者の BMI という患者情報も考慮して水晶体被ばく線量の評価を行った。そして、これらすべてにおいて正の相関が見られたため、すべてが水晶体被ばく線量増加の危険因子である可能性が示唆された。先行研究においても、患者の BMI が高いほど術者の被ばく線量が高い傾向が見られるという報告がある。本研究において患者の BMI が高い場合に術者の水晶体被ばく線量が高くなった理由として、今回使用した X 線透視装置が挙げられる。Auto Exposure Control (AEC: 自動露出機構) を用いていたため、BMI の高い患者の時には照射する X 線の出力が多くなり、散乱線が増加したのだと考えられる。また、手技件数、透視時間で水晶体被ばく線量との強い相関が見られたことから、これらが特に水晶体被ばく線量に影響していると考えられる。

本研究では DOSIRIS を用いてより正確な水晶体被ばく線量の測定を行ったが、担当する手技件数等によっては水晶体等価線量限度を超える恐れがあることがわかった。今までは IVR 術者など検査時間が長い手技の被ばくが注目されていたが、気管支鏡検査においても防護具を使用しないと水晶体被ばく線量が高くなっていることがわかった。本研究の結果から、気管支鏡検査の術者は、担当する件数によって IVR 術者と同等かそれ以上の水晶体被ばく線量となる可能性が示唆された。そのため、比較的 X 線透視時間が短いとされている気管支鏡検査であっても防護具を使用すべきである。

E. 結論

本研究では、X 線透視下での気管支鏡検査における医師の水晶体被ばくの評価を行った。1 年間の医師の水晶体被ばく線量を評価した結果、気管支鏡検査を行う医師は 20mSv/年を超える可能性があることが明らかになった。また、杉件数、透視時間、撮影回数、患者の BMI すべてが水晶体被ばく線量増加の危険因子である可能性が示唆された。特に、手技件数、透視時間で強い相関が見られ、水晶体被ばく線量の予測に使える可能性がある。改正後の水晶体等価線量限度を超さないために、比較的 X 線透視時間の短い気管支鏡検査においても被ばく低減策が必要である。これまで気管支鏡検査において防護メガネの使用率が高くなかったことから、水晶体被ばく線量の医師へのフィードバックや、手技の妨げにならない新たな防護具の開発も必要であると考ええる。

F. 論文報告

1. 高平咲希, 芳賀喜裕, 曾田真宏, 阿部美津也, 加賀勇治, 木村雄一郎, 稲葉洋平, 千田浩一. X 線透視下での気管支鏡検査における医師の水晶体被ばくの評価. 日本放射線安全管理学会, 23(2), 2024 年 12 月
doi: 10.11269/jjrsm.23.51

G. 研究発表

1. 高平咲希, 下橋航大, 田辺真子, 中村美緒, 芳賀喜裕, 加賀勇治, 阿部美津也, 千田浩一. X 線透視下での気管支鏡検査における医師の水晶体被ばく線量増加の危険因子. 第 14 回東北放射線医療技術大会. 2024 年 10 月

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

次ページ以降に表 1、表 2 を示す。

表 1 本研究で調査した計 663 件の気管支鏡検査の詳細
(X 線透視下での気管支鏡検査における医師の水晶体被ばくの評価. 日本放射線安全管理学会, 23 (2), 2024 年 12 月, 改変)

撮影	
撮影有	36 件
撮影無	627 件
患者の BMI	
BMI25 以上	147 件
BMI25 未満	516 件
透視時間(平均±標準偏差)	4.21±1.51 [分]
撮影回数(平均±標準偏差)	0.07±0.31 [回]
患者の BMI(平均±標準偏差)	22.27±3.99

表 2 医師 15 名の 1 年間の水晶体被ばく線量と担当した手技件数、透視時間
(X 線透視下での気管支鏡検査における医師の水晶体被ばくの評価. 日本放射線安全管理学会, 23 (2), 2024 年 12 月, 改変)

医師	水晶体被ばく線量 [mSv/年]	手技件数 [件]			透視時間 [分]		
		総	メイン	助手	総	メイン	助手
A	10.5	329	2	327	1317	5	1312
B	10.0	333	33	300	1476	135	1341
C	11.1	153	32	121	619	119	500
D	8.3	171	39	132	785	201	584
E	3.4	149	13	136	691	62	629
F	11.3	121	35	86	494	157	337
G	8.9	165	103	62	772	451	321
H	6.0	88	29	59	373	121	252
I	10.6	151	24	127	622	120	502
J	0.4	11	2	9	43	8	35
K	6.0	83	29	54	352	117	235
L	6.0	147	35	112	598	147	481
M	4.1	141	75	66	574	319	255
N	34.5	313	185	128	1258	740	518
O	3.9	62	13	49	237	50	187

令和 6 年度(2024 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

線量限度引き下げ前後の心臓血管カテーテル手技における医師の水晶体被ばく線量

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

研究要旨

令和 6 年度(2024 年度)は、心臓血管カテーテル手技に従事する医師の水晶体被ばく線量に関して、水晶体用線量計を用いて線量限度引き下げ前後でどのように変化したのかについて検討した。

本研究では 14 名の心臓血管カテーテル手技に携わる医師の眼の水晶体の被ばく線量について頸部個人線量計(ガラスバッジ)と水晶体用線量計(DOSIRIS)を用いて計測を行い、年間積算線量、手技1件当たりの線量、頸部個人線量計と水晶体用線量計の計測値の相関が線量限度引き下げ前後でどの程度変化したのかについて調査した。

その結果、水晶体用線量計を用いて計測した、防護メガネの遮蔽効果を考慮した 3mm 線量当量において線量限度引き下げ前後ともに年間 20mSv を超過する医師を確認した。手技1件当たりの線量は平均値に増加が見られたものの有意差は確認できなかった。頸部個人線量計は水晶体被ばく線量を過大評価していることが確認できたが、頸部個人線量計と水晶体用線量計は相関が認められた。頸部個人線量計で計測された $70\mu\text{m}$ 線量当量から防護メガネを考慮した水晶体の 3mm 線量当量が推算可能であるといえる。これらの相関関係に関しては線量限度引き下げ前後で大きな変化はなかった。また、治療を主に行う医師は診断を主に行う医師と比較して相関が強いことが明らかになった。治療を主に行う医師では頸部線量からより正確な水晶体 3mm 線量当量を推測することが可能である一方、水晶体線量が多いため水晶体用線量計を使用した直接的な 3mm 線量当量の計測が望ましい。

本研究の結果から、心臓血管カテーテル手技に携わる医師の眼の水晶体被ばく線量は線量限度が引き下げられても大きな変化は認められず、防護具の使用法の最適化や新たな防護具の開発などの防護策の再検討が必要であるといえる。また、頸部個人線量計は水晶体被ばく線量を過大評価する可能性があるため、水晶体用線量計を用いて評価することが望ましい。

*主な研究協者:芳賀喜裕(仙台厚生病院 副技師長)

A. 研究目的

近年、放射線を用いた医療技術・装置が臨床で幅広く利用されており、医療被ばくや職業被ばくが問題となっている。特にX線透視下で診断・治療を行う心臓血管カテーテル手技は、開胸を伴う外科的手術と比較して低侵襲であり、件数が増加している。さらに、手技は年々複雑化しており長時間にわたってX線透視が行われている。そのため、患者からの散乱線が原因で医療従事者の放射線障害が報告されている。なかでも、眼の水晶体は放射線感受性が高く、白内障等の放射線障害を引き起こす可能性がある。また、水晶体等価線量限度は2021年4月から引き下げられ、100mSv/5年かつ50mSv/年と今までの150mSv/年から大幅な引き下げが行われた。

水晶体等価線量の測定に関して、ICRPでは3mmの深さでの実用量である3mm線量当量が望ましいとしている。しかし、現在の水晶体被ばく管理や水晶体被ばくに関する多くの研究では1cm線量当量、70 μ m線量当量のうち高い方の値やこれらから計算により3mm線量を推定しており、水晶体線量を正確に評価できていない可能性がある。水晶体線量計を用いて正確な水晶体3mm線量当量を計測して評価した研究は少ない。また、電離放射線障害防止規則の水晶体線量限度引き下げ前後で心臓血管カテーテル診断・治療術者の水晶体線量がどのように変化したのかを評価した研究は我々の知る限りない。そこで、本研究は線量限度引き下げ前後で、心臓血管カテーテル診断・治療を行う医師の水晶体被ばく線量を、水晶体用線量計を用いて直接3mm線量当量を測定し、評価することで現在のIVR術者の水晶体被ばく線量の実態を明らかにすることを目的とした。また、頸部個人線量計との比較を行った。

B. 研究方法

装置

FPD搭載型血管撮影装置はInfinix Celeve™-I シリーズ INFX-8000V、INFX-8000V Biplane (2台)、INFX-8000C、INFX-8000F Biplane、INFX-8000Hの合計6台(東芝メディカルシステム社製、日本)を使用した。フレームレートは透視7.5fps、撮影10fpsのパルス透視、主な照射やサイズは6インチである。

線量計

水晶体用線量計としてDOSIRIS™(フランス放射線防護原子力安全研究所)を防護メガネの内側の左眼近傍に装着し、3mm線量当量[Hp(3)]を計測した。DOSIRISは熱ルミネッセンス線量計(Thermo Luminescence Dosimeter:TLD, 素子:LiF:Mg, Ti)であり、測定線量範囲は0.1mSvから1Svである。TLD素子の前面に3mm厚のポリプロピレンを設置しているためHp(3)を直接測定することができる。検出器は重量3gと軽量であり、ヘッドセットに取り付けることで防護メガネの内側の線量を計測することが可能である。個人線量計として蛍光ガラス線量計ガラスバッジ™(千代田テクノル社製、日本)を胸部及び頸部に装着し、1cm線量当量[Hp(10)]と70 μ m線量当量[Hp(0.07)]を計測した。なお、胸部個人線量計は鉛防護エプロンの内側、頸部個人線量計は外側の左側に装着した。線量計は1か月ごとに千代田テクノルに返送し、線量読み取りや校正は全て千代田テクノル(ISO/IEC17025, Radiation Monitoring)に委託した。

防護具

天吊り防護板は0.5mmPb当量のものを手技中は原則的に使用した。放射線防護衣は主に日本のマエダ社製のエプロンタイプ(前面0.25mmPb当量)を計測した医師14人

が使用した。防護メガネは日本の東レ・メディカル社製のパノラマシールド™ ウルトラライト（前面側面 0.07mmPb 当量）及びパノラマシールド™ エクストラワイド（前面側面 0.07mmPb 当量）を計測した医師 14 人が使用した。

線量評価

仙台厚生病院（日本）の心臓カテーテル検査・治療に携わる 14 人の医師を対象に、個人線量計（ガラスバッジ™）を左頸部（放射線防護衣の外側）と胸部（放射線防護衣の内側）にそれぞれ 1 つずつ、水晶体用線量計（DOSIRIS™）を防護メガネ内側の左眼近傍に装着し線量当量を測定した。今回計測を行った医師 14 人は毎年放射線被ばく防護教育を受けており、水晶体等価線量限度の引き下げについて周知されていた。計測を行った病院では法令改正前から放射線被ばく防護措置をとっていたため、法令改正後に防護方法の変更は行われなかった。測定期間は 2020 年 4 月 1 日から 2021 年 3 月 31 日、2021 年 4 月 1 日から 2022 年 3 月 31 日の 2 年間とし、1 ヶ月ごとに測定した。なお、計測を行った 14 人の測定期間は 8 人が 24 ヶ月間、5 人が 23 ヶ月間、1 人が 21 ヶ月間である。本研究は 2021 年 6 月 1 日に仙台厚生病院の倫理委員会により承認された。（承認番号：30-19）

水晶体用線量計で計測した Hp(3) 及び個人線量計で計測した頸部 Hp(0.07) の測定結果が線量限度引き下げ前後でどのように変化したか、年間積算で 20mSv および 50mSv を超過しているか評価した。なお、Hp(3) は防護メガネを考慮した値であり、頸部 Hp(0.07) は防護メガネの遮蔽効果を考慮していない値である。

医師によっては 2020 年度と 2021 年度の検査・治療件数に差があったため、被ばく線

量を件数で割ることにより 1 件あたりの被ばく線量で法令改正前後の比較を行った。また、ウィルコクソンの符号順位検定により有意差検定を行った。有意水準はすべて $\alpha = 0.05$ とした。

個人線量計で計測した実効線量も同様に法令改正前後でどのように変化したのか、年間積算で 20mSv および 50mSv を超過しているか評価した。また、測定値を件数で割ることにより 1 件あたりの実効線量で法令改正前後の比較を行った。なお、不均等被ばくを考慮するため、実効線量は日本で広く利用されている以下の式により求めた。

$$\text{実効線量[mSv]} = 0.11 \times (\text{頸部 Hp(10)[mSv]}) + 0.89 \times (\text{胸部 Hp(10)[mSv]})$$

1 年積算線量（計 2 年間）で Hp(3) と Hp(0.07) の相関関係が法令改正前後でどのように変化したか調べた。また、それぞれの医師ごとに 1 か月積算線量（計 24 か月）で Hp(3) と Hp(0.07) の相関関係について調べ、全件数に対して診断件数の割合が高い 5 人、治療件数の割合が高い 5 人を抽出し比較した。

C. 研究結果

年間積算線量

計測期間中に行われた手技に関して表 1、患者 BMI について表 2 に示す。手技件数は 2021 年度に増加した。患者 BMI は 2021 年度に有意に増加した（ $p < 0.05$ ）。

頸部個人線量計で測定した Hp(0.07) および水晶体用線量計で測定した Hp(3) の年間積算線量と手技 1 件当たりの線量について表 3 及び図 1 に示す。平均値で比較すると Hp(0.07)、Hp(3) のどちらも年間積算線量および手技 1 件当たりの線量が増加していた。

個人線量計で計測した Hp(0.07) は今回計測した医師 14 人で 10 人が計測期間内で 5 年

間の水晶体線量限度の1年平均である年間20mSvを超えており、そのうち1人が年間50mSvを超えていた。Hp(0.07)の年間積算線量を2020年度と2021年度で単純比較すると14人中9人で線量が増加していた。

水晶体用線量計で計測したHp(3)は今回計測した医師14人で2人が計測期間内で年間20mSvを超えていた。年間50mSvを超えた者はいなかった。Hp(3)の年間積算線量を2020年度と2021年度で単純比較すると14人中7人で線量が増加していた。

手技1件当たりの線量

表1からわかるように線量限度引き下げ前後で検査件数が異なっていたため、年間積算線量を手技件数で割ることにより手技1件当たりの線量として比較を行った。その結果を表3及び図2に示す。

平均値で比較するとHp(0.07)は2020年度が0.149mSv、2021年度が0.169mSv($p=0.363$)であり、Hp(3)は2020年度が0.0465mSv、2021年度が0.0576mSv($p=0.638$)でどちらも増加しているものの有意差は認められなかった。

実効線量

次に不均等被ばくを考慮した実効線量について年間積算線量と手技1件当たりの線量を表4に示す。

年間積算線量の平均値は2020年度が3.57mSvであり、2021年度が5.06mSvで増加していた。今回計測した医師14人で年間50mSv、年間20mSvを超えなかった。しかし、実効線量の年間積算線量を2020年度と2021年度で単純比較すると14人中10人で線量が増加していた。

Hp(0.07)とHp(3)の相関関係

頸部個人線量計Hp(0.07)と水晶体用線量計Hp(3)の相関関係について直線近似した結果に関して、図3に示す。法令改正前の

2020年度では $y=0.5236x-2.5541$ [x : Hp(0.07)、 y : Hp(3)]、 $R=0.912$ 、 $R^2=0.832$ 、 $p<0.01$ であり、法令改正後の2021年度でも $y=0.5699x-5.3096$ 、 $R=0.875$ 、 $R^2=0.765$ 、 $p<0.01$ であり共に相関関係がみられた。法令改正後ではグラフの傾きとばらつきが少し大きくなっていたが、大きな変化はなかった。

術者ごとの1ヶ月積算線量の頸部個人線量計Hp(0.07)と水晶体用線量計Hp(3)の相関関係について、術者によって相関関係の強さが大きく異なっていることが分かった。相関の特に強かった例、弱かった例を図4に示す。相関の強かった例では $R=0.756$ 、 $R^2=0.743$ 、 $p<0.01$ 、弱かった例では $R=0.0305$ 、 $R^2=0.000936$ 、 $p=0.862$ であり、大きく異なっていた。相関の弱かった例ではHp(0.07)で水晶体線量を評価するとかなり過大評価をしてしまっているといえる。

そこで相関関係の違いを調べるために、総件数に対する診断・治療件数の割合を調べ、それぞれの割合が高い5名ごとに相関を調べた。診断割合の高い5名と治療割合の高い5名に関して図5に示す。診断割合の高い5名は $y=0.2571x+0.5271$ [x : Hp(0.07)、 y : Hp(3)]、 $R^2=0.305$ 、 $p=0.0976$ であり、治療割合の高い5名は $y=0.7049x-7.8324$ 、 $R^2=0.896$ 、 $p=3.36\times 10^{-5}$ であった。診断割合の高い術者に比べて治療割合が高い術者は相関関係が強く、グラフの傾きが大きいということが分かった。

D. 考察

カテーテル検査や経皮的画像下治療は外科的治療と比較して低侵襲であり患者の負担が比較的小さいことから外科的治療が難しい高齢者でも治療が可能であり、件数は増加傾向にある。特に経験豊富な術者や専

門的な術者は件数が多くなることや、複雑な手技を行うことが考えられ、被ばく線量が大きくなる可能性がある。水晶体線量限度の引き下げにより、心臓血管カテーテル診断・治療において、適切な放射線防護と正確な水晶体被ばく線量評価が求められている。医療従事者の水晶体線量評価に関する先行研究はいくつかあるものの、心臓血管カテーテル診断・治療において、防護メガネを考慮した Hp(3) を 2 年間での長期間の測定した研究は本研究が初めてになる。また、心臓血管カテーテル診断・治療の水晶体線量が放射線障害防止規則改正の前後でどのように変化したのか調べた研究も今までにない。

年間積算線量

2021 年 4 月 1 日より水晶体等価線量限度が大幅に引き下げられた。しかし、今回計測した年間積算線量では Hp(3) は 14 人中 7 人、Hp(0.07) は 14 人中 9 人で増加していた。これは件数の増加と患者 BMI が有意に大きくなっていたことが原因であると考えられる。今回、水晶体用線量を使用して防護メガネを考慮した水晶体の Hp(3) を計測したが、14 人中 2 人が年間 20mSv を超過していた。この 2 人に関しては 100mSv/5 年を超える恐れがあるため、今後被ばく防護がさらに重要となる。効果的な放射線防護方法については、透視角度が変わった際の防護板の適切な再配置、防護板の鉛当量の変更、防護メガネの鉛当量の変更（診断・治療に合わせた鉛当量のメガネを使用する等）、透視時に透視を行っていることをわかりやすく表示すること、放射線防護具の整備、放射線防護教育の徹底などが考えられる。特に、防護板の適切な再配置は容易であり効果も大きいためとくに重要である。また、手技中のどのような行動が被ばくにつながるのかを解析する

ことや、他の防護方法との併用、新たな防護具の開発など放射線防護方法の見直しが必要である。

本研究では、頸部個人線量計で Hp(0.07)、水晶体用線量計で Hp(3) を計測したが、一般的な水晶体線量の指標である頸部 Hp(0.07) の値をみると 14 人中 10 人が 20mSv を超過していたのに対し、防護メガネを考慮した Hp(3) では 2 人が超過していた。防護メガネの遮蔽効果を考慮していない頸部 Hp(0.07) では水晶体被ばく線量を過大評価していることが分かる。今回の計測では頸部 Hp(0.07) が 50mSv/年を超えた術者が 2021 年度に 1 人おり、従来の評価方法では線量限度を超過してしまっているという結果になった。したがって、防護メガネを確実に着用するとともに防護メガネを考慮した水晶体被ばく線量を測定することは重要である。

手技1件当たりの線量

Hp(0.07)、Hp(3) をそれぞれ件数で割り 1 件あたりとした線量の法令改正前後の比較では、すべて平均値が増加していたものの有意差は見られなかった。測定を行った施設では法令改正前から防護メガネを着用しており、水晶体線量を比較的強く抑えられていたことが原因であると考えられる。1 件当たりの水晶体線量に大きな変化は見られないが、手技の件数が増加したため年間積算線量が増加していたといえる。今後さらに件数が増加する場合、防護方法を見直す必要がある。有意差は見られなかったものの 1 件あたりの被ばく線量の平均値は Hp(0.07)、Hp(3) ともに増加していた。これは、治療割合、特に PCI の件数増加が原因であることが考えられる。2020 年度では治療割合（PCI 割合）が約 45.5%（約 26%）であったのに対し 2021 年度では約 46.8%（約 30%）に増加している。被ばく線量を総件数で割

り 1 件あたりの被ばく線量とし、診断と治療の区別ができていないためこのような結果になったと考えられる。PCI は EVT と比較して X 線管・検出器と術者が近く、防護板が適切に配置しにくいという特徴があるため、水晶体線量が増加しやすい手技であるといえる。また、法令改正後に患者 BMI が増加していたことも原因であると考えられる。

実効線量

実効線量は 14 人中 10 人が増加していた。また、年間 20[mSv]を超えた術者はいなかった。線量の増加は件数の増加と患者 BMI の増加が原因であると考えられる。1 件当たりの実効線量について、有意差は見られなかったものの平均値に増加がみられた。PCI の割合が増加したことも原因の一つであると考えられる。

Hp(0.07)と Hp(3)の相関関係

個人線量計で計測した Hp(0.07)と水晶体用線量計で計測した Hp(3)の年間積算線量の相関関係について、図 3 をみると、2020 年度、2021 年度でともに強い相関がみられた。また、法令改正後にグラフの傾きが 0.5236 から 0.5699 と大きくなっていた。これは、先述の通り総件数に対して治療割合と PCI の割合が増加したことが原因であると考えられる。

次に、術者ごとの 1 ヶ月積算線量の Hp(0.07)と Hp(3)の相関関係について、図 4 で示した通り術者によって相関関係の強さが大きく異なっていた。図 5 で示したように、治療の割合が高い術者は Hp(0.07)と Hp(3)の相関がより強いことが分かった。実際、図 5 で示した相関の弱かった術者は治療割合が 2020 年度で約 31%(200 件中 61 件)、2021 年度で約 27%(338 件中 92 件)であるのに対し、強かった術者は治療割合が 2020 年度で約 85%(194 件中 165 件)、2021 年度

で約 79%(199 件中 158 件)であった。一般的な水晶体被ばく線量の評価指標である Hp(0.07)は水晶体被ばく線量が低い、診断を主に行っている術者で特に過大評価してしまうということが分かった。治療を主に行っている術者では Hp(0.07)と Hp(3)の相関が強いため、Hp(0.07)から計算により防護メガネを考慮した Hp(3)の推算が可能である。頸部で測定した Hp(0.07)をそのまま水晶体被ばく線量とする方法より、より正確な水晶体線量で線量管理をすることができると考えられる。しかし、治療を主に行っている術者は水晶体線量が多くなるため、水晶体用線量計を用いた直接的な Hp(3)の測定は重要である。

E. 結論

今回の調査では、件数増加に伴い法令改正前後で水晶体被ばく線量が増加していたが、1 件あたりの水晶体被ばく線量は大きな変化がなかった。しかし、件数によっては防護メガネを考慮した値でも年間 20mSv を超過する術者がいた。また、以前の水晶体線量の評価指標である頸部 Hp(0.07)は水晶体線量が比較的少ない診断を主に行っている術者で特に過大評価をしていることが分かった。治療を主に行っている術者は頸部個人線量計の Hp(0.07)と水晶体用線量計の Hp(3)の相関が強く、計算により正確な水晶体線量を推測することが可能であるが、水晶体被ばく線量が多くなるため、直接的に Hp(3)を測定できる測定器を使用することが望ましい。

F. 論文報告

Sagehashi K, Haga Y, Takahira S, Tanabe M, Nakamura M, Sota M, Kaga Y, Abe M, Tada N, Chida K. Evaluation of radiation dose to the lens in interventional cardiology physicians before and after dose limit regulation changes. J Radiol Prot. 2024 Sep 2;44(3). doi: 10.1088/1361-6498/ad6f19. PMID: 39142296.

G. 研究発表

第13回東北放射線医療技術大会:TCRT2023、2023年11月3日 発表

「心臓血管カテーテル診断・治療における線量限度引き下げ前後の術者水晶体被ばく線量の評価」下橋航大，芳賀喜裕，高平咲希，田辺真子，中村美緒，曾田真宏，加賀勇治，阿部美津也，千田浩一

第14回東北放射線医療技術大会:TCRT2024、2024年10月6日 発表

「心臓血管カテーテル診断・治療における水晶体線量計を使用した術者水晶体被ばく線量と透視時間や患者線量指標との関係について」下橋航大，芳賀喜裕，高平咲希，田辺真子，中村美緒，曾田真宏，加賀勇治，阿部美津也，多田憲生，千田浩一

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

次ページ以降に図表を示す。

図表

表 1. 計測期間中に行われた手技件数（第 13 回東北放射線医療技術大会：TCRT2023, 「心臓血管カテーテル診断・治療における線量限度引き下げ前後の術者水晶体被ばく線量の評価」一部改変）

手技	件数	
	2020 年度	2021 年度
経皮的冠動脈形成術（PCI）	531	696
末梢血管治療（EVT）	405	360
冠動脈造影検査（CAG）	1019	1259
その他	102	118
合計	2057	2433

表 2. 患者 BMI（第 13 回東北放射線医療技術大会：TCRT2023, 「心臓血管カテーテル診断・治療における線量限度引き下げ前後の術者水晶体被ばく線量の評価」一部改変）

	2020 年度	2021 年度
平均	23.6	23.9
標準偏差	3.89	4.03

表 3. 頸部個人線量計で測定した Hp(0.07) および水晶体用線量計で測定した Hp(3) の年間積算線量と手技 1 件当たりの線量（Evaluation of radiation dose to the lens in interventional cardiology physicians before and after dose limit regulation changes. J Radiol Prot. 一部改変）

	頸部個人線量計 平均 Hp(0.07) [mSv]		水晶体用線量計 平均 Hp(3) [mSv]	
	年間積算値	手技 1 件当たり	年間積算値	手技 1 件当たり
2020 年度	19.6 ± 12.8	0.149 ± 0.0650	7.52 ± 7.76	0.0465 ± 0.0356
2021 年度	23.9 ± 12.7	0.169 ± 0.0949	7.96 ± 8.84	0.0576 ± 0.0660

表 4. 不均等被ばくを考慮した実効線量の年間積算と手技 1 件当たりの線量（Evaluation of radiation dose to the lens in interventional cardiology physicians before and after dose limit regulation changes. J Radiol Prot. 一部改変）

	年間積算値	手技 1 件当たり
2020 年度	3.57 ± 2.32	0.0361 ± 0.0256
2021 年度	5.06 ± 3.66	0.0358 ± 0.0355

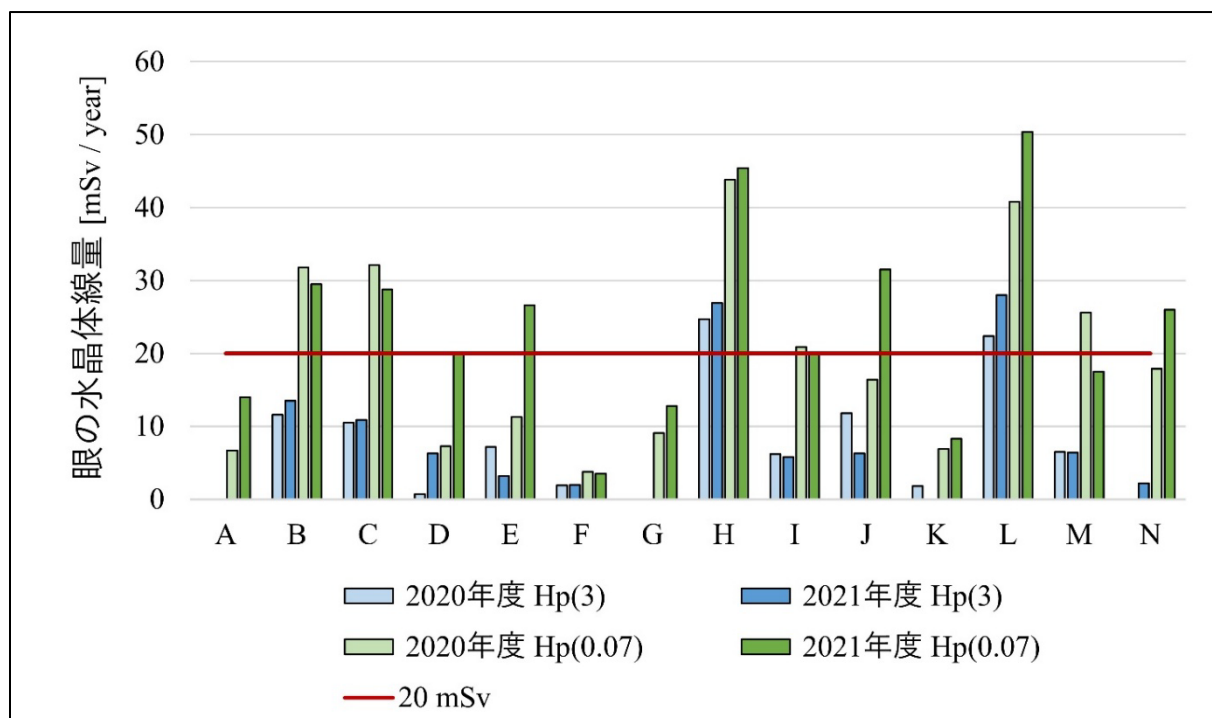


図 1. 線量限度引き下げ前後の水晶体用線量計で測定した Hp (3) および頸部個人線量計で測定した Hp (0. 07) (Evaluation of radiation dose to the lens in interventional cardiology physicians before and after dose limit regulation changes. J Radiol Prot. 一部改変)

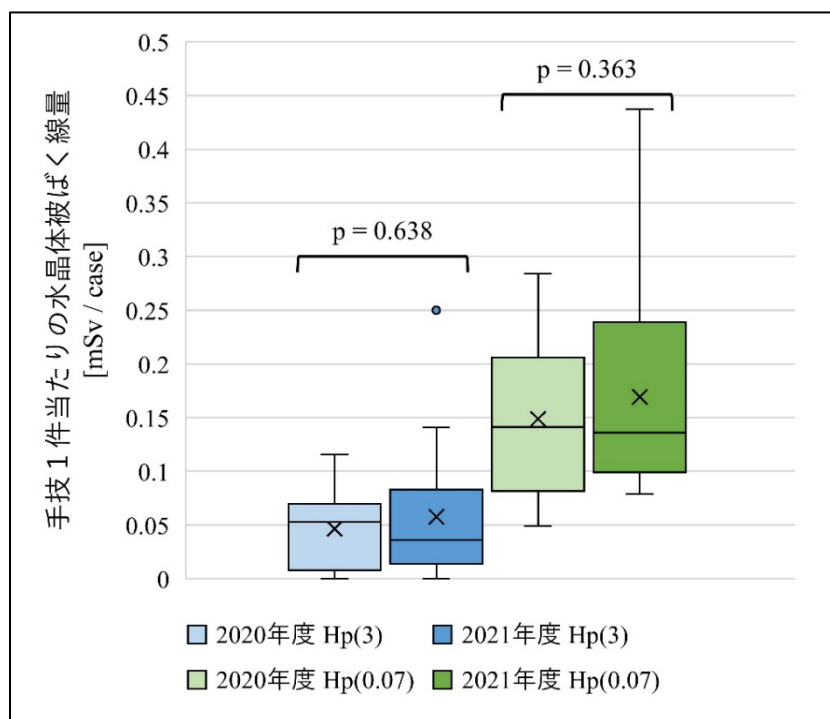


図 2. 線量限度引き下げ前後の水晶体用線量計で測定した手技 1 件当たりの Hp (3) および頸部個人線量計で測定した手技 1 件当たりの Hp (0. 07) (Evaluation of radiation dose to the lens in interventional cardiology physicians before and after dose limit regulation changes. J Radiol Prot. 一部改変)

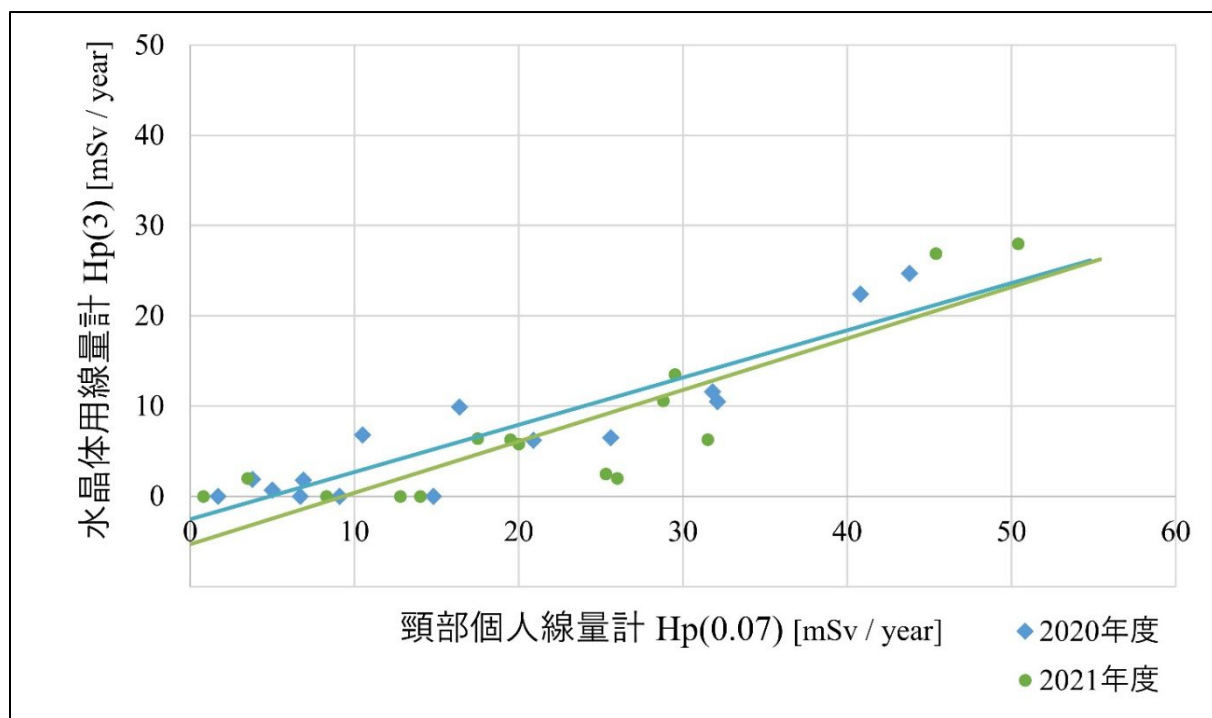


図 3. 水晶体用線量計で測定した Hp(3) と頸部個人線量計で測定した Hp(0.07) の相関関係の線量限度引き下げ前後の比較 (Evaluation of radiation dose to the lens in interventional cardiology physicians before and after dose limit regulation changes. J Radiol Prot. 一部改変)

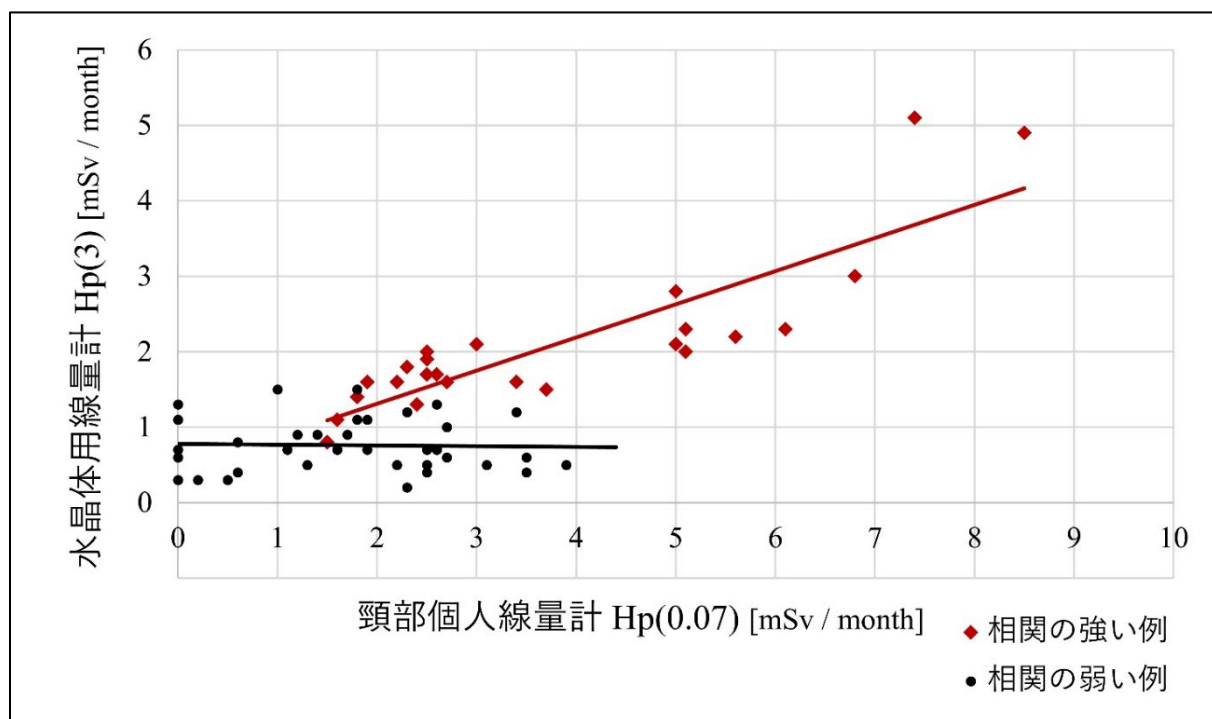


図 4. 術者ごとの 1 ヶ月積算線量の頸部個人線量計 Hp(0.07) と水晶体用線量計 Hp(3) の相関関係で相関の特に強かった例 (医師 L) と弱かった例 (医師 J) (Evaluation of radiation dose to the lens in interventional cardiology physicians before and after dose limit regulation changes. J Radiol Prot. 一部改変)

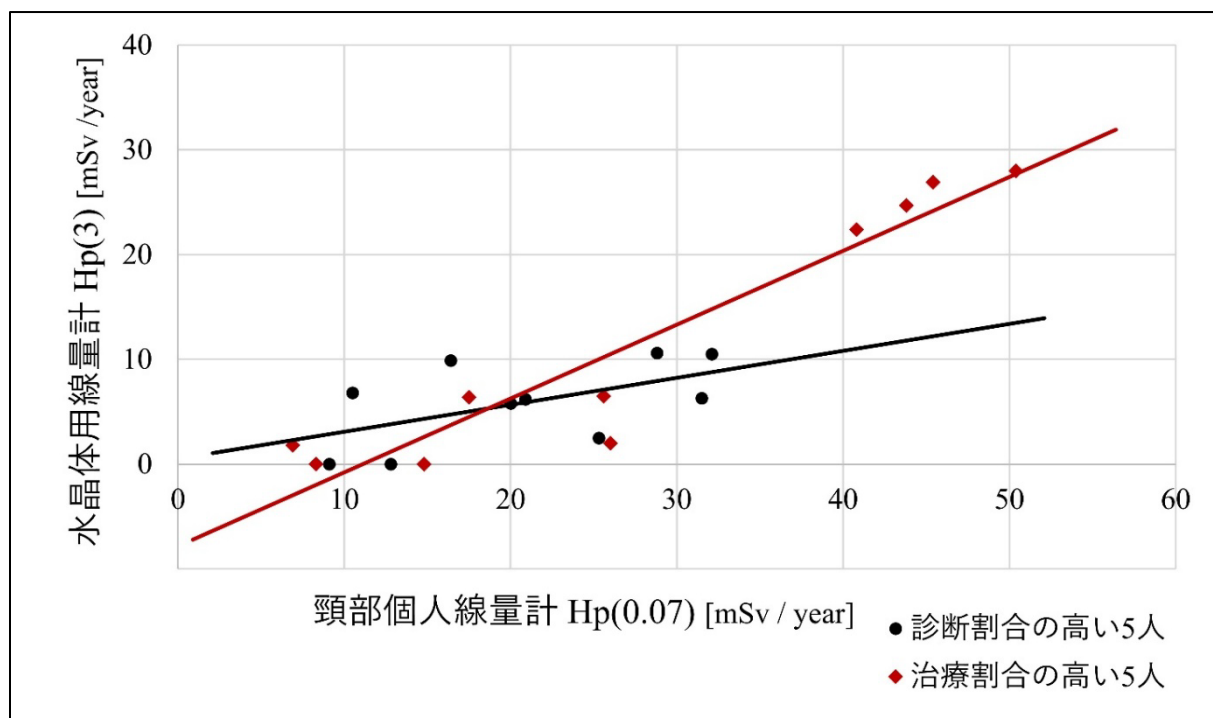


図 5. 診断割合の高い 5 人及び治療割合の高い 5 人を抽出して比較した、水晶体用線量計で測定した Hp(3) と頸部個人線量計で測定した Hp(0.07) の相関関係 (Evaluation of radiation dose to the lens in interventional cardiology physicians before and after dose limit regulation changes. J Radiol Prot. 一部改変)

令和 6 年度(2024 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

病床規模が心血管系 IR 看護師の立ち位置に及ぼす影響

研究分担者 盛武 敬（量子科学技術研究開発機構(QST) 放射線医学研究所 放射線規制科学研究部・部長）
喜多村 紘子（量子科学技術研究開発機構(QST) 放射線医学研究所 放射線規制科学研究部 リスク評価グループ・グループリーダー）
研究協力者 栗山 知子（産業医科大学 産業保健学部 看護学科 産業・地域看護学・講師）
中上 晃一（産業医科大学病院 放射線部・診療放射線技師）
茂呂田 孝一（新小文字病院 放射線科・診療放射線技師）
松崎 賢（量子科学技術研究開発機構(QST) 放射線医学研究所 放射線規制科学研究部・日本学術振興会特別研究員(PD)）
人見 剛（川崎医科大学附属病院 中央放射線部・診療放射線技師）

研究要旨

X 線を用いた Interventional Radiology (IR)は、それに従事する医療スタッフには職業被ばくという健康上の不利益をもたらす可能性がある。日本国内における 3 つの救急指定病院を対象にした IR 看護師の職業被ばくに関する調査を行い、病床規模が小さい病院ほど X 線照射野と IR 看護師の立ち位置との間の距離は短くなり、水晶体等価線量が高かったことを論文発表し(令和 5 年度)、病床規模が X 線照射野と IR 看護師との間の距離に影響を及ぼすという仮説を提唱した。この研究結果をふまえて、本研究では心血管系 IR を実施している病院に調査対象を限定したうえで、対象施設を拡げた Web アンケート調査を実施した。令和 6 年度(2024 年度)は、その結果をまとめ論文発表した。

本研究では、以前の我々の結果と同様に、IR 手技を担当する術者の数や X 線照射野と IR 看護師との間の距離が病床規模に影響を受けることが明らかとなった。さらには、病院の種類、救急医療体制、年間 IR 実施回数、医療機材の配置場所、IR 看護師の立ち位置の方向についても、病床規模との関連性が示唆された。病院規模並びに病床規模に影響を受けるこれらの要素を総合的に考えることで、心血管系 IR 看護師の職業被ばくリスク評価が実施可能になれば、リスクが高い病院に勤務する IR 看護師への個別・優先的な被ばく低減策が講じることができるようになるかも知れない。

A. 研究目的

日本の医療施設では、血管撮影の実施件数が 1993 年の 18.3 万件から 2020 年には 99.1 万件へと 27 年間で 5.4 倍に増加した¹⁾。IR 看護師の被ばく線量を左右する要因として、患者と X 線管に対する IR 看護師の立ち位置²⁻⁴⁾、看護師に担わされる役割⁴⁻⁷⁾、X 線を出すタイミングを術者がスタッフに声かけして注意喚起をすること⁸⁾などが報告されている。ただ、看護師は放射線の発生を主体的にコントロールすることは出来ず、被ばくするタイミングを自ら認識しづらい。

先の 3 病院で調査を行った結果では、いずれの病院の IR 看護師も水晶体等価線量限度 (20mSv/年) を超過することは無かったものの、病床数が少ない病院ほど X 線照射野と IR 看護師の立ち位置との間の距離が短く、水晶体等価線量が高かったことを報告した⁹⁾。この知見をふまえ対象施設を拡大した調査を実施し、「病床規模」による IR 看護師の被ばくのリスク評価が可能であるかを明らかにすることを目的とした。

B. 研究方法

調査対象は、心臓血管系 IR に現在もしくは過去従事歴のある IR 専門の診療放射線技師とした。質問票は、所属医療機関の基本情報 (5 項目：選択式) と、放射線被ばくに影響を及ぼす距離や遮蔽の要素に焦点を当てた、心臓血管系 IR の作業状況に関する情報 (11 項目：選択式、一部は記述式) で構成した (Table1)。研修医は医師免許取得後 5 年未満の医師と定義した。

質問票は、医療従事者の放射線被ばく防護を研究する 5 名で作成し、質問内容の尺度は再テスト信頼性にて検証した。名義尺度と順序尺度で重み付けを調整し κ 係数を算出、0.40 以下に該当する設問 (診断・治

療目的の症例に 3 名以上の看護師が就く割合) は、安定性の低い尺度として除外した。

得られた回答は、病床規模で 3 群に分けて Kruskal-Wallis test を行ったあと、Mann-Whitney U test (Bonferroni 法) で多重比較を行った。病院の特徴や心血管系 IR の血管造影室内の状況をクロス集計によって比較し、同等性検定を実施した。

C. 研究結果

82 施設から回答が寄せられ、得られた回答のうち、病院種別、所在地区、救急医療体制、病床数のいずれもが重複した 4 施設は同じ施設からの回答であるとみなして解析対象から除いたうえ、78 施設を解析対象とした。回答者の属性は、男性 89.7%、血管造影室での業務経験年数が 10 年以上の者が 76.9%であった。47 都道府県中 31 都道府県 (66%) から回答が寄せられ、有効回答率は 100%であった。

C アームの回転中心 (X 線照射野) から記録を担当する看護師 (立ち位置) までの平均値は 282.8cm、範囲:100-500cm、中央値 [IQR] は 290 [220-300] cm であった。521 床以上の規模の病院では看護師の立ち位置が有意に X 線照射野から遠かった (Mann-Whitney U, 343 床以下 < 521 床以上: $p=0.001$, 344-520 床 < 521 床以上: $p=0.022$, Figure 1)。

病床規模による IR スタッフの人員構成の違いを解析したところ、多くの手技が 2 名の術者で実施されていた。診断目的の IR では、343 床以下の小さな病院では、術者一人だけで実施される手技も比較的多く存在するが、521 床以上の大きな病院ではそれより小さな病院と比べて術者一人だけで実施される手技の割合は有意に低くなり ($p<0.05$)、3 名以上で実施される手技の割合が有意に高くなった ($p<0.01$)。治療目的

Table1. 質問項目と回答方法および選択肢

質問項目	回答方法	選択肢
回答者とその所属機関の基本情報		
所属機関の概要	設置主体による病院種別 所在地区 救急医療体制 病床数 心血管系IR手技の年間実施回数	一般病院, 公立・公的・社会保険関係法人の病院, 国立病院, 大学病院 (47都道府県) 一次救急指定, 二次救急指定, 三次救急指定, 救急指定病院ではない 100件未満, 100-299件, 300-499件, 500-699件, 700-899件, 900件以上
心血管系IRの作業状況*		
血管造影室の環境	血管造影室内の広さ CSSの設置状況 RSの設置状況	40m ² 未満, 40-49m ² , 50-59m ² , 60-69m ² , 70m ² 以上, わからない 設置している, 一部の部屋に設置している, 設置していない 設置している, 一部の部屋に設置している, 設置していない 救急カート, 薬品庫, IVRカテーテルの保管棚, 衛生材料(点滴ルート等)の保管棚, 活性化凝固時間(ACT)測定器, 看護記録媒体(電子カルテ用パソコンなど), いずれも室内にあり該当しない
スタッフの人員構成 [†]	血管造影室外に配置されている医療機材 合 合 IR看護師1名のみで実施する手技(診断・治療)割合 Residnetが立ち会う手技(診断・治療)割合	選択式 (複数選択) 選択式 選択式 全くない, 1-2割, 3-4割, 約5割, 6-7割, 8-9割, ほぼ全て
IR看護師の立ち位置	Distance (cm) [‡] 方向 [§]	記述式 選択式 照射野を中心とした室内360°を20分割したA-T
IR看護師の立ち位置の決定要因	IR看護師の立ち位置が何を基準に決められたか	選択式 (複数選択) 医師の意見, 看護師の意見, 診療放射線技師の意見, 他職種間での話し合い, 部屋の広さ, 物品の配置, 部屋の出入りのしやすさ, 術者の介助のしやすさ, 患者の観察のしやすさ, 看護師の被ばく低減, 分らない

CSS: ceiling suspended lead shield. RS: Rolling lead shield. * 心血管系IRで最も頻繁に使用する血管造影室について回答させた。† 途中交代要因は含めない数。‡ distance from the center of rotation of the C-arm (X-ray irradiation field) to the location where the IR nurse recorded information. § X-ray irradiation fieldから見た, IR看護師の立ち位置の方向。

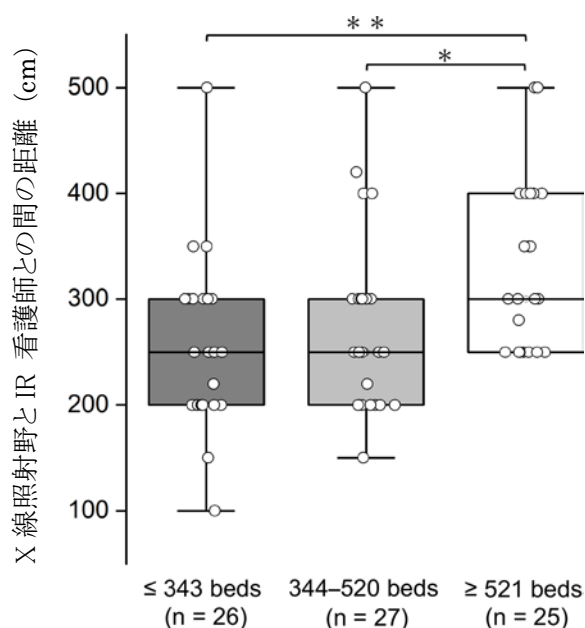


Figure 1. 病床規模による X 線照射野と IR 看護師との間の距離の比較

の IR においても診断目的の IR と同様な傾向が見られるものの, どの病床規模でも術者一人で実施する手技ほとんど見られず, 521 床以上の病院ではそれより小さな病院と比べて術者 3 名以上で実施する手技の割

合が有意に高かった ($p < 0.01$). 研修医が手技に就く割合は, 病床数が多いほど高くなる傾向があり, 521 床以上の病院ではそれより小さな病院と比べて研修医が就く手技の割合が有意に高かった (診断目的: $p < 0.01$, 治療目的: $p < 0.05$). また, IR の目的が診断か治療かによらず全体的に多くの手技が 1 名の看護師で実施されていることが分かり, 病床数が多い施設ほど IR 看護師 1 人だけで手技に就く手技の割合が高くなる傾向が見られた (統計学的有意差は示されず).

病床規模の違いによる特徴として, 病院種別は 521 床以上で大学病院の割合が高く ($p = 0.017$), 救急医療体制は 343 床以下で一次 (初期) 救急の割合が高く, 344-520 床で二次救急の割合が, 521 床以上で三次救急 (救命救急センター) の割合が高かった ($p < 0.001$). 心血管 IR 手技の年間実施回数は, 343 床以下では 300 例未満の割合が高く, 521 床以上では 700 件以上実施している割合が高かった ($p < 0.001$). 血管造影室の広さは 343 床以下の 17 施設, 344-

520 床の 18 施設, 521 床以上の 20 施設の計 55 施設からの回答を解析したが, 病床規模による統計学的有意差は認められなかった. 521 床以上では医療機材が一部血管造影室の外にも配置されている割合が高かった ($p=0.020$). CSS と RS は, 343 床以下の病院で設置されていない割合が高い傾向 (Adjusted $R^2>1.96$) が見られたが, 有意差はなかった.

看護師の立ち位置の方向 (Figure 2: A-T) は, 殆ど全ての病院で (94.9%) 看護師は患者の右側に就いていた. Figure 3 に示す通り 343 床以下では, 患者右側の頭方向 (R-Head) に就く割合が最も高く (61.5%), 病床規模が大きくなるほどその割合が低下した. 521 床以上では, IR 看護師は患者右側の体方向 (R-Body) に就く割合が最も高くなり (40.0%), 室外に位置するという回答も 2 施設 (8.0%) あった.

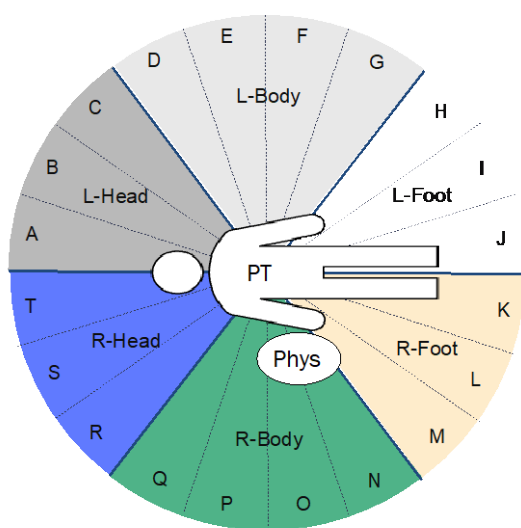


Figure 2. 看護師の立ち位置の方向

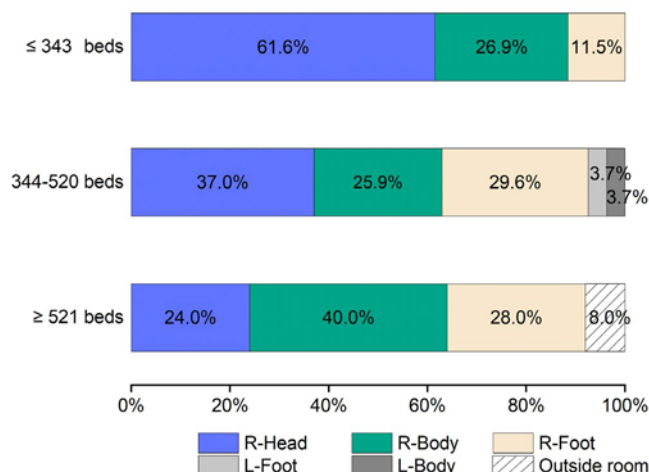


Figure 3. 病床規模別の看護師の立ち位置方向

D. 考察

心血管系の IR では X 線照射野と IR 看護師との間の距離は病床規模による差が認められ, 521 床以上の大きな病院では, それより小さい規模の 344-520 床, ならびに 343 床以下の病院と比べ, 有意に X 線照射野と IR 看護師との間の距離が長いことが確認された. 距離は放射線防護の主要なコンセプトの一つで, 被ばく線量は放射線源からの距離の二乗に反比例する. 水晶体等価線量は調査を行っていないが, 521 床以上の病院ではそれより病床規模の小さな病院と比べ看護師の水晶体等価線量が低くなることが推察される.

人員構成の内訳にも病床規模の影響がうかがえた. 診断目的の手技では, 343 床以下の小さな病院では術者 1 名だけで実施されることが多く, その分 2 名以上の看護師が就くことが多くなっていることが推測できた. 治療目的の IR では術者 1 名だけで実施することは殆どなく, 521 床以上の病院では術者が 3 名以上就くことが多く, また研修医についても病床規模が大きくなると IR 手技に就く割合が高くなり, 妥当な結果となった. 病床規模が大きくなるほど, 医学

生や研修医の教育機能を担う大学病院である傾向が強いことが背景にあると見られる。

血管造影室の広さには病床規模による違いは認められなかったが、521床以上の大きな病院では、心血管系IRの施術に必要な医療機材を、血管造影室内に全てを収納しておくことができず、一部を血管造影室外に配置する傾向が見られた。これは521床以上の大きな病院は、より高度な医療をより多く提供する使命があり、心血管系IRにおいても同様に治療にはより高度で多くの医療機材が必要で、さらに研修医を含む複数の術者が手技に就くため、室内の医療機材の配置スペースが足りなくなっていることも考えられる。医療機材が血管造影室外に配置されていることは、物品の供給や患者検体の取扱を行う外回り看護師にとっては、被ばくの危険のない室外に立ちする時間が増え、被ばく防護の観点からは利点となるであろう。ただ、可能であれば手術室に準じた清潔区域で行われることが望ましいとされている¹⁰⁾。必要な医療機材を室内に配置するだけの十分な広さを確保し、IR看護師が常に室内に留まって効率的に物品の管理や供給の業務ができるように配慮し¹¹⁾、必要に応じてRSを適切に設置するなど、IR看護師の放射線防護の徹底を図るなど清潔環境と放射線防護の両面からIR看護師の作業状況を改善することが理想であると考ええる。

本研究ではIR看護師の立ち位置の決定要因として、医療機材の配置(46.2%)や部屋の広さ(41.0%)といった外的要因が最も影響していることが明らかとなった。看護師の立ち位置別に見ても、R-Head、R-Body、R-Footのいずれの方向も、これらの外的要因が看護師の立ち位置決定要因の上位を占めた。病床規模は看護師の立ち位置に影響を

与え、病床規模が小さいほどR-Headに就くことが多く、病床規模が大きくなるほどR-Bodyにシフトする傾向が示されたが、部屋の広さは病床規模で差は無く、看護師の立ち位置の違いは外的要因である医療機材の配置とそれ以外の内的要因に影響を受けていると考えられる。

心血管系IRは局所麻酔による意識下で行われることが多く、看護師には患者の訴えや表情を観察し、異常の発生を予測した準備や対応と声かけや寄り添うことで患者に安心感や訴えやすい状況を提供する役割が求められる。R-Headの方向には血管造影装置のCアームがあり、X線照射野と術者との間にはCSSが設置されるため通常R-Headに術者が就くことはなくスペースが空く。R-Headは、IR看護師にとって患者の容態の観察や声掛けなどに好都合な方向である。また、この方向を選択した要因の5番目に「術者の介助のしやすさ」(18.8%)が挙げだったが、R-Headは術者の直ぐ左隣で術者の介助もしやすい位置である。343床以下の小さな病院では521床以上の大きな病院と比べて術者の数が少ないため、患者と術者の両者に同時にアプローチが可能なR-Headは、IR看護師にとって最も都合が良い方向であると言える。反面R-HeadではX線照射野と看護師との間に遮蔽のためのCSSがなく、被ばく線量が高くなりやすい。R-Headは、IR看護師の立ち位置として最も多くの病院から選択されていたが、そこに看護師を就かせる場合には、RSをさらに設置するか、個人保護装具を術者並に高機能なものを装着させることが必要となるかもしれない。

521床以上の病院では看護師はR-Bodyに就くことが最も多くみられたが、R-Bodyを選択する理由の4番目に患者の顔の観察のしやすさ(33.3%)を挙げている。R-Bodyは

術者の背後で、看護師にとって最も術者にアクセスしやすい方向であると同時に、X線照射野IR看護師の間に術者の体があり遮蔽効果も得やすい⁷⁾。さらに、患者への直接の声かけはできないものの患者の表情の観察は可能である。R-Body選択の理由の2番目が看護師の意見(50.0%)、5番目に他職種間での話し合い(20.8%)となっていることから、IR看護師がR-Headの次に好ましい立ち位置であると医療スタッフの間で認識されていることが示唆される。

R-Footは血管造影装置との干渉がなく、IR看護師にとって比較的スペースを確保しやすい位置であるが、欠点は直接患者の顔を見たり患者に声をかけたりすることができないことであり、実際にR-Footを選択した理由として患者の顔の観察のしやすさを挙げた病院は無かった。逆にR-Footを選択する最大の利点は、X線照射野からの距離が最も離れており、さらにIR看護師との間にCSSや術者が入るため、被ばく防護効果が最も得られやすい点である。実際に本調査でもR-Footを選択した理由の4番目に被ばくの低減(33.3%)を挙げている。

IR手技の内容と看護師に求められる役割が、看護師の立ち位置やRSなどの防護設備の選択に大きく影響を及ぼすことが報告されている⁴⁾。本調査でも同様に、IR看護師に求める役割に応じて立ち位置が決定付けられていることを裏付けることができた。

E. 結論

本研究において、心血管系IRでの最もよく見られる人員構成は術者2名と看護師1名であり、病床規模が大きな病院では術者の数が多くなり、逆に小さな病院では術者1名だけでIRを実施することもあることが明らかとなった。X線照射野と看護師との間の

距離も病床規模に影響を受け、521床以上の大きな病院では、それより小さな病院と比べて統計学的有意にその距離が長かった。

また病床規模の違いは、病院の種類、救急医療体制、年間IR実施回数、医療機材の配置場所、看護師の立ち位置の方向と深く関連しているため、これらの情報を総合的に考えることで、心血管系IR看護師の被ばくリスク評価が精度良く行えるようになり、被ばくリスクが高い者への個別・優先的なハイリスクアプローチによって、効果的な被ばく低減が可能になるかも知れないと考えている。

参考文献

1. The Ministry of Health, L.a.W. Medical facility surveys and hospital reports. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/79-1a.html>
2. van der Merwe, B. Establishing ionising radiation safety culture during interventional cardiovascular procedures. *Cardiovasc J Afr* 2021, 32, 271-275.
3. 18. Omar, A.; Kadesjö, N.; Palmgren, C.; Marteinsdottir, M.; Segerdahl, T.; Fransson, A. Assessment of the occupational eye lens dose for clinical staff in interventional radiology, cardiology and neuroradiology. *J Radiol Prot* 2017, 37, 145-159.
4. Sánchez, R.M.; Vano, E.; Fernández, J.M.; Pifarré, X.; Ordiales, J.M.; Rovira, J.J.; Carrera, F.; Goicolea, J.; Fernández-Ortiz, A. Occupational eye lens doses in interventional cardiology. A multicentric study. *J Radiol Prot* 2016, 36, 133-143.
5. Domienik, J.; Brodecki, M.; Rusicka, D. A study of the dose distribution in the region of the eye lens and extremities for staff working

- in interventional cardiology. Radiation Measurements 2012, 47, 130-138.
6. Wilson, S., K.; Hartel, G.; Fontanarosa, D. Occupational radiation exposure to the head is higher for scrub nurses than cardiologists during cardiac angiography. J Adv Nurs 2019, 75, 2692-2700.
 7. Mori, H.; Koshida, K.; Fujii, T.; Ichikawa, K. Examination of Types of Exposure and Management Methods for Nurses in Interventional Radiology. Japanese Journal of Radiological Technology 2007, 63, 401-411
 8. Komemushi, A.; Suzuki, S.; Sano, A.; Kanno, S.; Kariya, S.; Nakatani, M.; Yoshida, R.; Kono, Y.; Ikeda, K.; Utsunomiya, K. Radiation dose of nurses during IR procedures: a controlled trial evaluating operator alerts before nursing tasks. Journal of Vascular and Interventional Radiology 2014, 25, 1195-1199.
 9. Kuriyama, T.; Moritake, T.; Nakagami, K.; Morota, K.; Hitomi, G.; Kitamura, H. Background Factors Affecting the Radiation Exposure of the Lens of the Eye among Nurses in Interventional Radiology: A Quantitative Observational Study. Nurs Rep 2024, 14, 413-427.
 10. Chan, D.; Downing, D.; Keough, C.E.; Saad, W.A.; Annamalai, G.; d'Othee, B.J.; Ganguli, S.; Itkin, M.; Kalva, S.P.; Khan, A.A.; et al. Joint Practice Guideline for Sterile Technique during Vascular and Interventional Radiology Procedures. J Vasc Interv Radiol 2012, 23, 1603-1612.
 11. Bayramzadeh, S.; Joseph, A.; San, D.; Khoshkenar, A.; Taaffe, K.; Jafarifiroozabadi, R.; Neyens, D.M. The Impact of Operating Room Layout on Circulating Nurse's Work Patterns and Flow Disruptions: A Behavioral Mapping Study. Herd 2018, 11, 124-138.
- F. 論文報告
- Tomoko Kuriyama, Takashi Moritake*, Go Hitomi, Koichi Nakagami, Koichi. Morota, Satoru Matsuzaki, Hajime Sakamoto, Kazuma Matsumoto, Mamoru Kato, Hiroko Kitamura. Influence of hospital bed count on the positioning of cardiovascular interventional radiology(IR) nurses: Online questionnaire survey of Japanese IR-specialized radiological technologists. Nursing Report. 2025; 15(1), 11.
- G. 研究発表
- なし
- H. 知的所有権の取得状況
- なし

Article

Influence of Hospital Bed Count on the Positioning of Cardiovascular Interventional Radiology (IR) Nurses: Online Questionnaire Survey of Japanese IR-Specialized Radiological Technologists

Tomoko Kuriyama ¹, Takashi Moritake ^{2,*} , Go Hitomi ³ , Koichi Nakagami ⁴, Koichi Morota ⁵ , Satoru Matsuzaki ² , Hajime Sakamoto ⁶, Kazuma Matsumoto ⁷, Mamoru Kato ⁸  and Hiroko Kitamura ⁹ 

- ¹ Department of Occupational and Community Health Nursing, School of Health Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Japan, Kitakyushu 807-8555, Japan; kuritomo@med.uoeh-u.ac.jp
- ² Department of Radiation Regulatory Science Research, Institute for Radiological Science, National Institutes for Quantum Science and Technology, Chiba 263-8555, Japan; matsuzaki.satoru@qst.go.jp
- ³ Department of Radiological Technology, Kawasaki Medical School Hospital, Kurashiki 701-0192, Japan; hitomi@med.kawasaki-m.ac.jp
- ⁴ Department of Radiology, Hospital of the University of Occupational and Environmental Health, Japan, Kitakyushu 807-8556, Japan; nakagami@clnc.uoeh-u.ac.jp
- ⁵ Department of Radiology, Shinkomonji Hospital, Kitakyushu 800-0057, Japan; morota@shinkomonji-hp.jp
- ⁶ Department of Radiological Technology, Faculty of Health Science, Juntendo University, Tokyo 113-8421, Japan; h.sakamoto.qv@juntendo.ac.jp
- ⁷ Department of Radiological Technology, Hyogo Medical University Hospital, Nishinomiya 663-8501, Japan; matsumo@hyo-med.ac.jp
- ⁸ Department of Radiology and Nuclear Medicine, Akita Cerebrospinal and Cardiovascular Center, Akita 010-0874, Japan; kato-mamoru@akita-noken.jp
- ⁹ Occupational Health Training Center, University of Occupational and Environmental Health, Japan, Kitakyushu 807-8555, Japan; h-kita@med.uoeh-u.ac.jp
- * Correspondence: moritake.takashi@qst.go.jp; Tel.: +81-43-251-4853



Academic Editor: Paulo Jorge Pereira Alves

Received: 24 November 2024

Revised: 23 December 2024

Accepted: 2 January 2025

Published: 4 January 2025

Citation: Kuriyama, T.; Moritake, T.; Hitomi, G.; Nakagami, K.; Morota, K.; Matsuzaki, S.; Sakamoto, H.; Matsumoto, K.; Kato, M.; Kitamura, H. Influence of Hospital Bed Count on the Positioning of Cardiovascular Interventional Radiology (IR) Nurses: Online Questionnaire Survey of Japanese IR-Specialized Radiological Technologists. *Nurs. Rep.* **2025**, *15*, 11. <https://doi.org/10.3390/nursrep15010011>

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Background/Objectives: Interventional radiology (IR) utilizing X-rays can lead to occupational radiation exposure, posing health risks for medical personnel in the field. We previously conducted a survey on the occupational radiation exposure of IR nurses in three designated emergency hospitals in Japan. Our findings indicated that a hospital with 214 beds showed a higher lens-equivalent dose than hospitals with 678 and 1182 beds because the distance between the X-ray irradiation field and the IR nurse's position of the hospital with 214 beds was shorter than those of 678 and 1182 beds. Based on these observations, we hypothesized that the number of hospital beds affects the distance between the X-ray irradiation field and the IR nurse's position. Methods: To verify this hypothesis, we conducted a more extensive online questionnaire survey, focusing exclusively on hospitals that perform cardiovascular IR. Results: We analyzed data from 78 facilities. The results of this study confirmed our earlier findings, showing that both the number of physicians performing IR procedures and the distance from the X-ray irradiation field to the IR nurse's position are influenced by the number of hospital beds. Additionally, factors such as the type of hospital, emergency medical system, annual number of IR sessions, location of medical equipment, and the positioning of IR nurses appear to be associated with the number of hospital beds. Conclusions: Understanding these relationships could enable the development of individualized and prioritized radiation exposure reduction measures for IR nurses in high-risk settings, provided that comprehensive occupational radiation risk assessments for cardiovascular IR consider the number of hospital beds and related factors. This study was not registered.

Keywords: cardiovascular interventional radiology; radiation protection for IR nurses; position; staff composition; number of hospital beds; risk assessment

1. Introduction

Interventional radiology (IR) has witnessed significant advancements in imaging technology and device enhancements, enabling complex procedures to be performed with reduced invasiveness. This progress has contributed to a 5.4-fold increase in angiography procedures in Japan, rising from 183,000 in 1993 to 991,000 in 2020 [1]. While medical radiation offers substantial benefits to patients, it also poses health risks in the form of occupational exposure to medical staff involved in these procedures [2]. Consequently, IR, which frequently involves X-ray fluoroscopic procedures, is classified as a hazardous occupation.

During typical fluoroscopic working conditions, the cumulative exposure of interventionalists, other physicians, and/or medical staff working close to the patient, even if the exposure dose per procedure is low, can be high due to repeated procedures, and there is a concern that the risk of radiation injuries will increase. There have been many reports of the high risk of developing lens opacity before cataracts among medical staff working in IR [3–12]. And now, the threshold dose for the eye lens is thought to be 0.5 Gy [13], and the lens is considered one of the most radiation-sensitive tissues in the human body [14,15].

Our previous survey of occupational exposure among IR nurses at three designated emergency hospitals of varying types and bed counts revealed that none of the IR nurses exceeded the lens equivalent dose limit of 20 mSv/year. However, hospitals with fewer beds tended to have a shorter distance between the X-ray irradiation field and the IR nurse's position, leading to a higher lens-equivalent dose [16]. Previous studies have also identified factors affecting the radiation dose to IR nurses, including their position relative to the patient and X-ray tube [17–19]; their role [19–22]; the use of shielding devices like ceiling-suspended lead shields (CSS) (Figure 1a) and rolling lead shields (RS) (Figure 1b), to protect physicians and other staff, respectively [19,20,23–25]; and their calling out to the operator before approaching the patient [26]. Additionally, since IR nurses do not control the radiation source, it is challenging for them to anticipate their exposure timing [16,27]. To date, our research has not found other studies that specifically examine the impact of hospital bed count on occupational exposure levels of IR nurses.

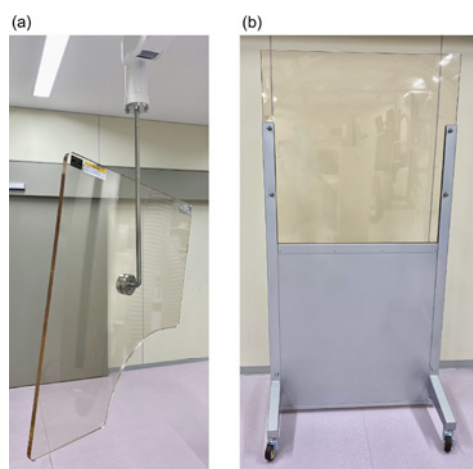


Figure 1. Lead-line radiation-shielding equipment: (a) ceiling-suspended lead shield (CSS) and (b) rolling lead shield (RS).

Thus, this study expanded our prior research and tested the hypothesis from our previous paper [16] that “the number of hospital beds influences the distance between the X-ray irradiation field and the IR nurse’s position”. We conducted an online questionnaire survey to assess whether risk evaluations of radiation exposure to IR nurses could be effectively performed considering the variable of hospital bed numbers.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design

This observational cross-sectional study was conducted using a questionnaire developed by the researcher.

2.2. Setting and Context

We carried out a self-administered online survey among IR-specialized radiological technologists working in Japanese hospitals. The survey inquired about the working conditions of IR nurses in angiography rooms at their respective hospitals. Research materials, including a guide for participation, an explanatory document, and the questionnaire, were made available on the researcher’s university website. The participants accessed the relevant website of their own volition. A link to the Japan Professional Accreditation Board of Radiological Technologists for Angiography and Intervention [28] was also provided. Participants were additionally recruited through an email distributed in the newsletter of a related research group certified by the board. The explanatory document on the website was designed to ensure participants’ freedom to participate or refuse, outline the potential benefits and risks of the study, and clarify that the questionnaire would only be distributed to those who consented to participate. The survey was conducted using Google Forms to ensure anonymity and protect the personal information of the participants. The survey was conducted from 1 February 2023 to 30 November 2023.

2.3. Participants

Eligible participants were IR-specialized radiological technologists who were currently working or had previously worked in cardiovascular IR.

2.4. Data Sources

The questionnaire collected basic information on the affiliated institutions (5 items: multiple choice) and detailed data on the working conditions of cardiovascular IR, focusing on distance and shielding factors that influence radiation exposure (11 items: multiple choice, some written) (Table 1). Residents were defined as physicians licensed for less than five years. The IR nurses included in this survey were circulating nurses, who are responsible for tests, preparing the treatment environment, assisting the patient, and recording information.

The questionnaire was developed by a team of five, including four IR-specialized radiological technologists and one nurse dedicated to researching radiation protection for medical workers. We assessed the stability of the questionnaire’s scale by conducting two pre-tests with a one-month interval to verify test–retest reliability. The kappa coefficient (κ) was used to measure agreement, adjusted for nominal and ordinal scales. The agreement criteria were set as follows: slight agreement ($\kappa = 0.0$ – 0.20), fair agreement ($\kappa = 0.21$ – 0.40), moderate agreement ($\kappa = 0.41$ – 0.60), substantial agreement ($\kappa = 0.61$ – 0.80), and almost perfect or perfect agreement ($\kappa = 0.81$ – 1.00) [29]. Questions scoring below 0.40, such as those related to the proportion of cases involving three or more nurses for diagnostic or therapeutic purposes, were excluded due to low stability.

Table 1. Question items, response methods, and options.

Question Item	Response Method	Options
Basic information on respondent and their affiliated institution		
Hospital type by establishment body	Multiple choice	Private hospitals, public/public and social insurance-related hospitals, national hospitals, university hospitals
District location		47 prefectures
Overview of affiliated institution	Emergency medical system	Multiple choice
	Number of hospital beds	Descriptive
	Annual number of cardiovascular IR procedures conducted	Multiple choice
Cardiovascular IR work status *		
Size of angiography room	Multiple choice	<40 m ² , 40–49 m ² , 50–59 m ² , 60–69 m ² , ≥70 m ² , unknown
CSS installation status	Multiple choice	Installed, installed in part of the room, not installed
RS installation status	Multiple choice	Installed, installed in part of the room, not installed
Angiography room environment	Multiple choice (multiple choices allowed)	Emergency cart, medicine cabinet, IR catheter storage shelf, hygiene material (infusion route, etc.) storage shelf, activated clotting time (ACT) measurement device, nursing recording media (computer for electronic medical records, etc.), all in room and not applicable
Staff personnel composition †	Proportion of procedures (diagnosis, treatment) conducted by only one physician	Multiple choice
	Proportion of procedures (diagnosis, treatment) conducted by three or more physicians	Multiple choice
	Proportion of procedures (diagnosis, treatment) conducted by only one IR nurse	Multiple choice
	Proportion of procedures (diagnosis, treatment) attended by resident	Multiple choice
Position of IR nurse	Distance (cm) ‡	Descriptive
	Direction §	Multiple choice
Determining factor of position of IR nurse	What criteria were used to determine the position of the IR nurse?	Multiple choice (multiple choices allowed)

CSS: ceiling-suspended lead shield. RS: rolling lead shield. * Participants were asked to respond about the angiography room that is most frequently used in cardiovascular IR. † Numbers do not include changes during the session. ‡ Straight-line distance from the center of rotation of the C-arm (X-ray irradiation field) to the location where the IR nurse recorded information. § The direction of the position of the IR nurse as seen from the X-ray irradiation field.

2.5. Statistical Method

Responses were categorized into three groups based on the number of hospital beds and analyzed using the Kruskal–Wallis test. Multiple comparisons were performed using the Mann–Whitney *U* test, with adjustments for multiple testing (Bonferroni adjustment). Hospital characteristics and the conditions within the cardiovascular IR angiography rooms were compared using cross-tabulation and the chi-square (χ^2) test. The analysis was conducted using SPSS Ver. 25 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). All *p*-values reported were two-tailed, with statistical significance set at *p* < 0.05.

3. Results

We received responses from 82 facilities. After excluding four facilities due to overlap in hospital type, district location, emergency medical system, and number of hospital beds (suggesting they were responses from the same facility), we analyzed data from 78 facilities.

This represents approximately 18% of the 434 facilities in Japan where IR-specialized radiological technologists are employed; thus, the data's sampling error could be estimated to be approximately 10% (confidence level 95%). The demographics of the respondents were predominantly male (89.7%), with 76.9% having at least ten years of experience working in angiography rooms. We received responses from 31 out of 47 prefectures, covering 66% of the total, with a valid response rate of 100%. The median number of hospital beds was 400, ranging from 70 to 1190.

3.1. Comparison of Distance Between Position of IR Nurse and X-Ray Irradiation Field by Number of Hospital Beds

The average distance from the center of rotation of the C-arm (X-ray irradiation field) to the location where the IR nurse recorded information (nurse's position) was 280 cm, with a range of 100–500 cm, and a median [IQR] of 290 220–300 cm. Correlation analysis showed a weak positive correlation ($r = 0.364$) between the number of hospital beds and the distance between the X-ray field and the location of the IR nurse (Figure 2). In hospitals with 521 or more beds, the position of the IR nurse was significantly farther from the X-ray irradiation field compared to hospitals with 520 beds or less (Mann–Whitney U test results: ≤ 343 beds vs. ≥ 521 beds: $p = 0.001$; 344–520 beds vs. ≥ 521 beds: $p = 0.022$) (Figure 3 and Supplementary Table S1).

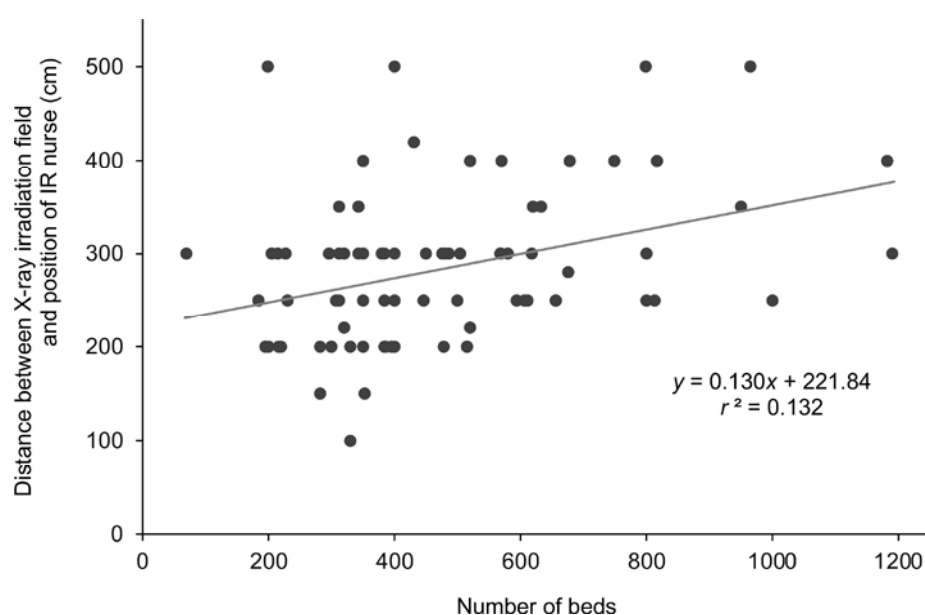


Figure 2. Association between the number of hospital beds and the distance between the X-ray irradiation field and the position of the IR nurse. • indicates each hospital. The solid line shows the regression line. r^2 , coefficient of determination.

3.2. Comparison of IR Staff Composition by Number of Hospital Beds

We analyzed differences in IR staff composition relative to the number of hospital beds (Table 2). Generally, most procedures involve two physicians. In detail, hospitals with ≤ 343 beds often conducted procedures with just one physician, while hospitals with ≥ 521 beds had significantly fewer procedures performed by a single physician (Mann–Whitney U , $p < 0.05$) and a significantly higher proportion of procedures conducted by three or more physicians (Mann–Whitney U , $p < 0.01$) compared to hospitals with ≤ 520 beds. Similar trends were observed in IR for treatment purposes, with almost no procedures conducted by a single physician at any hospital and hospitals with ≥ 521 beds showing a significantly higher proportion of procedures conducted by three or more physicians (Mann–Whitney U ,

$p < 0.01$). Additionally, the proportion of residents involved in procedures increased with the number of beds, with significantly more residents participating in hospitals with ≥ 521 beds (Mann–Whitney U , IR for diagnosis: $p < 0.01$; IR for treatment: $p < 0.05$).

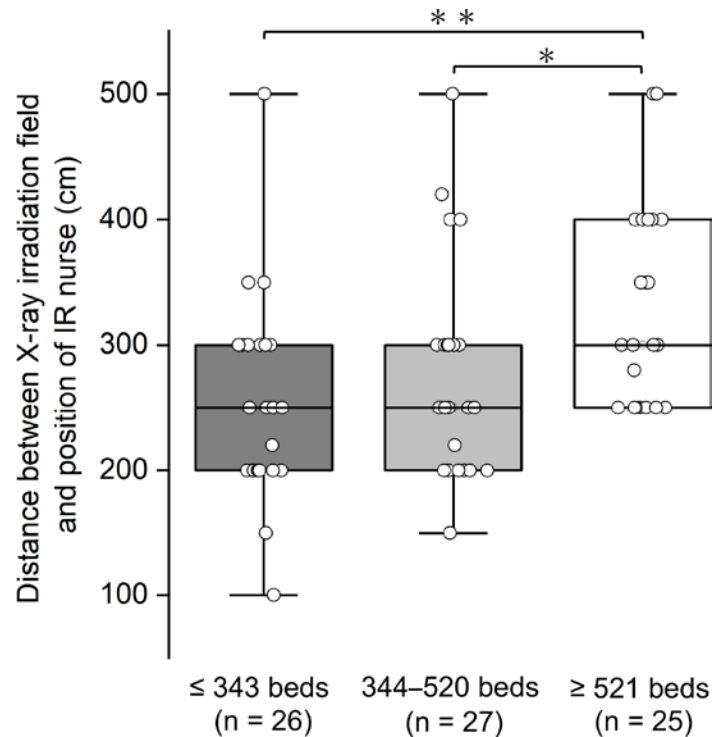


Figure 3. Comparison of the distance between the X-ray irradiation field and the position of the IR nurse based on the number of hospital beds. The bottom and top of the box are the first and third quartiles, and the line inside the box is the second quartile, the median. The bottom and top of the whiskers are the minimum and maximum values. ○ represents each hospital. Mann–Whitney U test (Bonferroni-adjusted for multiple comparisons), * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

Table 2. Comparison of IR staff composition by number of hospital beds.

Number of IR Staff			≤343 Beds (n = 26)	344–520 Beds (n = 27)	≥521 Beds (n = 25)	p (Kruskal–Wallis)	Multiple Comparisons (Mann–Whitney U)
IR procedure for diagnosis							
Physician	one	mean ± SD median [IQR]	3.7 ± 2.5 2.5 [1–6.75]	3.2 ± 2.1 2 [2–5]	1.9 ± 1.4 2 [1–2]	0.02	≥521 beds vs. ≤343 beds *
	three or more	mean ± SD median [IQR]	2.1 ± 1.6 2 [1–2]	1.9 ± 1.2 2 [1–2]	2.8 ± 1.5 2 [2–4]	0.018	≥521 beds vs. 344–520 beds * ≤343 beds vs. ≥521 beds ** 344–520 beds vs. ≥521 beds **
Resident †							
IR nurse	one or more	mean ± SD median [IQR]	2.9 ± 1.5 2 [2–4]	3.5 ± 1.6 3 [2.5–5]	5.1 ± 1.8 6 [3–7]	<0.001	≤343 beds vs. ≥521 beds ** 344–520 beds vs. ≥521 beds **
	one	mean ± SD median [IQR]	3.9 ± 2.3 3.5 [2–6]	5.0 ± 2.3 6 [3–7]	5.0 ± 2.0 6 [4–7]	0.099	
IR procedure for treatment							
Physician	one	mean ± SD median [IQR]	2.3 ± 2.1 1 [1–2]	2.2 ± 1.8 1 [1–2.5]	1.2 ± 0.4 1 [1–1]	0.092	
	three or more	mean ± SD median [IQR]	2.8 ± 1.7 2 [2–3.75]	2.7 ± 1.3 2 [2–3.5]	4.3 ± 1.4 4 [3–5]	<0.001	≤343 beds vs. ≥521 beds ** 344–520 beds vs. ≥521 beds **
Resident †							
IR nurse	one or more	mean ± SD median [IQR]	2.9 ± 1.5 2 [2–4]	3.6 ± 1.7 3 [3–4.75]	4.8 ± 1.9 5 [3–7]	0.003	≤343 beds vs. ≥521 beds ** 344–520 beds vs. ≥521 beds *
	one	mean ± SD median [IQR]	3.5 ± 2.4 3 [1–6]	4.3 ± 2.2 5 [2–6]	4.4 ± 2.4 5 [2–7]	0.375	

Numbers are divided into seven levels: 1—not at all; 2—10–20%; 3—30–40%; 4—approx. 50%; 5—60–70%; 6—80–90%; 7—almost all. SD: standard deviation. IQR: interquartile range [1st–3rd quartile]. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

† Physicians who have had their medical license for less than five years.

Regardless of the purpose—diagnostic or treatment—many procedures were conducted by a single IR nurse. The proportion of procedures conducted by only one IR nurse tended to increase with the number of hospital beds, though this difference was not statistically significant.

3.3. Comparison of Other Characteristics by Number of Hospital Beds

Characteristics varied according to hospital bed count (χ^2 test) (Table 3). University hospitals were predominantly found among those with ≥ 521 beds ($p = 0.017$). In terms of emergency medical system types, primary (initial) emergency care was more common in hospitals with ≤ 343 beds, secondary emergency care was more frequent in hospitals with 344–520 beds, and tertiary emergency care (emergency medical centers) was more prevalent in hospitals with ≥ 521 beds ($p < 0.001$). Regarding the annual number of cardiovascular IR procedures, hospitals with ≤ 343 beds mostly conducted fewer than 300 cases, whereas those with ≥ 521 beds often conducted 700 or more cases ($p < 0.001$). We received responses from 55 facilities about the size of the angiography room, but no significant differences were found based on the hospital bed count. Hospitals with ≥ 521 beds were likelier to have some medical equipment outside the angiography room ($p = 0.020$). The absence of CSS (Figure 1a) and RS (Figure 1b) was more common in hospitals with ≤ 343 beds (adjusted $R > 1.96$), although this difference was not statistically significant.

Table 3. Comparison of other characteristics by number of hospital beds.

		≤ 343 Beds ($n = 26$)		344–520 Beds ($n = 27$)		≥ 521 Beds ($n = 25$)		p (χ^2 -Test)
		n (exp)	Adjusted R	n (exp)	Adjusted R	n (exp)	Adjusted R	
Hospital type	Private hospital	15 (11.7)	1.6	14 (12.1)	0.9	6 (11.2)	−2.5	0.017
	National/public hospital	9 (10.0)	−0.5	11 (10.4)	0.3	10 (9.6)	0.2	
	University hospital	2 (4.3)	−1.5	2 (4.5)	−1.6	9 (4.2)	3.1	
Emergency medical system #	Primary emergency	4 (1.7)	2.3	0 (1.7)	−1.7	1 (1.6)	−0.6	<0.001
	Secondary emergency	17 (15.7)	0.7	24 (16.3)	3.8	6 (15.1)	−4.5	
	Tertiary emergency	4 (8.3)	−2.2	3 (8.7)	−2.9	18 (8.0)	5.2	
	No emergency designation	1 (0.3)	1.4	0 (0.3)	−0.7	0 (0.3)	−0.7	
Annual number of cardiovascular IR procedures conducted	<300 cases	13 (7.0)	3.2	8 (7.3)	0.4	0 (6.7)	−3.7	<0.001
	300–499 cases	5 (4.7)	0.2	6 (4.8)	0.7	3 (4.5)	−0.9	
	500–699 cases	4 (3.7)	0.2	5 (3.8)	0.8	2 (3.5)	−1.1	
	≥ 700 cases	4 (10.7)	−3.3	8 (11.1)	−1.5	20 (10.3)	4.8	
Size of angiography room †	<50 m ²	3 (5.3)	−1.4	6 (5.6)	0.3	8 (6.2)	1.1	0.390
	50–59 m ²	7 (4.3)	1.8	4 (4.6)	−0.4	3 (5.1)	−1.3	
	60–69 m ²	5 (5.3)	−0.2	7 (5.6)	0.9	5 (6.2)	−0.7	
	≥ 70 m ²	2 (2.2)	−0.1	1 (2.3)	−1.1	4 (2.5)	1.2	
Medical equipment location ‡	Some placed outside room	13 (16.0)	−1.5	14 (16.6)	−1.3	21 (15.4)	2.8	0.020
	All placed in room	13 (10.0)	1.5	13 (10.4)	1.3	4 (9.6)	−2.8	
CSS	All placed in room	22 (24.3)	−2.3	27 (25.3)	1.7	24 (23.4)	0.6	0.115
	Some placed in room	1 (0.7)	0.5	0 (0.7)	−1.0	1 (0.6)	0.6	
	No placement	3 (1.0)	2.5	0 (1.0)	−1.3	0 (1.0)	−1.2	
RS	All placed in room	20 (21.0)	−0.6	22 (21.8)	0.1	21 (20.2)	0.5	0.177
	Some placed in room	1 (2.7)	−1.3	4 (2.8)	1.0	3 (2.6)	0.3	
	No placement	5 (2.3)	2.2	1 (2.4)	−1.2	1 (2.2)	−1.1	

n: number of cases. exp: expected number of cases. Adjusted R: standardized residual. If the absolute value is greater than 1.96, the item is significantly different at the 5% level. An absolute value of the residual larger than 2.58 indicates a significant difference at the 1% level. A positive (negative) value for the residual means that the item is significantly more (less) than the other items. # Primary (initial) emergency: for patients who can return home. Secondary emergency: for patients who require hospitalization or surgery. Tertiary emergency (emergency medical center): accepting patients with serious, life-threatening conditions 24 h a day. † Responses from 55 facilities were analyzed, with the 23 facilities that responded “unknown” excluded. ‡ Six items: emergency cart, medicine cabinet, IR catheter storage shelf, hygiene material (infusion route, etc.) storage shelf, activated clotting time (ACT) measurement device, nursing recording media (computers for electronic medical records, etc.). CSS: ceiling-suspended lead shield; RS: rolling lead shield.

3.4. Comparison of Position of IR Nurse by Number of Hospital Beds

Figure 4 illustrates the standard layout of an angiography room used for cardiovascular IR. The position of the IR nurse (A–T) is divided into six directions, as shown in Figure 5. The working directions of the IR nurse are detailed in Figure 6 and Supplementary Table S2. In

nearly all hospitals (94.9%), the IR nurse was positioned on the right side of the patient. In hospitals with ≤ 343 beds, the highest proportion of nurses (61.5%) were positioned at the right side of the patient's head (R-Head), with the proportion decreasing as hospital bed count increased. In hospitals with ≥ 521 beds, the most common position for nurses was on the right side of the patient's body (R-Body) at 40.0%, with responses from two facilities (8.0%) indicating that the IR nurse was positioned outside the angiography room.



Figure 4. Example layout of an angiography room used in cardiovascular IR.

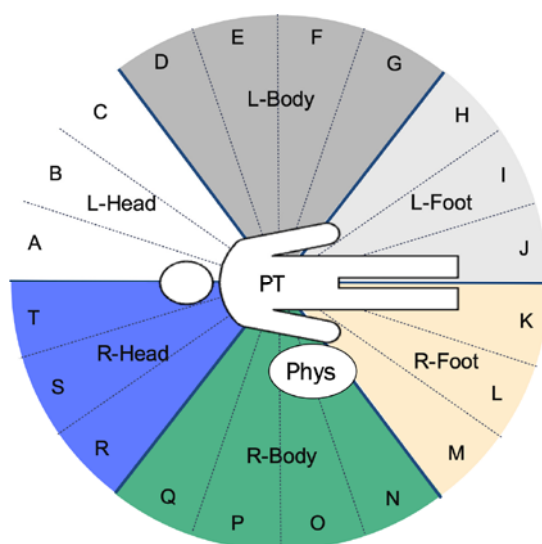


Figure 5. Directions in the angiography room divided into 20 sections as viewed from the patient's perspective (A-T). These sections are further classified into six directions: on the right of the patient's head (R-Head, shown in blue), right of the patient's body (R-Body, shown in green), right of the patient's foot (R-Foot, shown in ivory), left of the patient's head (L-Head, shown in white), left of the patient's body (L-Body, shown in gray), and left of the patient's foot (L-Foot, shown in light gray). "Phys" indicates the position of the main physician. "PT" denotes the patient.

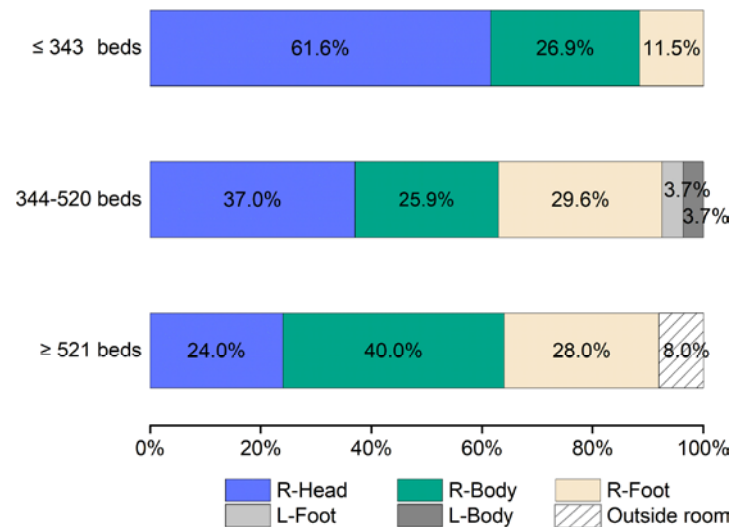


Figure 6. Positions (directions) of cardiovascular IR nurses by the number of hospital beds. Note: No facilities selected the L-Head direction.

3.5. Factors That Determine the Position of the IR Nurse

Table 4 outlines the factors that determine the position of the IR nurse. Figure 7 provides a detailed view of these factors, showing their orientation from the patient's perspective.

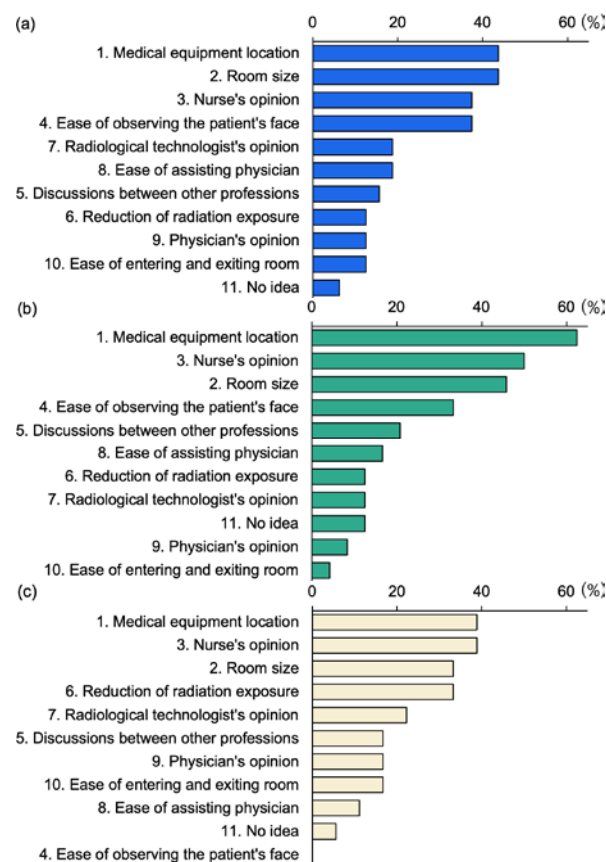


Figure 7. Positions (directions) of cardiovascular IR nurses and factors influencing their selection. (a) R-Head ($n = 32$, shown in blue), (b) R-Body ($n = 24$, shown in green), (c) R-Foot ($n = 18$, shown in ivory). The numbers attached to each factor correspond to those in Table 4.

Table 4. Factors determining position of IR nurses.

Option	Number of Selecting Hospitals (%)
1. Medical equipment location	36 (46.2)
2. Room size	32 (41.0)
3. Nurse's opinion	31 (39.7)
4. Ease of observing the patient's face	21 (26.9)
5. Discussions between other professions	15 (19.2)
6. Reduction in radiation exposure	14 (17.9)
7. Radiological technologist's opinion	13 (16.7)
8. Ease of assisting physician	12 (15.4)
9. Physician's opinion	9 (11.5)
10. Ease of entering and exiting room	8 (10.3)
11. No idea	8 (10.3)

4. Discussion

We previously surveyed three designated emergency hospitals (two university hospitals and one private hospital) of varying functionality and size, where we found that the lens-equivalent dose for IR nurses did not exceed the dose limit of 20 mSv/year at any facility. However, there was a noticeable difference in the lens-equivalent dose between the hospitals [16]. We hypothesized that this variance was due to smaller hospitals conducting IR procedures with a limited staff—often just one physician and one IR nurse—resulting in a substantially shorter distance between the X-ray irradiation field and the nurse's position, thereby increasing the nurse's lens-equivalent dose. In this study, we expanded our survey scope to include a larger range of hospitals to further explore how the number of hospital beds influences the distance between the X-ray irradiation field and the IR nurse's position. Recognizing that many hospitals have multiple angiography rooms with varying interiors such as equipment, layout, and radiation protection depending on the department and procedures used [16], we surveyed solely on cardiovascular IR. This procedure is the most common in Japan, accounting for 61% of all IR procedures [1].

Our findings reveal that in cardiovascular IR, the distance from the X-ray irradiation field to the position of the IR nurse varies with the size of the hospital. Hospitals with ≥ 521 beds had a statistically significantly greater distance to the IR nurse's position compared to hospitals with 344–520 beds or ≤ 343 beds, echoing trends noted in our previous report [16] (Figure 3 and Supplementary Table S1). Distance plays a crucial role in radiation protection, as the radiation exposure dose is inversely proportional to the square of the distance from the radiation source. Although we did not measure the lens-equivalent dose for IR nurses in the current study, we speculated that it was likely lower in hospitals with ≥ 521 beds than in those with fewer beds.

The most common staffing configuration for cardiovascular IR procedures included two physicians and one IR nurse, with the number of hospital beds influencing this composition (Table 2). In hospitals with ≤ 343 beds, IR procedures for diagnostic purposes often involved only one physician (average scores of 3.7 for ≤ 343 beds vs. 1.9 for ≥ 521 beds), resulting in a tendency to have two or more IR nurses due to the fewer physicians. Conversely, in treatment settings, very few hospitals conducted procedures with just one physician. In hospitals with ≥ 521 beds, it was more common for at least three physicians to participate (average scores of 2.8 for ≤ 343 beds vs. 4.3 for ≥ 521 beds). Additionally, the likelihood of residents participating in IR procedures increased with the number of hospital beds, a trend that aligns with expectations.

As the number of hospital beds increased, hospitals were more likely to be university hospitals involved in medical education for students and residents. They were also more likely to function as advanced tertiary emergency centers and to conduct a higher annual number of cardiovascular IR procedures, all of which are logical outcomes (Table 3).

While no differences were observed in the size of the angiography rooms based on the number of hospital beds, hospitals with ≥ 521 beds were more likely to lack sufficient storage space for all necessary medical equipment for cardiovascular IR procedures within the angiography room, necessitating some equipment to be stored outside (Table 3). This situation is likely because these larger hospitals are tasked with providing more advanced medical care, including cardiovascular IR. Such treatments require a greater variety and quantity of equipment and more personnel, including residents, which may exceed the capacity of existing angiography rooms. Storing medical equipment outside the angiography room can be advantageous for radiation protection, particularly for rolling nurses who manage supplies and handle patient samples, as it reduces their time in the radiation exposure area. However, this setup tends to have more disadvantages than advantages. One significant concern is the potential for increased scattered radiation leakage outside the angiography room. The frequent opening and closing of the door to move items in and out can lead to increased leakage, particularly if the door's automatic function fails due to wear, potentially raising the radiation levels in control areas above the limit set at ≤ 1.3 mSv per three months in Japan [30]. Another issue is maintaining a sterile environment within the angiography room. While many hospitals conduct IR procedures in non-sterile areas, it is advisable for cardiovascular IR procedures to occur in clean areas similar to operating rooms, which necessitates minimizing unnecessary traffic in and out of the angiography room [31]. The recent introduction of hybrid operating rooms, which facilitate IR procedures in a clean environment akin to operating rooms, represents an ideal setup. Improving the conditions for IR nurses in terms of both cleanliness and radiation protection would ideally involve ensuring that the angiography room is large enough to house all necessary equipment and allow nurses to remain inside at all times for efficient management and supply handling [32]. Additionally, the appropriate installation of RS is crucial to provide comprehensive radiation protection for the staff.

In this study, we found that external factors such as the arrangement of medical equipment (46.2%) and room size (41.0%) were the most influential in determining the positions of IR nurses (Table 4). When analyzing the positions of IR nurses, whether at the R-Head (Figure 7a), R-Body (Figure 7b), or R-Foot (Figure 7c) directions, these external factors were consistently the primary determinants. The number of hospital beds also influences the positions of IR nurses, with hospitals with fewer beds typically positioning nurses at the R-Head and with hospitals with a larger number of beds more commonly positioning them at the R-Body (Figure 6). However, room size, another external factor, did not vary with the number of hospital beds (Table 3), indicating that the shift in IR nurses' positions is likely influenced more by the arrangement of medical equipment and other internal factors. We will further discuss what these internal factors might be, depending on the IR nurses' positions.

Cardiovascular IR is often performed under local anesthesia with the patient conscious, requiring the IR nurse to monitor the patient's complaints and facial expressions, respond to any abnormalities, and provide a reassuring environment where patients can comfortably express concerns [33]. The C-arm of the angiography device is positioned in the R-Head direction (Figure 4), with the CSS installed between the X-ray field and the physician, typically leaving the physician out of the R-Head area. This setup, providing more space, allows IR nurses in the R-Head direction to easily observe and communicate with the patient. Additionally, the fifth most cited factor for choosing this position was "ease of assisting the physician" (18.8%) (Figure 7a). The R-Head location, directly to the left of the physician, facilitates the physician's assistance. Hospitals with ≤ 343 beds typically have fewer physicians than hospitals with ≥ 521 beds, making the R-Head direction particularly convenient for IR nurses to access both the patient and the physician simultaneously.

However, the R-Head position lacks a CSS between the X-ray field and the IR nurse (Figure 4), potentially resulting in higher radiation exposure. Research indicates that the radiation dose to the IR staff can be 15 times higher when standing next to the patient rather than behind the CSS or physician, even if the distance from the X-ray source remains the same [34]. Therefore, the R-Head direction is a common position for IR nurses in hospitals ($n = 32$). If an IR nurse operates from this direction, additional radiation shielding, such as an RS or personal protective equipment akin to that worn by physicians, may be necessary to ensure their safety.

Hospitals with ≥ 521 beds often have IR nurses positioned in the R-Body direction (Figure 6), with the fourth most common reason for this choice being the ease of observing the patient's face (33.3%) (Figure 7b). The R-Body direction places the IR nurse behind the physician, allowing for easier access and a natural shielding effect from the physician's body positioned between the nurse and the X-ray irradiation field [22]. Although direct communication with the patient is not possible from this position, it allows for clear observation of the patient's facial expressions. As the number of hospital beds increases, bringing more physicians and limiting space in the R-Head direction, IR nurses may find the R-Body direction to be the next most convenient option. Indeed, the second most common reason for choosing R-Body was the nurse's opinion (50.0%), and the fifth most common was interdisciplinary discussions between other professions (20.8%) (Figure 7b), suggesting that medical staff view R-Body as a preferred alternative to R-Head for IR nurses.

The R-Foot direction, which does not interfere with angiography equipment, allows IR nurses to easily secure space (Figure 4). However, hospitals with ≤ 343 beds generally have fewer physicians, resulting in only three hospitals (11.5%) choosing the R-Foot direction over R-Head (Figure 6 and Supplementary Table S2). The major drawback of the R-Foot position is the inability to see the patient's face or communicate directly, and no hospital reported ease of observing the patient's face as a reason for selecting this direction (Figure 7c). On the other hand, the primary advantage of the R-Foot direction is its distance from the X-ray irradiation field, enhanced by the presence of either a CSS or the physician between the IR nurse and the X-ray source, providing optimal radiation protection. Previous studies have shown that the radiation exposure for staff standing immediately to the right of the first operator is reduced by a quarter, thanks to the protective apron worn by the first operator and their body acting as an effective shield [35]. Correspondingly, reducing radiation exposure was the fourth most cited reason for selecting the R-Foot direction in this survey (33.3%) (Figure 7c).

In a previous survey of three hospitals, we reported that having fewer medical staff involved in IR procedures placed the IR nurse (rolling nurse) closer to the X-ray irradiation field, resulting in higher lens radiation doses for these nurses [16]. We expanded this survey to include 78 hospitals performing cardiovascular IR and found similar results. Although most hospitals have only one IR nurse, the roles assigned to an IR nurse vary. Hospitals with fewer beds tend to employ multiple IR nurses, with physicians likely taking on more direct care responsibilities. In the current study, we examined not only the distance between the X-ray irradiation field and the IR nurse's position but also the direction of the nurse's position from the patient's perspective and the reasons for its selection. Sanchez et al. have shown that the nature of the IR procedure and the required role of the IR nurse significantly influence the nurse's position and the choice of protective equipment such as RS [19]. Our findings also confirmed that the position of the IR nurse is dictated by the nurse's role, which varies with the number of hospital beds. Consequently, the relationship between the number of hospital beds and the distance from the X-ray irradiation field to the nurse's position could be established, making the number of beds a useful metric in assessing

IR nurses' radiation exposure risks. Personal dose monitoring is essential for assessing the exposure risk of IR nurses. However, in the world, there are still many countries and regions where personal dosimeters are unavailable or not worn daily [17,36]. There are also reports stating that the use rate of personal dosimeters is higher among nurses than among physicians [12,37], but in the case of passive dosimeters, the cumulative dose for a certain period is notified to the user, so it is not easy to use the dose results to improve the situation. Even in this situation, the number of hospital beds is a dose indicator that can be obtained easily without spending money, so it is expected to be used for the risk assessment of IR nurses. Looking ahead, further research on radiation exposure risk assessments for IR nurses is necessary. Such studies should aim to enhance the implementation of regular risk assessments, provide targeted radiation protection education, and develop specific strategies for reducing exposure risks among high-risk groups.

There are limitations in the present study. Although we surveyed a significant number of hospitals (78 hospitals), this cannot be considered a trend for all medical facilities in Japan with angiography equipment, of which there are more than 1500. There is a possibility that the responses primarily came from IR-specialized radiological technologists who have a strong interest in radiation protection, which could introduce an online bias. Furthermore, when asking why IR nurses chose their specific working directions, IR-specialized radiological technologists might have selected options that appear more rational in terms of radiation protection compared to their non-specialized counterparts. Therefore, caution should be exercised when interpreting these results.

5. Conclusions

In this study, we demonstrated that the most common staffing configuration for cardiovascular IR typically includes two physicians and one IR nurse. We observed that hospitals with a larger number of beds tend to employ more physicians, whereas smaller hospitals may operate with only one physician conducting IR. Additionally, the distance from the X-ray irradiation field to the position of the IR nurse was influenced by the number of hospital beds, with statistically significant longer distances observed in hospitals with ≥ 521 beds compared to hospitals with ≤ 520 beds. Furthermore, variations in the number of hospital beds correlate closely with the type of hospital, the emergency medical system, the annual number of IR sessions conducted, the arrangement of medical equipment, and the positioning of IR nurses. Taking these factors into account can enable a more accurate assessment of radiation exposure risks for cardiovascular IR nurses and facilitate effective strategies to reduce radiation exposure, particularly through individualized and prioritized approaches for those at the highest risk.

Supplementary Materials: The following supporting information can be downloaded at <https://www.mdpi.com/article/10.3390/nursrep15010011/s1>: Table S1: Comparison of distance between X-ray irradiation field and position of IR nurse according to number of hospital beds; Table S2: Working direction of IR nurses from patient's perspective according to the number of hospital beds.

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

Funding: This research was funded by the Japan Society for the Promotion of Science KAKENHI to T.M., grant number 18H03376/24H00665; the Japanese Ministry of Health, Labour and Welfare to T.M., grant number 180501-1; and the Japanese Ministry of Health, Labour and Welfare to H.K. and T.M., grant number 210501-01/240401-02.

Institutional Review Board Statement: This study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki and approved by the Ethics Committee of the University of Occupational and Environmental Health (reference number: R4-012/1 June 2022).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available at the request of the corresponding author due to the study's aims and ethics.

Public Involvement Statement: No public involvement in any aspect of this research.

Guidelines and Standards Statement: This manuscript was drafted against the (STROBE) for a cross-sectional study.

Use of Artificial Intelligence: AI or AI-assisted tools were not used in drafting any aspect of this manuscript.

Acknowledgments: We are deeply grateful to the late Naoki Kunugita of the University of Occupational and Environmental Health for his kind guidance.

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

References

1. The Ministry of Health, Labour and Welfare. Medical Facility Surveys and Hospital Reports. Available online: <https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/79-1a.html> (accessed on 14 October 2024).
2. Kozuma, K.; Chikamori, T.; Hashimoto, J.; Honye, J.; Ikeda, T.; Ishiwata, S.; Kato, M.; Kondo, H.; Matsubara, K.; Matsumoto, K.; et al. JCS 2021 Guideline on Radiation Safety in Cardiology. *Circ. J.* **2022**, *86*, 1148–1203. [\[CrossRef\]](#)
3. Vañó, E.; González, L.; Beneytez, F.; Moreno, F. Lens injuries induced by occupational exposure in non-optimized interventional radiology laboratories. *Br. J. Radiol.* **1998**, *71*, 728–733. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
4. Junk, A.K.; Haskal, Z.; Worgul, B.V. Cataract in Interventional Radiology—An Occupational Hazard? *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* **2004**, *45*, 388.
5. Chodick, G.; Bekiroglu, N.; Hauptmann, M.; Alexander, B.H.; Freedman, D.M.; Doody, M.M.; Cheung, L.C.; Simon, S.L.; Weinstock, R.M.; Bouville, A.; et al. Risk of cataract after exposure to low doses of ionizing radiation: A 20-year prospective cohort study among US radiologic technologists. *Am. J. Epidemiol.* **2008**, *168*, 620–631. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
6. Kleiman, N.J.; Cabrera, M.; Duran, G.; Ramirez, R.; Duran, A.; Vañó, E. Occupational risk of radiation cataract in interventional cardiology. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* **2009**, *49*, 511.
7. Vano, E.; Kleiman, N.J.; Duran, A.; Rehani, M.M.; Echeverri, D.; Cabrera, M. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat. Res.* **2010**, *174*, 490–495. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
8. Ciraj-Bjelac, O.; Rehani, M.M.; Sim, K.H.; Liew, H.B.; Vano, E.; Kleiman, N.J. Risk for radiation-induced cataract for staff in interventional cardiology: Is there reason for concern? *Catheter. Cardiovasc. Interv.* **2010**, *76*, 826–834. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
9. Rehani, M.M.; Vano, E.; Ciraj-Bjelac, O.; Kleiman, N.J. Radiation and cataract. *Radiat. Prot. Dosim.* **2011**, *147*, 300–304. [\[CrossRef\]](#)
10. Jacob, S.; Boveda, S.; Bar, O.; Brézin, A.; Maccia, C.; Laurier, D.; Bernier, M.O. Interventional cardiologists and risk of radiation-induced cataract: Results of a French multicenter observational study. *Int. J. Cardiol.* **2013**, *167*, 1843–1847. [\[CrossRef\]](#)
11. Ciraj-Bjelac, O.; Rehani, M.; Minamoto, A.; Sim, K.H.; Liew, H.B.; Vano, E. Radiation-induced eye lens changes and risk for cataract in interventional cardiology. *Cardiology* **2012**, *123*, 168–171. [\[CrossRef\]](#)
12. Vano, E.; Kleiman, N.J.; Duran, A.; Romano-Miller, M.; Rehani, M.M. Radiation-associated lens opacities in catheterization personnel: Results of a survey and direct assessments. *J. Vasc. Interv. Radiol.* **2013**, *24*, 197–204. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
13. International Commission on Radiological Protection. ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs-threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context; ICRP Publication 118. *Ann. ICRP* **2012**, *41*, 1–322. [\[CrossRef\]](#)
14. Brown, N.P. The lens is more sensitive to radiation than we had believed. *Br. J. Ophthalmol.* **1997**, *81*, 257. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
15. Ainsbury, E.A.; Bouffler, S.D.; Dörr, W.; Graw, J.; Muirhead, C.R.; Edwards, A.A.; Cooper, J. Radiation cataractogenesis: A review of recent studies. *Radiat. Res.* **2009**, *172*, 1–9. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)

16. Kuriyama, T.; Moritake, T.; Nakagami, K.; Morota, K.; Hitomi, G.; Kitamura, H. Background Factors Affecting the Radiation Exposure of the Lens of the Eye among Nurses in Interventional Radiology: A Quantitative Observational Study. *Nurs. Rep.* **2024**, *14*, 413–427. [\[CrossRef\]](#)
17. van der Merwe, B. Establishing ionising radiation safety culture during interventional cardiovascular procedures. *Cardiovasc. J. Afr.* **2021**, *32*, 271–275. [\[CrossRef\]](#)
18. Omar, A.; Kadesjö, N.; Palmgren, C.; Marteinsdottir, M.; Segerdahl, T.; Fransson, A. Assessment of the occupational eye lens dose for clinical staff in interventional radiology, cardiology and neuroradiology. *J. Radiol. Prot.* **2017**, *37*, 145–159. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
19. Sánchez, R.M.; Vano, E.; Fernández, J.M.; Pifarré, X.; Ordiales, J.M.; Rovira, J.J.; Carrera, F.; Goicolea, J.; Fernández-Ortiz, A. Occupational eye lens doses in interventional cardiology. A multicentric study. *J. Radiol. Prot.* **2016**, *36*, 133–143. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
20. Domienik, J.; Brodecki, M.; Rusicka, D. A study of the dose distribution in the region of the eye lens and extremities for staff working in interventional cardiology. *Radiat. Meas.* **2012**, *47*, 130–138. [\[CrossRef\]](#)
21. Wilson, S.K.; Hartel, G.; Fontanarosa, D. Occupational radiation exposure to the head is higher for scrub nurses than cardiologists during cardiac angiography. *J. Adv. Nurs.* **2019**, *75*, 2692–2700. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
22. Mori, H.; Koshida, K.; Fujii, T.; Ichikawa, K. Examination of Types of Exposure and Management Methods for Nurses in Interventional Radiology. *Jpn. J. Radiol. Technol.* **2007**, *63*, 401–411. [\[CrossRef\]](#)
23. Antic, V.; Ciraj-Bjelac, O.; Rehani, M.; Aleksandric, S.; Arandjic, D.; Ostojic, M. Eye lens dosimetry in interventional cardiology: Results of staff dose measurements and link to patient dose levels. *Radiat. Prot. Dosim.* **2013**, *154*, 276–284. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
24. Omar, A.; Marteinsdottir, M.; Kadesjö, N.; Fransson, A. On the feasibility of utilizing active personal dosimeters worn on the chest to estimate occupational eye lens dose in x-ray angiography. *J. Radiol. Prot.* **2015**, *35*, 271–284. [\[CrossRef\]](#)
25. Maddler, R.D.; LaCombe, A.; VanOosterhout, S.; Mulder, A.; Elmore, M.; Parker, J.L.; Jacoby, M.E.; Wohns, D. Radiation Exposure Among Scrub Technologists and Nurse Circulators During Cardiac Catheterization: The Impact of Accessory Lead Shields. *JACC Cardiovasc. Interv.* **2018**, *11*, 206–212. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
26. Komemushi, A.; Suzuki, S.; Sano, A.; Kanno, S.; Kariya, S.; Nakatani, M.; Yoshida, R.; Kono, Y.; Ikeda, K.; Utsunomiya, K. Radiation dose of nurses during IR procedures: A controlled trial evaluating operator alerts before nursing tasks. *J. Vasc. Interv. Radiol.* **2014**, *25*, 1195–1199. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
27. National Institute of Radiological Sciences. *Radiology for Nurses*; Asakura Publishing Co., Ltd.: Tokyo, Japan, 2012.
28. Japan Professional Accreditation Board of Radiological Technologist for Angiography and Intervention. Available online: <http://ivr-rt.kenkyuukai.jp/special/index.asp?id=18148> (accessed on 14 October 2024).
29. Landis, J.R.; Koch, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* **1977**, *33*, 159–174. [\[CrossRef\]](#)
30. The Ministry of Health, Labour and Welfare. Proposals for Decentralization Reform in 2022. Available online: <https://www.pref.miyagi.jp/documents/22588/ekkusu.pdf> (accessed on 14 October 2024).
31. Chan, D.; Downing, D.; Keough, C.E.; Saad, W.A.; Annamalai, G.; d’Othee, B.J.; Ganguli, S.; Itkin, M.; Kalva, S.P.; Khan, A.A.; et al. Joint Practice Guideline for Sterile Technique during Vascular and Interventional Radiology Procedures. *J. Vasc. Interv. Radiol.* **2012**, *23*, 1603–1612. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
32. Bayramzadeh, S.; Joseph, A.; San, D.; Khoshkenar, A.; Taaffe, K.; Jafarifiroozabadi, R.; Neyens, D.M. The Impact of Operating Room Layout on Circulating Nurse’s Work Patterns and Flow Disruptions: A Behavioral Mapping Study. *HERD-Health Environ. Res.* **2018**, *11*, 124–138. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
33. Komemushi, A.; Ichida, T.; Inoue, M.; Ohuchi, Y.; Onozawa, S.; Tanikake, M.; Tamura, M.; Horikawa, M.; Yabuta, M.; Tanigawa, N.; et al. Recommendations for the medical system for performing interventional radiology procedures. *Jpn. J. Interv. Radiol.* **2019**, *33*, 445–460.
34. Mohapatra, A.; Greenberg, R.K.; Mastracci, T.M.; Eagleton, M.J.; Thornsberry, B. Radiation exposure to operating room personnel and patients during endovascular procedures. *J. Vasc. Surg.* **2013**, *58*, 702–709. [\[CrossRef\]](#)
35. Sailer, A.M.; Schurink, G.W.; Bol, M.E.; de Haan, M.W.; van Zwam, W.H.; Wildberger, J.E.; Jeukens, C.R. Occupational Radiation Exposure During Endovascular Aortic Repair. *Cardiovasc. Interv. Radiol.* **2015**, *38*, 827–832. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
36. International Commission on Radiological Protection. Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures; publication 139. *Ann. ICRP* **2018**, *47*, 1–118. [\[CrossRef\]](#)
37. Ministry of Health, Labour and Welfare. *A Study on the Actual Status of Radiation Exposure in Radiation Work Involving Uneven Exposure and the Assessment of Issues for Reducing Radiation Exposure*; Research Summary Report: FY2020 Industrial Accident Disease Clinical Research Project; Ministry of Health, Labour and Welfare: Tokyo, Japan, 2021. Available online: <https://www.mhlw.go.jp/content/000812185.pdf> (accessed on 22 December 2024).

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

令和 6 年度(2024 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

整形外科領域における被ばく線量実測調査

研究分担者 山下一太(徳島大学 地域運動器・スポーツ医学教室・特任准教授)

研究要旨

令和 6 年度(2024 年度)は、医療現場での医療者の身体部位別被曝量を測定し、検証した。

整形外科における X 線透視下手技中の医療者の被ばく実態を把握するため、術者・助手・器械出し看護師を対象に、OSL 線量計を用いて各身体部位の実測線量を評価した。測定部位は水晶体(眼瞼近傍)、甲状腺(前頸部)、胸部、性腺(鼠径部)、手指(両示指先端)とし、対象手技は脊椎手術、神経根ブロック、大腿骨近位部骨接合術、手外科手術の 4 種類とした。脊椎手術および大腿骨手術では、側面透視による散乱線の影響で水晶体・甲状腺部の被ばくが高値を示した。一方、神経根ブロックおよび手外科手術では、直接 X 線による示指部の被ばくが顕著であった。これらの結果は、手技ごとの被ばく特性に応じた放射線防護対策の優先順位を再検討する上で有用であり、今後の安全対策の基盤となることが期待される。

A. 研究目的

X 線透視下での診療行為に従事する整形外科医および手術スタッフにおける、部位別の実測被ばく線量を明らかにし、眼（水晶体）、甲状腺、胸部、性腺、手指などの各等価線量限度との比較を通じて、現場の放射線防護対策の実効性と課題を検討することを目的とする。

B. 研究方法

整形外科手術・手技に従事する術者、助手、器械出し看護師を対象に、実際の X 線透視下診療中に各身体部位の被ばく量を測定した。測定には OSL 線量計を使用し、以下の 5 部位にテープ固定した：眼瞼近傍（水晶体想定）、前頸部（甲状腺）、左胸部（胸部実効線量）、鼠径部（性腺）、両示指先端部（手指）。対象となった手技は、脊椎手術、神経根ブロック、大腿骨近位部骨接合術、手外科手術の 4 種である。術後に線量計を回収し、専用の機器で線量を解析した。

C. 研究結果

現在までに、脊椎手術 60 件、神経根ブロック 42 件、大腿骨近位部骨接合術 30 件、手外科手術 36 件の計測データを取得した。主な傾向として以下が挙げられる：

脊椎手術および大腿骨近位部骨接合術では、側面透視使用時に水晶体および甲状腺部位の散乱線による被ばくが高値を示した。

神経根ブロックおよび手外科手術では、示指部における直接 X 線による被ばくが極めて高値であった。

手外科手術では、水晶体および甲状腺部の散乱線被ばくは非常に低く抑えられていた。

D. 考察

X 線透視の使用場面に応じて、医療者の被ばく部位とその強度は大きく異なることが明らかとなった。脊椎や大腿骨手術では散乱線による水晶体・甲状腺の被ばくが無視できず、鉛入り眼鏡や頸部シールドの着用が強く推奨される。一方、神経根ブロックや手外科では手指の直接被ばくが問題となり、透視中の手指位置や器具の工夫、防護手袋の導入などの対策が必要である。これらの結果は、手技ごとの防護対策の優先順位を再評価する上で有用である。

E. 結論

整形外科診療において、医療者の被ばくは手技の種類によってリスク部位が異なる。今後、部位別線量限度に基づいた手技ごとの防護指針の明確化と、現場へのフィードバックによる被ばく低減策の推進が求められる。現場での計測は順調に進捗しており、引き続き症例数を増やすことで結果の精度を高め、最終的な提言につなげる予定である。

F. 論文報告

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的所有権の取得状況

なし

令和 6 年度(2024 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

放射線防護板の適切な使用に関する教材の開発

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・教授)

研究要旨

本研究は、X 線透視ガイド下手技における医療スタッフの職業被ばく低減を目的として、散乱線分布をリアルタイムに可視化するアプリケーションの開発を目指した。従来の Monte Carlo 法は高精度な散乱線解析が可能だが、計算時間が長いため、リアルタイム処理には適していない。そこで本研究では、光線追跡技術(ray tracing)を用いて、散乱線を可視光のように扱い、瞬時に分布を計算する手法を導入した。

開発には Unity を使用し、C アーム型 X 線透視装置の 3D 環境を再現した。装置モデルは Blender で作成し、散乱線の解析には PHITS を利用。モンテカルロシミュレーションから得た散乱線データを ray tracing 技術で処理し、透視室内の散乱線分布をリアルタイムで表示するアプリケーションを構築した。水ファントムを用いた実測データと比較することでシステムの精度検証も行い、術者の位置による散乱線の影響を評価した。

結果として、本アプリケーションでは患者の断面画像や術者の影響による散乱線の減弱を視覚的に確認できた。しかし、モンテカルロシミュレーションと比較すると、線量プロファイルが完全には一致せず、特に寝台や X 線管、ヘッド部分からの散乱線の影響を正確に考慮する必要があることが分かった。このため、散乱線の吸収設定を再検討することでさらなる精度向上が求められる。今回の開発により、放射線防護対策を視覚的に支援する可能性が示されたが、今後の改善が必要である。

A. 研究目的

医療現場において、X 線透視ガイド下手技によって様々な検査や治療を患者に対して非

侵襲的に実施することが可能となり X 線透視装置の臨床上の有用性や適応が向上している。その一方、手技をする様々な診療科の医師や

看護師などの医療スタッフの職業被ばくが多くなることが問題となっており、適切な職業被ばく低減対策が求められている。外部放射線防護の三原則の中で、放射線防護板を使用した遮蔽による防護は、鉛当量の高い防護素材で天吊りアーム等を使用して X 線透視装置の周辺に比較的自由に配置することが出来るが、特に多くの医療従事者は放射線に対する専門教育を受けているわけではなく、適切な配置方法の直感的な理解やその効果を把握することが難しい。

X 線透視中の散乱線の線量や広がりを容易に把握することで、放射線防護方法の理解を深めることが出来ると考えられる。従来放射線は眼に見えないものであるが、散乱線分布可視化手法としてシミュレーション技術を使うことで、目に見えないものを可視化することが出来る。放射線の広がりシミュレーションの手法として Monte Carlo 法があるが、この方法は計算時間が非常に長く、放射線防護板の移動による分布の変化を都度検証することには適していない。

そこで本研究では、散乱線を可視光と見立て、透視室内の空間の光の挙動を瞬時に計算 ray tracing を用いて C アーム型 X 線透視装置の散乱線分布の変化をリアルタイムに計算するアプリケーションを開発することを目的とする。

B. 研究方法

アプリケーション開発にはゲーム開発プラットフォームである Unity ver. 2020.3.30f1 を使用した。アプリケーションのベースとして、先行研究においてオーバーチューブ X 線装置用に作成したものを利用した。C アーム型 X 線透視装置 CALNEO CROSS (Fujifilm Medical Co.) および寝台の 3D モデルは 3D モデル作成プラットフォームである Blender ver. 3.6 を用いて実機

からメジャー等で寸法を測り作成した。モンテカルロシミュレーションによる散乱線分布の表示には、Paraview 5.12.0 を使用した。モンテカルロコード PHITS ver. 3.34 を利用し、管電圧：66 kV、線源検出器間距離：106 cm、照射野：35 × 43 cm²、部屋の大きさ：322 × 372 × 245 cm³、C アームの角度：床天井方向、水ファントム：30 × 30 × 15 cm³を仮想空間上に再現した。線源の粒子として、光子を発生させ、室内の様々な物体からの散乱線のベクトル情報やエネルギー情報を dump ファイルとして保存した。この情報を散乱線源として ray tracing 技術を用いて、透視装置による透視時の X 線透視室内の散乱線分布を表示した。

Ray tracing とは、光の挙動をシミュレートする技術で、特にコンピュータグラフィックスや物理シミュレーションで活用されている。光線の経路を追跡することで、リアルな反射・屈折・影・間接照明を再現できるもので、この技術は、ゲーム、映画、建築ビジュアライゼーション、医療画像解析など、幅広い分野で活用されている。本研究ではファントムから室内に広がる散乱線を可視光と見立て、室内の散乱線分布を計算、表示した。Ray tracing による散乱線分布のリアルタイムシミュレーションの計算精度について検証した。

今回の研究においては、本手法による散乱線分布とモンテカルロシミュレーションによる同一部位の値を比較することでシミュレーション精度の検証を行った。モンテカルロシミュレーションで再現した C アーム装置と室内の様子を図 1 に示す。術者の位置である①、②、③に術者を模擬した角柱を配置し、この領域の散乱線による線量分布を評価した。

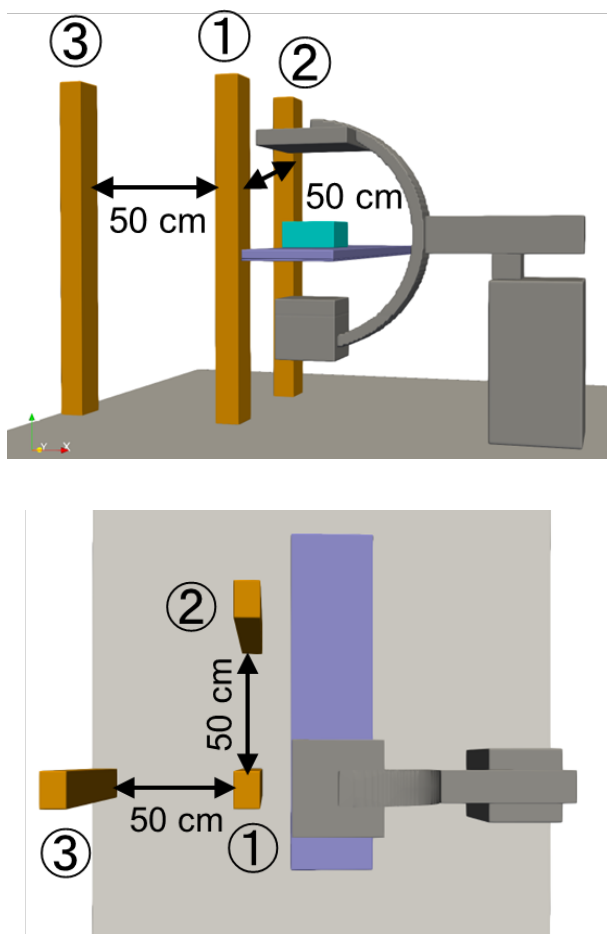


図 1 モンテカルロシミュレーションで再現した C アーム装置と室内の様子。上段：横からの視点、下段：天井からの視点

Unity 上で再現した C アーム装置と室内の様子を図 2 に示す。

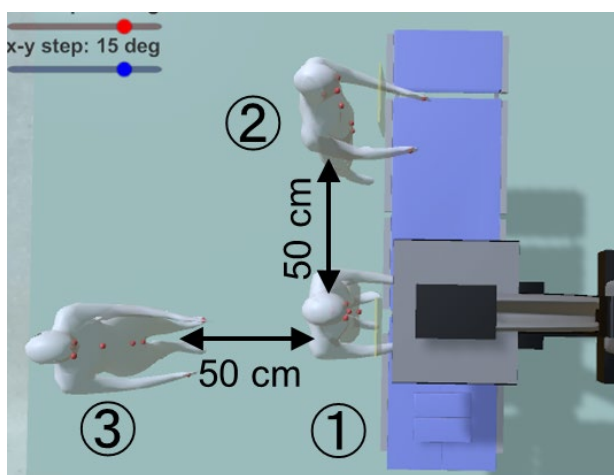


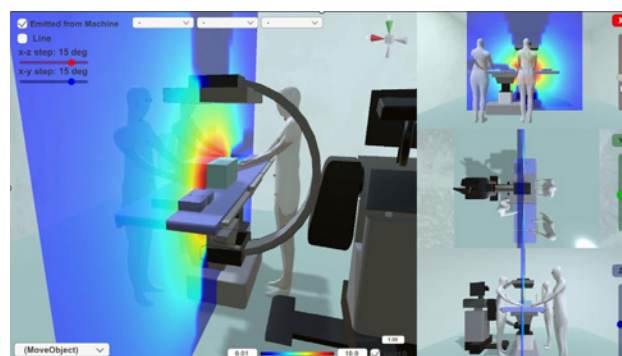
図 2 モンテカルロシミュレーションで再現した C アーム装置と室内の様子

(倫理面への配慮)

本研究は、人を対象とする研究ではない。X 線を使用する研究では、研究者が被ばくする恐れがあるため、放射線防護対策をした上で研究実施した。

C. 研究結果

Ray tracing により計算した散乱線線分布の画面を図 3 に示す。本アプリケーションでは患者の横断面、矢状断面、冠状断面の任意の断面を表示できる。また術者により散乱線が减弱していることを確認できる。



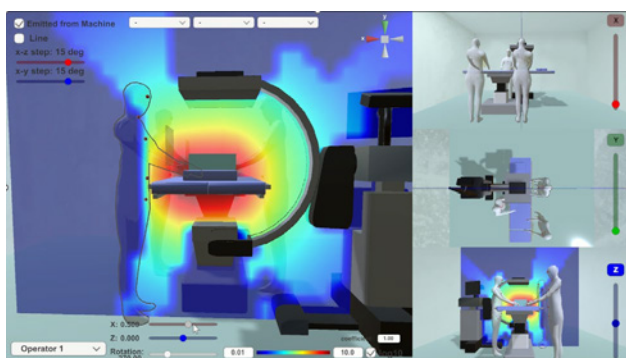
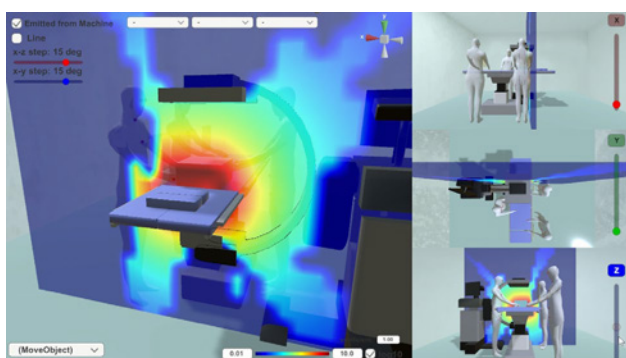
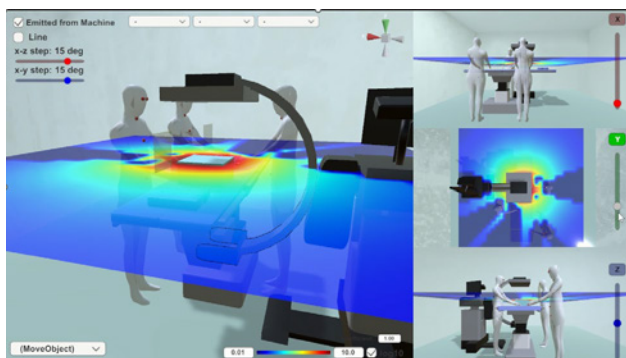


図3 Ray tracingにより計算した散乱線線分布の画面

水ファントムからの散乱線のみを計算した時のアプリケーションでの術者位置での散乱線プロファイルの計算結果とすべての放射線を計算した時の PHITS の術者位置での線量プロファイルを図4、5、6に示す。

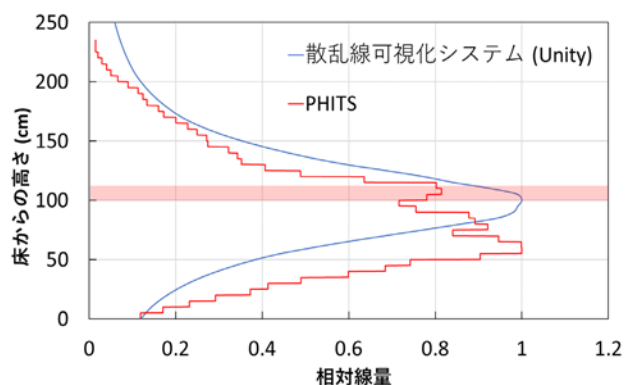


図4 術者①での散乱線プロファイルの比較

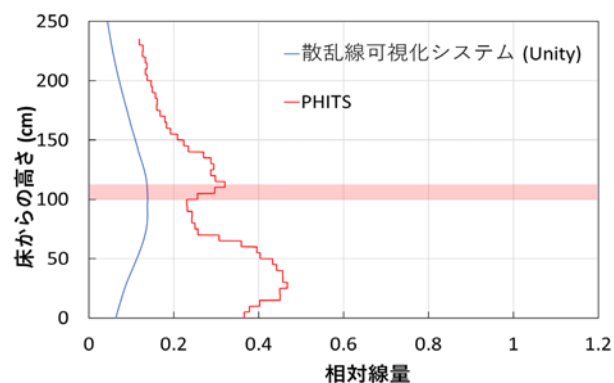


図5 術者②での散乱線プロファイルの比較

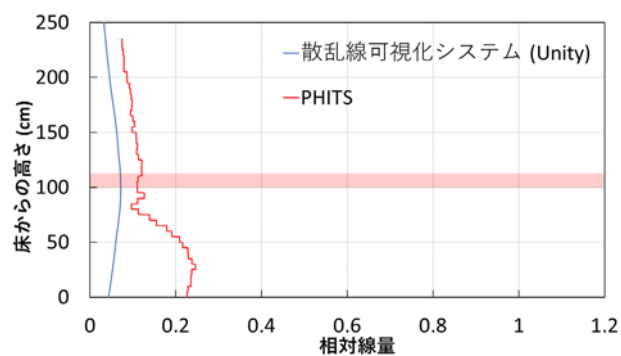


図6 術者③での散乱線プロファイルの比較

術者①の点では高線量となる高さがほぼ一致したが、別の術者の位置ではプロファイルの傾向に違いがみられた。

吸収の設定について再考する必要がある。

D. 考察

今回の作成したアプリケーションにより C アーム X 線透視装置を使用した際の散乱線分布を任意の二次元断面で表示することが出来た。一方で、本計算手法による線量プロファイルとモンテカルロシミュレーションによる線量プロファイルは一致しなかった。この原因として寝台や X 線管、ヘッド部分の内部からの散乱線の吸収や広がりに関する設定が不十分であり、装置の詳細な構造やベクトル情報の取得方法について再考する必要がある。

本アプリケーションでは室内の遮蔽物を考慮したシミュレーションが可能であると考えられるが、いくつか課題もある。C アームは角度を自由に振ったり照射野、管電圧の変更することができることから、これらの条件を変化させた場合のベクトル情報をどのように取得するかを検討する必要がある。また遮蔽物について一定の X 線の吸収率を割り当てているが、散乱線の遮蔽物の散乱については考慮できていない。この点の計算精度への影響と計算時間の検証をする必要がある。

正しい散乱線分布を可視化することが出来れば、容易に放射線防護具の遮蔽効果を視覚的に確認できることから、放射線防護対策に有用であると考ええる。

E. 結論

Ray tracing を用いた C アーム型 X 線透視装置の散乱線可視化システムを開発した。リアルタイムに散乱線分布を表示させ、また術者等の遮蔽物により分布の変化させることが出来たものの、計算精度が不十分であることから、ray tracing による散乱線分布をシミュレーションするには、散乱線の

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 6 年度(2024 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

放射線防護のためのゲーミフィケーションプロダクトと
デジタルプロテクションツールの開発

研究分担者 石垣陽(電気通信大学 国際社会実装センター センター長・特任教授)

研究要旨

令和 6 年度(2024 年度)は、X 線透視下診療に従事する医療従事者の職業被ばくを低減するため、教育的アプローチとリアルタイム線量可視化技術の開発・基礎評価を実施した。被ばく線量の即時認知と行動修正を支援するには、定量的な情報提供に加えて、視覚的・体験的な理解を促す仕組みが不可欠であり、本研究ではその両面に取り組んだ。教育面では、ゲーミフィケーションの手法を取り入れた放射線防護教育ツール「USOTOPE」を開発した。これはスマートフォン内蔵の磁気センサを利用し、線源に模した磁石との距離に応じて擬似的な線量率をリアルタイムで表示するもので、距離の逆二乗則に従う線量変化を直感的に学ぶことができる。令和 6 年度は模擬線源とスマートフォンを用いた疑似的な教育セッションを実施し、放射線に対する心理的抵抗感の軽減や防護行動の理解促進に資する可能性を確認した。なお、本段階では実際の診療従事者との使用には至っておらず、今後の教育プログラムへの統合に向けた設計検証を主目的とした。一方、診療中の被ばく状況を術者がその場で把握するためのリアルタイム可視化技術として、市販の個人線量計(MIRION 社 DMC3000)と BLE テレメトリモジュールを組み合わせた無線モニタリングシステムを構築した。測定データはクラウドに送信され、ダッシュボード上で時系列表示されるほか、しきい値超過時にはアラートが発報される機能も実装した。これにより、術中・術後の線量評価に加え、即時の行動修正を誘発するシステムとしての有用性が示唆された。さらに、X 線診療に特有の高線量環境へ対応可能な独自開発の小型線量可視化モジュールについても基礎評価を実施した。分担者らが開発したポケットガイガーを元に、小面積 PIN フォトダイオードを最大 8 個搭載可能な専用基板と、BLE 通信機能を内蔵した筐体を組み合わせて、軽量・高応答・着用可能な構成とした。最大 5mSv/h 相当の線源を用いた照射試験では、出力の線形性と応答の安定性が確認され、医療現場への適用可能性を見出した。また、クラウドダッシュボード(SORACOM Lagoon)と連携することで、しきい値設定、アラート通知、バッテリー残量の監視など、多機能な遠隔モニタリング体制が整備された。これらの取り組みにより、教育段階から実臨床まで一貫した放射線防護支援のフレームワーク構築に向けた技術基盤が確立された。USOTOPE による直感的学習と、装着型線量モニタによる即時フィードバックを組み合わせることで、知識獲得にとどまらない行動変容支援の可能性が示されたことは、本研究の大きな意義である。

A. 研究目的

本研究の目的は、X線透視下診療に従事する医療従事者の職業被ばくを低減するために、教育的手段と技術的手段を用いた線量可視化支援技術を構築し、行動修正を誘発可能な即時的情報提示環境を整備することである。

医療放射線業務従事者に対しては、労働安全衛生法および労働基準法に基づき、放射線健康診断の定期実施および個人線量の記録保存が義務付けられており、これに違反した場合は事業者責任として法的な制裁措置が発生する。また、職業被ばくに起因する疾患が労災として認定されるには、一定の積算線量の蓄積、診療実態の客観的証明、業務上相当因果関係の認定が求められる。現在、労災補償行政において、X線業務従事者の白内障、皮膚障害、悪性腫瘍等については、個人線量計の記録のみが実態評価の根拠とされるが、記録は後追いであり、業務中の線量上昇を術者本人がその場で認識する手段が存在しないため、曝露の回避行動を取ることが困難な構造にある。

本研究では、この課題に対し、教育段階では放射線被ばくの空間的分布と遮蔽・距離の関係を可視化して理解する訓練手段を提供し、臨床段階では装着型のリアルタイム線量モニタリング装置によって、照射中の被ばく線量を術者本人が即座に把握できるようにすることで、危険領域からの離脱や姿勢修正といった能動的な防護行動を誘発可能とする環境を整備する。これにより、被ばくを未然に制御する行動連鎖を導入し、労災補償対象となりうる慢性的かつ蓄積的な被ばくの総量を物理的に削減することを目指す。

さらに、即時的な線量認知と行動制御の記録が蓄積されることで、事後的な労災認定審査においても、個人線量計の記録に加えて「業務中にどのような被ばくが生じ、それに対し

てどのような対応が取られたか」を技術的に説明できる構造が形成される。この点において、本研究で開発する線量可視化支援システムは、医療従事者の被ばく抑制に資するだけでなく、労災補償制度における被災認定の明確化と、制度運用における証拠構造の拡張にも貢献する。

B. 研究方法

教育訓練段階では、スマートフォンの内蔵磁気センサ(例:AK09918)を使用して、磁石との距離に応じた磁束密度を測定し、それを $\mu\text{Sv/h}$ 単位の仮想線量率に変換して表示するアプリケーション「USOTOPE」を開発した。磁場分布の解析には有限要素法磁場シミュレータ(FEMM)を使用し、直径 30~40mm のヨーク付きフェライト磁石を対象に 2~10cm の距離範囲での磁束密度を計算し、逆 2 乗に近い減衰傾向($r^{-2.3}$)を確認した。表示値の算出には、磁束密度 B に対し B^2 に比例する仮想線量を定義し、変換係数をアプリ内で演算処理した。表示 UI は放射線測定の標準機器である日立アロカメディカル TCS シリーズ(TCS-172B 等)の仕様に準拠し、画面中央に $\mu\text{Sv/h}$ 単位で数値を大きく表示する設計とした。現在値、最大値、平均値の表示切替はアプリ内で演算モジュールとして保持されており、UI 実装の追加により表示形式を拡張可能である。アラーム機能として、しきい値(ユーザー設定可能)を超えた際に断続音を出力する処理も実装した。

臨床応用に向けた線量可視化装置の試作には、市販のポケットガイガーカウンタ(ポケガ)をベースとし、出力されるパルス信号を MCU によりカウント、1 秒周期で PC に送信する構成とした。信号変換、無線送信、表示処理はすべてローカルデバイスで完結し、スマートフォン側で $\mu\text{Sv/h}$ 単位の線量表示を行う。表示 UI は教育用アプリと同一仕様とした。アラーム機能に

についても、しきい値を超過した場合に音響通知を出力する処理を搭載した。

さらに、より光子エネルギー解像度の高い MIRION 社製 DMC3000 個人線量計について、BLE 通信モジュールとのインタフェース整合性を確認する目的で、出力仕様(パルス出力端子)および外部機器との接続可能性を評価した。信号取得は確認できたが、本研究期間中においては装置本体への改修や継続的運用には至らず、動作確認と物理的接続の検証までに限定された。

C. 研究結果

磁気センサを用いた仮想線量表示アプリ USOTOPE を開発した(図1)。本アプリを用いて距離2~10cmの範囲で取得された磁束密度は、シミュレーションによる予測(図2)と実測結果が $\pm 10\%$ 以内で一致し、仮想線量表示値は B^2 に比例する演算を通じて距離の減衰を再現する結果を得た。受講者による操作試験では、磁石とスマートフォンの距離を調整する動作に応じて線量値が即座に変動し、しきい値を超過した場合には断続音が鳴動するフィードバックが認知可能であった。これにより、距離と線量の定量的関係を視覚と音で即時に学習可能な訓練環境が提供された。



図1 USOTOPE アプリ

(左：アプリ画面、右：汚染スクリーニングを想定した使用例)

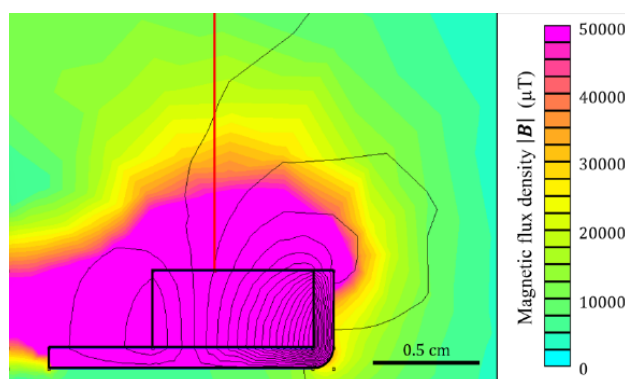


図2 磁束密度のシミュレーション結果

ポケガベースの線量可視化装置に関しては、5mSv/h 相当の照射環境下での応答試験(図3)において、パルスカウント、通信、表示の全処理が10秒程度連続動作し、データ欠損は確認されなかった。

さらに術者の胸部、腹部、膝部に装着したことを想定して照射方向を変更したところ、表示線量が明確に変動し、装置が空間線量の方角依存性を検出可能であることを示した。測定結果は LTE 回線を通じて Soracom Lagoon ダッシュボードに送出し、可視化やアラート等の処理に活用できる(図4)。仮にしきい値を設定した試験では、超過と同時にアラームが起動でき、使用者による動作の変化を検出できることが確認された。

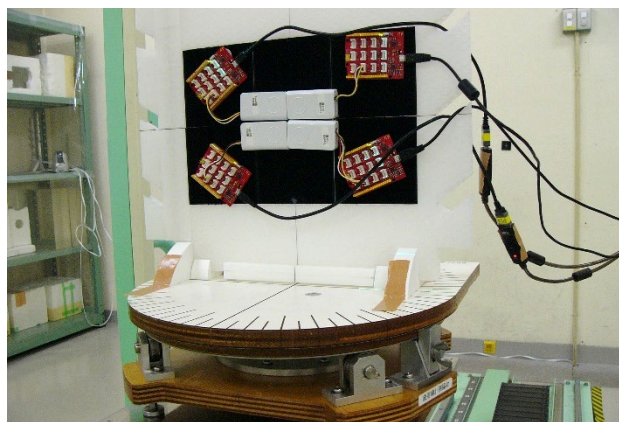


図3 ポケガの応答試験環境
(放射線計測協会にて)

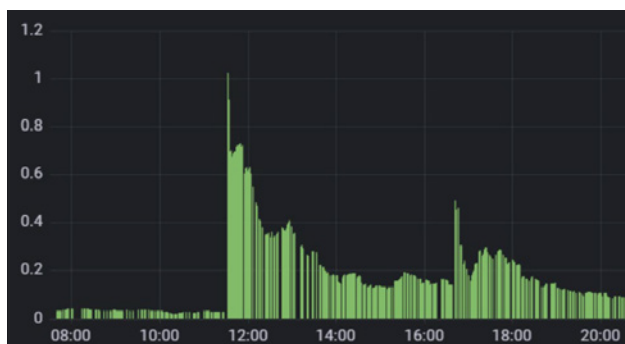


図4 SoracomLagoon ダッシュボード

DMC3000 については、パルス出力端子から BLE モジュールに入力し、信号レベルとインタフェースの物理的整合性を確認した。安定したパルス取得が可能であることは確認できたが、本体改造を伴う実装は未実施であり、リアルタイム通信を継続的に行う試験環境は構築されていない。

D. 考察

教育用アプリ「USOTOPE」は、測定値の信頼性、表示応答の速度、ユーザーの操作動線における挙動の再現性の観点から、距離による被ばく線量変化を定量的に提示できる訓練装置として成立できる。今後さらに、測定単位、数値の変化幅(レンジ)、しきい値警告といった設定項目を臨床現場のニーズに合致させつつ追加実装することで、教育訓練に適用することができる。

試作したポケガベースの計測装置は、照射環境における線量率の変動を 1 秒周期で反映し、術者の動線に応じて線量が上昇・下降する挙動をリアルタイムに表示できた。これは、視認可能な定量情報が術中に提供されることで、照射方向や立ち位置の調整という行動制御(行動変容)が、入力情報に基づいて発生し得ることを示している。

なお MIRION 社 DMC3000 のインタフェー

ス確認では、BLE 化に向けたハードウェア整合性は確認されたが、臨床用装置としての正式改修および BLE 通信機能の内蔵化は本研究年度では未実施であり、現時点での応用は限定的であり、次年度の課題である。

E. 結論

X 線透視下診療に従事する医療従事者の職業被ばくを低減する支援技術として、教育段階では磁気センサを用いた仮想線量表示アプリを開発し、距離に応じた線量変動の即時認知の仕組みを実証した。

臨床段階では、ポケガベースの計測・可視化システムを試作し、照射環境において装着位置と線量変動の対応関係を数値的に表示することに成功した。いずれも $\mu\text{Sv/h}$ 単位での表示、1 秒以下の応答遅延、しきい値超過時の警告出力を備えており、リアルタイムの行動修正支援に必要な基本要件を満たしている。さらに DMC3000 とのインタフェース整合性は確認済みであり、今後正式な BLE 統合により、医療被ばく管理のリアルタイム可視化技術としての展開が可能である。

F. 論文報告

- Katsumi Shozugawa, Mayumi Hori, Thomas E. Johnson, Yo Ishigaki, Yoshinori Matsumoto, Projections of future ambient dose rates in a mountainous area in the Fukushima evacuation zone, Japan (in press), Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2024 年 12 月

G. 研究発表

- Rakotovo Lovanantenaina Omega, Zulfahami, Imam Ghazali Yasmin, Sidik Permana, Yo Ishigaki, Geospatial Assessment of Occupational and Public Exposure in Indonesian Tin Mineral Processing, IYNC 2024. The International Youth

Nuclear Congress (IYNC), Abu Dhabi 2024 年 9
月 30 日

- 共創進化スマート社会の概要 石垣陽
IPEG 推進コンソーシアム第五回総会(講
演会) 2025 年 1 月 20 日

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

令和 6 年度(2024 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

Mixed Reality 技術を活用した放射線防護教育ツールの開発

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

本研究では、複合現実(=Mixed Reality:MR)技術を活用して、医療現場における放射線防護教育の推進をはかることを目的に、血管撮影室での放射線被ばく低減に向けた学習ツールとその有効性の評価方法の開発を目指す。令和 6 年度(2024 年度)は、MR ゴーグルで散乱線の空間線量分布の実測値を可視化するコンテンツを作成し、医師・看護師・診療放射線技師・臨床工学技士を対象に、学習効果を従来の紙資料と比較した。結果、看護師や若手医師において散乱線の分布に対する理解が向上したことが示された。MR ゴーグル使用による放射線防護に関する知識の向上が医療従事者の安全意識を高め、患者や医療スタッフの安全性向上につながることを期待される。

主な研究協力者：

石田 浩之 (国際医療福祉大学成田病院放射線技術部)

吉岡 直紀 (国際医療福祉大学成田病院放射線科・教授)

倫理上の配慮について

本研究は国際医療福祉大学倫理審査委員会の承認(承認番号:24-TA-023)と国際医療福祉大学成田病院の承諾を得て実施している。

A. 研究目的

2011 年 4 月に国際放射線防護委員会 (ICRP) が発表したソウル声明では、水晶体のしきい線量が従来考えられていたよりも低いこと、職業被ばくについて水晶体の等価線量限度を 5 年間の平均で 20mSv/年かつ年間最大 50mSv まで引き下げること、が述べられている。これを受けて、2012 年には ICRP Publication 118 が発行され、国際原子力機関や欧州連合の新しい安全基準にも、新たな水晶体等価線量限度が盛り込まれる流れとなっている。我が国においても新たな水晶体等価線量限度が法令へ取り入れられ、令和 3 年 4 月より施行されており、特に水晶体等価線量の高さが懸念される X 線透視を用いた治療手技の術者について、最適化の推進が期待されている。

しかし、放射線は視覚や聴覚では感じられず、被ばくしても痛みを感じないため、医療現場では危険認識が、他の医療安全に比べて不足している。また、教材や防護具も多く提供されているが、前者は法令や理論に関するものが中心で理解するのが難しく、それに伴い防護具も正しく活用できていないことがしばしば見受けられるのが現状である。

近年、複合現実 (Mixed Reality : MR) に関する技術の発展が目覚ましく、教育の効果を高める手段として注目されている。この技術を応用した学習は仮想空間と現実空間を融合し、ユーザーがインタラクティブに体験できるため、体験者は理解度が深まり、長期記憶に定着しやすくなるなど、学習効果の向上が見込まれている。

本研究では、MR 技術を活用して、医療現場における放射線防護教育の推進をはかることを目的に、血管撮影室での放射線被曝低減に向けた学習ツールの開発を目指した。

B. 研究方法

1. 血管造影室における散乱線空間占領分布の測定

1.1. 使用機器及び透視条件

血管撮影装置 Azurion C20 (Philips、Amsterdam) にて、全身用ファントム PBU-50 (京都技研、京都) を設置し、当院における腹部撮影用プロトコルである Abdomen を選択、撮影条件は焦点受像器間距離 120 cm、透視条件は 3p/s、付加フィルタは 0.4mmCu+1.0mmAl、散乱線除去用グリッドは格子比 12 : 1 で密度は 44 本/cm、照射野サイズは 14.4inch、寝台の高さは 92 cm とした。管電圧と管電流はいずれも Auto であるが、C アーム角度を変更した際の測定時における、装置表示値を表に示す。散乱線計測には ICS-1323 (アロカ、東京) を用いた。

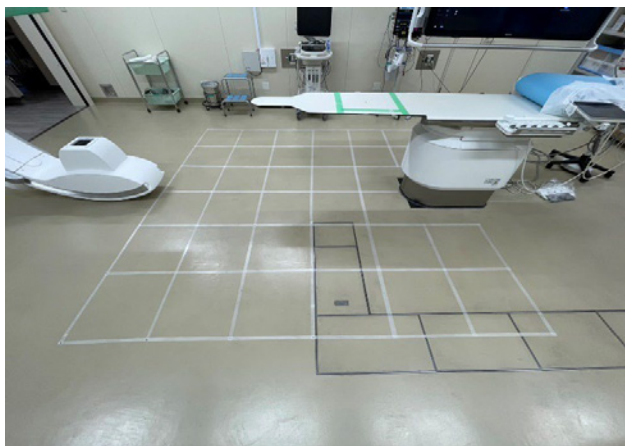


角度	電圧(kV)	電流(mA)
LAO 90°	93	4.0
LAO 60°	96	3.8
LAO 30°	84	4.5
Straight	76	3.8
RAO 30°	83	4.5
RAO 60°	96	3.9
RAO 90°	89	4.2
CRA 30°	78	4.1
CAU 30°	79	4.4

表：空間線量率作成した際の実際の管電圧と管電流の装置表示値

1.2. 測定方法

血管撮影装置のアイソセンタを中心に水平面において 50 cm 間隔で 7×7、鉛直方向は床上 50 cm から 200 cm まで、50 cm 間隔にて 4 点の計 196 点を計測した。



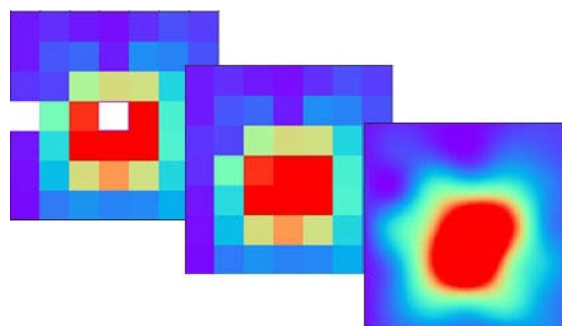
2. 空間線量分布表示ツールの作成

2.1. 空間線量分布の作成

空間的にまばらな点での測定値データからボリュームデータを作成するために、フリーソフト g++ ver8.1 (GNU project、<https://www.gnu.org>)にて、3次元補間プログラムを作成し、以下のような補間を行った。

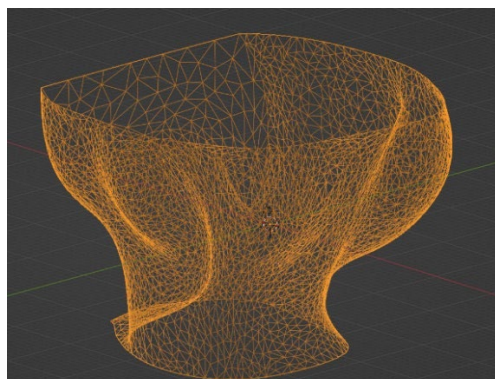
Cアーム等が物理的障害となって測定ができなかった欠損値を含む、 $7 \times 7 \times 4 = 196$ 個のデータ行列に対して、検査台の左右方向においてキュービックスプライン（3次スプライン）補間を行い、欠損部を補間したデータ行列を作成した。

この $7 \times 7 \times 4$ のデータ行列から、水平方向でのバイキュービックスプライン補間を行って $128 \times 128 \times 4$ のデータ行列を作成し、その後、垂直方向にキュービックスプライン補間を行い、 $128 \times 128 \times 64$ のデータ行列を得た。



2.2. MR コンテンツへの変換

上記 $128 \times 128 \times 64$ のデータ行列をボリュームデータとみなし、ボリュームデータから等値面 (iso-surface) を抽出するための代表的な手法であるマーチングキューブアルゴリズムを用いて、400、800、1200、1600、2400 $\mu\text{Sv/h}$ の各閾値線量での境界面での STL 形式のポリゴンメッシュを作成した。



同ポリゴンを、ゲームエンジン Unity 2021.3.1f1 (Unity Technologies、San

Francisco, CA)にて、CアームX線透視装置の模型や人体の模型を配した仮想空間内に展開し、MRが可能なMRゴーグルMeta Quest3 (Meta、Menlo Park、CA)に転送した。



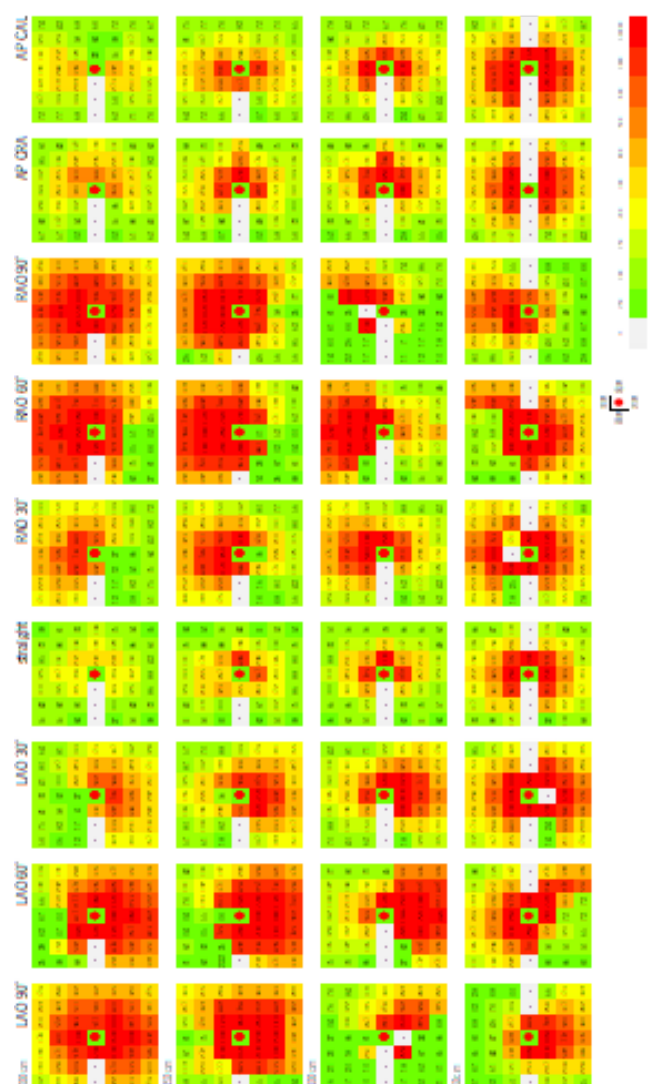
3. アンケート調査

国際医療福祉大学成田病院に所属するInterventional Radiology (IVR) に携わる医療従事者、医師22名、看護師23名、診療放射線技師33名、臨床工学技士5名の計82名を対象とした。研究参加者は、まず参加者情報として職種とその経験年数、IVRの経験年数、経験したIVRの部位を記載後、MRツールと紙資料にて学習しながら散乱線の空間線量分布に回答する設問も設けた。

『未学習→MR学習→紙学習』と『未学習→紙学習→MR学習』の順に3回設問に回答する2群に分け、設問は4問ずつ用意し、いずれも同じ問題を繰り返し回答することとし、参加者には3回終了後に解答を伝えた。2群の振り分け方法は回答数に偏りが出ないように連続的に振り分けた。

C. 研究結果

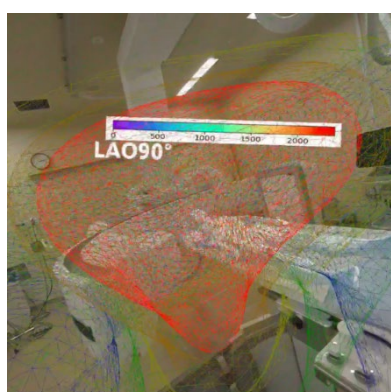
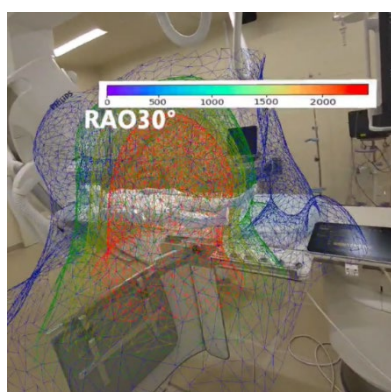
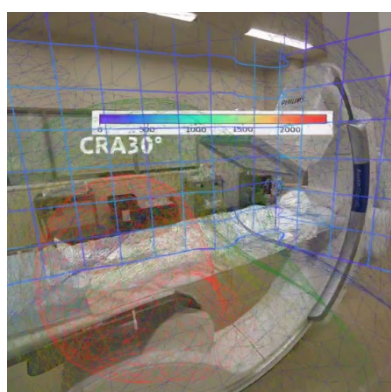
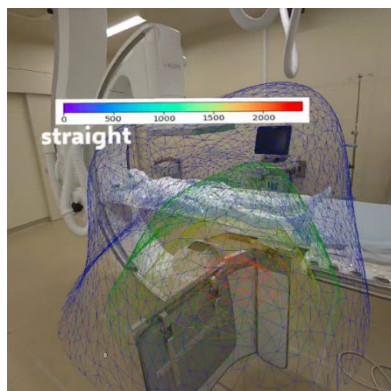
1. 血管造影室における散乱線空間占有分布の測定



Cアーム角度の異なる9パターンでの空間線量分布の実測値。Cアームや寝台など、幾何学的配置が重なってしまう測定点と、アイソセンタは計測していない。

2. 線量分布表示ツールの作成

MRゴーグルのレンズを通して、実際の血管造影室の映像に重ね合わせて、散乱線の空間リボン量の等値面をメッシュで表示することができた。



MR ゴーグルを装着し、レンズを通して見える映像を示す。Cアームの角度は、上段から straight 、CRA30°、RAO30°、LAO90°。

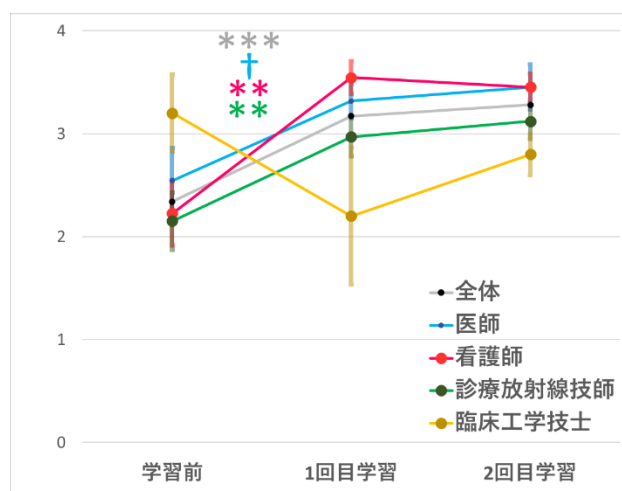
3. アンケート調査

散乱線の空間線量分布に対する設問に MR ツールと紙資料にて学習しながら設問を回答してもらった。学習順序は『学習前→MR 学習→紙学習』と『学習前→紙学習→MR 学習』の2通りで、ランダムに振り分けた。前者は医師 12 人、看護師 10 人、診療放射線技師 17 人、臨床工学技士 2 人が担当し、後者は医師 10 人、看護師 12 人、診療放射線技師 16 人、臨床工学技士 3 人が担当した。

はじめに、MR 学習・紙学習に関わらず職種ごとの正答数を表と図にまとめた。臨床工学技士を除くすべての職種において、1 回目の学習が正答数を有意に向上させた。特に看護師の学習効果が高かった。

全体 82 名における学習前・1 回目学習後・2 回目学習の正答率

	人 数 (人)	学習前(点)		1回目学習後		2回目学習後		
		正答数	標準 誤差 (SE)	正答数	標準 誤差 (SE)	正答数	標準 誤差 (SE)	
全体	82	2.3	0.2	3.2	0.1	***	3.3	0.1
医師	22	2.5	0.3	3.3	0.2	†	3.5	0.2
看護師	22	2.2	0.3	3.5	0.2	**	3.5	0.1
診療放射線技師に	33	2.2	0.3	3.0	0.2	*	3.1	0.2
臨床工学技士	5	3.2	0.4	2.2	0.7		2.8	0.2

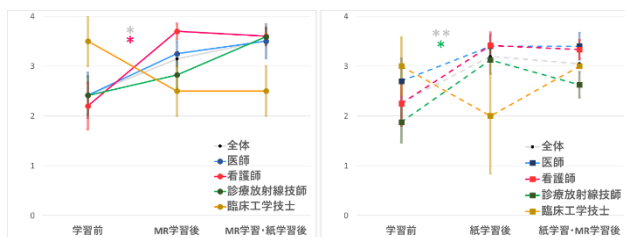


† $p < 0.1$
 * $p < 0.05$
 ** $p < 0.01$
 *** $p < 0.001$

次に 2 通りの学習順序別に表と図にまとめた。臨床工学技士を除くすべての職種において、1 回目の学習（MR 学習または紙学習）が正答数の向上に寄与した。特に、看護師の 1 回目の MR 学習と診療放射線技師の紙学習においては、有意な正答数の増加が認められた。しかし、2 回目の学習後の結果に関しては、『学習前→紙学習→MR 学習』で学習を重ねているにも関わらず、グラフ上にて全体の 2 回目 MR 学習後の正答数が低下傾向を示した。

全体 82 名における『学習前→MR 学習→紙学習』と『学習前→紙学習→MR 学習』に振り分けられた学習前・1 回目学習後・2 回目学習の正答率

		人 数 (人)	学習前(点)		1回目学習後		2回目学習後		
			正答数	標準 誤差 (SE)	正答数	標準 誤差 (SE)	正答数	標準 誤差 (SE)	
学習前 ↓ MR学習 ↓ 紙学習	全体	41	2.4	0.2	3.1	0.2	*	3.5	0.1
	医師	12	2.4	0.5	3.3	0.3		3.5	0.3
	看護師	10	2.2	0.5	3.7	0.2	*	3.6	0.2
	診療放射線技師	17	2.4	0.4	2.8	0.3		3.6	0.2
	臨床工学技士	2	3.5	0.5	2.5	0.5		2.5	0.5
学習前 ↓ 紙学習 ↓ MR学習	全体	41	2.3	0.2	3.2	0.2	**	3.0	0.1
	医師	10	2.7	0.4	3.4	0.2		3.4	0.3
	看護師	12	2.3	0.4	3.4	0.3		3.3	0.2
	診療放射線技師	16	1.9	0.4	3.1	0.3	*	2.6	0.3
	臨床工学技士	3	3.0	0.6	2.0	1.2		3.0	0.0

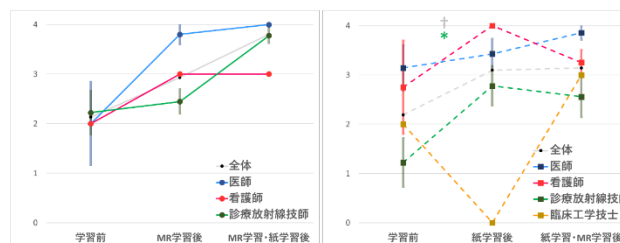


次は実務歴 4 年未満の研究参加者を対象に解析を施行した。『学習前→MR 学習→紙学習』の順序で学習を行ったグループは、医師 5 人、看護師 1 人、診療放射線技師 9 人で、臨床工学技士は 0 人だった。一方、『学習前→紙学習→MR 学習』の順序では医師 7 人、看護師 4 人、診療放射線技師 9 人、臨床工学技士 1 人となった。このグループにお

ける解析結果は、全体の解析結果と類似した傾向を示した。ここでも、放射線技師においては、紙学習による有意な学習効果が認められた。また、医師の MR による学習の向上効果も見られるが、看護師においては、紙学習後の MR 学習で正答率が低下した。

職務経験年数 4 年未満 36 名における『学習前→MR 学習→紙学習』と『学習前→紙学習→MR 学習』に振り分けられた学習前・1 回目学習後・2 回目学習の正答率

		人 数 (人)	学習前(点)		1回目学習後		2回目学習後		
			正答数	標準 誤差 (SE)	正答数	標準 誤差 (SE)	正答数	標準 誤差 (SE)	
学習前 ↓ MR学習 ↓ 紙学習	全体	15	2.1	0.4	2.9	0.2		3.8	0.1
	医師	5	2.0	0.8	3.8	0.2		4.0	0.0
	看護師	1	2.0	0.0	3.0	0.0		3.0	0.0
	診療放射線技師	9	2.2	0.4	2.4	0.2		3.8	0.1
	臨床工学技士	0	-	-	-	-		-	-
学習前 ↓ 紙学習 ↓ MR学習	全体	21	2.2	0.4	3.1	0.3	†	3.1	0.2
	医師	7	3.1	0.5	3.4	0.3		3.9	0.1
	看護師	4	2.8	0.9	4.0	0.0		3.3	0.3
	診療放射線技師	9	1.2	0.5	2.8	0.4	*	2.6	0.4
	臨床工学技士	1	2.0	0.0	0.0	0.0		3.0	0.0

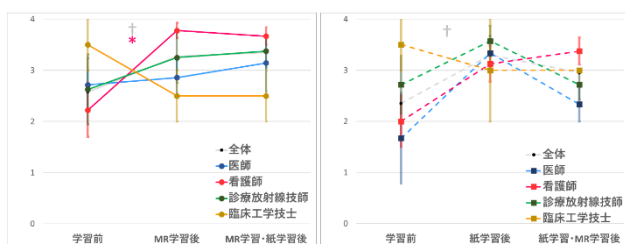


実務歴 4 年目以上の研究参加者を対象についても解析を施行した。『学習前→MR 学習→紙学習』の順序で学習を行ったグループは、医師 7 人、看護師 9 人、診療放射線技師 8 人、臨床工学技士は 2 人だった。『学習前→紙学習→MR 学習』の順序では医師 3 人、看護師 8 人、診療放射線技師 7 人、臨床工学技士 2 人となった。このグループにおける解析結果も、全体の解析結果と類似した傾向を示したが、4 年未満のグループと比べ

ると、2 回目の学習効果は低下する傾向がみられた。放射線技師は、紙学習前の正答数が 4 年未満と比較して、もともと高い水準にあったためか、学習効果は得られたが有意差は認められなかった。むしろ、2 回目の MR 学習においては正答率が低下した。また、看護師は 1 回目の学習により正答数が向上したが、特に 1 回目 MR 学習後は有意差が認められた。

職務経験年数 4 年以上 46 名における『学習前→MR 学習→紙学習』と『学習前→紙学習→MR 学習』に振り分けられた学習前・1 回目学習後・2 回目学習の正答率

		人数 (人)	学習前(点)		1回目学習後		2回目学習後	
			正答数	標準 誤差 (SE)	正答数	標準 誤差 (SE)	正答数	標準 誤差 (SE)
学習前 ↓ MR学習 ↓ 紙学習	全体	26	2.6	0.3	3.3	0.2	† 3.3	0.2
	医師	7	2.7	0.5	2.9	0.3	3.1	0.6
	看護師	9	2.2	0.5	3.8	0.1	* 3.7	0.2
	診療放射線技師	8	2.6	0.7	3.3	0.5	3.4	0.3
	臨床工学技士	2	3.5	0.5	2.5	0.5	2.5	0.5
学習前 ↓ 紙学習 ↓ MR学習	全体	20	2.4	0.3	3.3	0.2	† 3.0	0.2
	医師	3	1.7	0.9	3.3	0.3	2.3	0.3
	看護師	8	2.0	0.5	3.1	0.4	3.4	0.3
	診療放射線技師	7	2.7	0.6	3.6	0.3	2.7	0.3
	臨床工学技士	2	3.5	0.5	3.0	1.0	3.0	0.0



D. 考察

「学習前→MR 学習→紙学習」と「学習前→紙学習→MR 学習」の 1 回目の学習は、いずれの群も有意に正答数の上昇が認められた。特に経験年数 4 年未満の医師においては、MR による学習効果が高かったことから、若い世代ほど、テクノロジーを利用した MR 学習への適応に寄与した

と考えられる。しかし、経験年数 4 年以上の医師の MR 学習は、ほとんど効果が得られず紙学習後の 2 回目 MR 学習後で正答数が低下傾向を示したのは、これまでの臨床経験で得た知識に基づいて固定概念を形成し、MR 学習による新しい技術を受け入れにくい可能性がある。

看護師においては、MR 体験による学習効果の上昇が有意差をもって認められた。MR は 3D 空間で視覚的に体験できるため、実際の状況に近い感覚で学習が進みやすいと考えられる。看護師は臨床現場で施術者の次に血管撮影装置付近で作業をする機会が多いため、その動線上の空間線量分布を可視化する MR による学習が受け入れやすかった可能性がある。また、4 年以上の看護師においても紙資料による学習効果の上昇も有意傾向があり、いずれにしても看護師は、散乱線の線量分布の学習自体が有効である。これは、医師や診療放射線技師と比較して、放射線に関する教育を受ける機会が少なかったことが影響していると推測される。そのため、放射線に関する教材に対して順応性が高いと考えられる。

診療放射線技師においては、経験年数に関わらず紙学習が正答数を有意に増加させた。一方で、紙学習後の MR による 2 回目学習は、かえって正答数を低下させた。これは、診療放射線技師が日常的に散乱線に関する理解のために 2D 図を使用することに慣れているためと考えられる。このような複雑なインタラクションがかえって混乱を招く可能性がある。

臨床工学技士については、サンプル数が少なかったため評価が難しかったが、経験年数の豊富な臨床工学技士においては、臨床経験などで得た知識によって、もともと

正答率が高かった。しかし、普段目にする
ことの少ない紙資料や MR ツールに触れ
ることで、逆に正答率が不安定になったと
考えられる。

E. 結論

本研究では、血管撮影室における散乱線
の空間線量分布について、MR ゴーグルで可
視化するツールを作成した。この MR ツー
ルを用いた学習の効果を、医師、看護師、診
療放射線技師、臨床工学技士といった血管
撮影に関わる医療従事者間で比較した。MR
学習は特に看護師、若手医師において有効
であることが示された。MR ゴーグル使用に
よる放射線防護に関する知識の向上が医療
従事者の安全意識を高め、患者や医療スタ
ッフの安全性向上につながることを期待さ
れる。

F. 論文報告

該当なし

G. 研究発表

石田浩之ほか：放射線防護教育のための
血管撮影室内散乱線実測とアイソサーフ
ェスメッシュ法を用いた 3 次元的空间線量
可視化. 第 71 回日本放射線技術学会総
会. 横浜. 2025.4.10.

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

付録:本調査で使用した、実際の調査票と紙資料を掲載する。

■体験学習前アンケート

(5) 散乱線の分布について考えに近いものを
図2をみて選択してください

☐ A ☐ B

(6) 図3～5において、被ばく線量が最も高い部位はどこですか。
自身の考えに近いものを各ポイントでお答えください。

図3 ☐ A ☐ B ☐ C ☐ D

図4 ☐ A ☐ B ☐ C ☐ D

図5 ☐ A ☐ B

■(VR・紙資料)体験学習後アンケート

(7) 散乱線の分布について考えに近いものを
図2をみて選択してください

☐ A ☐ B

(8) 図3～5において、被ばく線量が最も高い部位はどこですか。
自身の考えに近いものを各ポイントでお答えください。

図3 ☐ A ☐ B ☐ C ☐ D

図4 ☐ A ☐ B ☐ C ☐ D

図5 ☐ A ☐ B

■(VR・紙資料)体験学習後アンケート

(9) 散乱線の分布について考えに近いものを
図2をみて選択してください

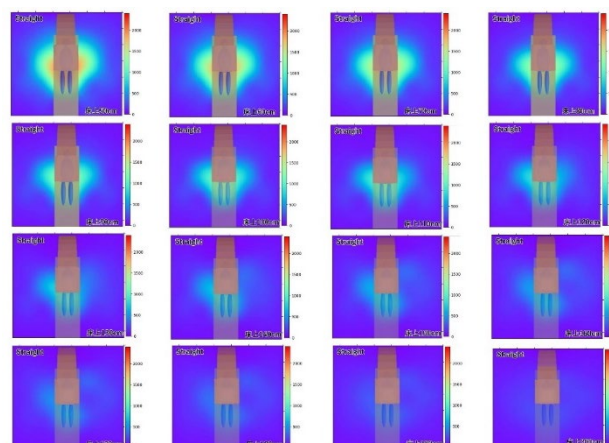
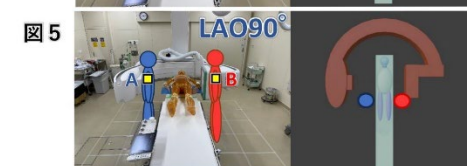
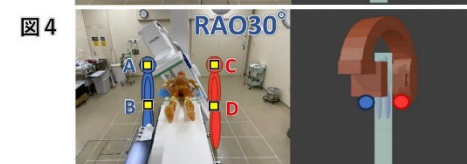
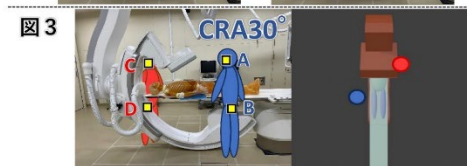
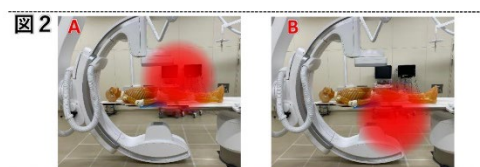
☐ A ☐ B

(10) 図3～5において、被ばく線量が最も高い部位はどこですか。
自身の考えに近いものを各ポイントでお答えください。

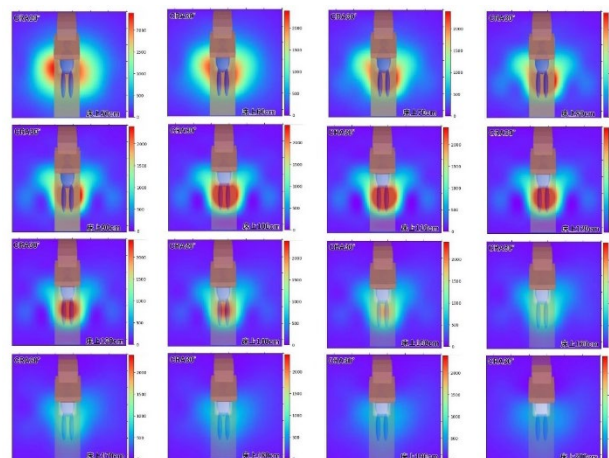
図3 ☐ A ☐ B ☐ C ☐ D

図4 ☐ A ☐ B ☐ C ☐ D

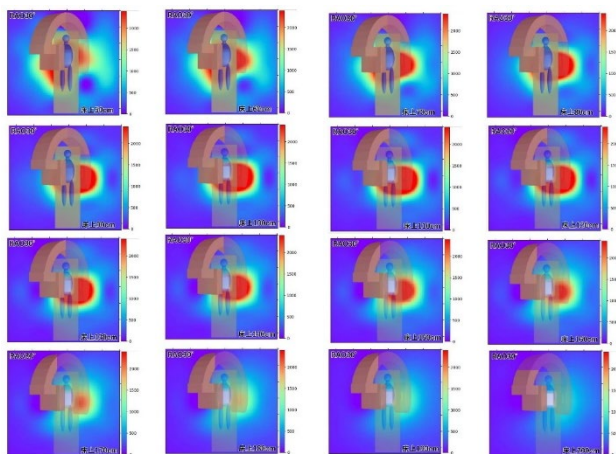
図5 ☐ A ☐ B



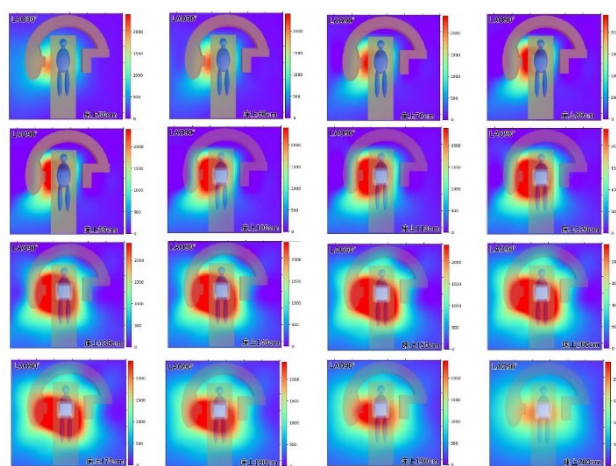
紙資料:straight



紙資料:CRA30°



紙資料:RAO30°



紙資料:LAO90°

令和 6 年度(2024 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

末梢血管治療(EVT)を行う医師のリアルタイム線量測定

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

近年、X 線透視下で行われる低侵襲治療が広く普及し、医療技術の進歩とともに手技の複雑化および長時間化が進んでいる。その結果、術者や助手といった医療従事者の職業被ばくが大きな課題となっており、特にインターベンショナルラジオロジー(Interventional Radiology: IVR)においては年間線量限度に迫る、あるいはそれを超える被ばく例も報告されている。このような状況を受け、各施設では鉛プロテクターや天吊り防護板などの防護具を導入しているが、防護具の配置困難や業務の多忙さ、視野の制限などを理由に、十分な被ばく対策が講じられていない症例も少なくない。また、術者自身が自身の被ばく線量や防護策の効果を正確に把握していないことが、放射線防護の実効性を低下させる一因となっている。

本研究では、末梢血管治療(Endovascular Therapy: EVT)に従事する術者の被ばく状況を詳細に評価するため、リアルタイム線量測定システム RaySafe i3 を用いて術中の線量率を経時的に記録し、被ばく要因の分析を行った。対象症例では、天吊り防護板が術者の背後に位置していた場面や、DSA 実施時に処置室内で撮影を行っていた場面で線量率が顕著に上昇し、最大で約 7 mSv/h に達した。手技全体の総線量は 97 μ Sv であり、術者の行動様式や装置との相対位置が被ばくに大きく影響することが示された。

また、対側アプローチによる骨盤部通過や手技時間の長さも被ばく線量の増加に寄与する可能性が示唆された。これらの結果から、術中の防護具配置に加え、術者の行動や認識の改善が放射線防護上きわめて重要であることが明らかとなった。今後は複数症例の蓄積を通じて、EVT 特有の被ばくリスクに対応した包括的な防護戦略を確立し、教育的介入による行動変容を促す必要がある。

*主な研究協力者:芳賀 喜裕(仙台厚生病院 副技師長)

A. 研究目的

近年、X線透視下で行われる低侵襲治療の進展に伴い、手技の複雑化および長時間化が進んでいる。その結果、医療従事者が受ける放射線被ばくのリスクが高まっており、特にインターベンショナルラジオロジー（Interventional Radiology: IVR）に従事する術者や助手にとって、職業被ばくは深刻な課題となっている。過去の報告では、IVRに関連する職種において年間線量限度に迫る、あるいはそれを超える被ばく事例も散見されており、被ばく管理の徹底が求められている。

こうした背景のもと、各施設においては鉛プロテクターや天吊防護板などの防護具を適切に使用し、放射線防護対策を講じることが推奨されている。しかしながら、現実の臨床現場では、業務の多忙さや防護具の重量、視野の制限、配置の難しさなどから、防護対策が十分に実施されていないケースも少なくない。さらに、医療従事者自身が自身の被ばく線量や防護策の効果を正確に把握していないことも、放射線防護の実効性を低下させる一因となっている。

特に IVR では、術中の立ち位置や装置との相対位置、Cアームの回転方向など、術者の行動様式が被ばく線量に大きな影響を及ぼすため、防護環境だけでなく術者の動きや意識といった要素を含めた包括的な被ばく管理が必要とされる。にもかかわらず、これらの実態を詳細に把握した研究は限られており、放射線防護教育や施設内対策に十分に活かされているとは言い難い。

そこで本研究では、IVRに従事する医療従事者を対象に、X線透視下手技における職業被ばくの実態を把握し、被ばく量と防護環境、術者の行動様式との関連性を評価することを目的とした。そのために、リアルタイム

線量測定システムを用いて術中の放射線被ばくを経時的にモニタリングすることで、被ばく要因の分析および有効な防護対策の考察を行った。本稿は、そのうち末梢血管治療（Endovascular Therapy: EVT）に焦点を当てたリアルタイム線量測定の初期報告である。

B. 研究方法

本研究では、EVTにおける術者の被ばく線量をリアルタイムで測定した。リアルタイム線量計として RaySafe i3 (Unfors RaySafe) を使用し、医師の左頸部に装着した。血管撮影装置には Infinix Celeve-I INFX-8000 (東芝メディカルシステムズ) を用いた。

RaySafe i3 は、線量率をリアルタイムでモニターに表示でき、線量データは自動的に保存される。本研究では、手技開始から終了までの線量率を記録し、その増減を手技の内容や状況と照らし合わせることで、被ばく要因の分析を行った。

対象症例は、治療部位が左浅大腿動脈であり、右総大腿動脈からの穿刺アプローチが行われた。透視および撮影条件は、透視パルスレートが 7.5 p/s、撮影フレームレートが 7.5 f/s、DSA (Digital Subtraction Angiography) レートが 5 f/s であった。

C. 研究結果

Fig. 1 に、手技開始から終了までの術者左頸部における線量率の変化を示す。放射線防護具として天吊り防護板が設置されていたものの、その配置状況によって線量率には大きな変動が見られた。特に、天吊り防護板が術者の背後に位置する時間帯では、線量率が顕著に増加した。

また、DSA 実施時には線量率が他の手技と比較して大幅に上昇した（約 7 μ Sv/h）。DSA

は高出力の X 線を用いるため、術者が装置の正面付近に位置していると多量の散乱線に曝される可能性がある。実際、本症例では術者が操作室ではなく処置室内で DSA を実施しており、その影響と考えられる。

手技全体を通じた総線量は 97 μ Sv であった。

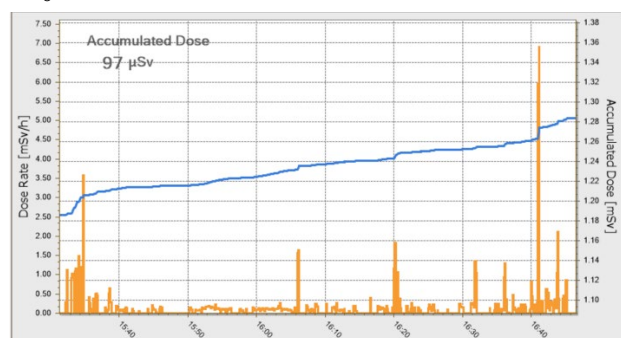


Fig.1 EVT 手技中の頸部位置の線量(率)の一例(横軸は時間経過、縦軸は線量または線量率) 青線は積算線量、橙線は瞬時瞬時の線量率を示す。

D. 考察

本研究の結果から、EVT においては天吊り防護板の設置が必ずしも適切でなく、防護の効果が十分に発揮されていない場面が多く存在することが明らかとなった。特に、治療部位が股関節に近い場合には術者が装置前方に位置せざるを得ず、前面への防護具の設置が困難である。わずかな立ち位置の違いや防護具の位置ずれが大きな線量差を生むことは臨床的に極めて重要な知見である。

また、術者が処置室内で DSA を行った点も注目される。本来、DSAはX線出力が高く、術者が操作室に退避して撮影することが原則であるが、本症例ではその対策が実施されていなかった。これは、術者が撮影時の被ばくの大きさを正確に理解していなかった、あるいは被ばくリスクよりも処置のスムーズさを優先した結果であると考えられる。

教育的な観点からも、このような被ばく行動に対する意識改革が求められる。

さらに、EVT では PCI と比較して手技時間が長くなる傾向があり、X 線照射時間の増加に伴い、被ばく線量も累積的に上昇する。また、穿刺アプローチも被ばくに影響を及ぼす可能性がある。

本症例では治療側と対側からのアプローチであったため、骨盤部を経由する必要があり、装置の出力増加および散乱線の増加に寄与したと考えられる。これらの要因を総合的に検討し、よりリスクの低いアプローチや手技設計が必要である。

E. 結論

本研究では、リアルタイム線量測定システムを活用して EVT における術者の放射線被ばく状況を明らかにした。その結果、術中の立ち位置や天吊り防護板の配置状況、DSA 時の術者の行動などが被ばく線量に大きく影響することが確認された。特に、DSA の際に術者が処置室内で操作を行うことで被ばく線量が著しく上昇することが判明し、撮影時の立ち位置に関する教育と意識改革の必要性が示唆された。

また、EVT 特有の治療部位の近接性やアプローチの複雑さが、防護具の配置困難や散乱線の増加につながり、被ばくリスクを高める要因となっていた。これらを踏まえ、今後は単に防護具の設置にとどまらず、手技全体の構成や被ばく線量の可視化を通じた行動改善、術者教育の充実が不可欠である。

さらに、複数症例の比較検討や、他の IVR 手技との横断的な解析を通じて、より包括的な被ばく管理戦略を確立していく必要がある。本研究の知見は、放射線防護に関する現場の改善活動や教育プログラムの根拠となり得るものであり、今後の臨床現場への

実装が期待される。さらにリアルタイム線量測定システムを活用して、EVT 特有の被ばくリスクに対応した包括的な防護戦略を確立し、教育的介入による行動変容を促す必要がある。

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

令和 6 年度(2024 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

放射線 MS による被ばく管理と教育

研究分担者 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)

研究分担者 森晃爾(産業医科大学産業生態科学研究所産業保健経営学 教授)

研究協力者 中上晃一(産業医科大学病院放射線部)

研究要旨

【目的】放射線医療従事者では皮膚がんや白内障の労災認定事例が見られる一方、医療機関において電離放射線障害防止規則の遵守が不十分である背景には、教育不足や防護体制の未整備がある。この課題に対し、厚生労働省は労働安全衛生マネジメントシステム(OHSMS)の導入を支援している。我々は以前の研究で、医療機関向けの放射線防護マネジメントシステム(放射線 MS)の開発及び導入支援ツールの提供を行った。放射線 MS の導入には役割ごとに必要な知識を補う教育が有効で、令和 6 年度は導入支援教育の研修プログラムをデザインすることを目標とした。

【方法】放射線 MS のシステムマニュアルに含まれる職種を、放射線 MS において必要な知識でグループ化し、教育グループを1)組織トップ等(G1)、2)放射線業務従事者である現場の管理者・管理の実務者(G2-1)、3)放射線業務従事者ではない現場の管理者・管理の実務者(G2-2)、4)放射線業務従事者(G3)、5)産業保健スタッフ(G4)とした。教育グループごとに、放射線 MS を運用するために必要な知識・技術、学生時代に学習・習得する知識・技術、職場の教育で学習・習得する知識・技術を整理し、教育すべき事項を抽出し、研修プログラムをデザインした。

【結果】G1 研修は、放射線 MS においてリーダーシップを発揮するために必要な事項に絞り、30 分を想定した。G2-1 研修は、放射線 MS 運用の要となる者が対象の研修で、概念編 30 分、実践編 30 分の構成とした。G2-2 は G2-1 の補助的な役割を果たすため、G2-2 研修は G2-1 研修を 30 分に凝縮した構成とした。G3 研修は、システムマニュアルで示される手順を理解し現場の管理者・管理の実務者の指示に従い行動することに必要な事項とし、20～30 分を想定した。G4 研修は、独立した助言者としての役割を果たすために放射線 MS の理解を深める事項を中心に 30 分を想定した。

【考察・結論】適切な放射線被ばく管理を行う上で放射線 MS の導入は有効な手段である。今回は、導入のハードルを低くし、比較的短期間にシステム構築と導入を行うことができる研修プログラムをデザインした。今後は今回デザインした研修プログラムをもとに研修を開発、試行し、効果の検証を通して必要な改訂を行い、多様な医療機関に適応可能な教育体系として

確立させることを目指す。

A. 研究目的

放射線医療従事者において、皮膚がんや白内障などの労災認定事例が散見されているものの、医療機関では電離放射線障害防止規則に定める線量測定や放射線業務従事者の被ばく限度等の遵守が不十分であることが認められている。この背景として、医療従事者の教育不足に加え、放射線被ばく防護の仕組みが十分に根付いていないことが挙げられる。

この課題に対応するため、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（Occupational Health and Safety Management System: OHSMS）の導入が有効であると考えられており、厚生労働省はその導入を支援するため、研究事業や支援事業を展開してきた。その中で、我々はOHSMSの導入を前提とした医療機関における放射線安全管理体制の構築として、放射線防護マネジメントシステム（Radiation Protection Management System: 放射線MS）の開発を行うとともに、導入支援を行うための各種ツールを提供してきた。

医療機関における放射線MSの導入にあたっては、システムマニュアル等の文書体系の構築や計画・目標の設定を行った上で、関係者に対する導入教育が必要となる。その際、多忙な医療機関においては、限られた時間内で有効な内容にする必要がある。そこで、システム内での役割ごとに教育内容を設定し、既存の教育体系の中で習得している知識を前提として、MS上の各役割に必要な知識を追加的に提供する教育が有効であると考えられた。

本研究では、導入支援事業で用いている

モデルシステムマニュアル文書で規定されている役割ごとに、最低限必要な導入支援教育を開発することを目指し、本年度は研修プログラムをデザインすることを目標とした。

B. 研究方法

モデルシステムマニュアルには、以下の14の職種の役割が記載されている。(1) 病院長、(2) 放射線部部長、(3) システム実施管理者（放射線部技師長）、(4) 病院放射線主任者、放射線科教授、(5) 放射線部安全衛生推進者、(6) 看護師長、(7) 産業医、(8) 放射線防護に関する専門家、マネジメントシステムの専門家、(9) 病院管理課課長、病院管理課職員、(10) システム運用担当者、(11) 主任診療放射線技師、(12) 診療放射線技師、(13) 関連診療科長、(14) 放射線診療に関わる職員が記載されている。そこで、放射線MSにおける必要な知識が類似している役割をグループ化し、教育グループを1) 組織トップ等（G1）、2) 放射線業務従事者である現場の管理者・管理の実務者（G2-1）、3) 放射線業務従事者ではない現場の管理者・管理の実務者（G2-2）、4) 放射線業務従事者（G3）、5) 産業保健スタッフ（G4）とした。

研究班の検討によって、放射線MSを運用するために必要な知識・技術【A】、学生時代に学習・習得する知識・技術【B】、職場の教育で学習・習得する知識・技術【C】を明確にした。次に、教育グループごとに、現実的に確保可能な研修時間を設定して、研修時間の中で教育すべき事項、すなわち【A-B-C】を検討した。教育すべき事項が定まった後、効果的に伝わる教育概要について明確

にした。そのうえで、Microsoft PowerPoint を用いて、研修プログラムをデザインした。

C. 研究結果

1. 放射線 MS 上の役割ごとの教育グループ
一般的な医療機関の組織および放射線管理に関わるに役職を参考に、放射線 MS 上の役割ごとの教育グループを設定した。各教育グループの構成およびその関連を図 1 に示した。

2. 教育グループごとの教育すべき事項

教育グループごとに、前述の【A】、【B】、【C】を抽出した。【B】に関しては、医師は医学教育モデル・コア・カリキュラム 令和 4 年度改訂版、看護師は看護教育モデル・コア・カリキュラム～「学士課程においてコアとなる看護実践能力」の習得を目指した学習目標～、診療放射線技師は診療放射線技師国家試験出題基準 令和 7 年版、より抽出した。教育グループごとに【A】、【B】、【C】を取りまとめた結果を表 1 に示した。取りまとめた結果、【A】、【B】、【C】のうち、特に【A】と、【B】および【C】が対象とする知識・技術の範囲、使用する用語には大きな乖離があり、【A-B-C】は単純には明らかにできないことが判明した。

そこで、発想を変え、【B】、【C】を習得した者が【A】を実施するには足りない事項を放射線 MS の文脈で検討し、教育グループごとの教育すべき事項とした。

3. 教育概要および研修プログラムのデザイン

1) 組織トップ等 (G1)

組織トップ等が放射線 MS においてリーダーシップを発揮するためには、医療機関における放射線被ばく管理の重要性を理解し

たうえで、システムの中での役割を具体的に理解することが重要であると考えられた。また、もっとも多忙な組織トップ等に対する具体的な研修の時間は 30 分を想定した。このうち、システムの中での具体的役割の理解のためには、内部監査におけるマネジメントインタビューの映像が有効と考えた。そこで、以下の教育概要として、G1 研修プログラムをデザインした。

①研修の目的 (3 分)

- 挨拶
- 放射線被ばく防護管理の必要性
- 法令順守と MS-なぜ MS を活用するのか？

②内部監査におけるインタビュー映像の視聴 (8 分)

③放射線被ばく防護 MS における役割 (14 分)

- MS の骨格と、オーナーの立ち位置
- 基本方針の設定と目標や計画との関係
- 目標に対するパフォーマンスの評価の確認
- 監査報告書への責任者署名の意味
- マネジメントレビューの意義と意思決定
- MS の基盤となるリーダーシップリーダー行動

④まとめ (1 分)

⑤質疑 (4 分)

2) 放射線業務従事者である現場の管理者・管理の実務者 (G2-1)

放射線業務従事者である現場の管理者・管理の実務者が機能するためには、医療機関における放射線被ばく管理の必要性を理解したうえで、システムの中での役割を具体的に理解するとともに、彼らが機能しなかった場合に放射線業務従事者および組織にどのようなことが起こるかを認識することが重要と考えられた。放射線 MS の運用に

おける要となる役割であり、他のグループよりも手厚い研修が必要と考えられた。構成は、概念編 30 分、実践編 30 分を想定した。

以下の教育概要で、G2-1 研修プログラムをデザインした。

〔概念編〕

①研修の目的（5 分）

- 挨拶
- 放射線による健康障害防止（被ばく線量低減）
- 法令遵守と放射線 MS

②放射線 MS における役割（20 分）

- 放射線業務従事者である現場の管理者、管理の実務者の立ち位置
 - 健康障害が生じた時、組織に何が起こるか
 - 法令遵守できていないことが指摘された時、組織に何が起こるか
- 放射線 MS での放射線業務従事者である現場の管理者、管理の実務者の実務
 - 日々の管理
 - 年次の管理

- 内部監査

③まとめ（1 分）

④質疑（4 分）

〔実践編〕

① 研修の目的（3 分）

- 挨拶
- 放射線による健康障害防止（被ばく線量低減）
- 法令遵守と放射線 MS

②放射線 MS に則った日々の管理（5 分）

- 放射線業務管理者を同定する、個人線量計を配布する
- 個人線量計を装着させる
- 個人線量計の測定結果を確認させる

② 放射線 MS に基づく年次の管理（17 分、

内部監査にかかる動画視聴を含む）

- リスクアセスメント
- 内部監査と放射線 MS のシステムマニュアルの改訂

④まとめ（1 分）

⑤質疑（4 分）

3）放射線業務従事者ではない現場の管理者・管理の実務者（G2-2）

放射線業務従事者ではない現場の管理者・管理の実務者は、事務職員を想定した。放射線や医療に関する専門的な知識はほとんど持っていないが、専門職よりも組織を意識した行動にはなじみがあると考えられた。G2-1 の補助的な役割を担い、G2-1 が指示・指導した内容が適切に実施できるよう、書類や物品の準備・管理等を実行すること想定した。

G2-1 の研修プログラムを 30 分に凝縮した構成とした以下の教育概要で、G2-2 研修プログラムをデザインした。

①研修の目的（5 分）

- 挨拶
- 放射線による健康障害防止（被ばく線量低減）
- 法令遵守と放射線 MS

②放射線 MS における役割（20 分）

- 放射線業務従事者ではない現場の管理者、管理の実務者の立ち位置
 - 健康障害が生じた時、組織に何が起こるか
 - 法令遵守できていないことが指摘された時、組織に何が起こるか
- 放射線 MS での放射線業務従事者ではない現場の管理者、管理の実務者の実務
 - 日々の管理
 - 年次の管理
- 内部監査と放射線 MS のシステムマニ

アルの改訂

③ まとめ (1 分)

④ 質疑 (4 分)

4) 放射線業務従事者 (G3)

放射線 MS の対象のうち、最も多いのが一般の放射線業務従事者である。被ばく低減につながる行動をとるには、放射線 MS のシステムマニュアルで示される手順を理解し、現場の管理者・管理の実務者の指示に従い行動することが必要と考えられた。また、放射線による健康障害が起きたり、法令遵守ができていないことに関して指摘・指導を受けたりすることが、組織に与える影響を認識しておく必要があると考えられた。患者への直接の医療行為に携わる多忙な放射線業務従事者に対する教育は、参加者数や対象となる職種、教育回数等の状況に応じて調整することを前提として、20～30 分を想定した。

そこで、以下の教育概要で、G3 研修プログラムをデザインした。

①研修の目的 (5 分)

- 挨拶
- 放射線による健康障害防止(被ばく線量低減)
- 法令遵守と放射線 MS

②放射線 MS における役割 (10～20 分)

- 放射線業務従事者の立ち位置
 - 健康障害が生じた時、組織に何が起こるか
 - 法令遵守できていないことが指摘された時、組織に何が起こるか
- 放射線業務従事者が実施すること

③まとめ (1 分)

④質疑 (4 分)

5) 産業保健スタッフ (G4)

産業保健スタッフ、特に産業医は、独立した立場で組織トップ等へ意見を述べたり、場合によっては勧告したりすることができる立場にある。また、産業保健活動を通じて、現場の管理者・管理の実務者、放射線業務従事者に対して被ばく低減に関する助言・指導を行うことができる立場にある。産業保健スタッフが機能するには、放射線 MS の内容を理解したうえで、通常の産業保健活動の一環として放射線被ばく管理にも関与することが重要と考えられた。労働安全衛生マネジメントシステムについて学習したことがある者は一定数いると思われるが、放射線 MS の理解を深めるため、産業保健スタッフに対する教育は 30 分を想定した。

以下の教育概要で G4 研修プログラムをデザインした。

①研修の目的 (5 分)

- 挨拶
- 放射線による健康障害防止(被ばく線量低減)
- 法令遵守と放射線 MS

②放射線 MS における役割 (20 分)

- 産業保健スタッフ(産業医)の立ち位置
 - 健康障害が生じた時、組織に何が起こるか
 - 法令遵守できていないことが指摘された時、組織に何が起こるか
- 放射線 MS での産業保健スタッフ(産業医)の実務
 - (安全) 衛生委員会
 - 職場巡視
 - 勧告権

③まとめ (1 分)

④質疑 (4 分)

D. 考察

計画被ばく状況にある医療機関において、

適切な放射線被ばく管理を行う上で、労働安全衛生マネジメントシステムの国際規格である ISO45001 を基盤とした放射線 MS の導入は有効な手段である。

今回の研究では、導入のハードルを低くし、比較的短期間にシステム構築と導入を行うことができる研修プログラムをデザインした。しかし、放射線 MS は、医療機関の理事長や院長等の経営トップ層のリーダーシップがなければ有効に機能しない。適切な管理が一部の医療機関に止まっている状況があり、今後、経営トップ層の認識を向上させるための取り組みが必要と考える。また、現場の管理者・管理の実務者には放射線 MS におけるその役割を理解し日常業務に落とし込んで活動すること、放射線業務従事者にはシステムマニュアルの手順を理解したうえで現場の管理者等の指示に従うことが求められるが、当たり前前に実施されるまでにはある程度の時間がかかることは想像に難くない。個別対応は教育の継続、組織対応としては目標設定・計画→実行→評価→改善の PDCA サイクルを回し続けて、放射線管理の文化を醸成し、管理水準を向上させることが必要と考える。

令和 6 年度にデザインした研修プログラムは、大規模医療機関を想定したモデルシステムマニュアルに基づいており、G1（組織トップ等）、G2-1（放射線業務従事者である現場の管理者・管理の実務者）等、教育対象を G1～G4 に明確に区分した内容となっている。しかし、リソースの限られた中小規模医療機関では、教育グループの設定が必ずしも明確に適用できない可能性がある。そのため、今後は、中小規模医療機関での活用を見据え、複数の教育グループの内容を統合・簡略化した簡易版研修プログラムの開発も検討していく必要があると考える。

今後は今回デザインした研修プログラムをもとに研修を開発、試行し、より効果的なプログラムとなるよう必要な改訂を行っていく予定である。

E. 結論

本研究では、放射線 MS 導入支援の一環として、役割ごとに必要な知識を整理し、実効性と現実性を両立させた研修プログラムのデザインを行った。今後は、本プログラムを実際の研修に展開し、効果の検証を通じて内容を改訂することで、多様な医療機関に適応可能な教育体系として確立させることを目指す。

F. 論文報告

1. 喜多村紘子，中上晃一．医療機関における放射線業務従事者の被ばく線量管理の課題-放射線マネジメントシステム導入支援事業参加機関へのアンケート調査-．産業衛生学雑誌，in press.

G. 研究発表

なし

H. 知的所有権の取得状況

なし

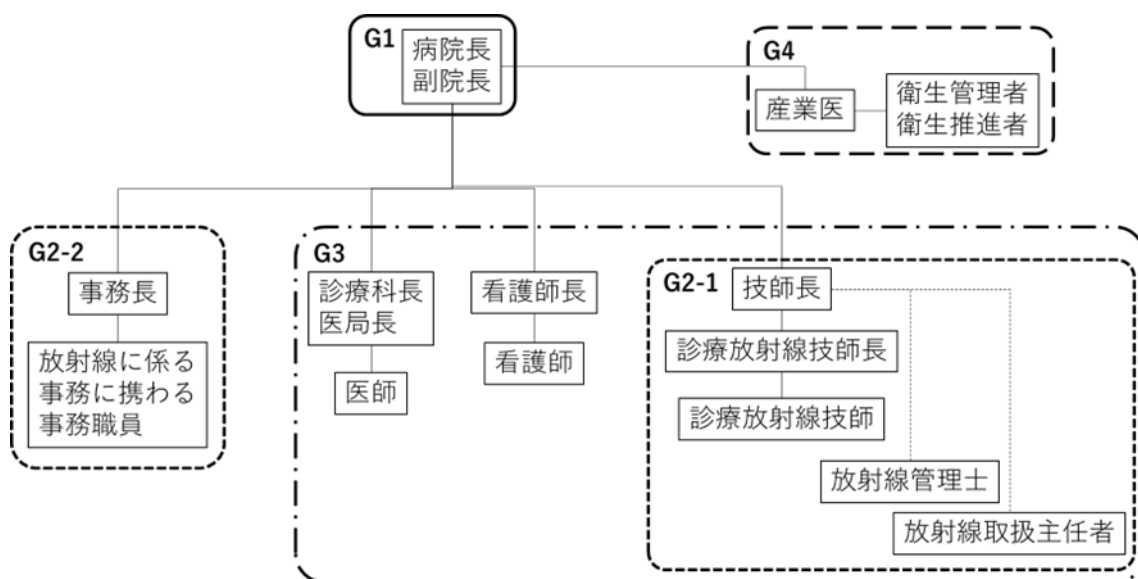


図1 各教育グループの構成およびその関連

添付資料①

病院のリーダーを対象とした 医療機関における放射線被ばく 防護マネジメントシステム研修

本研修では、医療機関のリーダーとして必要な

1. 放射線被ばく防護の重要性
2. マネジメントシステムを活用した効果的な管理方法
3. 放射線被ばく防護マネジメントシステムにおける役割に関する知識を学びます。



1

放射線被ばく防護の重要性

医療従事者への影響の軽減

長期的な被ばくによる健康リスクを軽減し、安全な労働環境を確保する。

リスク管理

被ばく管理の不備による事故や訴訟リスクを最小化する。

このことは、結果として

法令遵守

国内外の法令や基準に準拠し、罰則や信頼喪失のリスクを回避する。

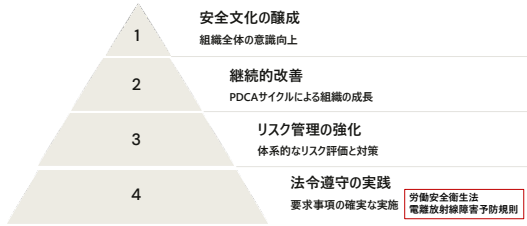
患者への影響の軽減

診断・治療に必要な放射線量を最適化し、不要な被ばくを防ぐ。



2

なぜ、医療従事者の放射線防護に マネジメントシステムを活用するのか？



1. 安全文化の醸成
組織全体の意識向上
2. 継続的改善
PDCAサイクルによる組織の成長
3. リスク管理の強化
体系的なリスク評価と対策
4. 法令遵守の実践
要求事項の確実な実施

労働安全衛生法
電離放射線障害予防規則

確実な管理と実践の定着を実現するために、ISO45001を基盤とした包括的なアプローチを活用する。

3

放射線防護MSにおける 組織トップのリーダーシップ

4

放射線防護MSにおける組織トップのリーダーシップ

まず、内部監査における院長への インタビュー映像を視聴してみよう (8分)



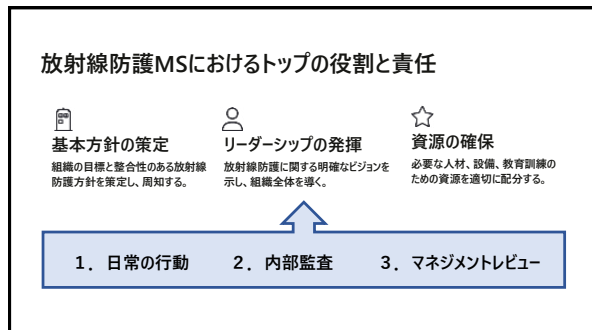
5

放射線被ばく防護MSの全体像

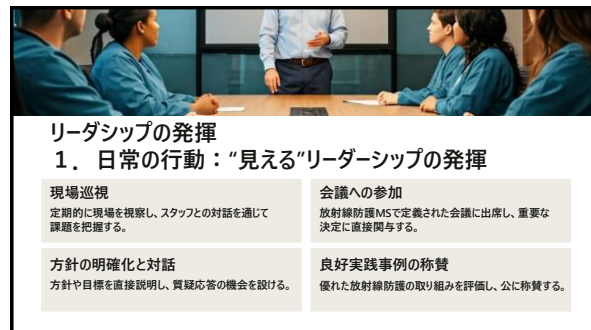


1. Plan
方針策定
ルールや手順
計画
目標
2. Do
計画の実践と進捗管理
手順の確実な運用
3. Check
モニタリング
パフォーマンス評価
内部監査
4. Act
マネジメントレビュー
逸脱の是正
改善計画

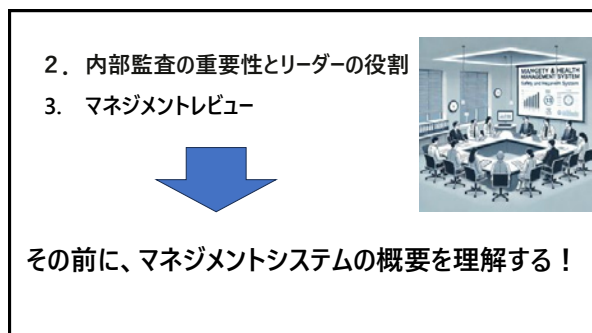
6



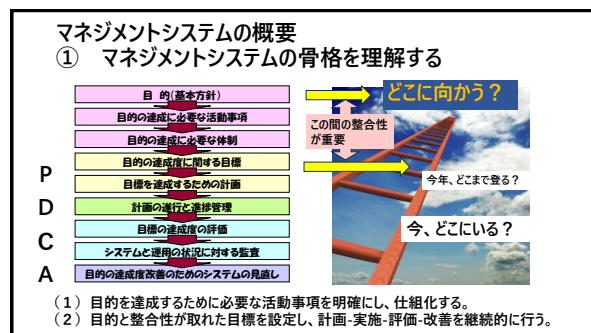
7



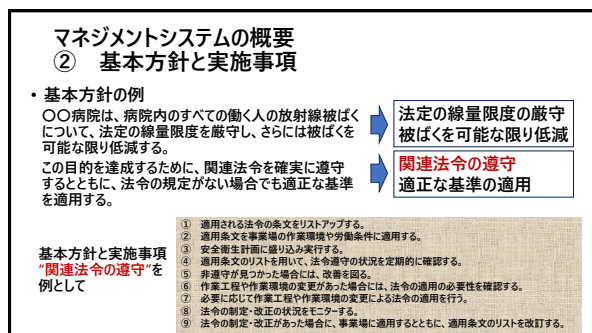
8



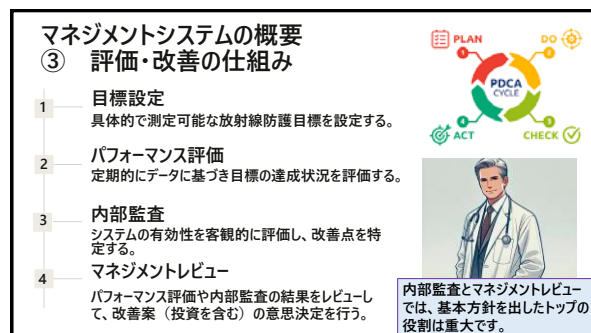
9



10



11



12

リーダーシップの発揮
2. 内部監査の重要性とトップの役割

内部監査の目的 組織の実態把握と改善ポイントの特定を行う。
 現場の声を直接聞くことで、真の課題を明らかにする

内部監査映像の考察

- 🔍 **リーダーシップ** 管理者の指導力と方針の浸透度を評価する。
- 🔍 **課題への認識** 法令遵守の重要性の理解や機関の放射線防護管理の課題に対する認識を確認する。
- 🔍 **改善点の特定** 具体的な課題と改善の機会を見出す。

内部監査報告書への署名とは、改善に対するコミットメント！
 MSにおける、その意味を理解する！



13

リーダーシップの発揮
3. マネジメントレビューとトップの参画

マネジメントレビューは、継続的な改善を行うための最重要プロセス

inputs → **process** → **outputs**

inputs

- ・ リスクや機会
- ・ 目標達成状況
- ・ 法令遵守状況
- ・ リスクや機会
- ・ 内部監査結果
- ・ 従業員からのフィードバック

process
 マネジメント
 レビュー

outputs

- ・ 改善の機会および方法
- ・ 資源投入の必要性
- ・ 新たな目標の設定
- ・ その他のアクション

トップの参画は、システム改善の有効性を規定する重要な要素



14

まとめに代えて
研修内容の振り返り

- 1 マネジメントシステムの理解
放射線被ばく防護の体系的アプローチの重要性を学んだ。
- 2 リーダーシップの実践
「見えるリーダーシップ」が組織文化形成に不可欠だと認識した。
- 3 継続的改善の重要性
監査とレビューを通じた継続的な改善サイクルとトップの役割の重要性を理解した。



15

質疑応答

本日は、放射線被ばく防護マネジメントシステムに関する医療機関トップの役割について説明させて頂きました。ご参加いただきありがとうございました。



16

添付資料②

放射線業務従事者である現場の管理者、管理の実務者を対象とした医療機関における放射線被ばく防護マネジメントシステム研修（その①）

～現場の責任者として、放射線管理を徹底し、組織を守る～

本研修は、放射線業務従事者である現場の管理者、管理の実務者として必要な

1. 放射線被ばく防護の重要性
2. 法令遵守と放射線マネジメントシステム
3. 放射線被ばく防護マネジメントシステムにおける具体的な役割

を学び、理解することを目的としています。



1

研修の目的

健康障害の実際

健康障害について、視覚的に訴える情報の提供

例）二階堂琢也。自分自身の経験から職業被曝について考える。脊椎脊髓。36(8)：575-580。2023

2

研修の目的

質問：水晶体の被ばく線量が高い順に並べてください。

- ・IVRの術者
- ・CT室で患者の介助（バグバルマスク）
- ・ERCPの術者
- ・ミエログラフィーの術者

3

研修の目的

放射線被ばく防護（被ばく線量低減）が必要な理由

医療従事者への影響の軽減

被ばく管理の不備による事故や長期的な被ばくによる健康リスクを軽減し、安全な労働環境を確保する。

リスク管理

被ばく管理の不備による事故や訴訟リスクを最小化する。

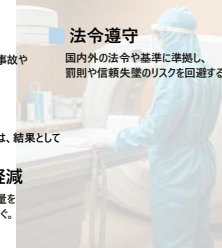
法令遵守

国内外の法令や基準に準拠し、罰則や信頼失墜のリスクを回避する。

↓ このことは、結果として

患者への影響の軽減

診断・治療に必要な放射線量を最適化し、不要な被ばくを防ぐ。



4

研修の目的

なぜ、医療従事者の放射線防護にマネジメントシステム（MS）を活用するのか？



1 安全文化の醸成
組織全体の意識向上

2 継続的改善
PDCAサイクルによる組織の成長

3 リスク管理の強化
体系的なリスク評価と対策

4 法令遵守の実践
要求事項の確実な実施

労働安全衛生法
電離放射線障害予防規則

確実な管理と実践の定着を実現するため、ISO45001を基盤とした包括的なアプローチを活用

5

研修の目的

法令遵守と放射線被ばく防護MS（放射線MS）

なぜ、放射線被ばく防護MS（放射線MS）を活用するのか？

■ 組織の目標の明示

■ 役割分担

■ それぞれの実施すべきことの具体的な提示

■ 評価と改善の仕組み

➡

放射線MSの活用で期待されること

■ 対応者が変わっても、活動を維持できる

■ 継続的な改善

■ 組織レベルのスパイラルアップ

6

放射線MSにおける役割

現場の管理者・管理の実務者の役割

- **現場の管理**
医師・看護師・診療放射線技師等の放射線業務従事者の業務が法令遵守して行われるよう管理監督
- **組織トップと現場の橋渡し**
組織のトップに対し、法令遵守や放射線MS運用状況を正確に報告

皆さんは、現場を守る要

7

放射線MSにおける役割

放射線被ばくによる健康リスク

健康障害の例

- ・白血病・固形がん
- ・白内障
- ・皮膚炎・皮膚がん・爪の異常

+

業務上の被ばくが原因の場合は、**労働災害**

個人の健康リスクが**組織全体**のリスクへ

8

放射線MSにおける役割

法令違反がもたらす組織的リスク

短期的影響

- 安全配慮義務違反
→行政処分、業務停止命令
- 労働災害が起きた場合
民事的責任（損害賠償）
刑事的責任（業務上過失致死傷罪）

→

長期的影響

- 評判低下による患者数減少
- スタッフの離職の増加による人員不足
- 信用喪失による施設閉鎖の危機

9

放射線MSにおける役割

放射線被ばくによる健康リスク

- ・がん、白血病、白内障等
- 一人の職員に健康被害が発生すると、他の職員の不安が高まり、職員全体や患者への悪い影響が連鎖的に生じる

医療機関の組織的リスク

- ・法令違反による罰金、業務停止命令、患者数激減、閉鎖の危機
- 重大な事案がメディアで報じられると、医療機関の信頼、社会的信用を失う

個人の健康被害が**組織全体の問題**に発展
負の連鎖を起こさないために
皆さんは、現場を守る要

10

放射線MSにおける役割

放射線MSに基づく日々・月次の管理

■ **個人線量計の配布と使用確認**

1. 個人線量計を放射線業務従事者に配布
2. 適切に装着されているか確認

■ **保護具の準備、管理、使用確認**

1. 必要な保護具の選定、設置、管理
2. 適切に使用されているか確認

■ **測定結果の確認と高線量を確認した場合の対応**

1. 業務に見合った線量かどうかの確認
2. 線量測定結果を確認し、機関で定める高線量を超えた場合は速やかに対応

11

放射線MSにおける役割

放射線MSに基づく年次の管理

リスクアセスメントの実施

1. 年間の被ばくデータのとりまとめ
2. リスク評価の実施と通知

内部監査

1. 内部監査の実施
2. 放射線MSのシステムマニュアルの改訂

年次計画の策定と周知

1. 次年度の計画策定

（注：矢印は上から下へ、右から左へ、下から上へという流れを示す）

12

内部監査

■組織の実態把握：

- 組織の実態把握：
 - 管理者の指導力、方針の浸透度を確認する。
 - 法令遵守の重要性の理解度を確認する。
 - 放射線防護管理の課題に対する認識を確認する。
- 改善ポイントの特定：
 - 現場の声を直接聞き、真の課題を明らかにする。
 - 具体的な課題と改善の機会を見出す。

[illegible]

研修のまとめと次のステップ

今日の学び

- 健康障害と法令違反の両方を防ぐ重要性
- 放射線MSの日々・月次の管理と年次管理
- 内部監査の意義

明日から実践すべきこと

- 個人線量計の適切な装着を現場で確認
- 月次の測定結果を確認し、高線量に迅速対応
- リスクアセスメント、内部監査の計画と実行

質疑応答

今日は、放射線被ばく防護マネジメントシステムに関する医療機関トップの役割について説明させて頂きました。ご参加いただきありがとうございました。



— 153 —

添付資料③

放射線業務従事者である現場の管理者、管理の実務者を対象とした医療機関における放射線被ばく防護マネジメントシステム研修（その②）

～現場の責任者として、放射線管理を徹底し、組織を守る～

本研修は、研修その①を受けた実践編です。
放射線業務従事者である現場の管理者、管理の実務者として

1. 放射線被ばく防護のために現場で何をするか
2. 法令遵守のために現場で何をやるかを学び、理解することを目的としています。



1

放射線MSに則った日々・月次の管理

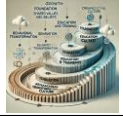
個人線量計の配布と使用確認

- 放射線業務従事者の同定
 - 自己申告、所属からの申告
 - 管理区域内の放射線業務従事者のチェック（申告漏れのチェック）
- 適切に装着されているかの確認
 - 目視で確認、抜き打ちチェック
 - こまめな声かけ
 - 個人線量計の保管場所の工夫
 - 装着当たり前文化の形成
 - 風土の醸成

➢ 確実に同定する方法を組織で検討、ルール化

➢ 装着の確認方法を組織で検討

強制・罰則に頼らない
インセンティブに頼らない
内発的動機を促す
説明と共感
自律性の尊重
ビジョンの共有



2

放射線MSに則った日々・月次の管理

保護具の準備、管理、使用確認

- 必要な保護具の選定、設置、管理
 - 個人用保護具（エプロン、ネックガード、眼鏡等）
 - 放射線防護機材（防護板、防護カーテン、防護クロス、防護衝立等）
 - 破損のチェック
- 適切に使用されているかの確認
 - リスクアセスメント結果に基づいた使用状況かどうか
 - 放射線防護機材を誤っていないかどうか

➢ 保護具の準備、管理の手順を明確化

➢ 放射線MSに則った手順で管理

3

放射線MSに則った日々・月次の管理

測定結果の確認と高線量を確認した場合の対応

- 実際の業務に見合った線量かどうかの確認
 - 個人線量計の装着場所
 - 装着状況
- 線量測定結果が機関で定める高線量を超えた場合は速やかに対応
 - 「線量限度を超える」とおどさない
 - 必要に応じて、線量測定箇所の追加の提案（四肢測定用線量計、水晶体測定用線量計等）

➢ 測定結果確認の手順を明確化

➢ 高線量になる可能性のある者をキャッチする早期警戒値の設定

➢ 早期警戒値に達した場合のポジティブな対応策を複数設定

4

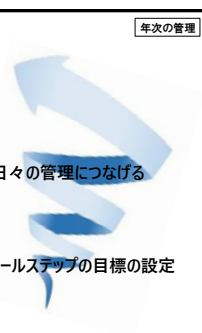
放射線MSに基づく年次の管理

リスクアセスメントの実施

- 年間の被ばくデータのとりまとめ
- リスク評価の実施と通知
 - 現場の管理者・管理の実務者で結果を共有し、日々の管理につなげる

年次計画の策定と周知

- 次年度の計画策定
 - 法改正の抜け漏れのない確認
 - 具体的なスパイラルアップする数値目標およびスモールステップの目標の設定
 - 目標達成に必要な環境整備の計画
 - 必要な予算の確保



5

放射線MSに基づく年次の管理

内部監査

- 内部監査の実施
 - 内部監査の動画を視聴してみよう
- 放射線MSのシステムマニュアルの改訂
 - 日々の管理に必要なシステムマニュアルの追加
 - 現実の状態で即したシステムマニュアルへ改訂
 - 必要事項がわかりやすい内容への整理

2023内部監査 経営トップの方針について（9分）
<https://youtu.be/0mwo6G5oEMw>

内部監査 リスクアセスメントについて（8分）
<https://youtu.be/X-Q97Buaueg>

2023内部監査 教育訓練について（11分）
https://youtu.be/CxVJ_n28DnY

2023内部監査 個人線量計について（15分）
<https://youtu.be/dfk1N0SE4nw>

2023内部監査 最終まとめ（4分）
<https://youtu.be/ADpexXKyLbXM>



6

まとめ

研修のまとめ

本日の学び

- 健康障害と法令違反の両方を防ぐ重要性
- 放射線MSの日々・月次の管理と年次管理
- 内部監査の意義

放射線MSを活用して
組織の目標・線量・リスクの
見える化を勧めましょう

皆さんが要です

7

質疑応答

本日は、放射線被ばく防護マネジメントシステムに関する
医療機関トップの役割について説明させて頂きました。
ご参加いただきありがとうございました。



8

III. 研究成果の刊行に関する一覧表

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書 籍 名	出版社名	出版地	出版年	ページ
該当無し							

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
Tomoko Kuriyama, Takashi Moritadake*, Go Hitomi, Koichi Nakagami, Koichi. Morota, Satoru Matsuzaki, Hajime Sakamoto, Kazuma Matsumoto, Mamoru Kato, Hiroko Kitamura	Influence of hospital bed count on the positioning of cardio-vascular interventional radiology (IR) nurses: Online questionnaire survey of Japanese IR-specialized radiological technologists.	Nursing Reports	15(1)	11	2025 Jan. 2
Hijikata Y, Yamashita K, Hatsumasa N, Nagata T, Kitamura H, Morota K, Matsuzaki S, Nakagami K, Hitomi G, Kuriyama T, Kowatari M, Chida K, Sasaki H, Moritadake T.	Prevalence of Cataractous Changes in the Eyes and Chronic Inflammatory Changes in the Hands Among Spine Surgeons.	J Bone Joint Surg Am	107(7)	e25	2025
喜多村絃子, 中上晃一	医療機関における放射線業務従事者の被ばく線量管理の課題-放射線マネジメントシステム導入支援事業参加機関へのアンケート調査-	産業衛生学雑誌	in press		2025
Katsumi Shozugawa, Mayumi Hori, Thomas E. Johnson, Yo Ishigaki, Yoshinori Matsumoto	Projections of future ambient dose rates in a mountainous area in the Fukushima evacuation zone, Japan	Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	334(5)	Online	2024.10

高平咲希, 芳賀喜裕, 曾田真宏, 阿部美津也, 加賀勇治, 木村雄一郎, 稲葉洋平, 千田浩一	X線透視下での気管支鏡検査における医師の水晶体被ばくの評価	日本放射線安全管理学会	23(2)	62-69	2024.12
Sagehashi K, Hiraga Y, Takahira S, Tanabe M, Nakamura M, Sota M, Kaga Y, Abe M, Tadamasa N, Chida K	Evaluation of radiation dose to the lens in interventional cardiology physicians before and after dose limit regulation changes	J Radiol Pro	44(3)	031512	2024 Sep 2
永田 竜朗, 栗山知子, 喜多村 紘子, 盛武 敬, 近藤 寛之	医療放射線業務従事者の放射線白内障の実態 (Verification of Radiation Cataract in Medical Radiation Workers)	日本眼科学会誌. (in print)			

