

労災疾病臨床研究事業費補助金

放射線防護マネジメントシステムの適用と
課題解決に関する研究

令和5年度 総括・分担研究年度終了報告書

研究代表者 喜多村 紘子

令和6(2024)年3月

目次

I. 総括研究年度終了報告

喜多村 紘子	1
--------	---

II. 分担研究年度終了報告

【放射線防護マネジメントシステムの開発・評価および導入支援】

1. 放射線 MS 導入支援事業への研修・教育資料の提供	
喜多村 紘子、中上 晃一、茂呂田 孝一	15
2. 医療機関における放射線被ばく管理マネジメントシステムの背景と課題に関する考察	
森 晃爾、中上 晃一	29
3. 産業保健上の課題の整理	
喜多村 紘子、中上 晃一、茂呂田 孝一	33

【被ばく線量の実態評価と低減法に係る研究】

4. 小型ガラス線量計を用いる系統的線量測定に関する検討	
古渡 意彦	45
5. Augmented Reality (AR) を利用した放射線防護教育（「大人が楽しむ科学教室」での活動報告）	
盛武 敬、松崎 賢	61
6. DICOM-RDSR と RADIREC. システムを用いた患者の最大入射皮膚線量推定と活用法（RADIREC. Web サービス体制の紹介）	
盛武 敬、茂呂田 孝一	67
7. 医療従事者の IVR 作業中の動線と滞留時間を評価するための赤外線人感センサの性能検証	
小野 孝二、新井 知大、金子 順一、日野 稜介、池田 新、中尾 海太、竹吉 正侑	73
8. 看護師の被ばくに係る実態調査	
栗山 知子、盛武 敬、喜多村 紘子、人見 剛、茂呂田 孝一、中上 孝一、永元 啓介、松崎 賢	85
9. 脊髄腔造影検査に携わる医師の眼の水晶体線量の実測と放射線防護評価	
喜多村 紘子、永元 啓介	95
10. 放射線被ばく防護に関するアンケート調査	
掛田 伸吾、成田 将崇	101

III. 研究成果の刊行に関する一覧表	105
---------------------	-----

I. 総括研究年度終了報告

放射線防護マネジメントシステムの適用と課題解決に関する研究

研究代表者 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

研究要旨

本研究は、眼の水晶体への被ばく線量が比較的高い医療の現場において、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、個人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、ひいては労働安全衛生全体の水準を向上させるために、放射線防護マネジメントシステムの運用評価と改良を目的とし、研究期間最終年度である令和5年度は、以下を重点的に実施した。

【放射線防護マネジメントシステムの開発・評価および導入支援】

本研究班は放射線 MS 導入支援事業で使用する研修・教育資料を提供しているが今年度は、2020 年度より使用してきた基礎研修用の研修・教育視聴の改訂および、放射線 MS 導入がある程度進んだ時点で必要となる内部監査に関する新規の研修・教育資料を作成した。基礎研修用の研修・教育資料の改訂は、実際に放射線業務が行われている場の写真を見せてリスクアセスメントの練習を行う、アクティブ・ラーニングを取り入れた研修とした。専門研修用の研修・教育資料の作成では、内部監査について、良好事項、要改善事項、改善推奨事項を組み込んだ動画を作成した。

産業保健上の課題の整理のため、①放射線 MS 導入支援事業に参加した医療機関に回答を依頼した Web アンケート、②放射線 MS 導入が進んでいる医療機関に対してのインタビュー調査を行った。①では放射線業務従事者の選定基準が「ない」または「あるかわからない」機関が合わせて約 30%、不均等被ばくとなる放射線業務従事者全員に放射線測定器が 2 個以上配布されてない機関が約 30%、全ての放射線業務従事者について放射線測定器の装着状況を確認している機関が 50%以下、の問題が明らかとなった。②では院長の強いリーダーシップが発揮されていること、MS と親和性の高い文書管理・内部監査の土壌が出来上がっていたこと、放射線 MS 導入のチャンピオンが存在すること等が明らかになった。

また、これまでの研究および放射線 MS 導入支援事業での経験や観察事項をもとに、放射線 MS を前提とした放射線被ばく管理の課題について考察した。

【被ばく線量の実態評価と低減法に係る研究】

小型ガラス線量計に対し、手首・足首に装着する末端部モニタリング用線量計として使用可能か、基礎特性であるエネルギー応答を実験的に評価し、GD-352M のエネルギー応答特性は、20keV 以上から ^{137}Cs γ 線の 662 keV までの範囲で国際電気機関（IEC）の規格要件ある基準値（エネルギー依存試験で得られた線量計レスポンスに対し 0.71～1.67）に入っていることが確認できた。

医療現場で使用される装置や寝台、患者、防護カーテン等も含めて Augmented Reality（AR）画像を作成し、実際の医療現場に没入できるアプリケーションを開発し、一般市民向けの放射線防護教育を実施した。AR による体験型教育は、外部放射線防護の 3 原則の距離、遮蔽の理解に役立ったという感想が多く聞かれ、ほとんどの参加者から理解しやすかったと評価された。学習者の記憶に残りやすいといわれている体験型教育を取り入れることが、放射線防護教育にも有効であることが示された。

診断または治療目的で頭頸部血管撮影を施行した患者 100 症例（男性 44 名、女性 56 名）を対象とし、RADIRECTM によって実測された最大入射皮膚線量と、装置の DICOM-RDSR から出力された患者入射皮膚面

の被ばく線量を想定した患者基準点の空気の吸収線量である $K_{a,r}$ (Incident air kerma at the reference point) との相関関係を調査した。DICOM-RDSR と RADREC. システムによって実測された最大入射皮膚線量には強い正の相関関係が見られ、最大入射皮膚線量は、診断や治療が終了した直後に装置に表示された総 $K_{a,r}$ の約 0.6 倍で把握できることが示された。

赤外線人感センサを活用し、IVR 室内の医療従事者の場所ごとの滞在時間を測定し、被ばく線量の推計を可能とするシステムを試作し、赤外線人感センサの検出範囲の検証、赤外線人感センサの測定精度の検証、赤外線人感センサを活用した被ばく線量の推計を行ったところ、当該システムは高い精度で熱源の滞在時間把握及び線量推計が可能であることが示された。

看護師の被ばく実態の調査として、①IVR に従事する看護師の水晶体被ばくの背景因子分析、②看護師の被ばくに影響しうる血管造影室内の作業環境調査を実施した。①では、施設間の看護師の水晶体被ばく線量の違いは X 線照射野から看護師が滞在する位置までの距離によって説明できることが示された。なお、その距離はスタッフの人員が少ないほど短くなることも明らかとなった。②では、看護師の照射野からの滞在位置の中央値は 400 床未満の病院（中小規模病院）では 250cm、400 床以上の病院（大規模病院）では 300cm で、大規模病院の方が有意に遠いこと、吊り下げ型防護板およびつい立て型防護板の導入状況は大規模病院と中小規模病院では防護板の設置状況は病院規模によって違う（大規模病院の方が、導入が進んでいる）ことが示された。

放射線防護眼鏡と透視装置の違いによる眼の水晶体への放射線被ばく影響を評価するために、脊髄腔造影中の脊椎外科医 11 名の眼の水晶体線量（3mm 線量当量）を、放射線防護眼鏡に装着した蛍光ガラス線量計（GD-352M）を用いて 1 症例ごとに測定した結果、照射線量を制御して C-AK を最小化、アンダーテーブル X 線管装置システムの使用、放射線防護眼鏡の使用により高い線量低減効果が得られることが示された。

医療被ばくの啓発や意識づけにより線量計の装着率は向上した医師集団に対し、意識調査を実施したところ、装着率は高まったものの、装着に関しての意識は必ずしも高くないこと、ガラスバッジの保管方法について組織的な指導が必要な科があること、放射線防護具不使用の医師が多く、手技に関する詳細な聞き取りと個別対応が必要なこと、自らが使用している放射線発生装置を理解していない者も多く講義内容を含め再検討が必要であることが分かった。

本年度の研究から、適切な対応により、医療分野においても線量限度を遵守することが可能であることが示された。一方、個人線量計の配布や装着が適切に行われていない施設が散見され、最低限の法令遵守も確実ではないという課題も明らかとなった。特に医師に関しては、放射線業務従事者となり得る医師自身の放射線被ばく、放射線防護について、使用する機器のハザードの理解も含め、医学部教育の中でしっかり教える必要があると考えられた。

引き続き、患者の医療被ばく低減や医療安全の視点での医療法の改正に対応するとともに、医療分野における放射線業務従事者の適切な放射線被管理の促進が求められ、それに資するリソースとして、放射線防護マネジメントシステムの普及と継続的・自律的な運用が期待される。

研究分担者

小野 孝二	東京医療保健大学東が丘看護学部/大学院研究科 教授
掛田 伸吾	弘前大学医学部附属病院放射線診断科 教授
栗山 智子	産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学 特任助教

古渡 意彦	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構量子生命・医学部門放射線医学研究所計測・線量評価部物理線量評価グループ グループリーダー
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
盛武 敬	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構量子生命・医学部門放射線医学研究所放射線規制科学研究部 部長

研究協力者

新井 知大	駒澤大学医療健康科学部 講師
池田 新	駒澤大学医療健康科学部修士課程
金子 順一	駒澤大学医療健康科学部 教授
竹吉 正侑	駒澤大学医療健康科学部修士課程
中尾 海太	駒澤大学医療健康科学部修士課程
中上 晃一	産業医科大学病院放射線部
永元 啓介	産業医科大学産業生態科学研究部放射線衛生管理学 助教
成田 将崇	弘前大学医学部医療技術部放射線部門
人見 剛	川崎医科大学附属病院中央放射線部
日野 稜介	駒澤大学医療健康科学部修士課程
松崎 賢	社会医療法人財団池友会新小文字病院放射線科
茂呂田 孝一	社会医療法人財団池友会新小文字病院放射線科

A. 研究目的

2011 年、国際放射線防護委員会（ICRP: International Commission on Radiological Protection）は、組織反応に関する ICRP 声明で職業被ばくにおける水晶体の等価線量限度を、「定められた 5 年間の平均で 20 mSv/年、かついずれの 1 年においても 50 mSv を超えない」と勧告した。さらに、翌年の 2012 年 8 月には、ICRP Publication 118「組織反応に関する ICRP 声明・正常な組織・臓器における放射線の早期影響と晩発影響-放射線防護の視点から見た組織反応のしきい線量-」を刊行した。これらの勧告は、国際原子力機関（IAEA: International Atomic Energy Agency）の GSR Part3 にも取り入れられた。

これに対応して、日本国内でも放射線審議会が、新たな水晶体の等価線量限度を取り入れるための検討を行うこととし、「眼の水晶体の放射線防護検討部会」を設置し議論を進め、2018 年 2 月には、「眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について」報告書をまとめた。放射線審議会はこれを受けて、同年 3 月に各行政機関に意見具申を行い、その結果を受けて、厚生労働省はリスク管理機関として 2018 年 12 月に眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会を立ち上げ、検討を進めた。厚生労働省は、「眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会報告書（2019 年 9 月）」を取りまとめ、電離則は 2021 年 4 月 1 日から改正施行された。この報告書では、「国は、水晶体への被ばく線量が高い業務を行う事業者が、労働安全衛生マネジメントシステム等の取組を着実に進め、安全衛生管理体制を確立するための支援を行うことが望ましい」とされた。

我々は、2018-2020 年度・労災疾病臨床研究補助金事業「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」において、放射線業務従事者、中でも医療分野での放射線管理、被ばくの実態を評価し、さらに被ばく線量

低減方法および「放射線防護マネジメントシステム（Radiation Protection Management System: RPMS）」を提唱し具体的な対応策を提示した。

厚生労働省は、前述の報告書の内容に基づき、2020 年度より放射線被ばくに関する労働安全衛生マネジメントシステムの導入のための支援事業を開始した。我々は、この支援事業で用いるすべての教材を提供するとともに、支援事業を実施する者のための研修も提供してきた。本研究では、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、ひいては労働安全衛生全体の水準を向上させるために、マネジメントシステムの運用評価と改良を目的とする。

B. 研究方法

研究全体像を図 1 に示す。



図 1 研究の全体図

【放射線防護マネジメントシステムの開発・評価および導入支援】

1. 放射線 MS 導入支援事業への研修・教育資料の提供

放射線 MS 導入支援事業では、2020 年度から継続実施されている基礎研修(3 回シリーズのステップ・バイ・ステップ研修)と、2023 年度に新規開始された専門研修を実施している。基礎研修の研修・教育資料は 2020 年度の開始時に作成されたが、より教育を効果的・効率的・魅力的に実施するためには内容の追加や、取り扱う内容の順序の変更等が必要と考えられ、今年度、ブラッシュアップした。専門研修として、放射線 MS 導入がある程度進んだ時点で必要となる内部監査に関する新規の研修・教育資料を作成した。

2. 医療機関における放射線被ばく管理マネジ

メントシステムの背景と課題に関する考察

関連するこれまでの研究および放射線 MS 導入支援事業での経験や観察事項をもとに、放射線 MS を前提とした放射線被ばく管理の課題について考察した。

3. 産業保健上の課題の整理

①放射線 MS 導入支援事業に参加した医療機関に回答を依頼した Web アンケート：対象は、2023 年度に放射線 MS 導入支援事業に参加し、本研究のアンケートに回答し、情報を研究に用いることの同意が得られた医療機関である。各機関で選任された放射線 MS 導入支援事業の主担当者に Web アンケートの URL を送付し、回答を依頼した。②放射線 MS 導入が進んでいる医療機関に対してのインタビュー調査：放射線 MS 導入のトップランナーである医療機関の 1 つを対象とした。院長等より放射線管理を含むマネジ

メントに係る考えを聴取した。また、実装研究のための総合フレームワークに準拠して作成したインタビューガイドに則り、放射線 MS 導入主担当者等へインタビューを行った。

【被ばく線量の実態評価と低減法に係る研究】

4. 小型ガラス線量計を用いる系統的線量測定に関する検討

小型ガラス線量計に対し、手首・足首に装着する末端部モニタリング用線量計として使用可能か、基礎特性であるエネルギー応答を実験的に評価した。用いたガラス線量計素子は、本研究班で使用している 2 種類のガラス線量計、GD-302M 及び GD-352M であり、線量計応答のエネルギー応答特性及び入射エックス線に対する角度応答特性は、ISO4037-3:2019 の記述に従って求めた。

5. Augmented Reality (AR) を利用した放射線防護教育（「大人が楽しむ科学教室」での活動報告）

血管造影検査室での放射線診療を想定し、ここで行われる放射線診療の実寸サイズの散乱線の広がり、備え付けの防護カーテンの遮蔽効果をカラーマップで表現した。医療現場で使用する装置や寝台、患者、防護カーテン等も含めて AR 画像を作成し、実際の医療現場に没入できるアプリケーションを開発し、一般市民向けの放射線防護教育を実施した。

6. DICOM-RDSR と RADIREC. システムを用いた患者の最大入射皮膚線量推定と活用法（RADIREC. Web サービス体制の紹介）

2015～2019 年に、新小文字病院において診断または治療目的で頭頸部血管撮影を施行した患者 100 症例（男性 44 名、女性 56 名）を対象とし、RADIREC™ によって実測された最大入射皮膚線量と、装置の DICOM-RDSR から出力された患者入射皮膚面の被ばく線量を想定した患者基準点の空気の吸収線量である $K_{a,r}$ (Incident air

kerma at the reference point) との相関関係を調査した。

7. 医療従事者の IVR 作業中の動線と滞留時間を評価するための赤外線人感センサの性能検証

赤外線人感センサを活用し、IVR 室内の医療従事者の場所ごとの滞在時間を測定し、被ばく線量の推計を可能とするシステムの開発を目的とし、赤外線人感センサの検出範囲の検証、赤外線人感センサの測定精度の検証、赤外線人感センサを活用した被ばく線量の推計を行った。

8. 看護師の被ばくに係る実態調査

①IVR に従事する看護師の水晶体被ばくの背景因子分析は、200 以上の病床規模で機能と病床数が異なる 3 つの救急指定病院を対象とし、病院情報システム、放射線科情報システム、病院内医療用画像規格等より線量レポート等の情報を収集した。②看護師の被ばくに影響しうる血管造影室内の作業環境調査は、心臓血管系 IVR に現在もしくは過去従事したことのある診療放射線技師を対象に、Web アンケートを実施した。

9. 脊髓腔造影検査に携わる医師の眼の水晶体線量の実測と放射線防護評価

放射線防護眼鏡と透視装置の違いによる眼の水晶体への放射線被ばく影響を評価するために、脊髓腔造影中の脊椎外科医 11 名の眼の水晶体線量 (3mm 線量当量) を、放射線防護眼鏡に装着した蛍光ガラス線量計 (GD-352M) を用いて 1 症例ごとに測定した。

10. 放射線被ばく防護に関するアンケート調査

透視室を利用する内科・外科・放射線科の全医師 45 名について、無記名で放射線被ばく防護に関するアンケート調査を行った。

C. 研究結果

【放射線防護マネジメントシステムの開発・評価および導入支援】

1. 放射線 MS 導入支援事業への研修・教育資料の提供

基礎研修用の研修・教育資料の改訂は、昨年度までの研修における課題（リスクアセスメントを自機関で実際に実施する前に練習し、かつ正しくできているか確認する機会がないこと）を解決するため、実際に放射線業務が行われている場の写真を見せてリスクアセスメントの練習を行う、アクティブ・ラーニングを取り入れた研修とした。専門研修用の研修・教育資料の作成では、内部監査について、良好事項、要改善事項、改善推奨事項を組み込んだ動画を作成した。

2. 医療機関における放射線被ばく管理マネジメントシステムの背景と課題に関する考察

適切な放射線被ばく管理を行うためには、放射線 MS の導入が有効である。MS 導入における初期のハードルを低くするため、研究班で開発したモデル文書を含むツールと導入支援を目的とした研修を実施したことによって、積極的にプログラムに参加した医療機関においては、適切な放射線被ばく管理が実施され、さらに継続的に改善が図られていることを確認した。

3. 産業保健上の課題の整理

①放射線 MS 導入支援事業に参加した医療機関に回答を依頼した Web アンケート：放射線 MS 導入支援事業に参加した医療機関のうち 33 機関からアンケートの回答が得られた。放射線業務従事者の選定基準が「ない」または「あるかわからない」機関が合わせて約 30%、不均等被ばくとなる放射線業務従事者全員に、放射線測定器が 2 個以上配布されてない機関が約 30%、全ての放射線業務従事者について放射線測定器の装着状況を確認している機関が 50%以下、の問題が明らかとなった。②放射線 MS 導入が進んでいる医療機関に対してのインタビュー調査：院長の強いリーダーシップが発揮されていること、MS と親和性の高い文書管理、内部監査の土壌が出来上がっていたこと、放射線 MS 導入のチャンピ

オンが存在すること等が明らかになった。

【被ばく線量の実態評価と低減法に係る研究】

4. 小型ガラス線量計を用いる系統的線量測定に関する検討

GD-352M のエネルギー応答特性は、20keV 以上から ^{137}Cs γ 線の 662 keV までの範囲で国際電気機関（IEC）の規格要件ある基準値（エネルギー依存試験で得られた線量計レスポンスに対し 0.71～1.67）に入っていることが確認できた。GD-302M は、10 keV 程度の低エネルギー엑스線に対し、GD-352M と比較して 3 倍程度高感度である一方で、線量を過大に応答することが明らかとなった。当該線量計を体幹部に装着した場合の各個人線量当量単位のエネルギー応答特性評価では、GD-352M は IEC 規格の基準値内に入っていること、角度分布は 0 度から 60 度の範囲で 0.71～1.67 の範囲に入っていることが示された。

5. Augmented Reality (AR) を利用した放射線防護教育（「大人が楽しむ科学教室」での活動報告）

AR による体験型教育は、外部放射線防護の 3 原則の距離、遮蔽の理解に役立ったという感想が多く聞かれ、ほとんどの参加者から理解しやすかったと評価された。

6. DICOM-RDSR と RADIREC システムを用いた患者の最大入射皮膚線量推定と活用法（RADIREC Web サービス体制の紹介）

DICOM-RDSR と RADIREC システムによって実測された最大入射皮膚線量には強い正の相関関係が見られ、最大入射皮膚線量は、診断や治療が終了した直後に装置に表示された総 $K_{a,r}$ の約 0.6 倍で把握できることが示された。

7. 医療従事者の IVR 作業中の動線と滞留時間を評価するための赤外線人感センサの性能検証 高さ 2.8m の天井に設置した赤外線人感セン

サの検出範囲は、熱源が高い位置にあるほど小さくなること、熱源-赤外線人感センサ間の距離が1.5mの場合にメーカーが記載する検出範囲である2mとなることが示された。熱源の移動速度が大きくなると赤外線人感センサが取得する計測カウントは、熱源が実際に滞在していた時間よりも小さくなる傾向が示された。移動熱源の自動運転機能を利用した放射線透視下での線量推計では、相対誤差は 0.14 ± 0.11 で、高い精度が得られた。

8. 看護師の被ばくに係る実態調査

①IVR に従事する看護師の水晶体被ばくの背景因子分析では、時間、距離、遮蔽の3つの観点から検証した結果、施設間の看護師の水晶体被ばく線量の違いは、時間や遮蔽ではなく、X線照射野から看護師が滞在する位置までの距離によって説明できることが示された。加えて、その距離は、スタッフの人員が少ないほど短くなることも明らかとなった。②看護師の被ばくに影響する血管造影室内の作業環境調査では、看護師の照射野からの滞在位置の中央値は400床未満の病院（中小規模病院）では250cm、400床以上の病院（大規模病院）では300cmで、大規模病院の方が有意に遠かった。吊り下げ型防護板およびつい立て型防護板は、大規模病院では全機関で導入されていたが、中小規模病院では全く導入されていない機関もあり、防護板の設置状況は病院規模によって違いが見られた。

9. 脊髄腔造影検査に携わる医師の眼の水晶体線量の実測と放射線防護評価

放射線防護眼鏡に装着した蛍光ガラス線量計の指示値は、オーバーテーブルX線管システムでは1検査あたり524(391-719) μSv 、アンダーテーブルX線管システムでは1検査あたり58(42-83) μSv で、右眼の水晶体で顕著に高いHp(3)が確認された。また、放射線防護眼鏡の使用は、オーバーテーブルX線管システム、アンダーテーブルX線管システムそれぞれ54%(50%-

57%)、54%(51%-60%)の線量減少率をもたらした。

10. 放射線被ばく防護に関するアンケート調査

医師45名中、放射線使用時に線量計を装着する義務があることを知っていたのは41名、放射線使用時に線量計を装着しているのは30名、放射線使用時に放射線防護手袋を使用するのは6名、放射線使用時に放射線防護眼鏡を使用するのは7名であった。

D. 考察

【放射線防護マネジメントシステムの開発・評価および導入支援】

1. 放射線MS導入支援事業への研修・教育資料の提供

研修後に実施したアンケート（放射線MS導入支援事業を主催する公益財団法人原子力安全技術センターが作成）から、基礎研修では、特に第1回は、初めてマネジメントシステムについて話を聞く受講者がほとんどであることを考えると、事前課題を準備する等して講義時間を現在よりも短くする、1回あたりの時間を短くし回数を増やす等、今後も同様の研修が実施されるのであれば、研修の組み立ての工夫が必要と思われた。専門研修では、動画は具体的場面での対話をメインに作成したが、実践的で理解しやすかったと一定の評価が得られ、動画の意図がある程度伝わったものとする。

2. 医療機関における放射線被ばく管理マネジメントシステムの背景と課題に関する考察

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。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、

労働基準監督署の査察や医療監査等の行政の監督を強化することが必要と考えられた。

3. 産業保健上の課題の整理

①放射線 MS 導入支援事業に参加した医療機関に回答を依頼した Web アンケートでは、3 つの問題点が明らかになったが、いずれ改善・解決には放射線 MS を適切に導入することが有効と考えられた。②放射線 MS 導入が進んでいる医療機関に対してのインタビュー調査では、放射線 MS の導入が進んだ背景には、組織トップのリーダーシップ、文書管理・内部監査を受け入れる風土・土壌、組織内で放射線 MS 導入を推し進める存在があることが分かった。翻って、他機関に簡単に展開し、一朝一夕に放射線 MS 導入を進められるノウハウがあるわけではないと考えられた。

【被ばく線量の実態評価と低減法に係る研究】

4. 小型ガラス線量計を用いる系統的線量測定に関する検討

GD-352M は、手首・足首に装着する末端部モニタリング用線量計として用いた場合の線量応答のエネルギー応答特性は IEC の規格要件である基準値に入っていること、体幹部に装着した場合の線量応答も IRC 規格の基準値内に入っていることが実験的に示され、手首・足首部、襟部、体幹部モニタリング用の線量計として使用できる可能性が示された。

5. Augmented Reality (AR) を利用した放射線防護教育（「大人が楽しむ科学教室」での活動報告）

今回の結果から、放射線防護を学習する教材として AR は有効であることが推察された。これは、模擬 (AR 化) した放射線診療装置の周囲を、参加者自身が iPad を持って移動し、自身の立ち位置や遮蔽効果による線量の多寡を直接可視化できたという体験型教育の効果と考えられた。単に知識や情報を習得するための教育である座

学教育には限界があり、学習者の記憶に残りやすいといわれている体験型教育を取り入れることが、放射線防護教育にも有効であると考えられた。

6. DICOM-RDSR と RADIREC システムを用いた患者の最大入射皮膚線量推定と活用法 (RADIREC Web サービス体制の紹介)

DICOM-RDSR の線量レポートに記録された $K_{a,r}$ 等の値から患者の最大入射皮膚線量を推計することができることを示したが、蛍光ガラス線量計等の放射線測定器を用いた実測があつて初めてその正確性や誤差が評価できる。DICOM-RDSR を用いた患者の最大入射皮膚線量推定値の精度を担保するためには実測は欠かせない考える。

7. 医療従事者の IVR 作業中の動線と滞留時間を評価するための赤外線人感センサの性能検証

赤外線人感センサを活用した医療従事者の行動調査及び職業被ばく線量の推計を可能とする推計システムを試作し、当該システムは高い精度で熱源の滞在時間把握及び線量推計が可能であることが示された。また、線量推計の精度向上のためには、赤外線人感センサの分解能向上が鍵となることが示唆された。今後さらに改善し、臨床現場に導入することで、医療従事者の職業被ばく線量の低減に向けた業務改善や医療従事者の放射線防護に関する教育資料として活用できる可能性がある。

8. 看護師の被ばくに係る実態調査

①IVR に従事する看護師の水晶体被ばくの背景因子分析では、看護師の水晶体被ばく低減には、血管造影室内の滞在位置を放射線源から 2 m 以上離すことが最も効果的であることが確認された。ただし、少ない人員で IVR を担わざるを得ない病院等の距離によって被ばく低減を図ることが困難な現場では、勤務管理による時間の側面への介入や、適切に遮蔽を強化するための設備投資が重要となると考えられた。②看護師

の被ばくに影響しうる血管造影室内の作業環境調査では、血管造影室内の作業環境において、放射線防護板の設置状況や、看護師の主な作業位置は、看護師の被ばく線量に影響する因子であるが、中小規模病院の看護師は大規模病院の看護師よりも放射線源に近い位置で作業を行っており、防護板の設置が不十分な施設もあることがわかり、血管造影室業務に従事する看護師の被ばく防止対策は、特に中小規模病院で重要と考える。

9. 脊髓腔造影検査に携わる医師の眼の水晶体線量の実測と放射線防護評価

脊髓腔造影中の脊椎外科医における眼の水晶体等価線量を調査した結果、1) 照射線量を制御してC-AKを最小化、2) アンダーテーブルX線管装置システム、3) 放射線防護眼鏡の使用、により高い線量低減効果が得られることが示唆された。脊髓腔造影では、アンダーテーブルX線管の使用、撮影手技や撮影条件の見直し、照射野の縮小、透視画像保存装置の採用、放射線防護眼鏡の使用等、複数の対策を組み合わせることで、脊椎外科医の水晶体被曝線量を低減できると考える。

10. 放射線被ばく防護に関するアンケート調査

装着率は高まったものの、装着に関しての意識は必ずしも高くないこと、ガラスバッジの保管方法について組織的な指導が必要な科があること、放射線防護具不使用の医師が多く、手技に関する詳細な聞き取りと個別対応が必要なこと、自らが使用している放射線発生装置を理解していない者も多く講義内容を含め再検討が必要であることが分かった。

E. 結論

被ばく線量限度の遵守や放射線測定器の装着等の基本的な法令遵守を確実に実施することに加え、リスクアセスメントや教育等の自機関の放射線被ばく管理に必要な項目を文書に落とし

込んだ放射線MSを開発、評価し、かつその導入支援を行った。放射線MS未導入の医療機関における労働衛生・産業保健上の問題点の多くは、放射線MSを導入することにより改善が期待されるものが多かったことも明らかになり、このことは放射線MS導入を推進する根拠になると考える。被ばく線量の実態評価と低減法に係る研究では、線量応答のエネルギー応答特性がすぐれ手首・足首部、襟部、体幹部モニタリング用の線量計に適しているガラス線量計素子が示された。また、赤外線人感センサは高い精度で熱源の滞在時間把握及び線量推計が可能であることが示された。看護師、脊椎外科医を対象とした調査ではそれぞれ、看護師や脊椎外科医の放射線被ばくを低減させることに資する知見が得られた。ただし、特に医師に関しては、放射線業務従事者となり得る医師自身の放射線被ばく、放射線防護について、使用する機器のハザードの理解も含め、医学部教育の中でしっかり教える必要があると考えられた。医療分野における放射線業務従事者の適切な放射線被管理の促進が求められ、放射線MSの更なる普及および継続的・自律的な運用が期待される。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 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. Nursing Reports. 2024; 14(1):413-427, doi 10.3390/nursrep14010032.
- 2) Kowatari M, Yoshitomi H, Nagamoto K, Nakagami K, Moritake T, Kunugita N. CHARACTERISATION OF SMALL RADIOPHOTOLUMINESCENCE DOSEMETER IN TERMS OF HP(0.07) FOR EXTREMITY DOSE MONITORING OF MEDICAL PERSONNEL. Radiat Prot

Dosimetry. 2023;199(15-16):1807-1812, doi 10.1093/rpd/ncac259.

3) Nagamoto K, Moritake T, Kowatari M, Morota K, Nakagami K, Matsuzaki S, Nihei S, Kamochi M, Kunugita N. Occupational radiation dose on the hand of assisting medical staff in diagnostic CT scans assisting medical staff in diagnostic CT scans. Radiation Protection Dosimetry. 2023; 199(15-16): 1774-1778, doi. 10.1093/rpd/ncad028.

4) Nagamoto K, Kawachino T, Suetsugu Y, Saruwatari H, Nihei S, Kunugita N. Eye lens dose in spine surgeons during myelography procedures: A dosimetry study. Journal of Radiological Protection. 2023; 43(4): 041509, doi 10.1088/1361-6498/ad0b3a.

2. 学会発表

1) 日野陵介, 池田新, 日野陵介, 中尾海太, 長川彩香, 樋口拓杜, 金子順一, 小野孝二, 新井知大. IVR に従事する医療関係者の同線及び滞留時間の測定に用いる赤外線人感センサの性能評価. 第 50 回日本放射線技術学会秋季学術大会. 2022 年 10 月 9 日.

2) 栗山知子, 盛武敬, 茂呂田孝一, 中上晃一, 人見剛, 松崎賢, 永元啓介, 樺田尚樹. Interventional radiology の環境要因が看護師の水晶体被ばくに与える影響-3 病院のデータ解析-. 第 38 回日本脳神経血管内治療学会学術集会. 2022 年 11 月 10 日.

3) 松崎賢, 盛武敬. 医療現場における放射線防護教育. 第 96 回日本産業衛生学会自由集会 医療従事者のための産業保健研究会. 2023 年 5 月 12 日.

H. 健康危険情報

なし

G. 知的所有権の取得状況

なし

II. 分担研究年度終了報告

労災疾病臨床研究事業費補助金
「放射線防護マネジメントシステムの適用と課題解決に関する研究」
令和5年度 分担研究報告書

放射線 MS 導入支援事業への研修・教育資料の提供

研究代表者 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
研究協力者 中上 晃一 産業医科大学病院放射線部
研究協力者 茂呂田 孝一 社会医療法人財団池友会新小文字病院放射線科

研究要旨

目的：本研究班では、医療従事者の放射線防護の取組の一手段として、労働安全衛生マネジメントシステム（OSHMS：Occupational Safety and Health Management System）の導入を前提として作成された、放射線防護および被ばく管理に特化したマネジメントシステム（放射線防護マネジメントシステム、以下「放射線 MS」という）の医療機関への導入支援に関与している。放射線 MS 導入支援事業は、公益財団法人原子力安全技術センターが厚生労働省から受託し、2020 年度より事業を実施している。本研究班はこの導入支援事業で使用する研修・教育資料を作成、提供することとなっている。本年度は、既存の研修・教育資料のブラッシュアップおよび新規の研修・教育資料の作成を行った。

方法：放射線 MS 導入支援事業では、2020 年度から継続実施されている基礎研修（3 回シリーズのステップ・バイ・ステップ研修）と、2023 年度に新規開始された専門研修を実施している。基礎研修の研修・教育資料は 2020 年度の開始時に作成されたが、より教育を効果的・効率的・魅力的に実施するためには内容の追加や、取り扱う内容の順序の変更等が必要と考えられ、今年度、ブラッシュアップした。専門研修として、放射線 MS 導入がある程度進んだ時点で必要となる内部監査に関する新規の研修・教育資料を作成した。

結果：基礎研修用の研修・教育資料の改訂は、昨年度までの研修における課題（リスクアセスメントを自機関で実際に実施する前に練習し、かつ正しくできているか確認する機会がないこと）を解決するため、実際に放射線業務が行われている場の写真を見せてリスクアセスメントの練習を行う、アクティブ・ラーニングを取り入れた研修とした。専門研修用の研修・教育資料の作成では、内部監査について、良好事項、要改善事項、改善推奨事項を組み込んだ動画を作成した。

考察：研修後に実施したアンケート（放射線 MS 導入支援事業を主催する公益財団法人原子力安全技術センターが作成）から、研修・教育資料に係る内容を抜粋し、研修・教育資料について考察した。基礎研修では、特に第 1 回は、初めてマネジメントシステムについて話を聞く受講者がほとんどであることを考えると、事前課題を準備する等して講義時間を現在よりも短くする、1 回あたりの時間を短くし回数を増やす等、今後も同様の研修が実施されるのであれば、研修の組み立ての工夫が必要と思われた。専門研修では、動画は具体的場面での対話をメインに作成したが、実践的で理解しやすかったと一定の評価が得られ、動画の意図がある程度伝わったものとする。

結論：本年度は、放射線 MS 導入支援事業に提供している既存の研修・教育資料のブラッシュアップおよび新規の研修・教育資料の作成を行った。今回提供した研修・教育資料に関して、否定的な意見はほとんど聞かれなかったが、アンケート結果を参考に、資料のみならず研修全体の組み立てに関しても改良を加えることも必要かもしれない。また、集団教育には限界があり、機関毎にスモールステップを重ねるような放射線 MS 導入の具体的な手順を示すことや、放射線 MS 導入が中断しないようにフォローする個別支援を行うことも、今後有用と考える。

A. 研究目的

本研究班では、医療従事者の放射線防護の取組の一手段として、労働安全衛生マネジメントシステム（OSHMS: Occupational Safety and Health Management System）の導入を前提として作成された、放射線防護および被ばく管理に特化したマネジメントシステム（放射線防護マネジメントシステム、以下「放射線MS」という）の医療機関への導入支援に関与している。放射線MS導入支援事業は、公益財団法人原子力安全技術センターが厚生労働省から受託し、2020年度より事業を実施している。本研究班はこの導入支援事業で使用する研修・教育資料を作成、提供することとなっている。本年度は、既存の研修・教育資料のブラッシュアップおよび新規の研修・教育資料の作成を行った。

B. 研究方法

放射線MS導入支援事業では、2020年度から継続実施されている基礎研修（3回シリーズのステップ・バイ・ステップ研修）と、2023年度に新規開始された専門研修を実施している。基礎研修の研修・教育資料は2020年度の開始時に作成されたが、より教育を効果的・効率的・魅力的に実施するためには内容の追加や、取り扱う内容の順序の変更等が必要と考えられ、今年度、ブラッシュアップした。専門研修として、放射線MS導入がある程度進んだ時点で必要となる内部監査に関する新規の研修・教育資料を作成した。

①基礎研修用の研修・教育資料の改訂

2022年度に報告したように、放射線MS導入支援事業に参加する医療機関は、「マネジメントシステム」事態に馴染みのない医療機関が多かった。放射線MSの導入のモチベーションは、医療機関によりさまざまと考えられた。今回は、インストラクショナルデザインのADDIEモデル(Analysis-Design-Development-Implementation-Evaluation)の手続きに則り、研修・教育資料を開発した。また、研修・教育資料の開発においては対象者分析に基づき、ARCSモデル(Attention, Relevant, Confidence, Satisfaction)を念頭に資料を開発した。

②専門研修用の研修・教育資料の作成

専門研修では内部監査を取り上げることとなったが、労働安全衛生マネジメントシステムが導入されている機関は少なく、内部監査という仕組みに馴染みのある機関も少ないと思われる一方、病院機能評価や臨床検査室の認定（ISO 15189）等で外部評価委員による審査は経験している機関は多いと考えられた。外部評価委員による審査ではなく、内部のメンバーによる相互監査となることを踏まえて、内部監査の説明資料に加え、以下

の内容の動画を作成した：オープニング（内部監査の目的）、基本方針の確認、リスクアセスメントについて、教育訓練について、法令遵守について、クロージング（報告、まとめ、意見交換）。

C. 研究結果

①基礎研修用の研修・教育資料の改訂

作成した教育設計書を表1に示した。対象者分析で受講者像を具体的にし、研修のゴールとその評価指標を定めた。改訂前は、1回目の研修でリスクアセスメントの説明をするが、例題を使用してリスクアセスメントを研修中に実際に実施することはなく、2回目の研修までの課題として自機関の全放射線業務従事者についてリスクアセスメントを行うこととなっていた。2022年度は、2回目の研修までにリスクアセスメントした結果をあらかじめEメールで提出していただいたが、放射線業務従事者数とリスクアセスメント実施数が合っていなかったり、点数とリスク分類が合っていなかったりする機関が少なからず見られた。リスクアセスメントを自機関で実際に実施する前に練習し、かつ正しくできているか確認する機会がないことは、昨年度までの研修の順序における課題と考え、解決を図った。講師による講義の中での説明だけではリスクアセスメントを正しく実施するのは難しいと考え、実際に放射線業務が行われている場の写真を見せてリスクアセスメントの練習を行う、アクティブ・ラーニングを取り入れた研修とした。

②専門研修用の研修・教育資料の作成

内部監査について、良好事項、要改善事項、改善推奨事項を組み込んだシナリオを作成し、研究代表者及び研究協力者が出演した。合わせて、内部監査チェックリスト、動画教材の会話に連動した注目ポイントをマークしたシステム文書および実施要領、シナリオとその意図を記述した資料を作成した。

D. 考察

研修後には、参加機関を対象にアンケートがとられた。アンケートは、放射線MS導入支援事業を主催する公益財団法人原子力安全技術センターが作成、配布、回収、集計したデータを、研究班へ提供いただいた。アンケートは、基礎研修、専門研修ともに同じ構造で、研修会について（満足・やや満足・普通・やや不満・不満）、研修の進め方（分かり易かった・やや分かり易かった・普通・やや分かり難かった・分かり難かった）、研修のボリューム（多かった・やや多かった・普通・やや少なかった・少なかった）、講師の話し方（分かり易かった・やや分かり易かった・普通・やや分かり難かった・分かり難かった）、講義のまとめ方

(整理されていた・大体整理されていた・普通・あまり整理されていなかった・整理されていなかった)、教材のまとめ方(整理されていた・大体整理されていた・普通・あまり整理されていなかった・整理されていなかった)、教材のボリューム(多かった・やや多かった・普通・やや少なかった・少なかった)の7問および自由記載が聴取された。研修後のアンケートから研修・教育資料に係る内容を抜粋し、研修・教育資料の改善点について考察した。

基礎研修は、第1回108名、第2回100名、第3回90名分の回答が回収できた。基礎研修の研修・教育資料に関する評価を表1に示した。自由記載で記述された内容のうち、研修・教育資料に係るものを抜粋した。

- 基本は大病院を中心とした内容となつていますが、マンパワーが少ないところやマネジメントの対象となるスタッフがそれほど多くないところなどは進め方が変わるかなと思っています。そういったところのモデルケースがあるとうれしいです。
- 被ばく線量が多い場合の例えはよく出ていたが、当院のようにほとんど被ばくはない病院の場合、どこに重きを置いて管理や被ばくの研修などをしたらいいのかという話もしていただきたいと思いました。
- 文書体系のファイル数が多く、文書作成や管理に非常に多くの作業が必要となるような印象を受けます。要領はまとめて数ファイルにしても良いように思います。

基礎研修のゴールに挙げたリスクアセスメントがどの程度正しくできるようになっているかだが、確認する機会がなかったため、評価できていない。放射線MS導入支援事業では研修・教育資料作成者、研修講師、研修主催者が異なるため、研修主催者が研修・教育資料作成者と協議した上で、研修・教育資料作成者が設定した評価方法をアンケート等に取り入れなければ、研修の効果を評価することはできなかった。研修主催者と研究・教育資料を作成した研究班とが、より密に連携することが必要であった。

アンケート結果からは、第1回については、初めてマネジメントシステムについて話を聞く受講者がほとんどであることを考慮すると、現在の1回3時間の研修は長く、ボリュームも多く、内容も煩雑に感じやすかった可能性が考えられた。受講には必須のコンパクトな事前課題を準備することで第1回は2時間に抑え、2回目、3回目の講義時間は3時間に維持する、1回2時間の4回コースにする等、今後も同様の研修が実施されるのであれば、研修の組み立ての工夫が必要と思われた。現在提供している放射線MSモデル文書

は、以前の労災疾病研究(代表：樺田尚樹)の成果物であるが、実施要領は多岐にわたり文書の準備ですでに辟易してしまう可能性は否めない。放射線MS導入支援事業では、まずはリスクアセスメントから初め、リスクに応じた線量管理、低減対策を実施してほしいというメッセージは示していたが、研修で取り扱う大量の文書を自機関に落とし込んでシステム文書、実施要領を作成しなければならないという点と、矛盾を感じられた機関もあったのかもしれない。求めのあった場合には機関毎に、スモールステップを重ねるような導入の具体的な手順を示したり、導入の伴走をしたりする取り組みが、今後有用と考える。

専門研修は、49名分の回答が回収できた。専門研修の研修・教育資料に関する評価も表1に示した。自由記載で記述された内容のうち、研修・教育資料に係るものを抜粋した。

- 当院の実情では内部監査をする体制としてはまだ先の話ですが、参考になりました。医師をはじめマネジメント層も被ばく管理についてそこまで意識がなく、施設規模もそこまで大きくないのでマネジメントシステムの運用も内部監査も放射線技術部内(技師)でやるのが想像されます。施設全体の関心事業として認知されるにはどうしたらよいか？スモールステップとして技師だけでも初めて行くことが大事なのか？当院のような施設規模(200床)やクリニックなどモデルケース別のアプローチがあると参考になります。
- 非常にわかりやすく事例動画などより実践に活用できないようでとても勉強になりました。
- 内部監査の方法がビデオで視覚的に流されていたので、理解しやすい内容でした。インタビューのあり方も常に対話方式であくまでも対等な立場で構成されているのが、分かりやすかった。

動画は、具体的場面での対話をメインに作成したが、実践的で理解しやすかったと一定の評価が得られ、動画の意図がある程度伝わったものと考えられる。放射線MSの導入のはじめのステップとして、組織トップの方針の明示が求められる。機関全体として導入に取り組むのが理想的な姿と考えるが、機関毎に事情は異なり、その中でいかにスムーズに導入を進めるかを検討する必要がある。一部の担当者の方に負担が偏ってしまわないことが肝要と考える。準備が整っていなければ、時間をかけてゆっくり進めることも必要となる。これらの助言をしながら、放射線MS導入が中断しないようにフォローする個別支援も、今後有用と考える。

E. 結論

本年度は、公益財団法人原子力安全技術センターが厚生労働省から受託し、2020 年度より事業を実施している放射線 MS 導入支援事業に提供している既存の研修・教育資料のブラッシュアップおよび新規の研修・教育資料の作成を行った。今回提供した研修・教育資料に関して、否定的な意見はほとんど聞かれなかったが、アンケート結果を参考に、資料のみならず研修全体の組み立てに関しても改良を加えることも必要かもしれない。また、集団教育には限界があり、機関毎にスモールステップを重ねるような放射線 MS 導入の具体的な手順を示すことや、放射線 MS 導入が中断しないようにフォローする個別支援を行うことも、今後有用と考える。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

H. 知的財産権の出願・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

表 1 基礎研修、専門研修の感想

		基礎研修			専門研修
		第1回	第2回	第3回	
教材の まとめ方	整理されていた	36	35	38	17
	大体整理されていた	51	44	39	24
	普通	29	19	13	8
	余り整理されていなかった	2	2	0	0
	整理されていなかった	0	0	0	0
教材の量	多かった	20	11	14	1
	やや多かった	53	40	37	19
	普通	35	49	39	29
	やや少なかった	0	0	0	1
	少なかった	0	0	0	0

項目			内容				
A ブロック	1	テーマ	放射線防護マネジメントシステム導入研修会				
	2	対象者属性	放射線防護マネジメントシステムをこれから導入する医療機関の担当者 OSHMS 含め、マネジメントシステムにはなじみのないものが多いと想定される。 リスクアセスメントもあまりなじみがないと考えられる。				
	3	職種等	診療放射線技師が多いと考えられる。				
	4	所要時間 会場	研修時間は120分 Web				
B ブロック	5	実施理由	電離則改正にともない、各医療機関での放射線被ばく管理を厳密に行ったうえで、特に水晶体の被ばく線量限度を超える可能性のある者をきちんと抽出し、適切な防護対策を行い、被ばく線量を低減される必要があり、その1つの手法として放射線防護マネジメントシステムの導入がすすめられているため。				
	6	対象者分析	(①できる・知っている・できない・知らない、②どんな日常？、③関心がある・ない) ①日々の診療で使用する放射線発生装置の取り扱いには自信があり、よく知っている。放射線防護の必要性も知っている。マネジメントシステムおよびリスクアセスメントについてはほとんど知らないと思われる。 ②検査や治療に際し、放射線発生装置を操作している。勉強もよくされている方が多い。 ③医療安全については関心が高いが、労働安全についてはその関心の度合いは人による。				
	7	ゴール	(何を・どんな条件で・どの程度 できるようになる) ※課題の分類【知識とその応用／運動／情意】 ①放射線防護マネジメントシステムの構造および文書体系を理解する。 ②リスクアセスメントの方法を理解し、正しくリスクアセスメントできる。				
	8	評価方法	(ゴールの裏返し) ①放射線防護マネジメントシステム及び下位文書に含まれる項目を資料を参考に3つ挙げられる。 ②放射線業務の写真を見て、資料を参考にリスクアセスメントを行い正しい点数をつけられる。				
Cブロック					Dブロック		備考 AL: active learning
プログラムと 教育法	①区分	②項目	③内容(単元のゴール)	④方略(教え方・進め方)など	⑤start	⑤net	
	導入	オリエンテーション	研修の流れとワークの説明	講義とリスクアセスメントの実践を行うことを説明する	0	5	
	導入	放射線防護に関する現状の共有	放射線防護に関する自主点検結果を共有し自機関の状況を振り返る	講義形式で説明	5	10	

	展開	電離則改正と放射線防護マネジメントシステムの関連	電離則の改正と放射線防護マネジメントシステムの関連を理解する	講義形式で説明	15	15	
	展開	一般的なマネジメントシステムの説明	一般的なマネジメントシステムの概要(文書体系)を理解する 構成要素としてリスクアセスメントが重要であることを理解する	講義形式で説明	30	20	
	展開	放射線防護マネジメントシステムの説明	放射線防護マネジメントシステムの概要(文書体系)を理解する 放射線防護マネジメントシステムにおけるリスクアセスメントの仕方がわかる	講義形式で説明	50	15	
	展開	放射線防護マネジメントシステムのリスクアセスメントの実践	例題について、リスクアセスメントを個人毎に実施し、答え合わせする	ワーク	65	15	AL
	展開	放射線防護マネジメントシステムの詳細の説明	放射線防護マネジメントシステムの各部分を理解する	講義形式で説明	80	30	
	まとめ	まとめと次回への課題	次回までにすることがわかる	講義形式で説明	110	10	
					120		
	補足	リスクアセスメントの実践にかかる時間は、参加者の反応を見ながら調整する。 可能であれば、Zoomでもブレイクアウトルームに分け、他機関からの参加者と意見交換出来る時間を作る。 導入部分の自主点検に係る説明部分は、可能であれば、自機関の自主点検結果を持参していただきそれを見ながら聞いていただく。					

内部監査（インタビュー）におけるポイント

1. 手順

- 1) インタビュアーの自己紹介
- 2) インタビューへの協力に対する謝意を表明
- 3) インタビューの目的の説明と同意の取得（録音/録画することを含む）
- 4) インタビュー実施（録音/録画する）
- 5) インタビュー終了後、「取り上げてほしくない項目はないか」を聞く（録音/録画する）※ここで本音を聞けることがある。
- 6) 改めてインタビューへの協力に対する謝意を表明
- 7) 不明点が出た場合には、改めて協力をお願いしたい旨を伝える
- 8) 挨拶とお礼

2. 基本として押さえておきたいこと

1) チェックリストに沿って質問する

- チェックリストに示した確認事項について、確認方法を元に進める
- 確認した事項についての判定、特記事項についてメモをする

2) 事実を確認する

- 確認が不十分なまま、次の質問に移らない
- 文書での確認も交える（必要に応じて現場調査を行う）

3) 全体的な時間配分に配慮する

- 1つの事項の確認に時間を取られ、調査すべき事項に抜けがないようにする

3. 上手く被監査者の話を引き出すテクニック

1) 単純に「はい、いいえ」で答えられる質問に終始しない

- 被監査者側の状況を引き出す為に、大枠の質問を行い具体的な質疑で確認しオープンクエスションを用いながら、課題・好事例・工夫点を引き出す
- 話す割合は、監査員3：被監査者7になるよう心がける

2) 被監査者が答えやすいように質問を工夫する

- 相手が聞き取りやすく明確に質問する
- 一度にたくさんのことを質問せず、また質問攻めにしない

3) 詰問口調でなく、和やかな雰囲気で質問する

- 被監査者の顔を見ながら（アイコンタクト）、うなずき、あいづちを行う
- 被監査者の説明を途中でさえぎらず、傾聴を心がける
- 具体的なテクニック

- ① 「このチェックリストで自己点検してみてどうでしたか？」
→開かれた質問でチェックリストの活用について広く聴取する
- ② 「自己点検で新たな気づきがありましたか？」
→チェックリストの活用の効用を聴取する
- ③ 「点検項目にはないことで特に有効だった取り組みはありますか？」
→チェックリスト以外の有効事例を聞き取る

4. 終了（まとめ）時のポイント

1) 監査を通じての指摘事項とその理由、及びそれに対する助言を伝える

- 明らかな指摘事項があった場合は、監査員と被監査員の改善策を話し合った結果を伝える。

2) 見つけた好事例を伝える

- 問題点の指摘だけに終わらず、被監査部門の良い活動（好事例・工夫点）を褒める。

3) 仮の監査結果であることを伝える

- 正式な監査結果は、報告書として後日提示することを伝える

MS評価項目

No.	大項目	中項目	小項目（チェック項目）	確認方法及び判定方法
1	マネジメントシステムの導入	①トップの方針のもとに、放射線防護マネジメントシステムが導入され、放射線業務従事者に対する放射線防護の仕組みを継続的に改善している。	トップの方針は示されているか？	システムマニュアルや規定で方針を確認 ○記載されている。 ×記載されていない。
			マネジメントシステムを構成するシステムマニュアルや実施要領等の文書類が整備されているか？	システムマニュアル文書類が作成されていることを確認 ○文書類が作成されている。 ×文書類が作成されていない。 システムマニュアル文書類が必要に応じて更新されていることを確認 ○文書類が更新された場合は更新の記録がある。 ×文書類が更新された場合の更新の記録がない。
			放射線防護に関する目標が定められ、目標達成のための年間計画が作成されているか？	放射線防護に関する年間計画を確認 ○年間計画が作成されている。 ×年間計画が作成されていない。
2	放射線管理者の選任、組織的位置づけ、職務権限	②院内に必要な能力を備えた放射線管理者が選任されており、組織上の位置付けが明確になり、放射線防護に関する活動を円滑に遂行する上で必要な職務権限が与えられている。	放射線管理者が選任されているか？	選任の記録を確認 ○放射線管理者の欄に名前の記載がある。 ×放射線管理者の欄に名前の記載がない。
			放射線管理者は、必要な能力を備えているか？（MS導入支援研修に参加している）	研修会の修了証を確認 ○修了証がある。 ×修了証がない。
			放射線管理者は、衛生委員会の委員になっているか？	衛生委員会の委員名簿を確認 ○委員である。 ×委員ではない。
3	教育・訓練・コンピテンシー	③放射線業務従事者に放射線防護マネジメントシステムや被ばく低減方法に関する教育・訓練が実施されている。	教育・訓練の対象者を規定しているか？	教育・訓練対象者リストを確認 ○記載されている。 ×記載されていない。
			教育・訓練が規定されている対象者に実施されているか？	教育・訓練参加者リストを確認 ○参加率が80%以上がある。 △参加率が50%以上、80%未満である。 ×参加率が50%未満である。
			教育・訓練が年間計画に組み込まれているか？	放射線防護に関する年間計画を確認 ○年間計画に組み込まれている。 ×年間計画に組み込まれていない。
			教育・訓練において、放射線防護マネジメントシステムについて説明されているか？	教育資料を確認 ○教育資料でMSについての記載がある。 ×教育資料でMSについての記載がない。
4	法令遵守	④関連法令が確実に順守されていることが確認されている。	関係法令リストが作成されているか？	関係法令リストを確認 ○作成されている。 ×作成されていない。
			関係法令に関し、新規施行や改正が確認されているか？	関係法令リストの更新の記録を確認 ○更新が記録されている。 ×更新が記録されていない。
			法令の改正に対応する手順が定められているか？	実施要領を確認 ○記載されている。 ×記載されていない。
5	法令遵守（被ばく線量モニタリング）	⑤適切な個人被ばく線量計の装着ができる環境整備が行われ、個人被ばく線量計による個人被ばく線量の評価が確実に実施されている。	個人線量計配布の対象者が規定されているか？	システム文書、実施要領を確認 ○記載されている。 ×記載されていない。
			個人線量計配布、回収のリストがあり、個人線量計配布対象者で漏れている者はいないか？	個人線量計配布、回収リストを確認 ○漏れている者がいない。 ×漏れている者がいる。
			被ばく線量リストがあるか？	被ばく線量リストを確認 ○被ばく線量リストがある。 ×被ばく線量リストがない。
6	リスクアセスメント	⑥放射線業務従事者の各個人に存在する放射線被ばくに対するリスクアセスメントが実施されている。	リスクアセスメントの方法が規定されているか？	システム文書、実施要領を確認 ○記載されている。 ×記載されていない。
			リスクアセスメントの実施が年間計画に組み込まれているか？	放射線防護に関する年間計画を確認 ○年間計画に組み込まれている。 ×年間計画に組み込まれていない。
			リスクアセスメント結果に基づき、優先順位を決めて、対策するリスクを抽出しているか？	リスクアセスメント表を確認 ○実施されている。 ×実施されていない。
7	リスク低減対策	⑦リスク低減対策が、計画的に、適切に実施されている。（≒リスクを一定レベル以下に低減するとともに、残存リスクに対しても高い管理状況である）	リスク低減対策が年間計画に組み込まれているか？	放射線防護に関する年間計画を確認 ○年間計画に組み込まれている。 ×年間計画に組み込まれていない。
			リスク低減対策が実施されているか？	リスク低減対策実施表を確認 ○実施されている。 ×実施されていない。
			残存リスクがリスト化され、管理されているか？	残存リスク管理表を確認 ○管理されている。 ×管理されていない。
8	労働者の健康影響評価	⑧放射線業務従事者に対する健康診断（電離放射線健診）が適切に実施されている。	電離放射線健診の対象者が規定されているか？	システム文書、実施要領を確認 ○記載がある。 ×記載がない。
			電離健康診断の対象者に対し、必要項目が6カ月以内毎に実施されているか？	電離放射線健診実施リストを確認 ○対象者・日時・項目等を含む実施リストがある。 ×対象者・日時・項目等を含む実施リストがない。
			電離健康診断について、異常の所見があった場合は医師からの意見聴取がなされ、必要に応じて就業上の措置が実施されているか？	電離健康診断個人票を確認 ○就業区分が記載されており、必要に応じて就業上の措置がなされておりその記録がある。 △就業区分が記載されているが、必要の際に就業上の措置がなされたか不明である。 ×就業区分が記載されていない。
9	危機管理機能時の労務	⑨想定事象が発生したのち、早期に的確な措置が実施されている。（各施設で設定した想定事象）	想定事象を明確にしている。	想定事象対応表を確認 ○対応表がある。 ×対応表がない。
			対応方法が文章として明記されている。	想定事象対応表を確認 ○対応方法が明記されている。 ×対応方法が明記されていない。
			実施記録がなされている。	想定事象対応表を確認 ○実施記録が明記されている。 ×実施記録が明記されていない。 一想定事象が発生していない。

監査員の質問（例） （「○」がついている質問は、MS 評価項目に対応する質問です）

1. 基本方針について

1) ○トップの方針は、マニュアルや規定に記載されていますか？

→システムマニュアル 1.4.1 基本方針の記述を確認

【可能であれば追加】システムマニュアル 1.4.2 文書化と周知の内容について、具体的に質問するとよい。

2) ○下位文書は作っていますか？

→システムマニュアル 3.4.2 文書体系の表の要領、基準、様式が作成されているかを確認

3) ○マニュアル等の更新管理はなされていますか？

→実施要領等制定・改廃事務取扱要領（要領 3-4-1）に記載されている更新の管理方法が、実践されているかを確認

4) ○年間計画が作成され、書き込まれていますか？

→年間計画表を確認

【可能であれば追加】年間目標表とあわせて確認し、目標を達成するために必要な事項が実施項目に含まれているか確認するとよい。

【可能であれば追加】放射線防護マネジメントシステムを複数年継続運用している場合は、ずっと同じ年間目標が不達成にもかかわらず特別テコ入れなく漫然と書かれていないか、100%達成されている目標が据え置かれていないか等も確認するとよい。

*** 動画のポイント ***

必要なことが、マニュアルや実施要領に記載されていること、実施要領通りの運用ができていることが確認できた

（今後システムマニュアルや実施要領に変更、更新があった場合の管理方法についても言及した）

2. リスクアセスメントについて

1) ○リスクアセスメントについての実施要領は作成されていますか？

→放射線被ばくリスクアセスメント実施要領（要領 2-1-1）があることを確認

→リスクアセスメントの具体的な実施方法の記述を確認

2) ○リスクアセスメントは年間計画に入っていますか？

→年間計画表を確認

3) ○リスクアセスメントの結果はどのようにまとめていますか？

→リスクアセスメント表を確認

4) リスク 3（高リスク）の判定方法について教えてください。

5) リスク 3（高リスク）の従事者への対策について教えてください。

*** 動画のポイント ***

実施要領にリスクアセスメントの対象、実施方法、リスク判定方法等が詳細に記述されており、実施要領等の追記、修正の必要はないことが確認できた

3. 教育訓練について

1) ○教育の対象者をどのように決めていますか？

→教育訓練実施要領（要領 3-2-1）の対象者に関する記述を確認

2) ○教育の対象者について要領に記載していますか？

→教育訓練実施要領（要領 3-2-1）の対象者に関する記述を確認

3) ○教育訓練を行った時の参加者リストはありますか？

→教育・訓練対象者リストが作成されているかを確認

4) ○教育訓練を行った時の参加率は何%ですか？

→教育・訓練対象者リストの記述内容を確認

5) 欠席者が出席しやすい工夫をしていますか？

6) Web での教育訓練を受講した人の参加を確認していますか？

7) ○教育訓練について年間計画に記載してしますか？

→年間計画表を確認

8) 教育訓練について工夫点などあれば教えてください。

9) ○教育訓練の中でマネジメントシステムについて説明していますか？

→教育資料で確認

10) 教育訓練で使用する資料はありますか？

*** 動画のポイント ***

実施されている教育について、効果がありそうで継続したいと考えている方法を、実施要領に詳細に手順を追記することをお勧めした

4. 法令遵守（被ばく線量モニタリング、個人線量計）について

1) ○個人被ばく線量計装着の対象者について要領に記載されていますか？

→個人線量計装着状況確認実施要領（要領 4-1-1-1）の対象者に関する記述を確認

2) 個人被ばく線量計を装着していますか？

3) 個人被ばく線量計装着の対象者について、医師・看護師・診療放射線技師以外の職種を教えてください。

4) 医師の装着率向上に向けて工夫をしていますか？

5) ○個人被ばく線量計が適切に配布されていますか？漏れている方はいませんか？

→個人線量計装着状況確認実施要領（要領 4-1-1-1）の線量計の配布に関する記述を確認

6) 看護師で配布されていない場合、対応策はどのようにしていますか？

7) ○個人被ばく線量計は回収できていますか？

→個人線量計配布、回収リストを確認

8) 個人被ばく線量計をなくした場合、個人の弁償としていますか？

9) ○被ばく線量の管理について、リスト化したものはありますか？

→被監査者から提出されたリストを確認

10) 被ばく線量の高い従事者への線量報告方法で工夫している点はありますか？

*** 動画のポイント ***

現在の方法で、問題がありそうな点について詳しく尋ね、解決策を考えてもらうヒントを話し、
現場で検討した上で、実施要領に詳細に手順を追記することをお勧めした

労災疾病臨床研究事業費補助金
「放射線防護マネジメントシステムの適用と課題解決に関する研究」
令和5年度 分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく管理マネジメントシステムの背景と課題に関する考察

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研究室 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】医療機関における放射線被ばく管理の方策として、放射線防護マネジメントシステム（放射線MS）の開発を行い、厚生労働省事業委託事業「放射線被ばく管理に関するマネジメントシステム導入支援事業（導入支援事業）」と連携しながら、継続的な取り組みを行ってきた。本年度は、これまでの研究および放射線MS導入支援事業での経験や観察事項をもとに、放射線MSを前提とした放射線被ばく管理の課題について考察を行った。

【医療機関における放射線被ばく管理マネジメントシステムの背景と課題に関する考察】

多くの医療機関において放射線被ばく管理が適切に行われていない実状を前提とした際、眼の水晶体の等価線量限度の大幅な低減を中心とする改正電離放射線障害防止規則を順守し、適切な放射線被ばく管理を行うためには、放射線MSの導入が有効である。MSは、トップのリーダーシップのもと目標を決め、状況に応じて計画を立案して、継続的な改善を図る仕組みが包含されている。MS導入における初期のハードルを低くするため、研究班で開発したモデル文書を含むツールと導入支援を目的とした研修を実施したことによって、積極的にプログラムに参加した医療機関においては、適切な放射線被ばく管理が実施され、さらに継続的に改善が図られていることを確認した。しかし、規則の改正前とほとんど変わらない機関も少なくない現状を考えると、支援を前提とした取り組みに加えて、労働基準監督署の査察や医療監査等の行政の監督を強化することが必要と考えられた。

A. 目的

これまで、労働安全衛生マネジメントシステム（Occupational Health and Safety Management System; OHSMS）の導入を前提とした医療機関の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た。この取組は、厚生労働省事業委託事業「放射線被ばく管理に関するマネジメントシステム導入支援事業（放射線 MS 導入支援事業）」の教材に選ばれ、令和 5 年度まで継続的な取組に利用されている。

最終年度である本年度は、これまでの研究および放射線 MS 導入支援事業での経験や観察事項をもとに、放射線 MS を前提とした放射線被ばく管理の課題について考察を行った。

B. 医療機関における放射線被ばく管理マネジメントシステムの背景と課題に関する考察

1. MS を用いた放射線被ばく管理の背景

2021 年 4 月 1 日、改正電離放射線障害防止規則が改正された。この改正は、国際放射線防護委員会（ICRP）が 2011 年に発表した「組織反応に関する声明」において、計画被ばく状況にある職業被ばくに関する水晶体の等価線量限度について、「定められた 5 年間の平均で 20mSv/年、かついずれの 1 年においても 50mSv/年を超えない」ことを勧告したこと、また、その勧告内容が国際原子力機関（IAEA）の「放射線防護と放射線源の安全：国際基本安全基準」に取入れられたことを受けての対応によるものである。1 年間の等価線量限度が 150mSv を超えないことであったことと比べると、7 分の 1 未満になるため、大幅な低減が必要となった。

比較的高線量の被ばくが想定される対象には、原子力事業者と医療機関がある。原子力事業者においては、適切な管理がされており、この基準の適用は可能であることが早期から認識されてい

た。しかし、医療機関における調査においては、線量限度を順守以前に、そもそも多くの医師が線量計を適切に装着せず電離放射線の被ばくを伴う検査を行っている実態が明らかになった。原子力事業者において線量計に着け忘れが報道対象となることに比べて、きわめて大きな実態および認識の差があることになる。また、被ばく状況自体が適切に評価されなければ、線量限度の順守状況を確認することが困難であり、当然のことながら ALARA（As Low As Reasonably Achievable）の原則に従った、被ばくの低減の動機は生じない。

そのようなきわめて不十分な放射線被ばく管理の状況が生じている背景には、医師の診療を優先して自身の健康管理をないがしろにする行動傾向、被ばく管理をするうえで重要な役割を果たす診療放射線技師と医師との関係、医療機関経営者や病院長の安全配慮に対する認識不足、線量計の購入を含む管理コスト等、さまざまな課題が想定された。

医師の裁量が大きい医療機関において確実な被ばく管理を行うためには、ただ単に医師に線量計の装着と被ばく低減を呼びかけるだけでは、線量計の適切な装着割合を高め、被ばく線量を管理することには限界があることは明らかであった。すくなくとも、ルールを定め、医療機関のトップがリーダーシップを取り、すべての医師に順守させ、継続的な改善によって被ばく線量の低減を図ることが必要となる。

マネジメントシステム（MS）は、品質管理、環境管理、情報管理、労働安全衛生管理といった分野に利用されている管理手法である。方針で明確にした目的を達成するために必要な達成事項や取組事項を明確にでき、そのプロセスを具体化しやすい管理対象には、有効な手段である。そのため、課題が大きい医療機関の放射線被ばく管理に MS を応用することが妥当と考えられた。

2. 放射線被ばく管理マネジメントシステムの導入支援

MS は、トップのリーダーシップのもと目標を決め、状況に応じて計画を立案して、継続的な改善を図る仕組みが包含されている。MS 導入においては、管理手法全体を表現したシステムマニュアルと下位文書を作成したうえで、それぞれの役割に合わせて研修を行うことが必要である。この文書化があるからこそ、管理手法が標準化でき、パフォーマンス評価や内部監査のプロセスにおいて、標準のずれが明らかになる。また、文書化されたルールやプロセスの存在によって改善対象が明確になる。一度、初期投資によって文書化ができれば、その後の運用コストはかえって減少するため、本来は効率的な手法である。医療機関における放射線被ばく管理の方策は比較的共通であることから、このような初期のハードルを少しでも低くするためにテンプレート化されたモデル文書の提供は有効な手段と考えられた。

MS を放射線被ばく防護管理に応用すれば、放射線被ばく防護管理 MS (Radiation Protection MS: 放射線 MS) となる。放射線 MS の取組事項の計画は、放射線被ばくに関するリスクアセスメントの結果と電離放射線障害防止規則等の法令順守をもとに立案される。また定量的なリスクアセスメントの実施または定性的なリスクアセスメントの妥当性の検討、法令の確実な順守のためには、適切な線量計装着は不可欠である。また、リスクが高い場合のリスク低減の手法についても、良好実践事例が参考になる。そのため、上述のモデル文書に加えて、リスクアセスメントの手法、不均等被ばく状況における被ばく線量のモニタリング方法、リスク低減手法等の技術事項の開発および提供も重要と考えられた。

医療機関の中には、ISO9001 (品質管理) や ISO14001 (環境管理)、ISO27001 (情報セキュリティ管理) といった、他の MS 導入経験がある機関がある。管理対象が異なっても MS の骨格はすべて同じであることから、そのような医療機関においては、比較的スムーズに放射線 MS の導入も図られる傾向があった。しかし、MS 導入の経験がない

医療機関が多いことから、モデル文書や技術情報に加えて、何らかの教育・研修の支援が必要となると考えた。

モデル文書の作成に当たっては、労働安全衛生マネジメントシステム (OHSMS) の国際規格である ISO45001 を骨格とした。ISO45001 は 2018 年に国際規格として公開され、日本の国内規格にも反映されている (JISQ45001)。ISO 規格においては、各国の関連委員から情報が出され、最終的に国際規格になるプロセスがあることから、ベストプラクティスとも言える。本来、放射線被ばく管理は、OHSMS で管理する健康障害要因のうち、物理的健康障害要因の一つであるため、放射線被ばく管理についても OHSMS の中で管理を行ったり、放射線 MS を発展させて OHSMS を導入したりする際、スムーズに移行できるようにすることを想定したものである。モデル文書は、システムマニュアルと下位文書で構成されるが、下位文書として 7 つの実施要領、4 つの基準、7 つの様式で構成される。また、リスクアセスメント手法のような技術情報は、可能な限りモデル実施要領内で表現した。

研修プログラムは、基本的な MS の理解とともに、モデル文書を用いて文書体系を作成、放射線 MS を導入を支援するような研修内容とした。参加医療機関は、次の研修までの間に、文書のカスタマイズや体制づくりを行い、それを持ち寄って検討し、理解と準備を深める方式である Step by Step 研修とした。導入後の PDCA においては、内部監査が重要な役割を持つことから、その方法についての研修も開発して実施した。このような研修は国の事業と連携して展開した。

3. 放射線被ばく管理マネジメントシステム運用のポイント

MS においては、組織体制の整備と関係者の役割の明確化が必要である。モデル文書は、それぞれの医療機関において、それらを定義できるようなテンプレート形式となっている。組織体制において既存の組織を利用するか、放射線被ばく管理の

ために新たな組織を整備するか、といった選択肢がある。既存の組織を使う場合、その組織の役割の中で相対的に重要度が低下するおそれがある。一方、新たな組織を整備した場合には、コストが相対的に大きくなり、また会議体を設定するための時間管理が負担となる。各医療機関においては、それぞれの実状に応じて、柔軟に対応がなされる必要がある。

MS は、必要な取組事項を計画に盛り込むことによって、その後の達成が担保される仕組みを持つ。まず、計画の立案には、リスクアセスメントの結果と順守すべき法令事項がインプットされる。放射線被ばく防護においては、リスクとして位置付けるものと、法令事項としてその順守を確実にすべき事項との関係を明確にして、計画に盛り込むことが必要となる。

計画の実施は進捗状況が管理され、その達成状況についてパフォーマンスが評価され、内部監査でシステム全体の課題が明らかになる。これらの評価結果は、トップが参加するマネジメントレビューが行われ、改善が提案される。つまり、計画に盛り込まれた事項が実施されていなければ、必ずその後の評価の過程でその課題が明らかになり、改善に結び付くプロセスを持っているため、実施すべき事項を計画に盛り込むことが重要となるというものである。しかし、MS の重要な仕組みは、マネジメントレビューにトップが参加する等、トップが高い関心を持っていることが MS の有効性に極めて大きな影響を与える。そもそも、方針はトップダウンで出されるものであり、その方針を出したトップが、その実現に興味を持たず、また資源を投資する意思決定をしない状況であれば、当然のことながら MS は機能しない。

4. 放射線被ばく管理マネジメントシステム導入支援の結果と課題

3年間の取り組みの過程で、放射線 MS を導入した医療機関の中には、MS の本質を理解し、医療従事者の被ばく管理を適切に行うとともに、より効果的に、低コストで放射線 MS を運用できるよ

うに継続的に改善を図っている機関がある一方、電離放射線障害防止規則の改正前とほとんど変わらない機関も少なくない。多くの課題や関心事を抱える医療機関の理事長や院長といったトップの関心を高めるための方策をより強化する必要がある。そのためには、労働基準監督署の査察や医療監査等の行政の監督の機会に、放射線被ばくの適切な管理に関する指導が行われる必要があると考えられる。

医療機関には、放射線被ばく管理のみではなく、職員の安全衛生に関する様々なハザードが存在する。医師の長時間労働の管理は、その典型である。それらのハザードに対して、適切な管理を行う必要がある。放射線 MS の導入は、前述のように医療機関の特徴を前提に提案したものであり、他のハザードの管理に対しても MS は有効と考えられる。放射線 MS を導入に成功した医療機関は、OHSMS に発展させて、より効率的な労働安全衛生管理に結び付けていくことが望まれる。

C. 結論

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プログラムが提供された。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られる。

労災疾病臨床研究事業費補助金
「放射線防護マネジメントシステムの適用と課題解決に関する研究」
令和5年度 分担研究報告書

産業保健上の課題の整理

研究代表者 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
研究協力者 中上 晃一 産業医科大学病院放射線部
研究協力者 茂呂田 孝一 社会医療法人財団池友会新小文字病院放射線科

研究要旨

目的：①放射線 MS 導入支援事業に参加した医療機関に回答を依頼した Web アンケートを集計して、労働者の放射線被ばく管理の状況を把握すること、②放射線 MS 導入が進んでいる医療機関に対してインタビューを行い、放射線 MS 導入の障壁となった要素を抽出し、その乗り越え方の一例を明らかにすること、を目的として研究を行った。

方法：①放射線 MS 導入支援事業に参加した医療機関に回答を依頼した Web アンケート：対象は、2023 年度に放射線 MS 導入支援事業に参加し、本研究のアンケートに回答し、情報を研究に用いることの同意が得られた医療機関である。各機関で選任された放射線 MS 導入支援事業の主担当者に Web アンケートの URL を送付し、回答を依頼した。②放射線 MS 導入が進んでいる医療機関に対してのインタビュー調査：放射線 MS 導入支援事業の研修会等でも放射線 MS 導入のトップランナーとして紹介されることの多い、医療法人社団愛友会 上尾中央総合病院を対象とした。院長、特任副院長（放射線担当）、関連病院グループ協議会放射線部部長のそれぞれから、放射線管理を含むマネジメントに係る考えを聴取した。また、実装研究のための総合フレームワークに準拠して作成したインタビューガイドに則り、放射線 MS 導入の主担当者（放射線技術科副科長）、実務担当者（放射線技術科係長および放射線技術科係員）、主担当者および実務担当者の上長（放射線技術科科長）に、インタビューを行った。

結果：①放射線 MS 導入支援事業に参加した医療機関に回答を依頼した Web アンケート：放射線 MS 導入支援事業に参加した医療機関のうち 33 機関からアンケートの回答が得られた。放射線業務従事者の選定基準が「ない」または「あるかわからない」機関が合わせて約 30%、不均等被ばくとなる放射線業務従事者全員に、放射線測定器が 2 個以上配布されてない機関（法令遵守ができていない機関）が約 30%、全ての放射線業務従事者について放射線測定器の装着状況を確認している機関が 50%以下、の問題が明らかとなった。②放射線 MS 導入が進んでいる医療機関に対してのインタビュー調査：院長（組織トップ）の強いリーダーシップが発揮されていること、MS と親和性の高い文書管理、内部監査の土壌が出来上がっていたこと、文書管理が就業時間内に実施する業務として設定されていること、放射線 MS 導入のチャンピオンが存在すること、放射線担当の副院長が配置されており医師にもトップダウンで指示が出せる体制であることが分かった。

考察：放射線 MS 導入支援事業に参加した医療機関に回答を依頼した Web アンケートで明らかとなった 3 つの問題点であるが、いずれ改善・解決には放射線 MS を適切に導入することが有効と考えられた。可及的速やかな放射線 MS の導入が期待される。今回インタビューした医療機関においては、放射線 MS の導入が進んだ背景には、組織トップのリーダーシップ、文書管理・内部監査を受け入れる風土・土壌、組織内で放射線 MS 導入を推し進める存在があることが分かった。翻って、他機関に簡単に展開し、一朝一夕に放射線 MS 導入を進められるノウハウがあるわけではないと考えられた。

結語：放射線 MS 導入に関し、医療機関ごとに事情、状況は異なるため、組織トップの明確な意思表示の下、各機関ができることを進めるとともに、外部の専門家や先進機関によるサポートを導入時に加え、自立して運営できるまで提供する仕組みが必要と考える。

A. 研究目的

本研究班では、医療従事者の放射線防護の取組の一手段として、労働安全衛生マネジメントシステム (OSHS: Occupational Safety and Health Management System) の導入を前提として作成された、放射線防護および被ばく管理に特化したマネジメントシステム (放射線防護マネジメントシステム、以下「放射線 MS」という) の医療機関への導入支援に関与している。本年度は、①放射線 MS 導入支援事業に参加した医療機関に回答を依頼した Web アンケートを集計して、労働者の放射線被ばく管理の状況を把握すること、②放射線 MS 導入が進んでいる医療機関に対してインタビューを行い、放射線 MS 導入の障壁となった要素を抽出し、その乗り越え方の一例を明らかにすること、を目的として研究を行った。

B. 研究方法

①放射線 MS 導入支援事業に参加した医療機関に回答を依頼した Web アンケート

【対象】

対象は、放射線 MS の導入に係る基礎研修 3 回 (9 月 25 日、10 月 2 日、10 月 23 日) および主に放射線 MS の導入状況を評価する内部監査に関する専門研修 (10 月 30 日) の計 4 回実施された放射線 MS 導入支援事業のうち、いずれか 1 つ以上に参加し、本研究の Web アンケートに回答し、情報を研究に用いることの同意が得られた医療機関である。なお、放射線 MS 導入支援事業はオンラインで実施されており、同一医療機関から複数端末で参加された場合もあり、参加数は端末数で計測した。

【方法】

該当する各機関で選任された放射線 MS 導入支援事業の主担当者に Web アンケートの URL を送付し、回答を依頼した。アンケートの内容は、次の通りである：医療機関の病床数、放射線業務従事者数、放射線業務従事者の選定基準の有無、放射線業務従事者の内訳 (医師・歯科医師、看護師、診療放射線技師、その他)、放射線業務従事者の線量測定：測定対象者の範囲、放射線測定器の配布者数、放射線測定器の配布者の内訳 (医師・歯科医師、看護師、診療放射線技師、その他)、不均等被ばく者の人数、不均等被ばく者の内訳 (放射線測定器を 2 個以上配布している者、放射線測定器を 1 個だけ配布している者、放射線測定器を配布していない者)、放射線測定器の装着状況の確認状況、2022 年度の放射線業務従事者の被ばく線量分布：実効線量、2022 年度の放射線業務従事者の被ばく線量分布：水晶体等価線量、2021 年度の放射線業務従事者の被ばく線量分布：実効線量、

2021 年度の放射線業務従事者の被ばく線量分布：水晶体等価線量、2020 年度の放射線業務従事者の被ばく線量分布：実効線量、2020 年度の放射線業務従事者の被ばく線量分布：水晶体等価線量、2019 年度の放射線業務従事者の被ばく線量分布：実効線量、2019 年度の放射線業務従事者の被ばく線量分布：水晶体等価線量、放射線 MS 導入支援事業の参加経験 (2020 年度、2021 年度、2022 年度、2023 年度初めて)。

②放射線 MS 導入が進んでいる医療機関に対してのインタビュー調査

【対象】

対象は、放射線 MS 導入が進んでおり、①の放射線 MS 導入支援事業の研修会等でも放射線 MS 導入のトップランナーとして紹介されることの多い、医療法人社団愛友会 上尾中央総合病院を選定した。

【方法】

まず、院長、特任副院長 (放射線担当)、関連病院グループ協議会放射線部部長のそれぞれから、放射線管理を含むマネジメントに係る考えを聴取した。その後、実装研究のための総合フレームワーク Consolidated Framework for Implementation Research: CFIR に準拠して作成したインタビューガイドに則り、放射線 MS 導入の主担当者 (放射線技術科副科長)、実務担当者 (放射線技術科係長および放射線技術科係員)、主担当者および実務担当者の上長 (放射線技術科科長) に、インタビューを行った。

C. 研究結果

①放射線 MS 導入支援事業に参加した医療機関に回答を依頼した Web アンケート

2023 年度の放射線 MS 導入支援事業は、基礎研修は 9 月 25 日：130 端末、10 月 2 日：105 端末、10 月 23 日：107 端末、専門研修は 74 端末の参加があったが、本研究のアンケートへの回答が得られたのは 33 機関であった。

33 機関の病床数は 19 床から 1,182 床の範囲、放射線業務従事者数は 4 名から 1,000 名の範囲であった。病床数の分布および放射線業務従事者数の分布を図 1、図 2 に示した。なお、病床数無回答は 2 機関、放射線業務従事者数無回答は 4 機関であった。

放射線業務従事者の選定基準について、「ある」と回答したのは 23 機関 (69.7%)、「ない」と回答したのは 6 機関 (18.2%)、「わからない」と回答したのは 4 機関 (12.1%) であった。放射線業務従事者の内訳について、職種別に医師・歯科医師、看護師、診療放射線技師、その他の人数が把握され

ていたのは、放射線業務従事者数無回答の4機関を除いた29機関中28機関(96.6%)であった。

放射線業務従事者の線量測定：測定対象者の範囲について、「全ての放射線業務従事者を対象としている」と回答したのは28機関(84.8%)、「業務状況等に応じて一部の放射線業務従事者を対象としている」と回答したのは4機関(12.1%)、「わからない」と回答したのは1機関(3.0%)であった。放射線業務従事者数と放射線測定器の装着者数が一致していたのは、放射線業務従事者数無回答の4機関を除いた29機関中26機関(89.7%)であった。

放射線業務従事者のうち、防護エプロンを使用する等の不均等被ばくとなる人数が回答されたのは、放射線業務従事者数無回答の4機関を除いた29機関中28機関(96.6%)であった。不均等被ばくとなる者の割合は、放射線業務従事者の50%から100%の範囲であった。不均等被ばくとなる者における放射線測定器の配布個数について、2個以上配布、1個のみ配布、配布していない、の該当する人数を確認したところ、不均等被ばくとなる者全員に放射線測定器が2個以上配布されていたのは、放射線業務従事者数無回答の4機関、不均等被ばくとなる人数無回答の1機関およびそれぞれの放射線測定器配布数に該当する人数の和が不均等被ばくとなる者の数を超えていた6機関を除き、22機関中15機関(68.2%)であった。

放射線測定器の装着状況の確認について、「全ての放射線業務従事者について装着状況を確認している」と回答したのは16機関(48.5%)、「全ての放射線業務従事者について装着状況を確認していない」と回答したのは14機関(42.4%)、「わからない」と回答したのは3機関(9.1%)であった。

放射線業務従事者の被ばく線量分布について、2019～2022年度のうち1年度分以上の有効な回答が得られた29機関について、線量分布の実数および年度ごとの機関内での割合を表1に示した。実効線量について、3年度分以上回答があり、放射線MS導入支援事業の初参加年度が2020年度の4機関について、放射線業務従事者登録数や実効線量の分布の推移を検討したところ、放射線MS導入支援事業に参加した年度以降、放射線業務従事者数が増加している機関が3機関であった。線量分布の推移は医療機関によりさまざまであった：一旦「20mSv 超～50mSv」該当者が現れたものの、その次年度には「20mSv 超～50mSv」該当者は見られなくなった機関、「検出限界未満」該当割合が漸減し、「20mSv 超～50mSv」該当者が現れ継続しているものの、「1mSv 超～5mSv」該当割合は減少、「検出限界以上～1mSv」該当割合が増加している機関、「検出限界未満」該当割合が漸減し、「検出

限界以上～1mSv」該当割合が増加している機関、分布に変化がほとんど見られない機関。4機関の実効線量の分布を図3に示した。

②放射線 MS 導入が進んでいる医療機関に対してのインタビュー調査

院長、特任副院長(放射線担当)、関連病院グループ協議会放射線部部長のインタビューで聞かれ、特徴的であったことを以下に示す。

◆ 院長：院長になって15年くらい。ガバナンスはまずは文書管理、加えて内部監査と考えており、院長になってすぐから強力に進めてきた。内部監査は組織単位ごとに毎年1回、実施している。事務職含め院内全ての職種について、職種ラダーを作成させ、その評価方法も定めさせた。毎年、個人および組織ごとの目標設定を行い、達成するのはもちろんであるが、そのプロセスもレビューしている。

◆ 特任副院長(放射線担当)：もともと、自治医科大学の教授職に就いていたが、放射線担当の副院長として声を掛けられ、着任した。放射線業務従事者への教育を担当している。特に医師は、教育に関心がない者が多く、毎年同じ、飽きた、聞いたことがあるという態度が見られるため、いかに自分ごととして参加してもらえるか、いかに教育内容の歩留まりをよくするかを考え、教育内容を工夫している。自分がいることで、診療放射線技師では難しいことがある医師への指導・指摘ができ、その点では放射線管理に協力できているかもしれない。

◆ 関連病院グループ協議会放射線部部長：ここは病院グループの本院なので、グループ内でのお手本、見本になるべき施設であり、放射線管理に関して診療放射線技師はそのつもりで働いていると思う。ここでは文書管理、内部監査のバックグラウンドがあり、放射線MSの導入はスムーズだったと思う。ただ、文書管理の経験が少ない施設や担当者の意識が高くない施設もあり、グループ全体がうまくいっているわけではない。グループ内で、相談があった時は本院がサポートするようにしているが、グループ内の施設を比較することはしていない。

CFIRのフレームに準拠して作成したインタビューガイドに則り、放射線MS導入の主担当者(放射線技術科副科長)、実務担当者(放射線技術科係長および放射線技術科係員)、主担当者および実務担当者の上長(放射線技術科科長)にインタビューしてえられた情報をまとめ、CFIR構成概念と共に表2に示した。

D. 考察

①放射線 MS 導入支援事業に参加した医療機関に回答を依頼した Web アンケート

今回のアンケートで明らかになった 1 つ目の問題点は、放射線業務従事者の選定基準が「ない」機関が 18.2%、「わからない」機関が 12.1%、存在したことである。適切な線量管理を実現するためには、まずは過不足なく放射線業務従事者を同定することが必要であるため、放射線業務従事者の選定基準が「ない」または「わからない」ことは、看過できない事態である。2 つ目の問題点は、不均等被ばくとなる放射線業務従事者全員に、放射線測定器が 2 個以上配布されていた機関は 68.2%であったことである。つまり、残りの 40%程度の医療機関では法令が遵守されていないことになる。3 つ目の問題点は、全ての放射線業務従事者について放射線測定器の装着状況を確認している機関が 50%以下であったことである。これらの問題の解決策の一つとして、放射線 MS の可及的速やかな導入および継続的な運営が挙げられる。放射線業務従事者の定義を明確にし、放射線業務従事者の同定方法を文書化して実施要領に落とし込むこと、当該機関における不均等被ばくとなる職種や業務を明確にし、放射線測定器の配布方法を文書化して実施要領に落とし込むこと、放射線測定器の装着状況を確認する役割および未装着者へ指示・指導する権限を付与する立場を定め、装着状況の確認方法を文書化して実施要領に落とし込むこと、その上で確実に放射線 MS を運営していくことにより、事態の改善が期待される。ただし、放射線業務従事者や不均等被ばくとなる職種や業務の定義が不明瞭・不適切なことによる、過不足が発生しないよう、留意が必要である。

アンケートで、3 年度分以上の実効線量の回答があり、放射線 MS 導入支援事業の初参加年度が 2020 年度の 4 機関について、放射線 MS の導入が、当該機関の放射線業務従事者数や被ばく線量分布に与える影響を機関ごとに検討した。放射線 MS 導入支援事業に参加した年度以降、放射線業務従事者数が増加している機関が 3 機関あったがこれは、放射線 MS の導入を進める際には放射線業務従事者の定義を明確にするため、定義が明確になることで把握漏れとなっていた放射線業務従事者の掘り起こしが進んだことによる可能性や、放射線測定器を配布されている者に対して確実に装着することを以前よりも強く指導があった可能性が考えられた。機関毎では、機関 A では、放射線業務従事者が増加した後、一旦「20mSv 超～50mSv」該当者が現れたものの、その次年度には「20mSv 超～50mSv」該当者は見られなくなったがこれは、線量測定器を確実に装着したことで線量の測定値が一時的に上がり、その後線量低減の対

策が取られたことで測定値が下がった可能性、再度確実に線量測定器が装着されなくなった可能性、当該放射線業務従事者が離職した可能性等が考えられた。機関 B では、「検出限界未満」該当割合が漸減し、「20mSv 超～50mSv」該当者が現れ継続しているものの、「1mSv 超～5mSv」該当割合は減少、「検出限界以上～1mSv」該当割合が増加したがこれは、線量測定器を確実に装着することで、正しく被ばく線量が測定されるようになったため検出限界未満該当者が減少し、さらに正しく測定した上で線量低減対策が取られたため全体として分布が線量の低い方へシフトした可能性、再度確実に線量測定器が装着されなくなった可能性等が考えられた。ただし、「20mSv 超～50mSv」該当者については有効な線量低減対策がとれていない可能性、20mSv 超の被ばくがあった放射線業務従事者の掘り起こしが進んでいる可能性が考えられた。機関 C では、「検出限界未満」該当割合が漸減し、「検出限界以上～1mSv」該当割合が増加したがこれは、線量測定器を確実に装着することで、正しく被ばく線量が測定されるようになったため検出限界未満該当者が減少し、さらに正しく測定した上で線量低減対策が取られたため全体として分布が線量の低い方へシフトした可能性、再度確実に線量測定器が装着されなくなった可能性等が考えられた。機関 D では、分布に変化がほとんど見られなかったがこれは、もともと放射線測定器が適切に装着されていた可能性、放射線測定器の装着状況に変化がなかった可能性等が考えられた。いずれにしても、前述の可能性は全て想像のため、各機関で実際にはどのような変化が起こったかを確認するには、各機関の関係者にインタビュー調査を実施して聞き取る必要がある。今後、各機関で実際に起きた変化を確認し放射線 MS 導入に伴う被ばく線量の変化の類型を示すことで、後進機関に被ばく線量の変化の目安を提供できることが期待される。

②放射線 MS 導入が進んでいる医療機関に対してのインタビュー調査

インタビューの結果、上尾中央総合病院では、院長（組織トップ）の強いリーダーシップが発揮されていること、MS と親和性の高い文書管理、内部監査が「当たり前」のこととして実施される土壌が出来上がっていたこと、文書管理が就業時間内に実施する業務として設定されていること、放射線 MS 導入のチャンピオン（組織内で放射線 MS 導入を推し進める者）が存在すること、放射線担当の副院長が配置されており医師にもトップダウンで指示が出せる体制であることが放射線 MS の導入を進めたと考えられた。この医療機関で放射線 MS 導入が進んだことは必然であるが、他機

関に簡単に展開し、一朝一夕に放射線 MS 導入を進められるノウハウがあるわけではないと考えられた。放射線 MS 導入は、「千里の道も一歩から」であり、「ローマは一日にしてならず」であることが示された。医療機関により、事情、状況は様々と考えられ、放射線 MS 導入が進んでいる医療機関のみならず、放射線 MS 導入がうまく進んでいないことを自覚している医療機関のインタビューも計画・実施できるとよかったと考える。

E. 結論

今年度は、①放射線 MS 導入支援事業に参加した医療機関に回答を依頼した Web アンケートを集計して、労働者の放射線被ばく管理の状況を把握すること、②放射線 MS 導入が進んでいる医療機関に対してインタビューを行い、放射線 MS 導入の障壁となった要素を抽出し、その乗り越え方の一例を明らかにすること、を目的として研究を行った。①では、放射線業務従事者の選定基準が「ない」または「あるかわからない」機関が合わせて約 30%、不均等被ばくとなる放射線業務従事者全員に、放射線測定器が 2 個以上配布されてない機関（法令遵守ができていない機関）が約 30%、全ての放射線業務従事者について放射線測定器の装着状況を確認している機関が 50%以下の問題が明らかとなったが、これらの問題点の解決には、放射線 MS を適切に導入することが有効と考えられ、可及的速やかな放射線 MS の導入が期待され

る。②では、今回インタビューした医療機関においては、放射線 MS の導入が進んだ背景には、組織トップのリーダーシップ、文書管理・内部監査を受け入れる風土・土壌、組織内で放射線 MS 導入を推し進める存在があることが分かった。

放射線 MS 導入に関し、医療機関ごとに事情、状況は異なるため、組織トップの明確な意思表示の下、各機関ができることを進めるとともに、外部の専門家や先進機関によるサポートを導入時に加え、自立して運営できるまで提供する仕組みが必要と考える。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし

H. 知的財産権の出願・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

表 1 放射線業務従事者の被ばく線量分布
(実効線量 2019 年度～2022 年度)

回答機関番号		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合
2022 年度	検出限界未満	545	81.6%	6	23.1%	278	67.6%	285	81.4%	35	54.7%	37	77.1%	183	71.8%	9	37.5%	4	40.0%	2	50.0%
	検出限界以上～1mSv	97	14.5%	15	57.7%	98	23.8%	54	15.4%	17	26.6%	11	22.9%	56	22.0%	7	29.2%	5	50.0%	2	50.0%
	1mSv超～5mSv	26	3.9%	4	15.4%	30	7.3%	9	2.6%	11	17.2%	0	0.0%	15	5.9%	4	16.7%	1	10.0%	0	0.0%
	5mSv超～20mSv	0	0.0%	1	3.8%	5	1.2%	2	0.6%	1	1.6%	0	0.0%	1	0.4%	4	16.7%	0	0.0%	0	0.0%
	20mSv超～50mSv	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	50mSv超	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	把握していない	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
2021 年度	検出限界未満	514	80.9%	7	30.4%	301	72.4%	290	83.8%	25	55.6%	43	89.6%	169	65.3%	4	44.4%	4	100.0%		
	検出限界以上～1mSv	88	13.9%	10	43.5%	93	22.4%	39	11.3%	8	17.8%	4	8.3%	64	24.7%	4	44.4%	0	0.0%		
	1mSv超～5mSv	32	5.0%	6	26.1%	19	4.6%	15	4.3%	12	26.7%	1	2.1%	24	9.3%			0	0.0%	0	0.0%
	5mSv超～20mSv	0	0.0%	0	0.0%	3	0.7%	2	0.6%	0	0.0%	0	0.0%	2	0.8%			1	11.1%	0	0.0%
	20mSv超～50mSv	1	0.2%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%
	50mSv超	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%
	把握していない	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%
2020 年度	検出限界未満	508	81.8%			308	78.0%	286	85.1%	21	40.4%	39	81.3%	168	77.4%					4	100.0%
	検出限界以上～1mSv	89	14.3%			72	18.2%	34	10.1%	20	38.5%	9	18.8%	24	11.1%					0	0.0%
	1mSv超～5mSv	24	3.9%			12	3.0%	16	4.8%	10	19.2%	0	0.0%	24	11.1%					0	0.0%
	5mSv超～20mSv	0	0.0%			3	0.8%	0	0.0%	1	1.9%	0	0.0%	1	0.5%					0	0.0%
	20mSv超～50mSv	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%					0	0.0%
	50mSv超	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%					0	0.0%
	把握していない	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%					0	0.0%
2019 年度	検出限界未満	418	78.3%			257	71.4%	295	91.0%	19	40.4%	41	82.0%	182	71.7%					4	100.0%
	検出限界以上～1mSv	83	15.5%			87	24.2%	28	8.6%	14	29.8%	9	18.0%	38	15.0%					0	0.0%
	1mSv超～5mSv	31	5.8%			14	3.9%	0	0.0%	13	27.7%	0	0.0%	28	11.0%					0	0.0%
	5mSv超～20mSv	2	0.4%			2	0.6%	1	0.3%	1	2.1%	0	0.0%	6	2.4%					0	0.0%
	20mSv超～50mSv	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%					0	0.0%
	50mSv超	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%					0	0.0%
	把握していない	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%					0	0.0%
回答機関番号		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
		人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合
2022 年度	検出限界未満	16	34.0%	144	81.4%	37	63.8%	95	69.3%	6	60.0%	1	8.3%	2	50.0%	18	78.3%	19	54.3%	7	87.5%
	検出限界以上～1mSv	12	25.5%	23	13.0%	7	12.1%	30	21.9%	0	0.0%	11	91.7%	2	50.0%	5	21.7%	0	0.0%	1	12.5%
	1mSv超～5mSv	16	34.0%	9	5.1%	14	24.1%	12	8.8%	4	40.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	16	45.7%	0	0.0%
	5mSv超～20mSv	3	6.4%	1	0.6%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	20mSv超～50mSv	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	50mSv超	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	把握していない	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
2021 年度	検出限界未満			149	77.2%	35	61.4%	79	59.0%	6	60.0%	1	8.3%	0	0.0%	18	78.3%				
	検出限界以上～1mSv			34	17.6%	6	10.5%	43	32.1%	0	0.0%	11	91.7%	2	50.0%	5	21.7%				
	1mSv超～5mSv			9	4.7%	15	26.3%	12	9.0%	4	40.0%	0	0.0%	2	50.0%	0	0.0%				
	5mSv超～20mSv			1	0.5%	1	1.8%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%				
	20mSv超～50mSv			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%				
	50mSv超			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%				
	把握していない			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%				
2020 年度	検出限界未満			80	70.8%	29	54.7%	80	74.1%			1	8.3%	2	50.0%	17	85.0%				
	検出限界以上～1mSv			25	22.1%	10	18.9%	22	20.4%			11	91.7%	2	50.0%	3	15.0%				
	1mSv超～5mSv			7	6.2%	13	24.5%	6	5.6%			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%				
	5mSv超～20mSv			1	0.9%	1	1.9%	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%				
	20mSv超～50mSv			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%				
	50mSv超			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%				
	把握していない			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%				
2019 年度	検出限界未満			72	67.3%	29	56.9%					1	8.3%	2	50.0%	15	88.2%				
	検出限界以上～1mSv			27	25.2%	7	13.7%					11	91.7%	2	50.0%	2	11.8%				
	1mSv超～5mSv			7	6.5%	12	23.5%					0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%				
	5mSv超～20mSv			1	0.9%	3	5.9%					0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%				
	20mSv超～50mSv			0	0.0%	0	0.0%					0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%				
	50mSv超			0	0.0%	0	0.0%					0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%				
	把握していない			0	0.0%	0	0.0%					0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%				
回答機関番号		21		22		23		24		25		26		27		28		29			
		人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合
2022 年度	検出限界未満	1	0.1%	6	23.1%	61	14.8%	513	146.6%	95	148.4%	88	183.3%	26	10.2%	0	0.0%	0	0.0%		
	検出限界以上～1mSv	5	0.7%	16	61.5%	25	6.1%	96	27.4%	30	46.9%	0	0.0%	17	6.7%	15	62.5%	5	50.0%		
	1mSv超～5mSv	0	0.0%	4	15.4%	8	1.9%	30	8.6%	12	18.8%	19	39.6%	3	1.2%	1	4.2%	0	0.0%		
	5mSv超～20mSv	0	0.0%	1	3.8%	0	0.0%	5	1.4%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%		
	20mSv超～50mSv	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%		
	50mSv超	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%		
	把握していない	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%		
2021 年度	検出限界未満	1	0.1%	7	30.4%	62	14.9%	496	143.4%	79	175.6%	88	183.3%			16	66.7%				
	検出限界以上～1mSv	5	0.7%	10	43.5%	23	5.5%	98	28.3%	43	95.6%	0	0.0%			0	0.0%				
	1mSv超～5mSv	0	0.0%	6	26.1%	7	1.7%	28	8.1%	12	26.7%	19	39.6%			0	0.0%				
	5mSv超～20mSv	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	8	2.3%	0	0.0%	0	0.0%			0	0.0%				
	20mSv超～50mSv	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%			0	0.0%				
	50mSv超	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%			0	0.0%				
	把握していない	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%								

(水晶体等価線量 2019 年度～2022 年度)

回答機関番号		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合
2022年度	検出限界未満	515	77.1%	4	15.4%	241	58.6%	277	79.1%	26	40.6%	29	60.4%	133	52.2%	7	29.2%	4	40.0%	0	0.0%
	検出限界以上～20mSv	153	22.9%	21	80.8%	170	41.4%	73	20.9%	38	59.4%	13	27.1%	66	25.9%	16	66.7%	6	60.0%	0	0.0%
	20mSv超～50mSv	0	0.0%	1	3.8%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	45	17.6%	1	4.2%	0	0.0%	0	0.0%
	50mSv超	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	11	4.3%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	把握していない	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
2021年度	検出限界未満	479	75.4%	4	17.4%	277	66.6%	277	80.1%	24	53.3%	43	89.6%	123	47.5%			4	44.4%	4	100.0%
	検出限界以上～20mSv	156	24.6%	19	82.6%	139	33.4%	69	19.9%	21	46.7%	36	75.0%	136	52.5%			5	55.6%	0	0.0%
	20mSv超～50mSv	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	7	14.6%	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%
	50mSv超	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%
	把握していない	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%
2020年度	検出限界未満	478	77.0%			277	70.1%	274	81.5%	20	38.5%	34	70.8%	137	63.1%					4	100.0%
	検出限界以上～20mSv	143	23.0%			116	29.4%	62	18.5%	32	61.5%	9	18.8%	110	50.7%					0	0.0%
	20mSv超～50mSv	0	0.0%			2	0.5%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%					0	0.0%
	50mSv超	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%					0	0.0%
	把握していない	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%					0	0.0%
2019年度	検出限界未満	395	74.0%			234	65.0%	290	89.5%	18	38.3%	37	74.0%	151	59.4%					4	100.0%
	検出限界以上～20mSv	138	25.8%			125	34.7%	17	5.2%	29	61.7%	7	14.0%	101	39.8%					0	0.0%
	20mSv超～50mSv	1	0.2%			1	0.3%	1	0.3%	0	0.0%	0	0.0%	2	0.8%					0	0.0%
	50mSv超	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%					0	0.0%
	把握していない	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%					4	100.0%
回答機関番号		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
		人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合
2022年度	検出限界未満	12	25.5%	12	6.8%	31	53.4%	62	45.3%	2	20.0%	1	8.3%	2	50.0%	13	56.5%	5	14.3%	6	75.0%
	検出限界以上～20mSv	35	74.5%	50	28.2%	24	41.4%	74	54.0%	8	80.0%	11	91.7%	2	50.0%	10	43.5%	30	85.7%	2	25.0%
	20mSv超～50mSv	0	0.0%	0	0.0%	5	8.6%	1	0.7%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	50mSv超	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	把握していない	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
2021年度	検出限界未満			11	5.7%	31	54.4%	50	37.3%	2	20.0%	1	8.3%	0	0.0%	16	69.6%				
	検出限界以上～20mSv			48	24.9%	26	45.6%	84	62.7%	8	80.0%	11	91.7%	0	0.0%	7	30.4%				
	20mSv超～50mSv			0	0.0%	2	3.5%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%				
	50mSv超			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%				
	把握していない			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%				
2020年度	検出限界未満			6	5.3%	23	43.4%	77	71.3%			1	8.3%	2	50.0%						
	検出限界以上～20mSv			23	20.4%	28	52.8%	31	28.7%			11	91.7%	2	50.0%						
	20mSv超～50mSv			0	0.0%	2	3.8%	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%						
	50mSv超			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%						
	把握していない			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%			0	0.0%	0	0.0%						
2019年度	検出限界未満			0	0.0%	25	49.0%					1	8.3%	2	50.0%						
	検出限界以上～20mSv			23	21.5%	21	41.2%					11	91.7%	2	50.0%						
	20mSv超～50mSv			0	0.0%	4	7.8%					0	0.0%	0	0.0%						
	50mSv超			0	0.0%	1	2.0%					0	0.0%	0	0.0%						
	把握していない			0	0.0%	0	0.0%					0	0.0%	0	0.0%						
回答機関番号		21		22		23		24		25		26		27		28		29			
		人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合
2022年度	検出限界未満	1	0.1%	4	15.4%	49	11.9%	427	122.0%	62	96.9%	71	147.9%	19	7.5%	16	66.7%	0	0.0%		
	検出限界以上～20mSv	5	0.7%	22	84.6%	45	10.9%	217	62.0%	74	115.6%	36	75.0%	27	10.6%	0	0.0%	5	50.0%		
	20mSv超～50mSv	0	0.0%	1	3.8%	0	0.0%	0	0.0%	1	1.6%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%		
	50mSv超	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%		
	把握していない	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%		
2021年度	検出限界未満			4	17.4%	51	12.3%	422	122.0%	50	111.1%	71	147.9%								
	検出限界以上～20mSv			19	82.6%	41	9.9%	205	59.2%	84	186.7%	36	75.0%								
	20mSv超～50mSv			0	0.0%	0	0.0%	3	0.9%	0	0.0%	0	0.0%								
	50mSv超			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%								
	把握していない			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%								
2020年度	検出限界未満					50	12.7%	432	128.6%	77	148.1%	91	189.6%								
	検出限界以上～20mSv			42	10.6%	175	52.1%	31	59.6%	0	0.0%										
	20mSv超～50mSv			0	0.0%	5	1.5%	0	0.0%	0	0.0%										
	50mSv超			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%										
	把握していない			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%										
2019年度	検出限界未満					61	16.9%	354	109.3%			83	166.0%								
	検出限界以上～20mSv					33	9.2%	176	54.3%			0	0.0%								
	20mSv超～50mSv			1	0.3%	3	0.9%					0	0.0%								
	50mSv超			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%			0	0.0%								
	把握していない			0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%			0	0.0%								

表2 CFIRのフレームを使用したインタビュー結果

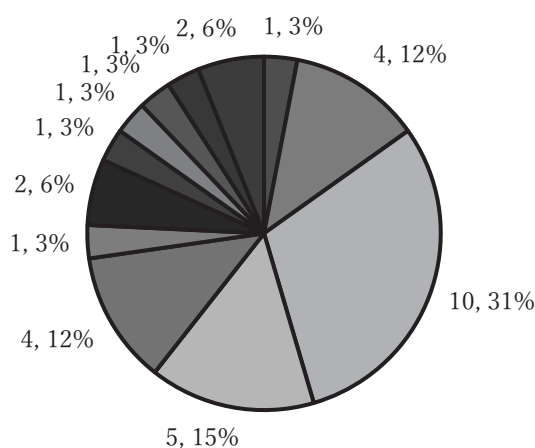
構成概念		インタビューで得られた情報の概要
I	介入の特性 Intervention Characteristics	
A	介入の出処 Interventional Source	放射線 MS 導入支援事業で放射線 MS のモデル文書が提供されたが、もともと院内で作成していた文書を活用した。
B	エビデンスの強さと質 Evidence Strength & Quality	厚生労働省関係の放射線 MS 導入支援事業で推奨されており、もともと院内で実施してきた文書管理との相性がよく、スムーズに導入できた。
C	相対的優位性 Relative Advantage	線量管理が必要なことはわかっており、もともと院内で実施してきた文書管理との相性もよく、放射線 MS の導入が進んだ。
D	適応性 Adaptability	システム文書は提供されたモデル文書を元に整えたが、下位文書の実施要領は、もともと院内で作成していた文書をそのまま活用した。
E	試験可能性 Trialability	小規模なトライアルは行っていない。

F	複雑性 Complexity	もともと院内には文書管理、内部監査の仕組みが出来上がっており、放射線 MS はその延長上であったため、導入が難しいとは思わなかった。うちのような文書管理の仕組みがない、馴染みがない施設では、ハードルが高いかもしれない。
G	デザインの質とパッケージ Design Quality & Packaging	もともと院内で作成していた文書をそのまま放射線 MS に使用できたため、担当者の負担は大きくなく、この MS の導入が進んだと思う。
H	費用 Cost	院内の職種ラダーで、一定レベルに達すると文書管理が期待役割として入ってくる（診療放射線技師であれば、放射線管理士を取得）。CT 撮影や透視と並んで、就業時間中の業務に「文書管理、文書作成」が入る。 各部署に加え、各委員会にもお金がついており、皆で使うものや、委員会必要と考えるものは、委員会で議論したうえで、賛同が得られれば委員会のお金を使うことができる。放射線防護の装備や設備は共用するものが多いが、この仕組みのおかげでどこの部署が買うのか問題は少ないように思う。
II 外的セッティング Outer Setting		
A	従業員のニーズと資源 Patient Needs & Resources	もともと院内には文書管理、内部監査の仕組みが出来上がっており、放射線 MS はその延長上で、スムーズに進められた。 院長の指示もあり、導入しないという選択肢はなかった。
B	コスモポリタニズム Cosmopolitanism	医療被ばく低減施設認定を早くに取得した施設として、放射線管理をきちんと行っているという自負があり、他院のお手本、見本になりたい、ならなければならないという意思と義務感を持っている。
C	同業者からの圧力 Peer Pressure	関連病院グループの本院で、グループ内の他院のお手本、見本とならなければならない、放射線 MS の導入も速やかに進めた。
D	外的な施策やインセンティブ External Policy & Incentives	厚生労働省関係の放射線 MS 導入支援事業で推奨され、うちは医療被ばく低減施設認定を早くに取得した施設として、放射線管理をきちんと行い他院のお手本、見本になりたい、ならなければならないという自負があり、院長の指示もあり、放射線 MS の導入を推進した。画像診断管理加算 3、のような診療報酬上の加算がつくとありがたい。
III 内的セッティング Inner Setting		
A	構造特性 Structural Characteristics	現院長の体制になって 15 年程度であるが、文書管理、内部監査が強力に進められ、業務に関連して文書を作成し、内部監査を受け、指摘・指導のあった点は修正・改善する PDCA を回してスパイラルアップしていく仕組みが出来上がっていた。
B	ネットワークとコミュニケーション Networks & Communications	放射線 MS は放射線技術科が中心に導入を進めたが、科内の人間関係は良好で、K さん（主担当者）から常に刺激を与えられ、自分が伸びている気がする（実務担当者）。

		特任副院長（放射線担当）が来られてから、診療放射線技師からでは難しかった、医師への指摘・指導を行ってもらえ、トップダウンが効くようになったのはありがたい。
C	文化 Culture	文書管理、内部監査の仕組みがあり、内部監査では厳しい指摘もうける。院長からはさらに高いレベル、高いレベルを目標とするよう求められる。目標設定、職種ラダー、チャレンジシート等で、がっちり管理されるが、入職した人材を成長させる仕組みでもある。（※内部を重視し高い管理性をもつ「階層分化」）
D	実装風土 Implementation Climate	文書管理、目標設定、職種ラダー等の仕組みが出来上がっているが、内部監査を含め、常に見直し、修正・改善し、高いレベルを目標とすることが求められており、変化せざるを得ない。うちで勤務継続できる者は、コツコツ努力できて、変化できる者と思う。
	1 変化への切迫感 Tension for Change	文書管理、内部監査の仕組みが出来上がっており、それだけでもやるのがたくさんで、何か不足している、新しいことを取り入れなければということではなかった。
	2 適合性 Compatibility	もともと院内で実施してきた文書管理、内部監査の仕組みと放射線 MS の相性がよく、スムーズに導入できた。
	3 相対的優先度 Relative Priority	放射線 MS は放射線技術科が中心に導入を進め、科内では担当者における優先度は高い。担当者ではない者で特に経験が少ない者が現時点、どの程度重要と考えているかはわからないが、職種ラダーが上がり、放射線管理士以上の文書管理が業務になるクラスになるとわかってくると思う。
	4 組織のインセンティブや報奨 Organizational Incentives & Rewards	放射線 MS の導入は、以前から実施している文書管理の一部のイメージで、やるのが当たり前なため、担当者に特別インセンティブや報酬が発生するものではない。
	5 目標とフィードバック Goals and Feedback	もともと院内には文書管理、内部監査の仕組みが出来上がっており、放射線 MS は文書の一部で、もちろん内部監査の対象である。
	6 学習風土 Learning Climate	職種ラダー、チャレンジシートの仕組みが出来上がっており、10年後、20年度の姿を想像しながら今年の目標を設定し、達成することが求められる共に、達成までのプロセスを上長が面談しサポートすることが当たり前になっている。
E	実践の準備性 Readiness for Implementation	
	1 リーダーシップ・エンゲージメント Leadership Engagement	放射線 MS の導入は院長の指示で、院長と顔を合わせる時には大概、進捗を尋ねられるので、前向きに取り組んだ。
	2 利用可能な資源 Available Resources	診療放射線技師の職種ラダーの中で、放射線管理士を取得すると、文書管理が期待役割に入る。出勤者の業務分担を示す配置表に、文書管理、文書作成の欄が設けられている。業務に CT 撮影や透視と並んで「文書管理、文書作成」が含まれ、時

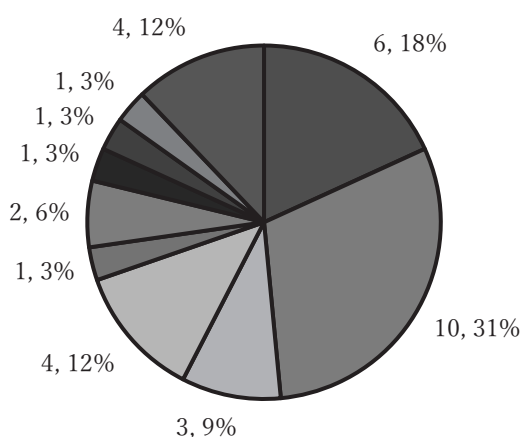
		間外に一人で作業をするのではなく、就業時間中に業務として複数名で分担して作業できる環境が整っており、うちの良いところと思う。
	3 知識や情報へのアクセス Access to Knowledge & Information	放射線 MS 導入支援事業の研修資料は科内で共有され、研修出席者に直接疑問点を尋ねることができるようにした。
IV 個人特性 Characteristics of Individuals		
A	介入についての知識や信念 Knowledge & Beliefs about the Intervention	主担当者、実務担当者が放射線 MS 導入支援事業に参加し、知識を得た。また、主担当者は放射線 MS 導入の進んでいる施設の代表として、様々な機会に院外に対して取り組みを発表、報告している。K さん（主担当者）から常に刺激を与えられている（実務担当者）。
B	自己効力感 Self-efficacy	放射線 MS の導入は、以前から実施している文書管理の一部のイメージ。もともと院内には文書管理、内部監査の仕組みが出来上がっており、放射線 MS はその延長上であったため、導入が難しいとは思わなかった。
C	個人の行動変容のステージ Individual Stage of Change	院長の指示もあり、導入しないという選択肢はなかった。ただ、職種ラダーがあまり上がっていない者では、知識が足りていなかったり、文書管理の意味を理解していなかったりする者も含まれていると思う。
D	組織との一体化 Individual Identification with Organization	放射線技術科内の人間関係は良好で、院長のリーダーシップのもと、共通の目的に向かって活動していると思う。院長はとても厳しいですけどね。
E	その他の個人特性 Other Personal Attributes	—
V プロセス Process		
A	計画 Planning	システム文書は提供されたモデル文書を元に整えたが、下位文書の実施要領は、もともと院内で作成していた文書をそのまま活用したため、がちがちに計画をたてることなく、作成できた。
B	エンゲージング Engaging	
	1 オピニオンリーダー Opinion Leaders	健さん（主担当者）が率先して放射線 MS の導入に取り組んでいたため、普段から一緒に行動することの多かった自分達は特影響を受けた（実務担当者）。
	2 公式に任命された内部の実装リーダー Formally Appointed Internal Implementation leaders	主担当者、実務担当者は、就業時間中に業務として文書管理、文書作成を行うことができ、権限と責任を与えられたのがスムーズな導入に影響したと思う。
	3 チャンピオン Champion	チャンピオンは K さん（主担当者）でしょう（皆さん）。医療被ばく低減施設認定の頃からずっと、放射線管理に興味・関心を持ち、勉強することの必要性を感じ、放射線 MS の導入も自分が率先してやる仕事と認識していた（主担当者）。
	4 外部のチェンジ・エージェント External Change Agents	放射線 MS 導入支援事業の研修では、他施設の MS 導入担当者と自施設の現状を語り合うワークがあり、それまでは知る機会のなかったグループ病

		院以外のお施設の状況を聴くことができ、うちのレベルを客観的に見ることができたのはよかった。
C	実行 Executing	放射線技術科においては、放射線 MS の存在は認識されており、文書に則り日々の業務を行っている。
D	振り返りと評価 Reflecting & Evaluation	放射線 MS の導入により放射線被ばくが低減されるとは思わない。放射線被ばく低減のための仕組みとは捉えていない。放射線管理を確実に実行するための仕組みと思っている。放射線 MS の導入により、リスクアセスメントの概念を初めて知り、線量計を配布する対象が明確にできたことは良かった。



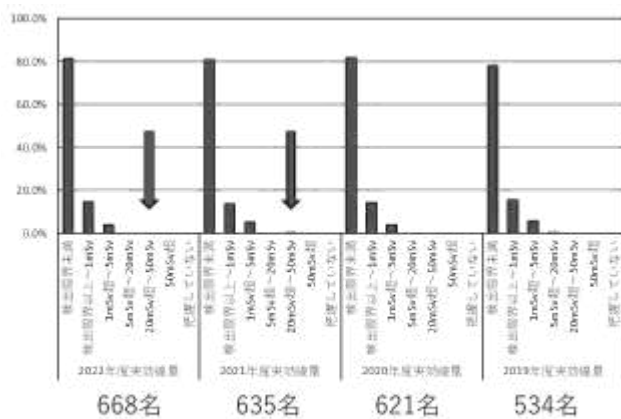
■1-49床 ■50-99床 ■100-199床 ■200-299床 ■300-399床 ■400-499床
 ■500-599床 ■600-699床 ■700-799床 ■800-899床 ■900-999床 ■1000-床 ■無回答

図1 病床数の分布



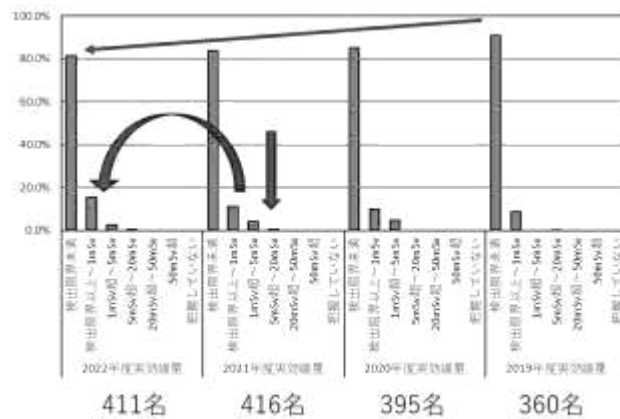
■1-9名 ■10-49名 ■50-99名 ■100-199名 ■200-299名
 ■300-399名 ■400-499名 ■500-599名 ■600-699名 ■700-799名 ■800-899名 ■900-999名 ■1000-名 ■無回答

図2 放射線業務従事者の分布



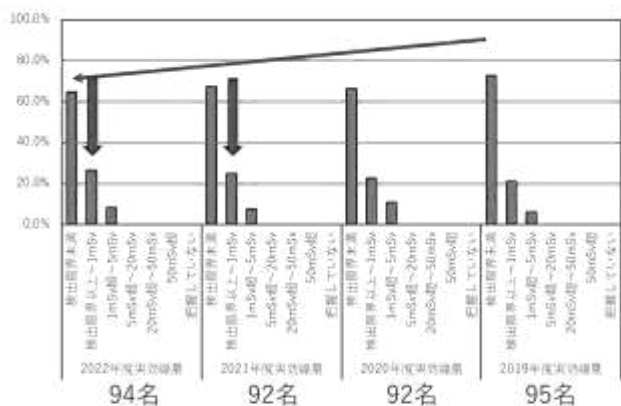
機関 A

放射線MS
導入支援事
業参加



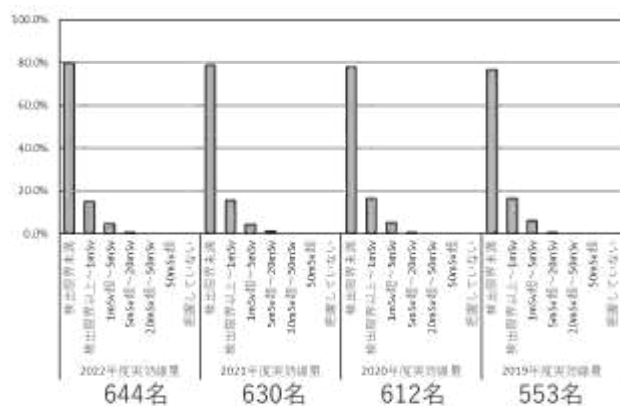
機関 B

放射線MS
導入支援事
業参加



機関 C

放射線MS
導入支援事
業参加



機関 D

放射線MS
導入支援事
業参加

図3 放射線業務従事者登録数および実効線量の分布の推移
(3年度分以上回答があり、放射線MS導入支援事業の初参加年度が2020年度の機関)

小型ガラス線量計を用いる系統的線量測定に関する検討

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量子生命・医学部門放射線医学
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、小型ガラス線量計に対し、手首・足首に装着する末端部モニタリング用線量計として使用可能か、基礎特性であるエネルギー応答を実験的に評価した。用いたガラス線量計素子は、本研究班で使用している2種類のガラス線量計、GD-302M及びGD-352Mであり、線量計応答のエネルギー応答特性及び入射エックス線に対する角度応答特性は、ISO4037-3:2019の記述に従って求めた。評価の結果から、GD-352Mのエネルギー応答特性は、20 keV以上から ^{137}Cs γ 線の662 keVまでの範囲で国際電気機関（IEC）の規格要件である基準値（エネルギー依存試験で得られた線量計レスポンスに対し0.71～1.67）に入っていることが確認できた。一方のGD-302Mについては、10 keV程度の低エネルギーエックス線に対し、GD352Mと比較して3倍程度高感度である一方で、線量を過大に応答することが明らかとなった。併せて、当該線量計を体幹部に装着した場合、各個人線量当量単位についてエネルギー応答特性の評価も行い、同様にGD-352MについてはIEC規格の基準値内に入っていることが示された。角度分布についても同様に、0度から60度の範囲で0.71～1.67の範囲に入っていることが示された。このことから、GD-352Mは手首・足首部、襟部及び体幹部モニタリング用の線量計として医療従事者に供することが実験的に評価された。

A. 研究目的

本分担研究は、医療分野の放射線業務従事者に対して実施されている個人モニタリングについて、体幹部等に装着した線量計から眼の水晶体及び手指等末端部等価線量の合理的な推定を能とするような技術開発を行うものであり、一連の検討で得られる知見は、放射線被ばく管理マネジメントシステム（以下、「被ばく管理MS」という。）[1]の適用と課題解決に関する研究のうち、被ばく管理MS導入後の運用開始時点で、一部の手技で極端な不均等被ばく状況が認められる等、被ばく管理MS導入時点で考慮した線量評価・推定手法が適応不能であるような被ばく状況に対して、妥当な線量評価とそれに基づく適切な介入による被ばく線量低減に関する知見を与えるもので

ある。

本分担研究では、被ばく管理MSの円滑な運用に資するため、医療現場における不均等被ばく状況が生じうる手技等に従事する医療者について、体幹部に装着された線量計の線量計指示値から、体幹部以外で最大の線量を与える被ばく線量を適切に推定できるよう、本研究班で使用するガラス線量計素子を医療従事者の手首、足首、襟及び体幹部に取り付けた際にも適切な指示値を与えるかについて国際規格等で定められた検討を進める。本研究事業初年度及び2年目には、ガラス線量計の追加モニタリングへの適応可能性検証のため、計算シミュレーションによる基礎特性評価を行った。本研究事業最終年度の令和5年度には、計算シミュレーション結果に基づき、応答

特性を実験的に検証する。

B. 研究方法

研究事業最終年度である令和5年度は、昨年度の実施した小型ガラス線量計素子のエネルギー応答及び角度分布特性のシミュレーション計算による評価を実験的に検証するため、医療従事者の放射線業務時において追加モニタリングの対象となる箇所（手首及び足首、並びに頸部）に装着する個人線量計としての利用が可能か検討を行った。評価に用いた小型ガラス線量計素子は、AGC 旭硝子社製 GD-302M 及び GD-352M である。

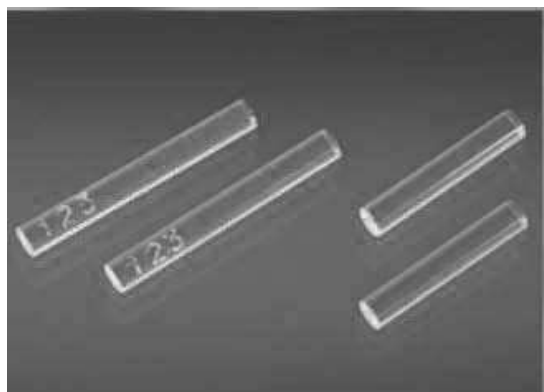


図1 GD-300 シリーズのガラス線量計素子本体
(千代田テクノル社ホームページより引用[2])

上記の小型ガラス線量計に対し、標準照射を行ってエネルギー応答及び応答の角度分布を評価した。また、体幹部モニタリング用線量計としての性能を満たしているかどうか、ファントムに取り付けた予備試験により確認を行った。また、測定結果から、ガラス線量計指示値から所定の個人線量当量（手首及び足首の場合は $70\mu\text{m}$ 、体幹部の場合は 1cm 、 3mm 及び $70\mu\text{m}$ ）を適切に評価するために不可欠な校正定数を与える手法についても併せて検討する。

今年度の研究では、ガラス線量計素子を ISO ピラーファントム（外径 73mm 、長さ 300mm のアクリル樹脂製中空円柱に水を満たしたもの。円柱の側壁は、厚さ 2.5mm 及び端面の厚さは 10mm ）及

び ISO-PW ファントム（個人線量計装着面が $30\pm 1\text{cm}$ の正方形、厚さ 15cm で個人線量計装着面が壁厚 2.5mm 、それ以外の面が壁厚 10mm のアクリル樹脂製。内部を水で満たす）中央に小型ガラス線量計を直接貼り付け基準となる放射線を照射する。（図2参照）



図2 本研究班で使用するガラス線量計 GD352M のエネルギー応答特性試験の様子。電離箱式空気カーマ率計（写真左）の隣がアクリル製 ISO-PW ファントムであり、アクリル樹脂製水槽の中央にガラス線量計を取り付けて照射試験を行った。

使用した基準放射線の線種は、ISO4037-3:2019 [3]の記載に従い、S-Cs、及び ISO Narrow series のN-20 からN-200 [4]までの合計10線種とした。

ガラス線量計の応答は、IEC62387:2020 [5]の記述に従い、後述する式に従って評価した。当該ガラスを用いて被ばく線量を測定する場合、ガラス線量計素子からの指示値は専用装置による読出値より算定される。本研究ではガラス線量計の読み値の正味値[Gy]を下式の M_E として応答を評価した。

$$R_E = \frac{M_E}{h_{pK}(0.07;0) \times K_a}$$

ここで、 $h_{pK}(0.07;0)$ は空気カーマ—個人線量当量換算係数[Sv/Gy]であり、 K_a は線量計に照射する

空気カーマ[Gy]である。

本研究では、手首・足首を模擬する ISO ピラーファントムを用いた評価を行う場合には、 $h_{pK}(0.07;0)$ のピラーファントムでの照射用に準備された値を使用した。当該ガラス線量計を医療者の体幹部及び襟に装着する場合に用いる換算係数は、 $h_{pK}(0.07;0)$ のみならず、 $h_{pK}(3;0)$ 及び $h_{pK}(10;0)$ についても評価を行った。空気カーマ—個人線量当量換算係数は ISO4037-3:2019 [4]の値を使用し、それぞれのX線校正場での照射空気カーマは、単位光子フルエンスあたりに各X線校正場におけるフルエンス—空気カーマ換算係数を乗じて導出した。しかしながら、 $h_{pK}(3;0)$ 換算係数については、眼の水晶体等価線量をよく推定するための線量計校正に用いられるものであり、シリンダーファントムに対する換算係数のみ

が掲載されている。そこで、ISO-PW ファントムに線量計を装着した際の、 $h_{pK}(3;0)$ 換算係数については文献値[6]を用いた。

本研究では、医療従者のモニタリングに用いることができるよう、IEC 等の国際規格で規定されている試験内容に従い、ガラス線量計素子を医療者の個人モニタリング用線量計に应用する場合の当該線量計の性能を評価することが目的である。そのため、ISO4037-1:2019 [4]で示されている線質 S-Cs (Cs γ 線校正場:平均エネルギー 662 keV) で得られたレスポンス R_E を基準として他の X 線校正場で得られたレスポンスの相対応答を評価した。相対応答 RR_E は以下の式に基づき導出した。

$$RR_E = \frac{\frac{M_E}{h_{pK}(0.07;0) \times K_{a,E}}}{\frac{M_{S-Cs}}{h_{pK}(0.07;0) \times K_{a,S-Cs}}}$$

応答特性の評価と同時に、小型ガラス線量計素子を体幹部用及び手首・足首用モニタリング線量計として用いる場合の校正定数も併せて求めた。得られた校正定数は図3に示す移動型Cアームを用いたファントム照射試験により適切に評価可能か確認を行った。

(倫理面への配慮)

本分担研究は、放射線線量計の特性試験を行うものであり、ファントム試験では特定個人を対象としたものではないため、人権擁護上の配慮等を特に必要としない。



図3 本研究班で使用する小型ガラス線量計GD352Mをファントム各所に取り付けた予備試験の様子。

C. 研究結果

本研究班で採用した小型ガラス線量計素子 2 種類 (GD-302M 及び GD-352M) について、医療従事者の手首・足首に装着した際の線量計応答のエネルギー特性を、ISO4037-3:2019 の記述に従って評価した。図 4 では、GD-352M における標準照射で得られた線量計応答に関するエネルギー依存性を示す。図に示す通り、GD-352M のエネルギー応答特性は、20 keV 以上から 662 keV までの非常に広いエネルギー範囲で IEC の規格要件で示された基準値(エネルギー及び角度依存試験で得られた線量計レスポンスに対し 0.71 ～ 1.67)に入っていることが確認できた。

図 5 では、GD-302M における標準照射で得られた線量計応答に関するエネルギー依存性を示す。図 5 に示すとおり、GD-302M のエネルギー応答特性については、20 keV から 100 keV の範囲で IEC 規格の要件である 1.67 以上の値を取ることが示された。

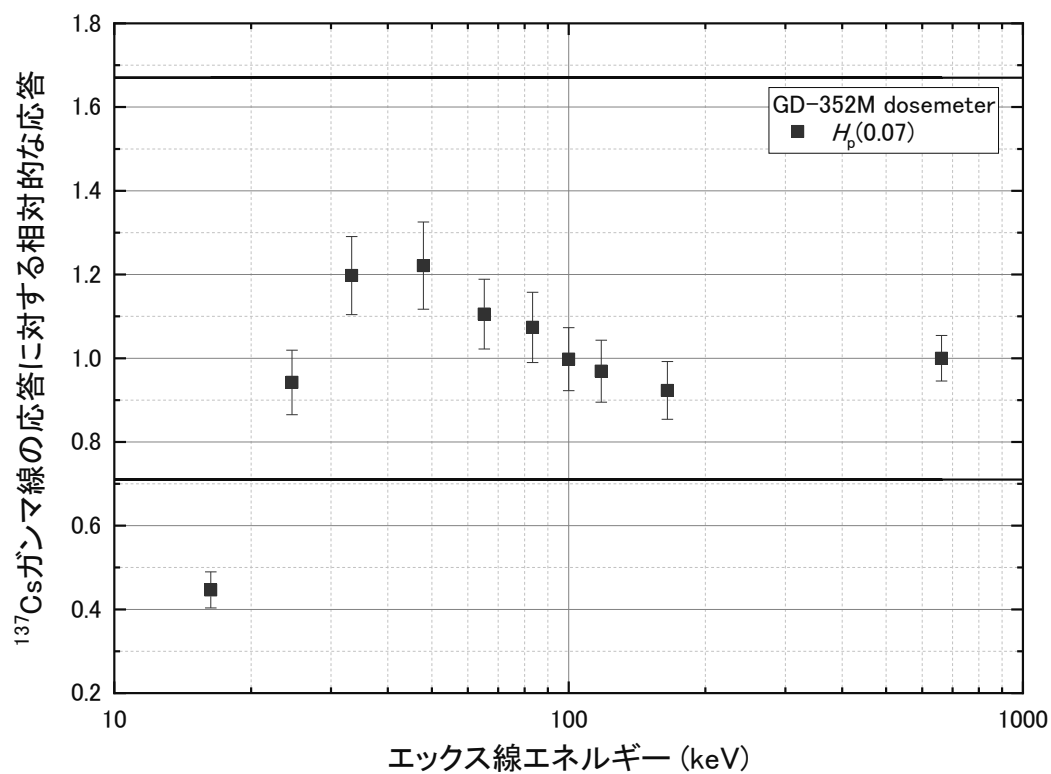


図4 本研究班で使用するガラス線量計 GD-352M の応答に関するエネルギー依存性

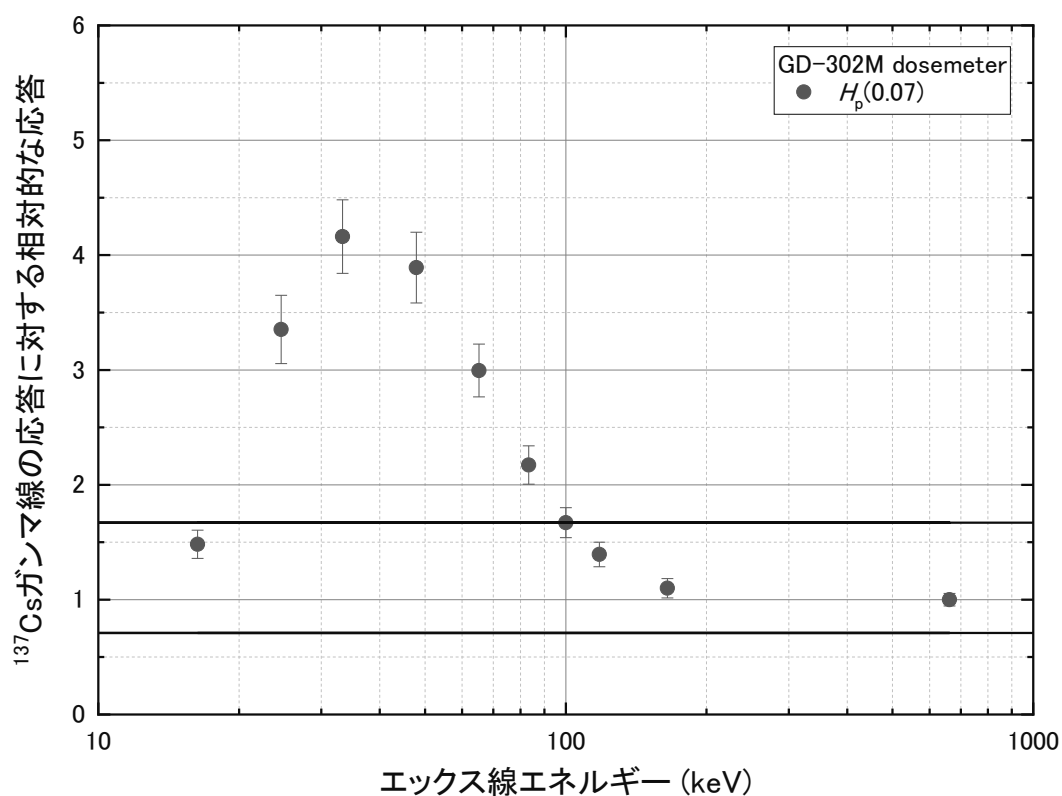


図5 小型ガラス線量計 GD-302M の応答に関するエネルギー依存性

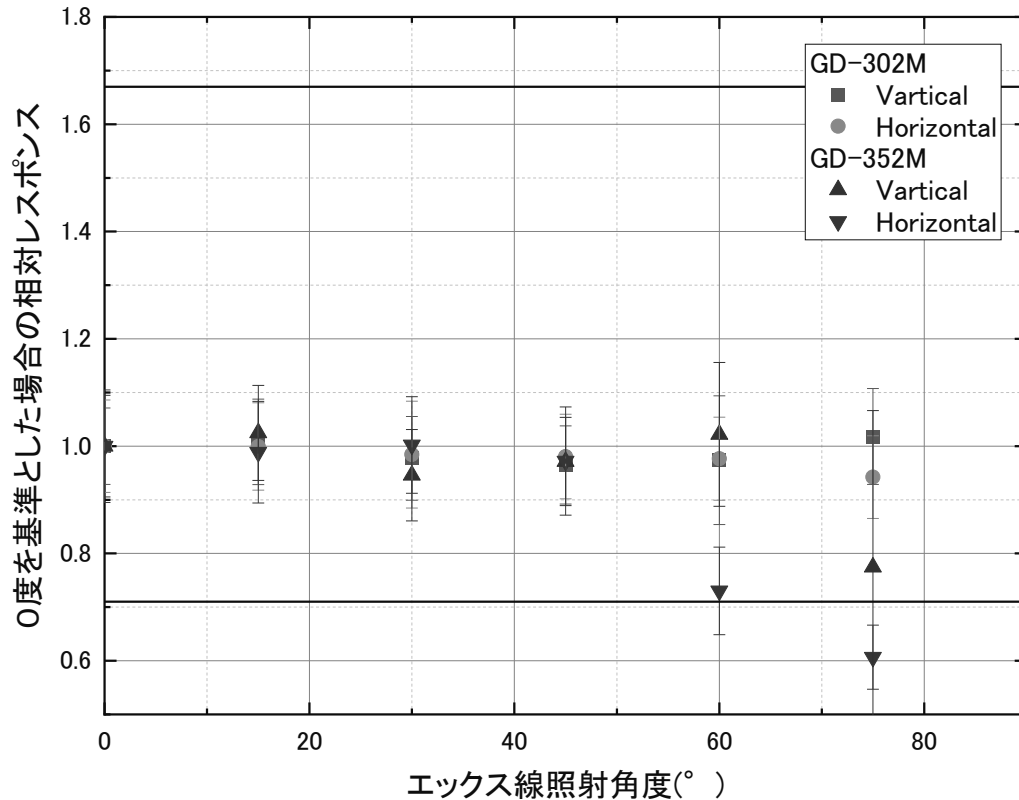


図6 ガラス線量計GD-302M及びGD-352Mの線量計応答の角度分布。照射したX線線質はISO narrow シリーズのN60（平均エネルギー：48 keV）である。

図6ではガラス線量計GD-352M及びGD-302Mの線量計応答の角度分布の比較を示す。線量計応答の角度分布評価は、線量計に対し正面から照射した場合を0度とし、線量計中心を軸としてファントムを回転させて75度まで15度刻みで照射した。使用したガラス線量計は円筒形をしており、軸方向と半径方向で応答が異なることが予想される。そこで、ファントムへ線量計を固定する際に、線量計の軸方向に鉛直に設置した場合と、ファントムに対して直角になるように設置した場合とで応答の比を取る相対レスポンスで評価した。角度分布評価に用いた線種はN-60とした。図6には、図4及び図5と同様にレスポンスの角度依存試験による相対レスポンスに対し下限0.71及び上限1.67を表示している。

図に示す通り、両方の線量計について広い範囲で平坦な応答を示すことが分かった。GD-352Mについては、ファントムに水平に設置した場合の相対レスポンスは60度から落ちており、75度ではいずれの方向に設置しても相対レスポンスが落ちることが分かった。GD-302Mについては0度から75度の範囲で応答がほとんど平坦であることが示された。

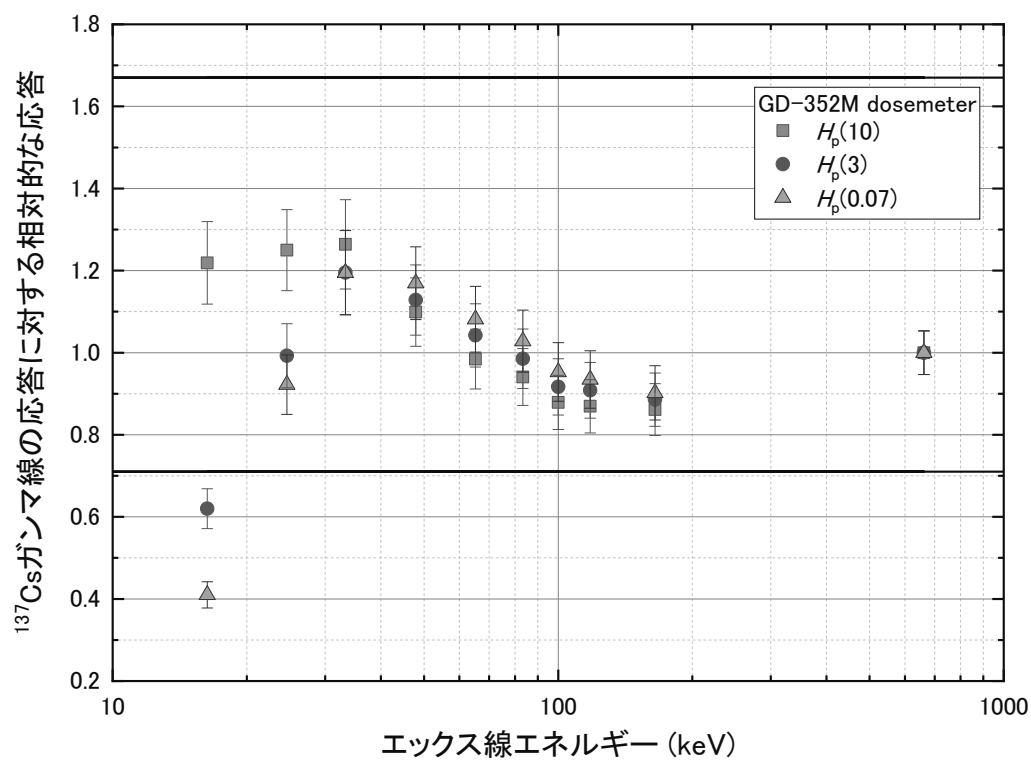


図7 ガラス線量計 GD-352M の各個人線量当量単位におけるエネルギー応答特性

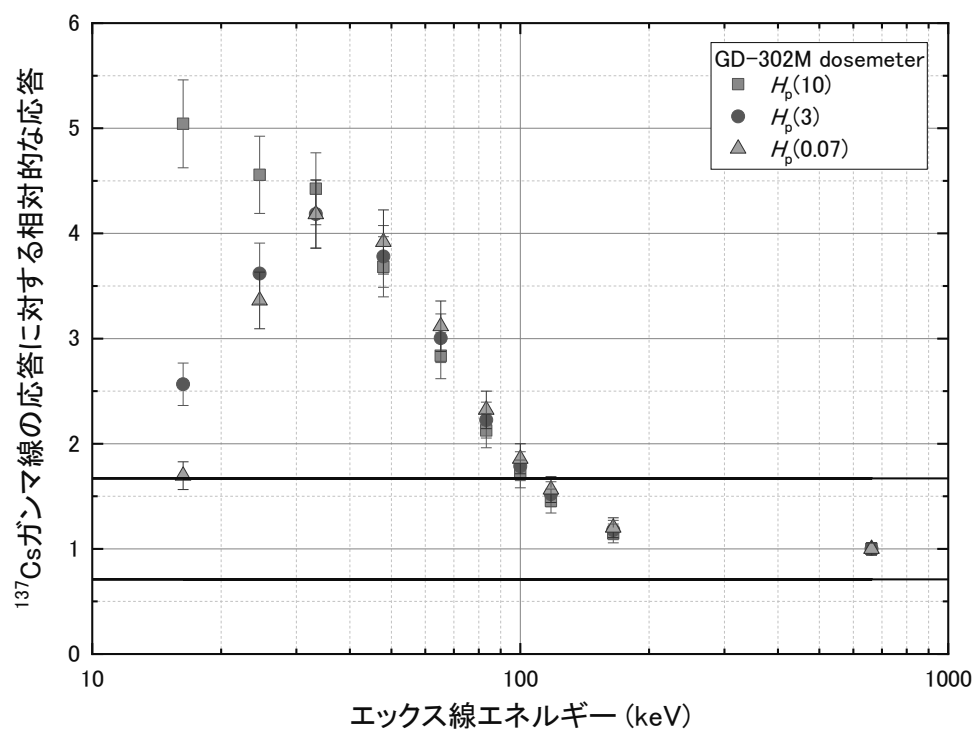


図8 ガラス線量計 GD-302M の各個人線量当量単位におけるエネルギー応答特性

図7及び図8では、各ガラス線量計を、体幹部を模擬した ISO-PW ファントム中央に設置した場合の、個人線量当量単位の違いによるエネルギー応答特性の比較を示す。いずれも IEC 規格での線量計応答の要件である 0.71～1.67 の範囲を示している。2種類のガラス線量計のうち、GD-352M のエネルギー応答特性については、どの線量換算係数を用いた場合でも 20 keV 以上から 662 keV までの非常に広いエネルギー範囲で IEC の基準値である 0.71 ～ 1.67 に入っていることが確認できた。特に線量当量単位が GD-302M におけるエネルギー応答特性では、各線量当量単位で 100 keV 以下のエックス線に対しては過大に応答することが改めて示された。また、1cm 個人線量当量についてのエネルギー応答について、16 keV のエックス線に対して 5 倍以上過大に応答することが示された一方、同一の測定結果を用いているにも関わらず、3mm 個人線量当量及び 70 μ m 線量当量での評価では、それぞれ 2.5 倍及び 1.7 倍と過大応答の度合いが大幅に違っていることが明らかと

なった。

図9では、ガラス線量計 GD-352M 及び GD-302M の線量計応答の角度分布の比較を示す。線量計応答の角度分布評価は、線量計に対し正面から照射した場合を 0 度とし、線量計中心を軸としてファントムを回転させて 75 度まで 15 度刻みで照射した。円筒形のガラス線量計は ISO 水ファントム中央に鉛直方向及び水平方向にして設置した。照射に用いた線種は、ISO ピラーファントムでの手足首モニタリングのためのガラス線量計特性試験と同様に ISO narrow series N60 である。

GD-352M の相対レスポンスの角度分布は、ファントムに水平に設置した場合の相対レスポンスは 45 度まではほぼ変化がなく、60 度で急激に落ちている。鉛直方向に設置した場合の応答は角度を変化させる毎に緩やかに減少した。GD-302M については、設置方向に関わらず 0 度から 75 度の範囲で相対レスポンスは緩やかに減少することが示された。

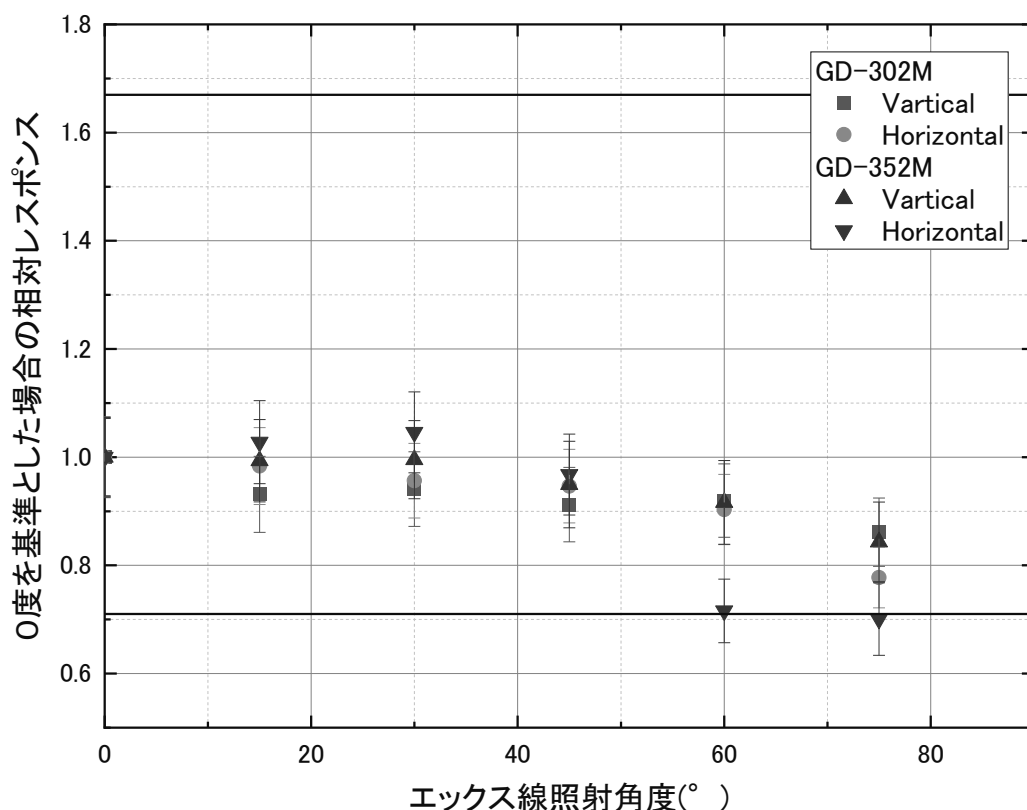


図9 ISO 水ファントムに設置したガラス線量計 GD-302M 及び GD-352M の線量計応答の角度分布。X 線線質は ISO narrow シリーズの N60（平均エネルギー：48 keV）を選択した。

D. 考察

本研究で得られた計算結果から以下の課題に従って評価を進めた。

(1) ガラス線量計応答のエネルギー及び角度依存について

図4に示す通り GD-352M で得られたエネルギー応答特性は、24 keV から 662 keV までの幅広いエネルギー範囲で、IEC の規格用件の範囲内である 0.71~1.67 に入っていることがわかる。このことは、20 keV 以下の低エネルギー成分を含む散乱エックス線による被ばくが顕著になるような手技でない限りは、GD-352M を使用することで、適切な手首・足首における皮膚線量の追加モニタリングが可能であることを示している。

GD-352M を手首・足首等の末端部等価線量モニタリング用線量計として使用する場合には、他の部位で用いる場合と同様に校正定数を導出して使用されなければならない。その場合、照射試験で求められた校正定数を用い、

末端部に対する $70\mu\text{m}$ 線量当量 $[\text{Sv}] =$

ガラス線量計指示値 $[\text{Gy}] \times$ 校正定数 $[\text{Sv/Gy}]$

という式で求めることができる。今回の標準照射による実験の場合、校正定数は上述の線量計応答のエネルギー依存性評価結果に基づき、S-Cs での応答の逆数を取ることで 1.11 ± 0.06 $[\text{Sv/Gy}]$ ($k=1$) と決定できる。なお、測定対象となるエックス線エネルギーが測定、計算等によりわかっている場合にはそのエネルギーに合わせた校正定数を使うことも可能であり、その場合エックス線エネルギーも考慮に入れた線量評価が求められる。

GD-302M のエネルギー応答は、ISO narrow series N40(平均エネルギー32 keV)に対して最大の値 4.2 を取り、その際には入射したエックス線による線量を 4 倍以上過大評価することになる。図5に示した IEC の規格用件で求められている下限値 (0.71) 及び上限値 (1.67) の比較から、GD-302M のエネルギー応答をみると、16 keV から 100 keV まで上限値を超えている。このことから、診

断エックス線装置による手技中のエックス線でみられる、20 keV~120 keV のエネルギーを有するエックス線に対し、被ばく線量を過大に評価することが示唆される。特に、ガラス線量計素子に対して適切な校正定数を与えずに放射線作業の現場でそのまま使用した場合には、大幅な過大評価が見込まれる。一回の手技で指示値が $10\mu\text{Gy}$ 程度のような、非常に低い被ばくの場合、約 5 倍の過大評価は放射線防護の観点で十分許容できる。一方で、年間線量限度である 500 mSv を超えそうな被ばくに達するようなケースを考慮した場合、5 倍の過大評価を考慮すると、放射線管理担当及び医療者の認識しないうちに年間線量限度に達する可能性もある。

放射線防護マネジメントにおいては、体幹部、鉛エプロン外側及び襟部のモニタリングは線量測定サービス機関から提供されるガラス線量計及び OSL 線量計の使用を前提としたモニタリングを考慮している。線量測定サービス機関から提供される線量計を用いる場合、使用者からの申し出がない限り、一手技あたりの医療者の体幹部等の線量を各医療機関に提供されるまでには時間を要する。そこで、体幹部等においても一手技当たりの線量を現場で直ちに評価できるよう、小型ガラス線量計 (GD-302M 及び GD-352M) について体幹部等における個人線量当量を適切に与えることを目的に、各ガラス線量計におけるエネルギー応答を評価した。

GD-302M 及び GD-352M における、各個人線量当量単位 ($H_p(10)$, $H_p(3)$ 及び $H_p(0.07)$) のエネルギー応答特性を図7及び図8に示す。エネルギー応答特性は、ISO4037-1:2019 [4]で示される X 線校正場で得られたレスポンスを線質 S-Cs (^{137}Cs γ 線校正場) で得られたレスポンスで除して相対レスポンスを求めることで評価した。図7及び図8で示す通り、各ガラス線量計で相対レスポンスが大きく異なっていることが実験的に明らかとなった。図7で示す通り、GD-352M の応答特性は、

いずれの個人線量当量単位であっても 30 keV ～ 200 keV の入射エックス線に対し、IEC の定める基準値内に入っていることが分かった。特に 1cm 個人線量当量単位については、16 keV から IEC の定める基準内に入っており、幅広いエネルギーのエックス線・ γ 線に対して良好な応答を示すことが示された。また、各線量当量におけるガラス線量計の相対応答は、40 keV 以上について個人線量当量の単位に依存しない変化を示すことが実験的に明らかとなった。これは、ISO4037-1 の示す空気カーマ個人線量当量換算係数に大きな変化がないために生じていると考えられる。以上より、適切な校正定数を与えることで、ガラス線量計 GD-352M は医療従事者の体幹部・頸部モニタリングに供することが可能であるといえる。その際には以下の式を用いて個人線量当量を導出することができる。

各個人線量当量 ($H_p(10)$, $H_p(3)$ 及び $H_p(0.07)$)
[Sv] =

ガラス線量計指示値 [Gy] × 各個人線量当量単位に対応する校正定数 [Sv/Gy]

本分担研究では、体幹部での測定に対する校正定数は $H_p(10)$, $H_p(3)$ 及び $H_p(0.07)$ について、 1.11 ± 0.06 [Sv/Gy] ($k=1$)、 1.12 ± 0.06 [Sv/Gy] ($k=1$)、及び 1.11 ± 0.06 [Sv/Gy] ($k=1$) と評価された。

GD-302M の各個人線量当量単位 ($H_p(10)$, $H_p(3)$ 及び $H_p(0.07)$) のエネルギー応答特性について個別にみると、10mm 個人線量の応答は、入射エックス線エネルギーが 16 keV の時に最大を取り、エックス線エネルギーが大きくなるにつれて減少する。16 keV での相対レスポンスは 5 以上となっており、100 keV 以上のエネルギーに対して IEC 基準値の上限である 1.67 以下に下がってくる。一方、3mm 個人線量当量及び $70 \mu\text{m}$ 個人線量当量の応答は、線質 N-60 (平均エネルギー 48 keV) の際に最大となり、入射エックス線エネルギーの増

加に対して相対応答は減少し、100 keV を超えてから IEC 基準値の上限である 1.67 以下に下がってくる。前年度の報告書で記載したが、感度は GD-302M の方が GD-352M と比較して高いため、測定の対象となるエックス線エネルギーが把握できている場合、それに対応した校正定数を用いて適切な個人線量当量を求めることが可能である。

本研究ではガラス線量計 GD-352M 及び GD-302M の線量計応答の角度分布の比較を行った。円筒形のガラス線量計は ISO 水ファントム又は ISO ピラーファントム中央に軸方向を鉛直及び水平にして設置し、いずれの入射方向に対しても角度分布を取得した。評価に用いた線種はいずれの条件でも ISO narrow series N60 (平均エネルギー 48 keV) である。

GD-352M の相対レスポンスの角度分布は、いずれのファントムであってもファントムに水平に設置した場合の相対レスポンスは 60 度で急激に落ちている。手首足首追加モニタリング用線量計を校正するための ISO ピラーファントムに設置した場合、水平方向に設置した GD-352M の相対応答は 45 度までほとんど変化がなかった一方で、ISO 水ファントムに水平に設置した線量計については入射角度を増加させると相対応答はわずかに増加し、その後急激に減少した。この応答の違いについてはファントムサイズの違いにより説明できる。ISO ピラーファントムに比して、ISO 水ファントムは面積が大きく、線量計はいずれもファントム中央に設置されている。照射角度を増加させる際に、入射エックス線に対してファントムは傾くことになるが、結果として投影面積が変わることになる。その影響でファントムからの散乱線が線量計に入射する量に違いが出ると考えられる。

(2) ガラス線量計応答に係る予備試験について
前述 (1) で導出した校正定数を用い、実際に

全身に小型ガラス線量計素子を取り付けた場合に適切にモニタリングできているかの予備照射を行った。

図3に示した予備試験では、移動型エックス線透視装置を用い、脊髄への手技を行う整形外科医を模擬してファントムを配置し、ファントム上に線量計を配置した。

使用機器は島津製作所製 OPESCOPE ACTENO である。また、患者はアクリル製ファントムで模擬した。照射条件は、C アームを水平にした状態の 90 度方向、C アームを垂直にした 0 度方向の 2 方向を設定した。透視装置の撮影条件を表1に示す。

表1 移動型エックス線透視装置による術者の不均等被ばく評価における透視装置撮影条件

	C-arm 90 deg. 照射	C-arm 0 deg. 照射
空気カーマ (mGy)	343.948	210.804
DAP (mGy m ²)	3.402	2.085
照射条件	108 KV, 3.1 mA	79 KV, 4 mA

表2では図3に示したファントム各所に取り付けた小型ガラス線量計 GD-352M で評価された個人線量当量の分布を示す。なお、眼の水晶体については 3mm 個人線量当量、襟部・体幹部については 1cm 個人線量当量、手指部については 70 μm 個人線量当量で評価した。

表2に示す通り医療従事者の各所に取り付けた線量計で適切にモニタリングできていることが示された。これにより、同一種類の小型ガラス線量計素子を身体各所に取り付け、異なる校正定数を取り付けた箇所に応じて導入することで適切なモニタリングが可能であることが示された。なお、本研究でガラス線量計による線量評価値の

誤差が一部大きめに見積もられているが、これは素子を複数使用してモニタリングした場合のそれぞれの素子からの読出し値が大きく異なっていることに起因している。

表2 移動型エックス線透視装置を用いる手技を模擬したファントム照射での線量分布の比較。部位ごとに異なる線量当量単位で評価した。

	C-arm 90 deg.照射 (μ Sv)	C-arm 0 deg.照射 (μ Sv)
左眼 $H_p(3)_{\text{eye}}$	$(5.7 \pm 0.8) \times 10^2$	$(1.3 \pm 0.7) \times 10^2$
右眼 $H_p(3)_{\text{eye}}$	$(3.7 \pm 0.7) \times 10^2$	$(8.1 \pm 7.4) \times 10^1$
左こめかみ $H_p(3)_{\text{eye}}$	$(6.9 \pm 4.9) \times 10^2$	$(1.9 \pm 0.7) \times 10^2$
右こめかみ $H_p(3)_{\text{eye}}$	$(5.8 \pm 1.2) \times 10^2$	$(1.0 \pm 0.6) \times 10^2$
左鎖骨 $H_p(10)_{\text{trunk}}$	$(5.4 \pm 0.7) \times 10^2$	$(1.6 \pm 0.6) \times 10^2$
右鎖骨 $H_p(10)_{\text{trunk}}$	$(2.3 \pm 0.1) \times 10^3$	$(3.4 \pm 1.1) \times 10^2$
左胸部 $H_p(10)_{\text{trunk}}$	$(2.0 \pm 0.4) \times 10^3$	$(2.2 \pm 0.7) \times 10^2$
左人差指 $H_p(0.07)_{\text{ext}}$	$(1.3 \pm 0.1) \times 10^3$	$(5.3 \pm 0.8) \times 10^2$
左中指 $H_p(0.07)_{\text{ext}}$	$(2.9 \pm 0.1) \times 10^3$	$(1.1 \pm 0.1) \times 10^3$
左手甲 $H_p(0.07)_{\text{ext}}$	$(2.9 \pm 0.1) \times 10^3$	$(9.0 \pm 0.8) \times 10^2$
右人差指 $H_p(0.07)_{\text{ext}}$	$(2.8 \pm 0.1) \times 10^3$	$(4.7 \pm 0.8) \times 10^2$
右中指 $H_p(0.07)_{\text{ext}}$	$(2.8 \pm 0.1) \times 10^3$	$(3.6 \pm 0.7) \times 10^2$
右手甲 $H_p(0.07)_{\text{ext}}$	$(2.9 \pm 0.1) \times 10^3$	$(3.2 \pm 0.8) \times 10^2$

*有効数字2桁とする。

E. 結論

令和5年度の研究では昨年度実施した追加モニタリングに供する線量計に関する国際規格についての調査と計算シミュレーションを用いた検討結果に基づき、本研究班で眼の水晶体等価線量モニタリング用線量計として採用されているガラス線量計について、手首・足首、襟部及び体幹部のモニタリングに適した線量計としての利用が可能か、本研究班で使用中及びの小型ガラス線量計2種類(GD-302M及びGD-352M)について標準照射を行ってその特性を把握するとともに、移動

型エックス線透視装置を用いた手技を模擬した予備測定によって確認した。

手首・足首を模擬したISOピラーファントムに2種類の小型ガラス線量計を取り付けてISO4037-1:2019に規定されるエックス線及び ^{137}Cs γ 線(662 keV)を標準照射して得られた結果から、GD-352Mのエネルギー応答特性は、20 keV以上から662 keVの範囲でIECの規格要件で示された基準値(エネルギー及び角度依存試験で得られた線量計レスポンスに対し0.71 ~ 1.67)に入っており、0.9から1.2の範囲であることが確認

できた。一方の GD-302M については、10 keV 程度の低エネルギーエックス線に対し、線量に対し最大で約 4 倍程度過大に応答することが明らかとなった。線量計の相対レスポンスの角度分布については、いずれの線量計についても 0 度から 60 度までの範囲で、IEC 基準値である 0.71 ～ 1.67 の範囲に入っていることが確認できた。このことから、医療従事者のエックス線被ばくで測定の対象となる、20 keV から 120 keV までの範囲をモニタリングする場合、GD-352M は IEC の規格要件を完全に満たすことが示された。

襟部、及び体幹部に装着する場合の線量計応答特性を評価するため、ISO-PW ファントムに各ガラス線量計を装着してエネルギー応答特性を標準照射により評価した。エネルギー応答特性の評価は、体幹部モニタリングで用いられる、70 μ m、3mm 及び 1cm 個人線量当量の単位で評価を行った。各ガラス線量計でエネルギー応答の値は大きく異なっており、GD-352M については、各個人線量当量単位について 30 keV ～ 200 keV の入射エックス線に対し、IEC の定める基準値内に入っていることが分かった。特に、GD-352M のエネルギー応答特性に関しては、1cm 個人線量当量の応答は、他の線量単位と比較しても、10 keV 以下の範囲に至るまで、IEC の定める基準値以内に入っている。また、GD-302M では、いずれの個人線量当量単位であっても、100 keV 以下のエネルギーのエックス線に対して IEC の基準値を大幅に越えて過大に応答することが明らかとなった。線量計の相対レスポンスの角度分布についても ISO ピラーファントムを用いた手首・足首部の追加モニタリングに用いる試験と同様に実施され、各ガラス線量計について 0 度から 60 度までの範囲で、IEC 基準値である 0.71 ～ 1.67 の範囲に入っていることが確認できた。このことから、医療従事者のエックス線被ばくで測定の対象となる、20 keV から 120 keV までの範囲をモニタリングする場合、GD-352M は IEC の規格要件を完全に満たすことが示された。

この結果は、手指部等末端部の結果と同様であり [7]、エネルギー補償フィルター付ガラス線量計 GD-352M の設計がエックス線に対しても良好な応答を示すように配慮されたものと考えられる。

本年度の研究により、小型ガラス線量計を医療従事者の身体各部位に装着して、適切なモニタリングが可能であることが示されたが、各部位において等価線量等の適切な推定値を与える個人線量当量は、ISO4037-3:2019 において規定のある ISO 指定のファントム（指の場合、アクリル製ロッドファントム、手首の場合アクリル製ピラーファントム、体幹部の場合はアクリル水槽のスラブファントム）を用いて求められなければならない。本研究で示した通り、線量計の応答にはエネルギー依存があるため、医療者が受ける患者や周辺構造物からの散乱エックス線のエネルギー分布に対して過小評価とならないような校正定数を得ることで、眼の水晶体等、装着した各部位で妥当な線量指示値を得ることが可能となる。

本研究では、GD-352M について、

手首・足首用追加モニタリング： 1.11 ± 0.06 [Sv/Gy] ($k=1$)

体幹部用モニタリング： $H_p(10)$ について、 1.11 ± 0.06 [Sv/Gy] ($k=1$)、 $H_p(3)$ について、 1.12 ± 0.06 [Sv/Gy] ($k=1$)、及び $H_p(0.07)$ について、 1.11 ± 0.06 [Sv/Gy] ($k=1$)

の校正定数を与えることで、各線量単位の個人線量当量を与えることが示された。

現行の法令では、体幹部に装着した線量計からの指示値のうち、 $H_p(10)$ 又は $H_p(0.07)$ のうちいずれか大きい方を体幹部線量の推定値として報告するよう求められている。今回求めた校正定数を用いる場合、「 $H_p(10)$ 又は $H_p(0.07)$ のうちいずれか大きい方」の評価はできないが、線量指示値は一意に決まることになる。また、 $H_p(3)$ は体幹部において実効線量の良い推定値を与える線量当量単位ではないが、医療従事者の襟部に装着した場合には、眼の水晶体被ばく線量の良い推定値を与

える可能性がある。襟部に装着した線量計の指示値と目の水晶体近傍に取り付けた線量計指示値の比を詳細に評価することで、襟部の線量計指示値から目の水晶体当課線量を予測することも可能になる。今回行った予備測定では、襟部（鎖骨付近）に装着したガラス線量計からの1cm個人被ばく線量当量の値は、眼の水晶体線量当量と誤差範囲で一致しており、襟部の線量計からの指示値は眼の水晶体線量当量の良い推定を与えうることを示唆している。一方で、医療従事者の手技、業務は非常に多岐にわたっており、網羅的に評価するにはさらなる実験・コンピュータシミュレーションが必要であるといえる。

F. 健康危機情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

1) M. Kowatari, H. Yoshitomi, K. Nagamoto, K. Nakagami, T. Moritake, N. Kunugita,

“CHARACTERISATION OF SMALL RADIOPHOTOLUMINESCENCE DOSEMETER IN TERMS OF HP(0.07) FOR EXTREMITY DOSE MONITORING OF MEDICAL PERSONNEL”, Radiat Prot Dosimetry. 2023 Oct 11;199(15-16):1807-1812. doi: 10.1093/rpd/ncac259.

2) K. Nagamoto, T. Moritake, M. Kowatari, K. Morota, K. Nakagami, S. Matsuzaki, S.

Nihei, M. Kamochi, N. Kunugita, “Occupational radiation dose on the hand of assisting medical staff in diagnostic CT scans assisting medical staff in diagnostic CT scans”, Radiation Protection Dosimetry, Volume 199, Issue 15-16, October 2023, 1774-1778, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncad028>

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

引用文献

[1] <https://www.rad-ms.mhlw.go.jp/top/> access on 10h February 2023.

[2] 千代田テクノ株式会社 ガラス線量計素子・ガラス線量計読出装置 https://www.c-technol.co.jp/cms/wp-content/uploads/2014/11/e-dose_ace.pdf Available on 22nd February 2023.

[3] ISO 4037-3:2019 Radiological protection – X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence

[4] ISO 4037-1:2019. Radiological protection – X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 1: Radiation characteristics and production methods

[5] EC 62387:2020 Radiation protection instrumentation – Dosimetry systems with integrating passive detectors for individual, workplace and environmental

monitoring of photon and beta radiation

[6] Behrens, R. “AIR KERMA TO DOSE
EQUIVALENT CONVERSION COEFFICIENTS NOT
INCLUDED IN ISO 4037-3” Radiation
Protection Dosimetry (2011), Vol. 147, No.
3, pp. 373- 379.

[7] Kowatari, M. et al. “CHARACTERISATION
OF SMALL RADIOPHOTOLUMINESCENCE DOSEMETER
IN TERMS OF HP(0.07) FOR EXTREMITY DOSE
MONITORING OF MEDICAL PERSONNEL” Radiation
Protection Dosimetry (2022), accepted on
14-Nov-2022

労災疾病臨床研究事業費補助金
「放射線防護マネジメントシステムの適用と課題解決に関する研究」
令和5年度 分担研究報告書

Augmented Reality (AR) を利用した放射線防護教育
(「大人が楽しむ科学教室」での活動報告)

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

研究協力者 松崎 賢 社会医療法人財団池友会新小文字病院放射線科

研究要旨

2023 年 4 月より、労働災害を減少させることを目的とした第 14 次労働災害防止計画が始まり、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の導入支援や、Digital Transformation (DX) の利活用が期待されている。そこで、安全衛生活動の一環として提案する Augmented Reality (AR) を利用した放射線防護のための体験型教育を実施したので、その活動について報告する。

外部放射線防護の 3 原則の距離、遮蔽に関する事項の学習に限定した教材を作成した。血管造影検査室での放射線診療を想定し、そこで行われる放射線診療の実寸サイズの散乱線の広がり、備え付けの防護カーテンの遮蔽効果をカラーマップで表現した。その他、医療現場で使用される装置や寝台、患者、防護カーテンなども含めて AR 画像を作成し、実際の医療現場に没入できるようなアプリケーションを開発した。作成した AR アプリケーションを使用して、千葉市科学館で開催された「大人が楽しむための科学教室」で、一般市民の方々に向けた放射線防護教育を実践した。

教育を実施した結果、ほとんどの参加者から理解しやすいと評価された。特に、AR による体験型教育が、外部放射線防護の 3 原則の距離、遮蔽の理解に役立ったという感想が多かった。放射線防護を学習する教材として有効であることが利用者の声からも推察される。これは、模擬 (AR 化) した放射線診療装置の周囲を、iPad を持って移動し、自身の立ち位置や遮蔽効果による線量の多寡を直接可視化できたという体験型教育の効果が主要因だと考えられる。単に知識や情報を習得するための教育である座学教育には限界があり、学習者の記憶に残りやすいといわれている体験型教育を取り入れることが有効であると考えられる。

今後の放射線防護教育として、AR といった DX 化された教材の積極的な利活用が、放射線防護の正しい理解を促進させる点で期待される。

A. 研究目的

2023 年 4 月より、労働災害を減少させることを目的とした第 14 次労働災害防止計画が始まった[1]。この計画では、多様な形態で働く労働者の安全と健康を守りつつ、その能力を十分に発揮できる社会を実現すべく、国、事業者、労働者等の関係者が重点的に取り組むべき事項について策定されている。当然ながら医療従事者も労働者の一人として含まれており、この計画に準じた活動が望まれる。

この計画内の放射線防護に関わる取り組みとして、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の導入支援がある。この支援では、被ばく低減を達成するための具体的な施策が定められているが、それを支える根底には放射線防護に関する教育が必要不可欠である。さらに、第 14 次労働災害防止計画では、Virtual reality (VR) や Artificial Intelligence (AI) 等の活用といった Digital Transformation (DX) も期待されている。これは、効率的・効果的な安全衛生活動の推進を目的としており、年齢を問わないすべての労働者の疾病予防に向けた取り組みが求められている。

そこで、労働者のための安全衛生活動の一環として、Augmented Reality (AR) を利用した放射線防護のための体験型教育を、我々は提案している。今回この教育を、初学者である一般の方々を対象に実施したので報告する。

B. 方法

1. 放射線防護教育のための AR アプリケーションの作成

誰しもが簡便に理解できることを目的に、外部放射線防護の 3 原則の距離、遮蔽に関する事項の学習に限定した教材を作成した。まず、血管造影検査室での放射線診療を想定し、そこで行われる放射線診療の散乱線の広がり、寝台の片側に備え付けてある防護カーテンの効果をカラーマップで表現することとした。これらの条件下での実

寸サイズのカラーマップを AR 画像として作成した。実寸サイズにすることで、X 線管からの距離感も理解できることを目指した。

一般の方々を対象とすることを想定した場合、医療現場の風景をイメージしやすいような工夫が求められる。そこで、医療現場で使用される装置や寝台、患者、防護カーテンなども AR 画像で作成し、実際の医療現場に没入できるようなアプリケーションの開発を目指した。作成したアプリケーションは、モバイル端末である iPad に実装した。

2. 千葉県科学館で行われた「大人が楽しむ科学教室」での体験型教育

千葉県科学館では、大人が楽しむための科学教室が定期的（月に 2～4 回程度）に開催されている。今回、この科学教室において、一般市民の方々に向けた AR アプリケーションを利用した放射線防護教育を実践できる機会を得た。

対象者は、一般応募によって選抜された性別、職種、被ばく歴等は問わない成人した一般市民であった。学習事項は、座学による放射線に関する基礎講習と、AR アプリケーション利用した体験型教育とした。まず基礎講習では、放射線の基礎と最新の放射線診療機器、放射線診療に伴う被ばく、被ばく防護のための考え方など、多岐にわたる内容とした。次に AR による体験型教育では、血管造影検査室を模擬した机の上に、作成した AR を表示させ、iPad を持ったまま周囲を移動してもらい、自身の立ち位置における散乱線量の多寡を視覚的に確認できるような教育を実施した。基礎講習は 50 分程度、体験型教育は 1 人 5 分程度、実施した。

C. 研究結果

1. 放射線防護教育のための AR アプリケーションの作成

血管造影検査室の散乱線の広がり、防護カーテンの効果について AR で表現したアプリケーションを作成した（図 1）。散乱線の広がり、防護カ

カーテンの効果をイメージしやすいように、線量が高い場所を暖色（赤）、低い場所を寒色（青）で表現した。iPad を持って移動しながら、立ち位置の

カラーマップを見ることで、防護カーテンの効果と、距離の減弱が視覚的に理解できる作りとした。

(A)



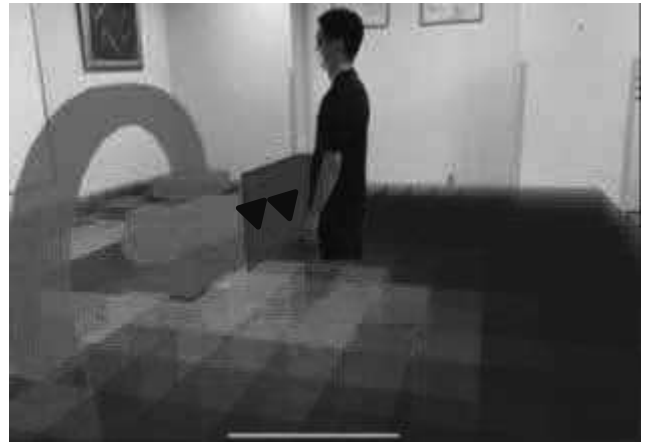
(B)



(C)



(D)



(E)



(F)



図1 模擬した血管造影検査室と散乱線カラーマップのAR画像。紫色のAR画像（矢印）は防護カーテン。Aは防護カーテンが無い側のカメラ画像、BはAのAR画像。CとEは防護カーテンがある側のカメラ画像、DとFはそれぞれのAR画像。Bの人の立ち位置ではカラーマップが暖色になっているのに対し、Dでは寒色になっており、防護カーテンの遮蔽効果が視覚的に確認できる。またFでは、距離による減弱が視認できる。

2. 千葉市科学館で行われた「大人が楽しむ科学教室」での体験型教育

「大人が楽しむ科学教室」に参加した人数は、30 名程であった（図 2）。中には、患者として放射線診療の経験がある方が存在した。参加人数の半数は 70 歳代以上であり、残りは 40～50 歳代が大多数を占めていた。幅広い年齢層であるため、理解度を高めるような平易な言葉を選んで説明を行った。その結果、ほとんどの参加者から「非常に理解できた」という意見を頂けた。特に、AR による体験型教育が、外部放射線防護の 3 原則の距離、遮蔽の理解に役立ったという感想を頂くことができた。また、自身の被ばくについて非常に興味を持っていた反面、医療従事者の被ばくについては知識としてなかった方がいた。この教育を機会に、放射線被ばくについて正しく理解し、真剣に向き合うことを望む声もあった。



図 2 大人が楽しむ科学教室の学習風景

D. 考察

放射線防護について理解を深めるため、AR を利用した外部放射線防護の 3 原則の距離、遮蔽を視覚的に学習できるアプリケーションを開発した。新しい防護教育方法として、放射線防護について初学者である一般の方々でも理解しやすいと評価された。

近年、様々な場面で AR を利活用したアプリケーションが存在している。AR は視覚的な情報を表示することにより、多くの人の作業の効率化が期

待されている。すなわち、AR をはじめとした DX 化されたツールは、今後、ますます発展する可能性がある。今回開発したアプリケーションも、放射線診療装置や寝台、患者などを AR 画像として表示させることで、実際の医療現場をイメージしやすくなったと考えられる。また、参加者の多くは高齢者であるため、実際に病院で検査・治療を受けた経験もあり、その結果、身近なものとして放射線診療を捉えられたこともイメージのしやすさの要因であろう。

放射線は、直接、視覚や聴覚といった感覚で認知することはできない。それが放射線防護の正しい理解の妨げになっていると考えられる。それを改善するために、散乱線の強弱をカラーマップにし、AR 画像として可視化させ、距離による減弱や防護カーテンによる遮蔽効果を視認できる作りとした。その結果として、放射線防護を学習する教材として有効であることが利用者の声からも推察できる。これは、模擬（AR 化）した放射線診療装置の周囲を、iPad を持って移動し、自身の立ち位置や遮蔽効果による線量の多寡を直接可視化できたという体験が要因として考えられる。いわゆる、体験型教育の効果であろう。

体験型教育は、ラーニングピラミッドの中でも下層に位置しており、学習者の記憶に残りやすいことが報告されている[2]。単に知識や情報を習得するための教育である座学教育（Off-the-Job Training: Off-JT）には限界があり、知識を適切に習得することは難しいのかもしれない。また、我々は AR を活用した放射線防護教育を医療従事者に対して実施し、モチベーションという観点から有効であることを報告した[3]。それらの観点からも、今後の放射線防護教育には、体験型教育を取り入れることが有効であると考えられる。さらに、2023 年 4 月より始まった第 14 次労働災害防止計画にも準じており[1]、今後、様々な場面で DX 技術の積極的な利活用が望まれる。

E. 結論

AR を利用した放射線防護のための体験型教育を、初学者である一般の方々に実践した。その結果、外部放射線防護の3原則である距離、遮蔽に関して理解されたという声が多く寄せられた。今後の放射線防護教育として、AR といった DX 化された教材の積極的な利活用は、放射線防護の正しい理解を促進させる点で期待される。

参考文献

1. 労働災害防止計画について .
<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000197308.html> (Accessed 2024 Accessed 15 Feb)
2. Dale Edgar (1946): Audiovisual methods in teaching. The Dryden Press
3. Matsuzaki Satoru, Moritake Takashi, Morota Koichi, Nagamoto Keisuke, Nakagami Koichi, Kuriyama Tomoko, Kunugita Naoki (2021): Development and assessment of an educational application for the proper use of ceiling-suspended radiation shielding screens in angiography rooms using augmented reality technology. European Journal of Radiology 143: 109925

F. 論文報告

なし

G. 研究発表

松崎賢，盛武敬. 医療現場における放射線防護教育. 第96回日本産業衛生学会自由集会 医療従事者のための産業保健研究会. 栃木県. 5月12日, 2023年. (査読なし)

H. 知的所有権の取得状況

なし

DICOM-RDSR と RADIREC. システムを用いた患者の最大入射皮膚線量推定と活用法 (RADIREC. Web サービス体制の紹介)

研究分担者 盛武 敬 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構量子生命・医学部門放射線
医学研究所放射線規制科学研究部 部長
研究協力者 茂呂田 孝一 社会医療法人財団池友会新小文字病院放射線科

研究要旨

本研究では、放射線防護マネジメントを運用する前段階として、実際の医療現場において、診断または治療目的の血管撮影を受ける患者について医療被ばくの実態を調査した。医療被ばくを正確に把握し高線量事例の原因究明や防護対策を実施することは、即ち、放射線業務従事者の職業被ばくの低減に他ならない。

現在の血管撮影装置には、透視や撮影を行う度に詳細な照射条件の記録をすることが義務化されており (DICOM-RDSR)、検査ごとに線量レポートと実測値の関係を解析することで、最終的に、線量レポートに記録された患者基準点の空気の吸収線量 ($K_{a,r}$) 等の値から、正確な患者の最大入射皮膚線量を推定することが可能となった。また、この解析結果は、放射線防護マネジメントの運用に資する情報となる。

DICOM-RDSR を用いた患者の最大入射皮膚線量推定には、蛍光ガラス線量計等の放射線測定器を用いた実測があって初めてその正確性や誤差が評価できることから、推定値の精度を担保するためには実測は欠かせない。

この実測をサポートする体制として、今回、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構量子生命・医学部門放射線医学研究所において、RADIREC. Web サービスの開設準備が整ったので紹介する。

A. 研究目的

放射線業務従事者は、その大小に関わらず、業務中に散乱放射線 (時には直接放射線にも) に曝露している。法令に基づいて個人被ばく線量測定が実施され、その際の実効線量や眼の水晶体等価線量が、線量限度以内 (5 年間で 100 mSv かつ特定の 1 年間に 50 mSv を超えない) に収まるように管理する必要がある。

一方で、患者の医療被ばく管理も重要な課題であり、2020 年 4 月には医療法施行規則の一部改正により、患者の医療被ばく線量の管理と記録が義務化されている。本研究では、放射線業務従事者の労働疾病予防 (職業被ばくの低減のための放射線防護マネジメント) が主たる目的ではあるが、患者線量を正しく評価し低減のために活動することは、即ち、放射線業務従事者の職業被ばく低減に他ならない。

診断に用いられる X 線のエネルギーでは、患者の入射皮膚面の被ばく線量が最大となることから、部位の特定と最大入射皮膚線量を正確に評価する方法の開発が必要となる。また、検査ごとに正確な患者の被ばく線量を把握することで、高線量になった事例の特徴や傾向の評価が可能となり、原因究明に資する情報となる。その情報を基

に、医療被ばく及び職業被ばくの低減に向けた、医療従事者の行動変容に繋げるための放射線防護マネジメントシステムの運用が期待できる。

本研究では、異なる医療機器間において医用画像の相互通信のために開発された Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) 規格の中で、特に、線量情報を収集する目的で開発された Radiation Dose Structured Report (RDSR) を用いた患者の医療被ばく線量管理法及び、RADIREC™ (蛍光ガラス線量計) を用いた実測による医療被ばく線量管理との関係性を説明し、患者及び放射線業務従事者の被ばく低減のための有用性 (活用法) や課題について述べる。更に、実測が重要なことから、それをサポートする RADIREC™ の Web サービスについて紹介する。

B. 研究方法

1. DICOM-RDSR を用いた患者線量管理

1983 年、米国放射線学会と北米電子機器工業は共同で、医療機器の相互通信規格の開発に着手し、改良を経て 1993 年に DICOM 規格を完成させている。2005 年には、線量情報を収集する目的で DICOM 規格に RDSR が追加され、さらに 2010 年には、国際電気標準化会議により IVR (Interventional

Radiology) を実施可能な装置について RDSR の実装を義務付けている。本邦でも RDSR の実装が義務化されたことで、当院においても DICOM-RDSR を任意に抽出し解析可能な環境が実現した。

DICOM-RDSR には、X 線透視や撮影を実施したときの線量記録がその都度保存され、最終的に検査単位で集計される。平成 27 年 6 月 1 日から 10 月 31 日の期間内に、新小文字病院において診断または治療目的で頭頸部領域または心臓領域の血管撮影を実施した 104 例(男性 50 名、女性 54 名)、平均年齢 69.8 ± 14.8 歳(男性: 67.3 ± 16.1 歳、女性: 72.1 ± 13.1 歳)を対象とし、頭頸部領域または心臓領域において、血管撮影を受けた患者の透視線量と撮影線量の割合や、脱毛のしきい線量とされる 3 Gy を超えた症例の割合を調査した。

2. RADIREC™ を用いた患者線量測定(実測)と管理法

患者の皮膚被ばく線量について、RADIREC™ を用いた実測法が報告されている[1-7]。RADIREC™ システムは、蛍光ガラス線量計を用いて患者の皮膚表面線量の測定、管理を行う一連のシステムである。また、その運用方法も報告されている[8]。

頭部 RADIREC™ で、64 個の蛍光ガラス線量計を配した専用の装具を患者の頭部に装着し(図 1)、診断や治療のための血管撮影を行う。終了後、使用した蛍光ガラス線量計を読み取り機関に郵送する(報告当時は産業医科大学、現在は放射医学研究所に全て移管)。その後、読み取り機関が専用装置によって線量数値を読み取り、線量分布図を描画したカルテ保存用シート(線量マッピング)を作成し実施機関に返送された。

平成 27 年 10 月 26 日から平成 29 年 9 月 11 日の期間内に、新小文字病院において診断または治

療目的で頭頸部血管撮影を施行した患者 100 例(男性 44 名、女性 56 名)、平均年齢 60.2 ± 14.3 歳(男性: 58.2 ± 13.6 歳、女性: 61.7 ± 14.8 歳)を対象とし、RADIREC™ によって実測された最大入射皮膚線量(Maximum Skin Dose: MSD)と、装置の DICOM-RDSR から出力された患者入射皮膚面の被ばく線量を想定した患者基準点の空気の吸収線量である $K_{a,r}$ (Incident air kerma at the reference point) との相関関係を調査し、最終的に、検査終了後に $K_{a,r}$ から MSD を推定するための校正定数を算定した。

(倫理面への配慮)

患者の入射皮膚線量測定は、新小文字病院倫理委員会において平成 27 年 6 月 10 日付けで承認され実施した(承認番号: 27004)。

C. 研究結果

1. DICOM-RDSR を用いた患者線量管理

DICOM-RDSR を用いた調査を行った結果、頭部領域または心臓領域の診断と治療の手技について、全線量に占める撮影の線量の割合は、頭頸部領域の診断で $89.9 \pm 10.9\%$ 、心臓領域の診断で $70.7 \pm 12.9\%$ 、頭頸部領域の治療で $73.5 \pm 7.6\%$ 、心臓領域の治療 $69.4 \pm 8.3\%$ となり、全ての手技において、透視よりも撮影の被ばく線量が高いことが明らかとなった。また、血管撮影を受けた患者の MSD が 3 Gy を超えた症例は、頭頸部領域で 16.7%、心臓領域で 27.3% 存在することが判明した[9]。

2. RADIREC™ を用いた患者線量測定(実測)と管理法

血管撮影では、X 線の working angle が頻繁に変更されることが一般的である。このとき装置に

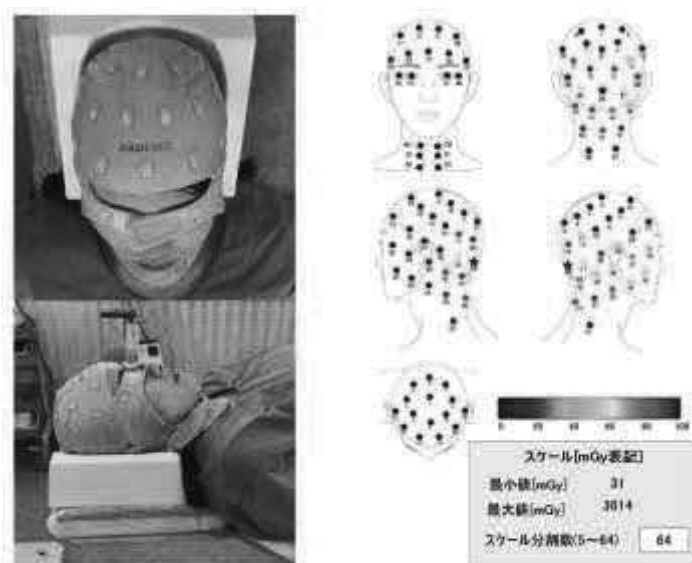


図1 実測風景と測定後の線量マッピング

表示される $K_{a,r}$ は、方向に関係なく照射された全ての患者基準点における空気の吸収線量の総和であることから、患者の MSD と $K_{a,r}$ の関係は、通常 $K_{a,r}$ の方が大きな値となる。なお、患者基準点とは、血管撮影装置の C アームの回転中心から X 線管側に 15 cm 近づいたポイントと定義され、患者の入射皮膚面を想定している。

研究結果から、実測値と $K_{a,r}$ の関係は強い正の相関関係を示し、簡単な一時関数の相関式 $y = 0.583x$ によって $K_{a,r}$ から MSD を推定できることがわかる (図 2)。したがって、診断や治療が終了した直後に、装置に表示された総 $K_{a,r}$ の約 0.6 倍でおおよその MSD を把握することができた。

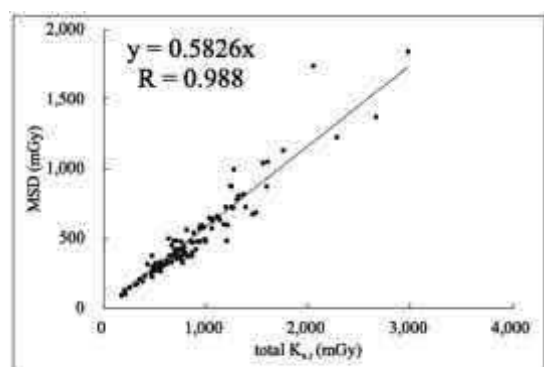


図2 実測値(MSD)と装置表示値($K_{a,r}$)の関係

D. 考察

国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection: ICRP) は、3 Gy を超えるか、繰り返される手技で 1 Gy を超えた IVR 症例の経過観察を推奨している [10]。また、米国放射線防護審議会 (National Council of Radiation Protection and Measurements: NCRP) は、放射線皮膚障害防止の線量指標として、MSD: 3 Gy、 $K_{a,r}$: 5 Gy、 P_{KA} (Air kerma area product): 500 Gy cm^2 、透視時間: 60 分を参考とすべき線量指標としている [11]。

現在、DICOM-RDSR は全ての装置に実装されており、この情報を任意に抽出・解析することができれば、放射線防護マネジメントに活用が可能な貴重な情報源となる。例えば、血管撮影の被ばくは、撮影線量が多いことに留意し、撮影時間を短くする工夫が線量低減に効果的なことを示しており、透視録画の保存を代用することで大幅な線量低減に直結することに繋がる。また、本研究において図 2 の相関式から、 $K_{a,r}$ が 5 Gy のとき患者の MSD はおおよそ 3 Gy となり、NCRP の推奨値とほぼ一致した。このような情報は、検査中や検査終了直後に線量推定を可能とし、検査中であれば、皮膚紅斑等のしきい線量に到達しそうなときに working angle や撮影条件の変更を促し、検査直

後には、経過観察が必要な事例の特定に利用できる。

患者の最大入射皮膚線量を推定することは、放射線皮膚障害の回避等の被ばく管理に欠かすことのできない要素である。しかし、DICOM-RDSR を利用した推定法では、実測との関係性を確認することが最低限必要である。また、その他の推定法としてモンテカルロシミュレーション等を用いた方法が考えられるが、実際の臨床例との誤差を考慮するために、何らかの線量計を使用した実測は欠かすことができない。特に、血管撮影では、多方向からの X 線透視や撮影を行うことから X 線の入射方向 (working angle により) や照射面積 (inch size により) もその都度変更され、最大入射皮膚線量やその部位の判定が難しいことも問題点の一つである。RADIREC™ による測定は、このようなニーズに全て対応している。

RADIREC™ は、IVR 等を受ける患者の入射皮膚線量を測定し管理するために開発された技術である。60 本以上の蛍光ガラス線量計を取り付けた専用の装具で、皮膚に密着するように設計され、伸縮性がよく、装着時の不快感が比較的少ない特長を持つ。現在は頭頸部用・胸部用が開発され (図 3)、患者は専用装具を着用し IVR 等を受ける。

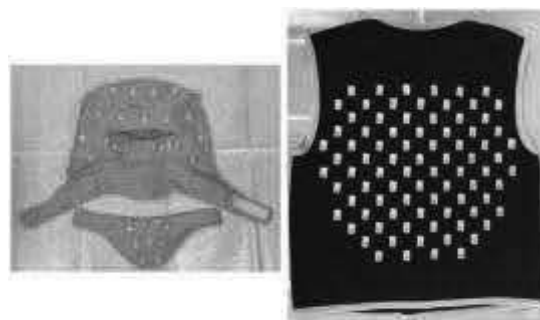


図3 RADIREC™ 頭頸部用 (左) と胸部用 (右)

今回、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構量子生命・医学部門放射線医学研究所において、RADIREC. Web サービス (<http://radiREC.com>) の開設準備が整った。今後のサービス開始に向け、その概要を以下に紹介する。

① 蛍光ガラス線量計や専用の読み取り装置が手元にある場合

RADIREC. Web サービスにアクセスし、検体 ID を取得したうえで、自施設で測定した線量計の読み取り値を RADIREC. サーバーに登録する。線量マップ等レポートを出力する (図 4)。必要に応じ、レポートを自施設の PACS (医用画像サーバー) に取り込む。

G. 知的所有権の取得状況
なし



図4 線量計及び線量計リーダが手元にある場合

② 蛍光ガラス線量計や専用の読み取り装置が
手元にない場合

RADIREC. Web サービスにアクセスし、検査キット（蛍光ガラス線量計）の貸し出しを受け、IVR 等の手技で使用する。終了後、検査センターに返却することで線量計の読み取りデータが医療機関に返信される。このデータの検体 ID を取得したうえで、自施設で測定した線量計の読み取り値を RADIREC. サーバーに登録する。線量マップ等レポートを出力する（図 5）。必要に応じ、レポートを自施設の PACS に取り込む。

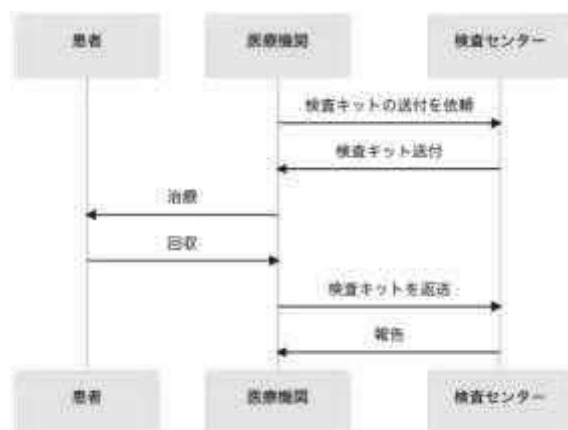


図5 依頼検査の場合

E. 結論

現在、DICOM-RDSR は全ての装置に実装されている。蛍光ガラス線量計等を用いた実測を実施した上で、この情報を任意に抽出・解析することで、放射線防護マネジメントに活用が可能な貴重な情報源となる。

また、実測をサポートするための、RADIREC. Web サービス体制準備状況について紹介した。

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし

参考文献

1. Nishizawa K., Moritake T., Matsumaru Y., Tsuboi K. & Iwai K. (2003): DOSE MEASUREMENT FOR PATIENTS AND PHYSICIANS USING A GLASS DOSEMETER DURING ENDOVASCULAR TREATMENT FOR BRAIN DISEASE. *Radiation Protection Dosimetry* 107: 247-252
2. Moritake T., Matsumaru Y., Takigawa T., Nishizawa K., Matsumura A. & Tsuboi K. (2008): Dose measurement on both patients and operators during neurointerventional procedures using photoluminescence glass dosimeters. *AJNR Am J Neuroradiol* 29: 1910-1917
3. Hayakawa M., Moritake T., Kataoka F., Takigawa T., Koguchi Y., Miyamoto Y., Akahane K. & Matsumaru Y. (2010): Direct measurement of patient's entrance skin dose during neurointerventional procedure to avoid further radiation-induced skin injuries. *Clin Neurol Neurosurg* 112: 530-536
4. Moritake Takashi, Hayakawa Mikito, Matsumaru Yuji et al. (2011): Precise mapping system of entrance skin dose during endovascular embolization for cerebral aneurysm. *Radiation Measurements* 46: 2103-2106
5. Kato M., Chida K., Moritake T., Koguchi Y., Sato T., Oosaka H., Tosa T. & Kadowaki K. (2014): Fundamental study on the characteristics of a radiophotoluminescence glass dosimeter with no energy compensation filter for measuring patient entrance doses in cardiac interventional procedures. *Radiat Prot Dosimetry* 162: 224-229
6. Sun L., Mizuno Y., Iwamoto M., Goto T., Koguchi Y., Miyamoto Y., Tsuboi K., Chida K. & Moritake T. (2014): Direct measurement of a patient's entrance skin dose during pediatric cardiac catheterization. *J Radiat Res* 55: 1122-1130
7. Kato M., Chida K., Moritake T., Sato T., Oosaka H., Toyoshima H., Zuguchi M. & Abe Y. (2016): Direct Dose Measurement On Patient During Percutaneous Coronary Intervention Procedures Using Radiophotoluminescence Glass Dosimeters. *Radiat Prot Dosimetry* 175: 31-37
8. 孫 略 人見 剛, ニツ矢浩一郎, 加藤 守, 川内 寛, 茂呂田孝一, 塚本篤子, 早川幹人, 榮 武二, 松丸祐司, 千田浩一, 盛武 敬 (2015): 多施設間 IVR 被ばく線量解析研究を支援するためのシステム構築. *日本放射線技術学会雑誌* Vol. 71 No. 12: 1241-1247
9. Morota Koichi, Moritake Takashi, Sun Lue, Ishihara Takahiro, Kuma Natsuyo, Yamada Satomi Murata Takahiro & Okazaki Ryuji (2016): Collection of DICOM RDSR (Digital Imaging and Communication in Medicine, Radiation Dose Structured Report) Information Aimed at Reducing Patient Exposure Dose. *J UOEH* 38: 335-343
10. ICRP (2000): Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. . ICRP publication 85: 1-53
11. NCRP (2010): Radiation Dose Management for Fluoroscopically-Guided Interventional Procedures. NCRP Report No. 168. LWW

労災疾病臨床研究事業費補助金
「放射線防護マネジメントシステムの適用と課題解決に関する研究」
令和5年度 分担研究報告書

医療従事者の IVR 作業中の動線と滞留時間を評価するための赤外線人感センサの性能検証

研究分担者 小野 孝二 東京保健医療大学東が丘看護学部/大学院看護学研究科 教授
研究協力者 新井 知大 駒澤大学医療健康科学部 講師
研究協力者 金子 順一 駒澤大学医療健康科学部 教授
研究協力者 日野 稜介 駒澤大学医療健康科学部修士課程
研究協力者 池田 新 駒澤大学医療健康科学部修士課程
研究協力者 中尾 海太 駒澤大学医療健康科学部修士課程
研究協力者 竹吉 正侑 駒澤大学医療健康科学部修士課程

研究要旨

管理区域に立ち入る全ての者は、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）により個人線量計の装着が義務付けられている。放射線業務従事者は個人線量計で計測された結果から個人の被ばく線量を管理しているが、個人線量計が示す値は定められた期間の積算値であるため、いつ、どのような状況で被ばくがあったのかを把握することができない。

長時間の放射線透視を要する Interventional Radiology（以下、IVR という。）では、等価線量限度を超過する可能性が懸念されており、IVR 手技における医療従事者の眼の水晶体等価線量の評価に関する研究成果が多数報告されている。

日本国内における医療従事者の眼の水晶体被ばくに関する実態調査が行われ、1 年あたり 20 mSv を超えていた者の職種は医師に次いで看護師が多いことが報告されている。IVR において、看護師の果たす役割は大きく、患者の容態観察や記録、使用する物品の準備及び術者の業務支援と IVR 室内における業務内容は多岐にわたるが、透視中においても IVR 室内に入室したままであることが多い。また業務の性質上、IVR 室内を移動することが多く、常に患者の体幹部付近に位置した状態で業務を行う医師とは異なる被ばく形態であることが予想される。そのため、IVR に従事する看護師については、職業被ばくに対する不安が大きい。以上の点から、IVR 室内における医療従事者の立ち位置や移動を詳細に把握することの重要性は高い。本研究では、IVR 手技中の医療従事者の動線モニタリングを可能とすることで、職業被ばくの低減に向けた原因究明、業務改善及び医療従事者の放射線防護に関する教育資料としての活用が期待できる。そこで、本研究では室内の熱源の位置や移動のみを記録する赤外線人感センサを用いることを提案する。本研究の目的は赤外線人感センサを活用し、IVR 室内の医療従事者の場所ごとの滞在時間を測定し、被ばく線量の推計を可能とするシステムの開発である。当該システムの精度及び再現性を評価することで、臨床現場への普及に向けて課題を抽出した。

本研究では、赤外線人感センサを活用した医療従事者の行動調査及び職業被ばく線量の推計を可能とする推計システムを試作した。当該システムは高い精度で熱源の滞在時間把握及び線量推計が可能であることが示された。また、線量推計の精度向上のためには、赤外線人感センサの分解能向上が鍵となることが示唆された。今後さらに改善し、臨床現場に導入することで、医療従事者の職業被ばく線量の低減に向けた業務改善や医療従事者の放射線防護に関する教育資料として活用できる可能性がある。

A. 背景

2011 年に国際放射線防護委員会 (International Commissions on Radiological Protection : ICRP) は、組織反応に関する声明^[1] (ソウル声明) を発出した。ここでは、眼の水晶体の白内障のしきい値線量を 0.5 Gy へと引き下げられ、本勧告内容は国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency : IAEA) の国際基本安全基準に取り入れられた^[2]。これを受け、2022 年に厚生労働省は電離放射線障害防止規則を改正し、眼の水晶体の等価線量限度の引き下げをおこなった。

眼の水晶体等価線量限度に対する関心は高まっており、中でも長時間の放射線透視を要する Interventional Radiology (以下、IVR という。) では、等価線量限度を超過する可能性が懸念されており、IVR 手技における医療従事者の眼の水晶体等価線量の評価に関する研究成果が多数報告されている^{[3]-[8]}。

管理区域に立ち入る全ての者は、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) により個人線量計の装着が義務付けられている。放射線業務従事者は個人線量計で計測された結果から個人の被ばく線量を管理しているが、個人線量計が示す値は定められた期間の積算値であるため、いつ、どのような状況で被ばくがあったのかを把握することができない。先行研究において、日本国内における医療従事者の眼の水晶体被ばくに関する実態調査が行われ、1 年あたり 20 mSv を超えていた者の職種は医師に次いで看護師が多いことが報告されている^[3]。IVR において、看護師の果たす役割は大きく、患者の容態観察や記録、使用する物品の準備及び術者の業務支援と IVR 室内における業務内容は多岐にわたるが、透視中においても IVR 室内に入室したままでいることが多い。また業務の性質上、IVR 室内を移動することが多く、常に患者の体幹部付近に位置した状態で業務を行う医師とは異なる被ばく形態であることが予想される。そのため、IVR に従事する看護師については、職業被ばくに対する不安

が大きい^{[9][10]}。以上の点から、IVR 室内における医療従事者の立ち位置や移動を詳細に把握することの重要性は高い。

B. 目的

IVR 手技中の医療従事者の動線モニタリングを可能とすることで、職業被ばくの低減に向けた原因究明、業務改善及び医療従事者の放射線防護に関する教育資料としての活用が期待できる。そこで、本研究では室内の熱源の位置や移動のみを記録する赤外線人感センサを用いることを提案する。本研究の目的は赤外線人感センサを活用し、IVR 室内の医療従事者の場所ごとの滞在時間を測定し、被ばく線量の推計を可能とするシステムの開発である。当該システムの精度及び再現性を評価することで、臨床現場への普及に向けて課題を抽出する。

C. 方法・結果

C-1 赤外線人感センサについて

本研究で動線モニタリングの評価には、HC001 (株式会社 S&D システムズ) を使用した。当該機器は、一般に商業施設等の混雑率の把握、個室内の人数把握、及びセキュリティエリアへの侵入検知等に用いられている。本赤外線人感センサの基本仕様として、データ応答速度は最速で 0.1 秒、視野角は 60° である^[11]。赤外線人感センサを高さ 2.8 m の天井に設置することで、1 辺あたり約 2 m の正方形の範囲において 64 画素 (8 x 8 マトリクス) の分解能で熱源の滞在時間、移動が記録可能である。熱源の位置情報を取得するデータ応答速度は 0.1 秒から任意の長さに変更可能であるが、本研究では、全ての検証において最短の 0.1 秒に設定した。本研究では赤外線人感センサは PC 間とシリアル通信で制御するため、Python 言語を用いたアプリケーションを試作し、取得した行動データは CSV 形式で集計して出力した。赤外線人感センサの概要を Figure 1 に示す。

C-2 赤外線人感センサの検出範囲の検証

赤外線人感センサの検出範囲について、天井高 2.8 m の位置に設置した場合 1 辺あたり 2 m との記載がある^[11]。赤外線人感センサ及び熱源間の距離が変化した場合、当該測定範囲への影響を検証した。しかしながら、実際に運用する際には各施設により天井の高さは様々である。ここでは、熱源として集光性の高い消費電力 90 W のレフ電球を用いた。検証条件として、地面から熱源の高さを 50 cm、75 cm、100 cm、125 cm、150 cm の 5 通りとした。赤外線人感センサ中心から外側へ向けて熱源を移動させ、位置情報が消失する位置を記録することで、赤外線人感センサ及び熱源間の距離が測定範囲に及ぶ影響を検証した。測定ジオメトリを Figure 2 に示す。床面から熱源の高さと位置情報が消失した地点について Table 1 に示す。熱源が高い位置にあるほど検出範囲は小さくなっていた。また、熱源の高さと検出範囲の関係について Figure 3 に示す。熱源の高さが 280 cm と 0 cm の場合における消失位置について、実測した 5 点から得られた直線近似 ($a = -1.4704$, $b = 276.89$, $R^2 = 0.998$) より外挿によって求め追加した。直線近侍の傾きから視野角は 68.4° と求められ、仕様書に記載があった視野角 $\text{Typ. } 60^\circ$ と概ね一致した。Table 1 及び Figure 3 より床面から熱源の高さが低いほど、位置情報の消失位置は中心からの距離が大きくなる。この結果から、赤外線人感センサ及び熱源間の距離が大きいくほど検出範囲は拡張されることがわかる。また、床面から熱源の高さが 1.3 m のとき、すなわち赤外線人感センサ及び熱源間の距離が 1.5 m の場合において、メーカーが記載する検出範囲^[11]である 2 m となることが読み取れる。

C-3 赤外線人感センサの測定精度の検証

本検証では熱源の移動または滞在時間の測定に係る赤外線人感センサの測定精度について評価する。赤外線人感センサは天井高 2.8 m の位置に設置した。ここでは、熱源として 45°C の温水 10 L を底面 30 cm x 30 cm の容器に格納したものを使用した。検証条件として、熱源の移動速度は

時速約 2 km と時速約 4 km の 2 通りとした。熱源の移動経路に関して、1 辺あたり 2 m の正方形の範囲において各頂点で 10 秒間の静止を挟み外周を 1 周する経路を 1 セットとした。2 通りの移動速度について 3 セットずつ繰り返し、その平均値を用いて赤外線人感センサの測定精度の評価を行った。本検証の概要を Figure 4 に示す。

赤外線人感センサにより計測された熱源の滞在時間の積算値について、静止時における計測カウント (Stationary state)、移動時における計測カウント (Moving state) 及び 2 つのカウントの合計値 (Total) として Table 2 に示す。なお、赤外線人感センサの位置情報の取得間隔は 0.1 秒である。また、時速約 2 km と時速約 4 km における熱源の平均滞在時間を Figure 5 に示す。Table 2 及び Figure 5 より、熱源の移動速度が大きくなると赤外線人感センサが取得する計測カウントは、熱源が実際に滞在していた時間よりも小さくなる傾向にあった。また、変動係数はいずれの速度においても 1% 未満であり、高い再現性を示した。本検証における熱源の移動は手動で行ったため、Table 2 中の Stationary state、Moving state の SD 及び CV はそのばらつきを含み、赤外線人感センサの測定精度を表すものではないことに留意が必要である。

C-4 赤外線人感センサを活用した被ばく線量の推計

ここでは透視時における被写体近傍の空間線量率分布を作成する。被写体として胸・腹部用 X 線水ファントム (JIS Z4918 : 1974) を用いた。1.5 m の正方形の範囲において A から D の 4 列、1 から 4 の 4 行から成る正方マトリクス状に 16 分割し、各領域の中心に蛍光ガラス線量計 (GD-352M) を 3 つずつ配置した。また、マトリクスの右辺とファントムの間隔は 10 cm である。なお、透視条件は、管電圧は 80 kV、管電流は 0.1 mA、合計透視時間は 30 分間とした。また、後述する測定装置の高さに合わせ、床面から 50 cm の位置における空間線量率分布を作成した。蛍光ガラス線量計の

配置と空間線量率分布をそれぞれ、Figure 6 に示す。

本検証では赤外線人感センサを活用することで得られる推計値と蛍光ガラス線量計より計測される実測値との比較により、当該手法の推計精度の検証を行う。放射線透視下で遠隔から熱源の操作を可能とするために、ロボット掃除機の上に熱源と蛍光ガラス線量計を搭載した（以下、移動熱源という。）。熱源には集光性の高い消費電力 90 W のレフ電球を用いた。前項で作成した空間線量率分布内において、移動する熱源の滞在時間を赤外線人感センサによって測定する。測定された各領域における熱源の滞在時間と各領域の空間線量率を乗算することで熱源の被ばく線量を推計可能である。このようにして得られた線量を推計線量と呼ぶこととする。移動熱源に搭載された蛍光ガラス線量計により測定される実測値との比較により、本手法の精度を検証する。透視条件は、管電圧は 80 kV、管電流は 0.1 mA、透視時間は赤外線人感センサの計測時間と同期させた上で 3 分間とした。熱源を A2、B2、C2、D2 でそれぞれ静止させ、熱源の静止時における推計精度の検証を行った。また、熱源の移動パターンは A 列から D 列をそれぞれ往復する場合と 2 行目を往復する場合の計 5 通りに加えて、ロボット掃除機の自動運転機能を活用し、線量率分布内をランダムに走らせた場合を 10 回実施した。本検証で使用した移動熱源を Figure 7 に示す。

熱源静止時における各領域の熱源の滞在時間と線量推計の結果について Table 3 に示す。透視条件は、管電圧が 80 kV、管電流が 0.1 mA、透視時間は赤外線人感センサの計測時間である。なお、推計線量は赤外線人感センサが計測した移動熱源の各領域における滞在時間と該当する領域の線量率を乗ずることで得られる推計線量である。また、相対誤差は以下の (1) 式より得られる。

$$\text{Relative error} = \frac{D_e - D_m}{D_m} \quad (1) \text{ 式}$$

ここで、 D_m は移動熱源に取り付けた蛍光ガラス線量計により計測された線量であり、 D_e は赤外線人感センサが計測した移動熱源の各領域における滞在時間と該当する領域の線量率を乗ずることで得られる推計線量である。A2 に滞在した場合の相対誤差は 12% であり、B2 に滞在した場合の相対誤差は 11% であった。C2、D2 の場合では蛍光ガラス線量計の検出限界値を下回り、検出不能であった。

熱源移動時における各領域の熱源の滞在時間と線量推計の結果について Table 4 に示す。透視条件は、管電圧が 80 kV、管電流が 0.1 mA、透視時間は赤外線人感センサの計測時間である。前項と同様に、相対誤差は (1) 式により算出した。また、赤外線人感センサが計測した熱源の滞在時間を Figure 8 に示す。表中の Column A~D は Figure 4 で示したマトリクスにおける 1~4 行目を往復させた結果であり、Row 2 は A2~D2 列目を往復させた結果である。A 列を往復した場合の相対誤差は 21 % であり、B 列を往復した場合の相対誤差は 1 % であった。C、D 列の場合では蛍光ガラス線量計の検出限界値を下回り、検出不能であった。

次に、ロボット掃除機の自動運転機能を用いてランダムな走行を 10 回繰り返した結果を Table 5 に示す。透視条件は同様に、管電圧が 80 kV、管電流が 0.1 mA、透視時間は赤外線人感センサの計測時間である。また、赤外線人感センサが計測した熱源の滞在時間を Figure 9 に示す。Table 5 より、10 回の検証における相対誤差の平均値は 14%、標準偏差は 0.11 である。本検証では再現性の検証のために 10 回の測定を繰り返したものであるが、移動熱源は検証毎に不規則に動作するため、滞在時間は異なる点には留意する必要がある。

D. 考察

本研究では、医療従事者の行動調査と職業被ばくの被ばく線量推計を可能とする推計システムを構築するために、赤外線人感センサを利用した。当該システムの臨床現場への実用化を検討するために、赤外線人感センサの精度と再現性につい

て3つの検証を行いた。はじめに、赤外線人感センサの熱源移動における精度と再現性を確認するため、45度の温水10Lを格納した容器をセンサの検出範囲内で時速約2kmおよび時速約4kmで移動させ、熱源の移動を測定した。結果として、移動速度が高いほど位置情報の損失が増加することが示唆されましたが、時速4kmでも相対誤差が2.5%程度であり、高い精度で人体の移動を測定可能であることが示された。次に、赤外線人感センサを用いた線量推計手法の精度検証を行った。透視下で蛍光ガラス線量計を搭載した熱源を移動させ、線量推計の相対誤差を評価した。結果から行方向への移動では相対誤差が大きくなる傾向が見られ、画素内の線量勾配が影響していることが示唆された。精度向上のためには、画素サイズを小さくし分解能を向上させる必要があると考えられる。最後に、移動熱源の自動運転機能を利用した放射線透視下での線量推計を行い、相対誤差が 0.14 ± 0.11 と高い精度が得られたことを報告した。被ばく線量が高い場合に滞在時間を調査し、高線量率領域での滞在時間が有意に長いことを示唆した。

E. 結論

本研究では、赤外線人感センサを活用した医療従事者の行動調査及び職業被ばく線量の推計を可能とする推計システムを試作した。当該システムは高い精度で熱源の滞在時間把握及び線量推計が可能であることが示された。また、線量推計の精度向上のためには、赤外線人感センサの分解能向上が鍵となることが示唆された。今後さらに改善し、臨床現場に導入することで、医療従事者の職業被ばく線量の低減に向けた業務改善や医療従事者の放射線防護に関する教育資料として活用できる可能性がある。

F. 研究発表

1. 論文発表
駒澤大学修士（診療放射線学）論文として提出
2. 学会発表

IVRに従事する医療関係者の同線及び滞留時間の測定に用いる赤外線人感センサの性能評価。

日野陵介, 池田新, 日野陵介, 中尾海太, 長川彩香, 樋口拓杜, 金子順一, 小野孝二, 新井知大. 第50回日本放射線技術学会秋季学術大会. 2022年10月9日.

参考文献

- [1] International Commission on Radiological Protection. ICRP statement on tissue reactions/early and late effects of radiation in normal tissues and organs—threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP Publication 118. Ann ICRP 2012; 41(1/2).
- [2] International Atomic Energy Agency. Implications for occupational radiation protection of the new dose limit for the lens of the eye. IAEA TECDOC 1731, 2013.
- [3] 藤淵俊王, 藤田克也, 五十嵐隆元, 他. 放射線診療従事者の不均等被ばく管理の実態に基づく水晶体被ばく低減対策の提案. 日本放射線技術学会雑誌 2022;77(2):160-171
- [4] 山田歩美, 大友一輝, 佐藤文貴, 他. 心臓カテーテルインターベンションに携わる看護師の水晶体被ばく—水晶体線量の左右差に関する比較評価—. 日本放射線安全管理学会誌 2021;20(2):52-60
- [5] 隈真一郎, 安田光慶, 大谷浩樹, 他. 心臓カテーテル検査における術者の水晶体放射線被ばく防護教育の効果. 日本放射線技術学会雑誌 2021;77(7):710-717
- [6] 若松修, 福地達夫, 関口博之, 他. 血管造影撮影系の実態調査. 日本放射線技術学会雑誌 2001;57(8):953-962
- [7] Toshimitsu Sato, Yoichi Eguchi, Chika Yamazaki, et al. Development of a New Radiation Shield for the Face and Neck of IVR Physicians. Bioengineering2022;9(8):354-364

[8] 横山須美, 小野和子, 夏目良典, 他. 日本保健物理学会第 53 回研究発表会企画シンポジウム: 眼の水晶体の線量モニタリング及び放射線防護の動向. 日本保健物理学会誌

2020;55(4):191-206

[9] 増島ゆかり, 野戸結花. IVR に従事する看護師の職業被ばくに対する認識と放射線教育に関する調査. 日本放射線看護学会誌 2018;6(1):12-

21

[10] 森泰成, 越田吉郎, 藤井友則, 他. IVR に従事する看護師の被ばく形態の把握と管理手法の検討. 日本放射線技術学会雑誌

2007;63(4):401-411

[11] 株式会社 S&D システムズ. “USB 人感センサ HC001A”. 2022-12-01

<https://sanddsystems.co.jp/hc001A.html> (参照日: 2023-03-23)

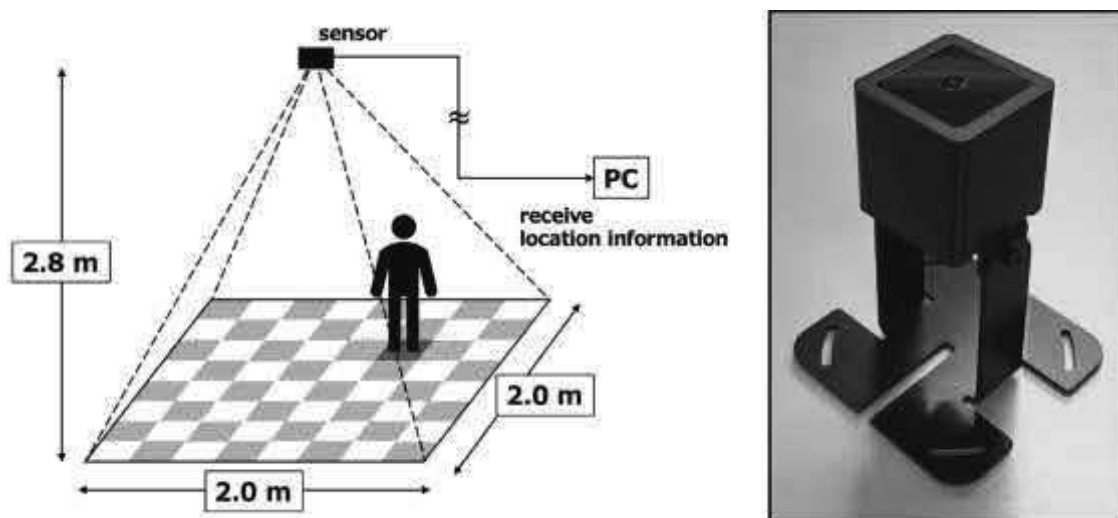


Figure 1

赤外線人感センサの概要図（左：検出イメージ、右：赤外線人感線センサの外観）

赤外線人感センサを天井に設置し、1辺がおよそ2 mの正方形の範囲において人体（熱源）の位置情報を取得可能

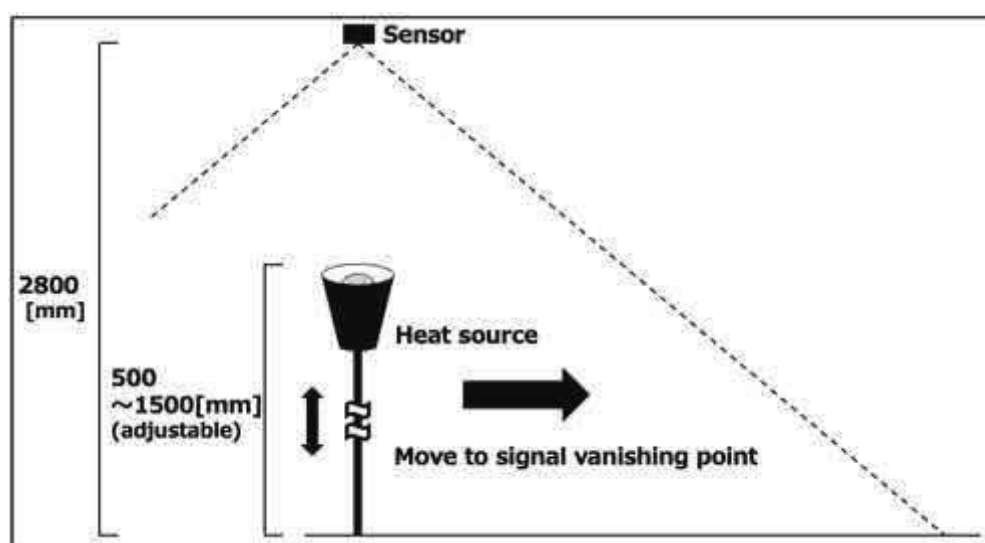


Figure 2 赤外線人感センサの検出範囲の検証に係る測定ジオメトリ

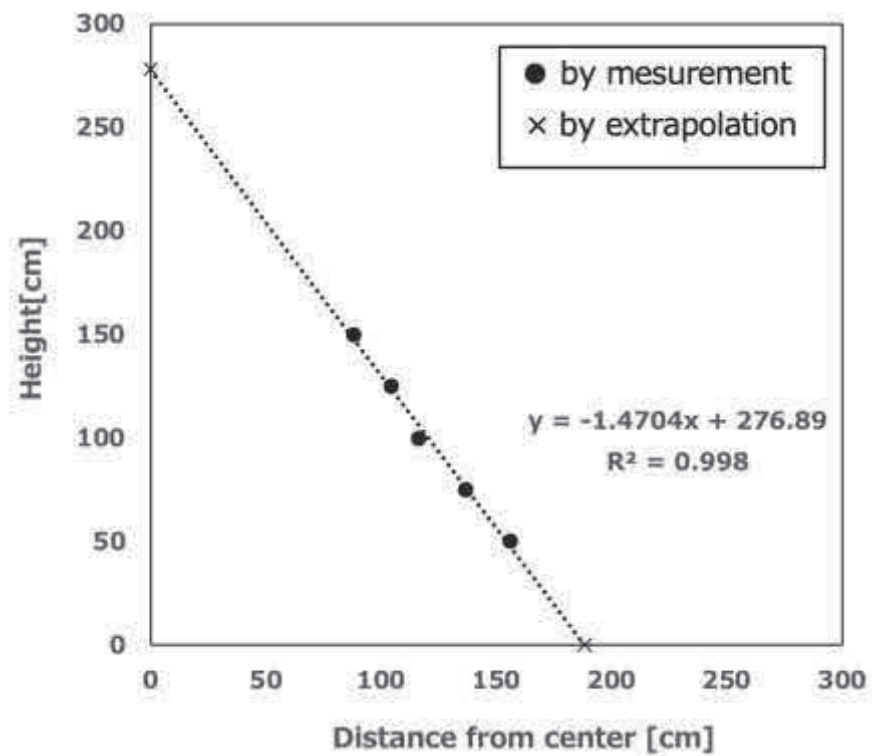


Figure 3 熱源の高さと検出範囲の関係

Table 1 熱源の高さと位置情報の消失地点

Heat source height [cm]	Vanishing point (Distance from center) [cm]
50	156.0
75	136.8
100	116.2
125	104.5
150	88.3

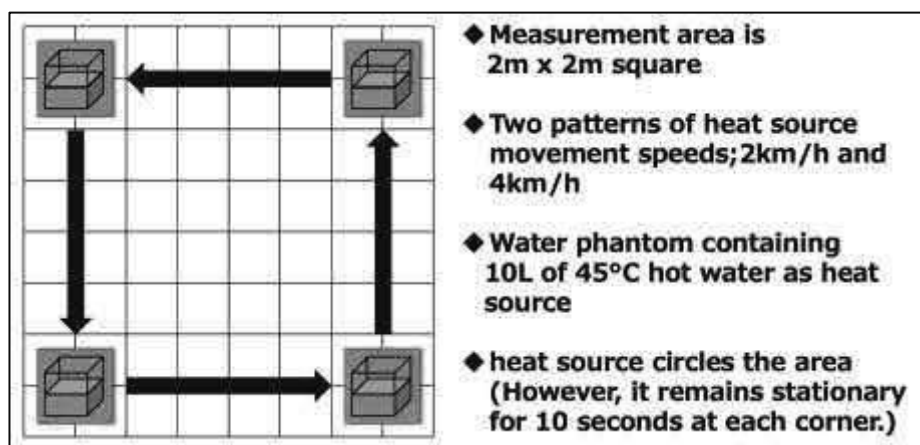


Figure 4 赤外線人感センサの測定精度の検証に係る概要

Table 2 熱源の滞在時間の積算値

		No.1[s]	No.2[s]	No.3[s]	Avg.[s]	SD[s]	CV [%]
2km/h	Stationary state	44.7	44.7	44.5	44.6	0.12	0.26
	Moving state	11.7	11.8	11.7	11.7	0.058	0.49
	Total	56.4	56.5	56.2	56.4	0.15	0.27
4 km/h	Stationary state	41.5	41.8	41.9	41.7	0.21	0.50
	Moving state	5.10	4.70	4.80	4.90	0.21	4.3
	Total	46.9	46.7	47.0	46.9	0.15	0.33

0	0	0	0	0	0	0	0
0	121	9	7	7	5	107	0
0	7	0	0	0	0	7	0
0	7	0	0	0	0	7	0
0	9	0	0	0	0	7	0
0	9	0	0	0	0	6	0
0	113	8	8	7	9	106	0
0	0	0	0	0	0	0	0

1	0	0	0	0	0	0	0
0	102	4	3	3	3	110	1
0	4	0	0	0	0	3	0
0	3	0	0	0	0	3	0
0	3	0	0	0	0	2	0
0	5	0	0	0	0	2	0
1	104	4	2	3	3	101	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 5 赤外線人感センサにより計測した熱源の滞在時間
(左：時速約 2 km、右：時速約 4 km)

Phantom	A1 76.6 4.26E-2	B1 32.9 1.83E-2	C1 12.6 7.01E-3	D1 ND ND
	A2 215 1.20E-1	B2 53.7 2.98E-2	C2 18.3 1.01E-2	D2 ND ND
	A3 175 9.73E-2	B3 52.5 2.92E-2	C3 18.6 1.03E-2	D3 ND ND
	A4 65.0 3.61E-2	B4 29.0 1.61E-2	C4 13.1 7.28E-3	D4 1.79 9.98E-4

Figure 6 被写体近傍の空間線量率分布

上段：30 分間透視における線量[μGy]

下段：上段の線量を透視時間の 1800 秒で除した線量率[$\mu\text{Gy/s}$]

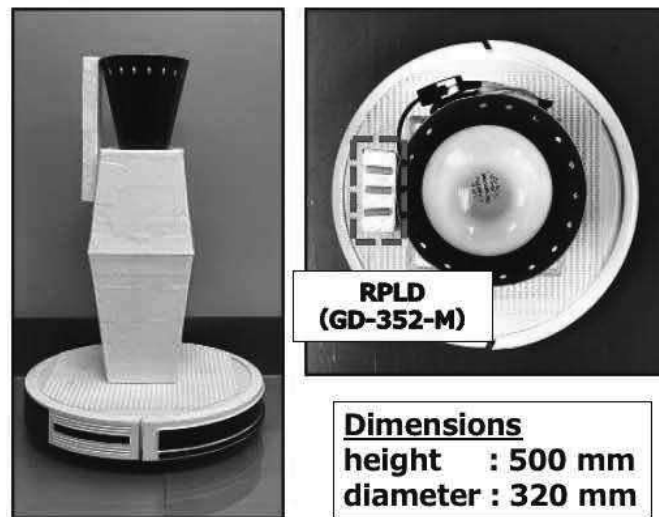


Figure 7 移動熱源（ロボット掃除機上に熱源としてレフ電球とガラス線量計を設置）

（右：移動熱源の側面、左：上から見た移動熱源）

Table 3 熱源静止時における滞在時間の測定結果と線量推計の結果

Area	Measurement time [s]	Actual Dose [μGy]	Estimate dose [μGy]	Relative error
A2	181.1	19.34	21.7	0.12
B2	182.2	6.07	5.43	-0.11
C2	180.8	N.D.	1.83	-
D2	180.5	N.D.	-	-

Table 4 熱源移動時における滞在時間の測定結果と線量推計の結果

Area	Measurement time [s]	Actual Dose [μGy]	Estimate dose [μGy]	Relative error
Column A	182.2	7.61	9.20	0.21
Column B	185.2	3.61	3.57	-0.01
Column C	180.8	N.D.	1.39	-
Column D	180.5	N.D.	0.0693	-
Row 2	180.6	5.25	9.80	0.87

N.D. : Not Detected

	A	B	C	D
1	815	0	0	0
2	166	0	0	0
3	116	0	0	0
4	725	0	0	0

(a)

	A	B	C	D
1	0	818	0	0
2	0	163	0	0
3	0	138	0	0
4	0	733	0	0

(b)

	A	B	C	D
1	0	0	829	0
2	0	0	130	0
3	0	0	147	0
4	0	0	718	0

(c)

	A	B	C	D
1	0	0	0	787
2	0	0	0	218
3	0	0	0	172
4	0	0	0	694

(d)

	A	B	C	D
1	0	0	0	0
2	766	156	170	714
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0

(e)

Figure 8 赤外線人感センサが計測した熱源の滞在時間

(a) A 列往復 (b) B 列往復 (c) C 列往復 (d) D 列往復 (e) A2~D2 間往復

Table 5 熱源移動時における滞在時間の測定結果と線量推計の結果（ランダム走行時）

Case	Measurement time [s]	Actual dose [μGy]	Estimate dose [μGy]	Relative error
1	180.9	5.40	4.42	-0.22
2	181.2	8.23	5.76	-0.30
3	180.4	5.97	5.77	-0.03
4	181.1	5.74	5.10	-0.12
5	182.7	8.66	5.83	-0.33
6	180.4	6.40	5.34	-0.19
7	181.0	5.00	4.65	-0.07
8	178.5	4.14	3.87	-0.07
9	182.0	3.27	3.40	+0.04
10	181.2	5.39	5.14	-0.04
Avg.	180.9	5.48	5.11	0.14
SD	1.1	1.3	1.8	0.11
CV	0.0061	0.24	0.35	0.79

	A	B	C	D
1	124	75	113	12
2	113	59	124	194
3	64	92	86	92
4	169	183	193	116

(Case 1)

	A	B	C	D
1	145	78	143	149
2	77	17	23	88
3	214	124	0	90
4	344	87	98	135

(Case2)

	A	B	C	D
1	161	106	141	89
2	172	33	43	46
3	102	50	21	130
4	288	172	133	117

(Case 3)

	A	B	C	D
1	146	104	145	235
2	87	22	78	67
3	126	53	23	37
4	373	109	87	116

(Case 4)

	A	B	C	D
1	60	59	49	150
2	203	63	73	135
3	140	35	28	112
4	254	134	135	197

(Case 5)

	A	B	C	D
1	100	61	72	182
2	139	69	54	177
3	150	40	46	118
4	257	111	113	115

(Case 6)

	A	B	C	D
1	86	132	149	180
2	108	61	28	114
3	137	30	42	142
4	171	146	141	143

(Case 7)

	A	B	C	D
1	23	72	232	344
2	104	65	88	14
3	47	80	54	86
4	258	90	160	68

(Case 8)

	A	B	C	D
1	153	82	178	214
2	86	20	45	144
3	61	27	38	144
4	22	257	166	165

(Case 9)

	A	B	C	D
1	162	137	264	178
2	116	12	16	115
3	166	5	19	67
4	167	72	64	252

(Case 10)

Figure 9 赤外線人感センサが計測した移動熱源の滞在時間（ランダム走行時）

看護師の被ばくに係る実態調査

研究分担者 栗山 知子 産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学 特任助教
研究分担者 盛武 敬 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構量子生命・医学部門放射線医学研究所放射線規制科学研究部 部長
研究代表者 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
研究協力者 人見 剛 川崎医科大学附属病院中央放射線部
研究協力者 茂呂田 孝一 社会医療法人財団池友会新小文字病院放射線科
研究協力者 中上 晃一 産業医科大学病院放射線部
研究協力者 永元 啓介 産業医科大学産業生態科学研究部放射線衛生管理学 助教
研究協力者 松崎 賢 社会医療法人財団池友会新小文字病院放射線科

研究要旨

1. IVR に従事する看護師の水晶体被ばくの背景因子分析

ICRP による白内障のしきい線量の引き下げを機に、Interventional radiology (IVR) スタッフの水晶体被ばくの評価と防護が重要な課題となっている。本研究は、規模の異なる3病院間に見られた看護師の水晶体等価線量の差に着目し、その差の背景因子を導き出すことを目的とした。時間、距離、遮蔽の3つの観点から検証した結果、施設間の看護師の水晶体被ばく線量の違いは、時間や遮蔽ではなく、X線照射野から看護師が滞在する位置まで距離によって説明できることが示された。加えて、その距離は、スタッフの人員が少ないほど短くなることも明らかとなった。看護師の水晶体被ばく低減には、血管造影室内の滞在位置を放射線源から2 m以上離すことが最も効果的であることが確認された。だが、少ない人員でIVRを担わざるを得ない病院もある。そうした、距離によって被ばく低減を図ることが困難な現場では、勤務管理による時間の側面への介入や、適切に遮蔽を強化するための設備投資が重要となる。

2. 看護師の被ばくに影響しうる血管造影室内の作業環境調査

IVRの作業環境下において、看護師の被ばく線量は作業環境に影響を受ける可能性がある。そのため被ばくに影響しうる血管造影室内での看護師の作業環境および作業管理上の課題を抽出することを目的として、434施設の診療放射線技師に対し、心血管系IVR看護師の作業環境調査を実施した。解析した59施設において、血管造影室内の看護師の滞在位置は、400床未満の病院と400床以上の病院との間で有意差を認めた。また、術者が1名体制の症例割合は、診断目的の手技で400床未満の施設が有意に多く、卒後5年未満の医師が入る症例割合は、400床以上の施設で有意に高かった。病院規模は、IVRを管轄する部署の人員構成および室内の看護師の距離に関係した。

1. IVR に従事する看護師の水晶体被ばくの背景因子分析

A. 研究目的

Interventional radiology (IVR) は、従来の

外科的手術と比べ患者の身体への侵襲性が小さく合併症の発生率が低いとされており、新たなツールやデバイス開発に伴い、近年、適用疾患が拡大している。デメリットとしては、放射線透視

を用いることによる患者・医療従事者双方への被ばくリスクがある。医療従事者の被ばく線量は、直接線による患者の被ばく線量よりは明らかに小さいが、日々の業務で職業被ばくとして積み重なっていく。労働安全衛生の観点では、危険区域（放射線管理区域）と人が存在する領域は空間的に完全に分離、もしくは立ち入ることが出来ないようにすることが必要だが IVR に従事する医療スタッフにとって、放射線管理区域内での作業は不可避で、また血管造影室には局所的に空間線量率の高いスポットも存在するため、通常は医師等と比べて被ばく線量が低く被ばく線量限度を超過することがない看護師に対しても、被ばく状況の評価と放射線防護の最適化が必要である。我々は本調査の過程で、病院間で IVR に従事する看護師の年間水晶体被ばく線量に差があることに気づき、それが病院特有の因子に影響を受けている可能性を考え、看護師の水晶体被ばくに影響を与え得る要因について検証した。

B. 研究方法

(1) 対象および調査期間

血管造影装置を有する病院の約 6 割を 200 以上の病床規模の病院が占めることをふまえ、本調査は 200 以上の病床規模で機能と病床数が異なる 3 つの救急指定病院（A: 678 床、B: 1182 床、C: 214 床）を選定した。調査期間 2018 年 1 月～2021 年 3 月の間に、各対象病院が任意に設定した 1 年間の症例（A 病院: 900 例、B 病院: 1979 例、C 病院: 492 例）に従事した計 88 名の看護師（A 病院 31 名、B 病院 49 名、C 病院 8 名）を対象者とした。産休等の何らかの理由でひと月以上個人被ばく線量が報告されなかった者については除外した。

(2) データの収集方法（調査方法）

データは、各病院の研究協力者により病院情報システム（hospital information system: HIS）、放射線科情報システム（radiology information system: RIS）、病院内医療用画像規格（digital imaging and communication in medicine: DICOM）

の線量レポート等から抽出されたものである。

(3) 調査項目

各対象者の年間の総水晶体等価線量を算出した。その他、対象者らが担当した総症例数、そのうち X 線の曝射量が多い治療目的の症例数、総透視時間、総 air kerma-area product (PKA) を集計した。加えて、担当症例で使用された血管造影室内のレイアウト、看護師の主な滞在位置、各症例に携わった術者数、看護師数も集計した。この人数には、途中交替要員も含まれる。

(4) 解析方法

水晶体等価線量、症例数、治療症例数、透視下時間、PKA、それぞれの年間量とその因子間の相関を解析し Spearman の順位相関係数 ρ を算出した。相関係数値 r または ρ の解釈は、0.4 未満は弱い相関、0.4～0.69 は中程度の相関、0.70～0.99 は強い相関とした。各因子の病院間比較には、Kruskal-Wallis 検定を実施後、Mann-Whitney U 検定で多重比較を行った。多重比較における有意水準の調整には Bonferroni 法を用いた。3 病院の術者と看護師の人数構成の比較はクロス集計後、同等性の検定（ χ^2 検定）を行った。手技一例ごとの術者と看護師の合計人数の平均（以下、平均人員）と X 線照射野と看護師の滞在位置の間の平均距離との相関分析では、Pearson の相関係数 r 、Spearman の順位相関係数 ρ を算出した。統計解析は SPSS Ver. 25 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) を用い有意水準を 5% 未満とした。

(5) 倫理的配慮

産業医科大学倫理委員会において令和 2 年 6 月 8 日付けで承認された。（承認番号：R1-054）

C. 研究結果

(1) 総水晶体等価線量の病院間比較

C 病院の看護師には総水晶体等価線量が 0 mSv であった者はいなかったが、A 病院と B 病院では、ともに 61% の看護師が 0 mSv であり、C 病院の看護師の総水晶体等価線量は A 病院や B 病院と比べて高い値を示した。総水晶体等価線量が 0.1 mSv 以上を呈した看護師に絞って解析したところ、総水

晶体等価線量には、病院間で統計学的有意差があり ($p < 0.01$)、多重比較検定の結果、C 病院の総水晶体等価線量は、A や B 病院より有意に高いことが示された ($p < 0.01$) (Table 1)。なお、全病院で水晶体等価線量限度 (20 mSv/年) を超過している看護師はいなかった

Table 1. IVR 看護師の総水晶体等価線量と線量パラメータの病院間比較

Hospital	A	B	C	Interhospital comparisons [†]	
HT _{Lens total} dose category	≥0.1mSv	≥0.1mSv	≥0.1mSv	<i>P</i> (Kruskal-Wallis)	Multiple comparison (Mann-Whitney <i>U</i>)
Number (%) of IR nurses	12 (39)	19 (39)	8 (100)		
HT _{Lens total} (mSv)					
mean ± SD	0.8 ± 0.6	0.7 ± 0.6	2.9 ± 1.5	< 0.01	A < C*
median [IQR]	0.8 [0.4-0.9]	0.6 [0.2-0.8]	3.1 [1.7-4.1]		B < C**
C _{total}					
mean ± SD	114.1 ± 49.1	55.2 ± 55.8	48.0 ± 13.7	< 0.01	B < A**
median [IQR]	123.0 [98.8-142.8]	44.0 [36.0-54.5]	50.0 [43.8-58.3]		
C _{therapeutic}					
mean ± SD	43.2 ± 18.0	30.1 ± 24.9	25.5 ± 8.3	< 0.05	B < A*
median [IQR]	50.0 [34.3-53.0]	24.0 [18.5-33.0]	26.5 [21.0-32.5]		
P _{KA total} (10 ³ ×Gycm ²)					
mean ± SD	1895.5 ± 901.5	4118.6 ± 4221.4	819.9 ± 177.8	< 0.01	A < B*
median [IQR]	2028.1 [1539.0-2390.2]	3364.7 [2298.7-3967.8]	859.9 [732.1-939.2]		C < B**
FT _{total} (hour)					
mean ± SD	69.5 ± 30.6	42.2 ± 37.0	20.1 ± 6.1	< 0.01	C < A**
median [IQR]	77.2 [60.1-83.0]	32.7 [24.5-45.2]	21.1 [18.6-24.8]		

HT_{Lens total}: Total lens-equivalent dose. C_{total}: Total number of cases. C_{therapeutic}: Number of therapeutic IR cases. P_{KA total}: Total air kerma-area product. FT_{total}: Total fluoroscopy time. SD: Standard deviation. IQR: Interquartile range [1st-3rd quartile]. N.A.: not available, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, † Below detection threshold. ‡ Analysis limited to nurses for whom HT_{Lens total} ≥ 0.1 mSv.

(2) 総水晶体等価線量と時間因子の関係

病院ごとに、時間関連因子である総担当症例数、総担当治療症例数、総透視時間、総 PKA 同士の相関を解析するとどの組合せにも中程度か強い相関 ($0.51 \leq \rho_{A/B/C} \leq 0.97$) が認められた。3 病院をまとめて解析した結果には、総担当症例数、総担当治療症例数、総透視時間同士では高い相関 ($0.86 \leq \rho_{total} \leq 0.96$) を認めた。だが、総 PKA と総担当症例数、総担当治療症例数、総透視時間との間の相関はいずれも弱かった。総水晶体等価

量と時間関連指標との関係では、3 病院をまとめて解析した結果ではいずれの指標とも弱い～中程度の相関 ($0.19 \leq \rho_{total} \leq 0.51$) を示し、A 病院だけの解析では強い相関 ($0.75 \leq \rho_A \leq 0.91$) を認めた。

(3) 血管造影室内の遮蔽状況

B 病院では全血管造影室に衝立型防護板 (RS) が装備されており、看護師はその裏側に滞在して作業を行っていた。A 病院では、A-I と A-III に RS がなかったが、その 2 室では看護師は X 線照射

野から離れた入室ドアの外側に立ち、血管造影室の壁に隠れるような位置で作業することが多かった。C 病院では C-I で RS が設置されていなかったが、症例の多くは RS が設置された C-II で手技

が行われていた。吊下げ型防護板 (CSS) は、いずれの病院でも全室に装備されていた (Table 2、Figure 1)。

Table 2. 血管造影室の概要、調査期間中の実施症例数、床面積、距離、遮蔽板設置状況

Room	Angiography system	Main area	Number of cases	Floor space (cm ²)	Distance* (cm)	CSS	RS
Hospital A							
A-I	Alphenix INFX-8000V ^a	Cerebral	357	4,140	500	+	—
A-II	C vision PLUS ^b	Abdominal	120	4,225	400	+	+
A-III	Artis-Zee ^c	Coronary	423	4,225	400 [†] / 350 [‡]	+	—
Hospital B							
B-I	Alphenix INFX-8000V ^a	Thoracoabdominal	561	4,200	220	+	+
B-II	Allura Xper FD20/10 ^d	Cerebral	521	4,200	220	+	+
B-III	Allura Clarity FD10/10 ^d	Coronary	897	4,200	400	+	+
Hospital C							
C-I	BRANSIST Safire VC9 slender ^b	Cerebral	169	5,016	180	+	—
C-II	BRANSIST Safire ^b	Coronary	323	5,016	150	+	+

*Distance from the center of rotation of the C-arm (X-ray irradiation field) to the location where the IR nurse took records (position of the IR nurse).

†Brachial artery approach. ‡ Femoral artery approach

CSS: Ceiling suspended lead shield, RS: Rolling lead shield

a: Canon Medical System Corporation, Askim, Sweden. b: Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan.

c: Siemens Healthineers Solutions, Erlangen, Germany. d: Philips Healthcare, Best, The Netherlands.

All of devices a–d were the under-tube type with the X-ray tube under the table.

(4) 総水晶体等価線量と X 線照射野-滞在位置間距離の関係

総水晶体等価線量に病院間の差を生じさせる因子を明らかにするため、総水晶体等価線量から時間の影響を除いた水晶体等価線量率と X 線照射野-滞在位置間距離 (以下、滞在位置) との関係のプロットすると、次式で良好にフィットできた。

水晶体等価線量率 (μ Sv/hour)

$$= 3.81 \times 10^6 \times \{D_{\text{mean}} (\text{cm})\}^{-2} - 15.5$$

$$r^2 = 0.765$$

(5) X 線照射野-滞在位置間距離と IVR スタッフ人数の関係

滞在位置に差異をもたらした理由を探るため平均人員との相関を解析し、滞在位置と平均人員には強い正の相関 ($r = 0.89$ 、 $\rho = 0.87$ 、 $p < 0.01$) が認められた (Figure 2)。

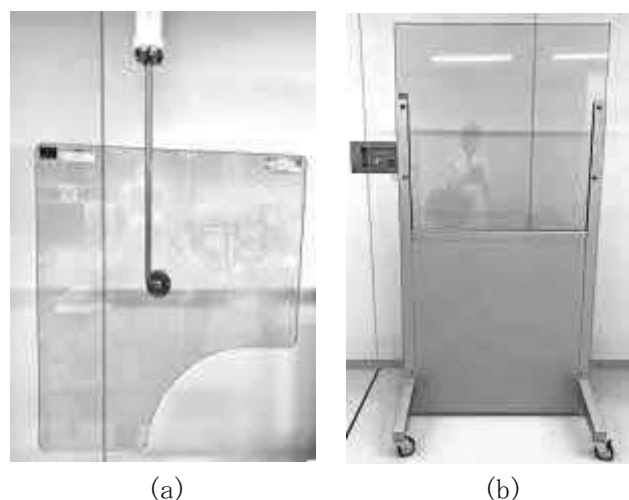


Figure 1. 血管造影室に設置された放射線遮蔽装置 (a) 天井吊り防護板(CSS)、(b) 衝立型防護板(RS)
どちらも 0.5mm-Pb 相当

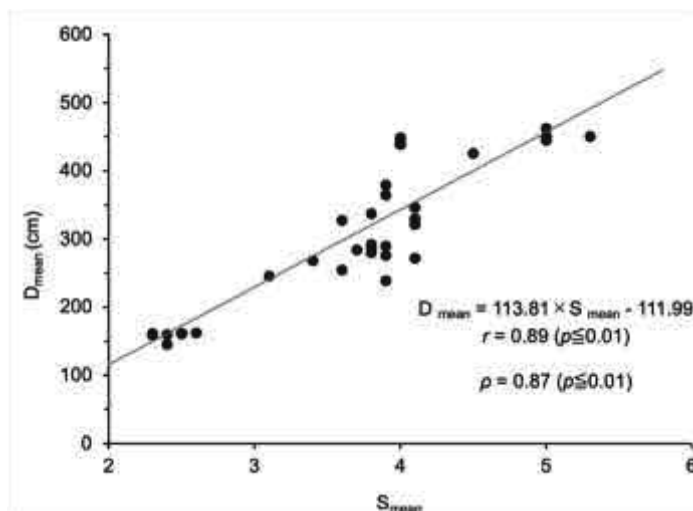


Figure 2. IVR の平均人員数と、X 線照射野と看護師の位置の間の平均距離との関連

(6) IVR スタッフの人数構成

IVR 手技を担当した人員構成を調査したところ、全ての副カテゴリーにおいて統計学的な有意差 ($p < 0.01$ 、 χ^2 検定) を認めた (Table 3)、各病院

のメジャーな人数構成は、A 病院では、術者 2 名と看護師 2 名、B 病院では術者 2 名と看護師 1 名、C 病院では 術者 1 名と看護師 1 名のパターンであった。

Table 3. Numbers of physicians and nurses working on one IVR procedure

Hospital	A		B		C	
	<i>n</i> (exp)	ASR	<i>n</i> (exp)	ASR	<i>n</i> (exp)	ASR
Total number of physician and nurse						
Two	108 (204.4)	-9.1*	355 (467.6)	-9.6*	306 (97.0)	26.2*
Three	188 (225.9)	-9.8*	673 (516.9)	12.9*	59 (107.2)	-5.8*
Four or more	598 (393.7)	16.6*	857 (900.5)	-3.2*	26 (186.8)	-17.4*
Number of physician						
One	149 (271.0)	-10.4*	477 (587.6)	-8.6*	354 (121.4)	27.0*
Two	410 (394.9)	1.2	982 (856.3)	9.1*	36 (176.8)	-15.2*
Three	295 (192.5)	9.8*	392 (417.3)	-2.2	9 (86.2)	-10.0*
Four or more	37 (32.6)	0.9	81 (70.8)	2.0	0 (14.6)	-4.2*
Number of nurse						
One	350 (516.9)	-13.3*	1121 (1061.5)	4.4*	332 (224.6)	11.7*
Two	425 (321.4)	8.5*	646 (660.0)	-1.1	50 (139.6)	-10.1*
Three	100 (54.5)	7.5*	81 (111.9)	-4.7*	9 (23.7)	-3.3*
Four or more	25 (7.2)	7.9*	0 (14.7)	-6.0*	0 (3.1)	-1.9

n: Number of cases, exp: Expected number of cases, ASR: Adjusted Standardized Residual

* χ^2 test, $p < 0.01$

D. 考察

総水晶体等価線量が 0 mSv の者を含む全 88 名を解析したところ、C 病院の看護師の総水晶体等価線量 (mean 2.9 mSv) が最も高かった。これは 0 mSv の者を除外しても同様で、C 病院 (mean 2.9 mSv) は A 病院 (mean 0.8 mSv) や B 病院 (mean 0.7 mSv) と比べ有意 ($p < 0.01$) に高値であった (Table 1)。相関分析では時間に関連する総症例数、総治療症例数、総 PKA、総透視時間同士の病院ごとの相関は中程度から強い相関 ($0.51 \leq \rho_{A/B/C} \leq 0.97$) が認められた。

作業者が放射線に晒される時間が長くなるとそれに伴って被ばく線量が増大するという前提では、時間関連因子同士に相関関係を認めたという結果は妥当である。また、A 病院では総水晶体等価線量がそれらの因子間と強い相関 ($\rho_A \geq 0.7583$) を示し、時間関連因子の値を組み合わせること

で看護師の総水晶体等価線量が精度良く推測できる可能性がある。

時間関連因子のうち総担当症例数、総担当治療症例数、総透視時間同士の組み合わせでは 3 病院全体の解析でいずれも強い相関 ($0.86 \leq \rho_{\text{total}} \leq 0.96$) が示されたが、総 PKA とその他 3 つの指標、総担当症例数、総担当治療症例数、総透視時間との組み合わせではいずれも弱い相関を示した。その背景として、B 病院は A 病院よりも総担当症例数が有意に小さいにも関わらず総 PKA が A 病院、C 病院のどちらよりも有意に高かった (Table 1)。各病院の IVR 手技の違いは検証できていないが、B 病院では PKA の高い手技を多く行っていた可能性があり、そうした IVR 手技の違いによる PKA の差が 3 病院全体として弱い相関関係に影響したとみている。

患者被ばく線量の代替線量として血管造影装置に表示される透視時間や PKA が、医療スタッフの眼の水晶体被ばく線量と概ね正相関するという報告はこれまでにいくつかあるが [1-4]、こ

れらはいずれも術者の水晶体被ばく線量に関する結果であり、看護師は室内を動き回るため、看護師の眼の水晶体被ばく線量と透視時間や PKA との間には有意な相関は見られないという報告もある [4]。事実、本研究でも総 PKA が 3 病院で最も高かった B 病院は総水晶体等価線量とは弱い相関であり、またその B 病院の総水晶体等価線量は C 病院の総水晶体等価線量よりも低かった (Table 1)。C 病院の総水晶体等価線量は、A 病院や B 病院と比べ有意に高いことが示された一方で、C 病院の 4 つの時間関連因子の値は、C 病院は A 病院もしくは B 病院と比べて同等か有意に小さい結果であったにも関わらず、逆に C 病院の総水晶体等価線量は A 病院や B 病院と比べ有意に大きく、この C 病院の高い総水晶体等価線量の高さは時間関連因子だけで説明することは出来なかった。このことは、別の病院特有の因子が関与している可能性を示唆している。

CSS は、主に術者の防護に効果的であり、これは全血管造影室に装備され病院間の違いはみられなかった。一方、主に看護師の防護に用いられる RS は、入室ドアの外側に滞在位置があった A 病院の 2 室 (A-I、A-III) そして看護師が術者のすぐ右後方に滞在する C 病院の C-I では装備されていなかった。本研究では総水晶体等価線量に遮蔽因子が及ぼした影響の定量的な検証は行えていないが、看護師の滞在位置は、A-I と A-III においては血管造影室外であり RS と同等以上の遮蔽効果が得られていた可能性が高く、C-I では術者の体幹による遮蔽効果も得られていたと推察できる。加えて、C 病院では看護師が携わった症例の約 2/3 が RS の装備された C-II で実施されいたことから、少なくとも C 病院の遮蔽不足が原因で C 病院の総水晶体等価線量が A や B 病院の総水晶体等価線量よりも高い値を示したとは考えにくい。放射線量は、放射線源と操作者との間の距離の二乗に反比例して減少し、人が線源から離れると線量は急速に減少する。ただ、看護師は手技中に血管造影室内を移動するため、患者や X 線管球から

の正確な距離を測定することは困難である。そこで血管造影室ごとに看護師が最も長く滞在する場所を滞在位置と仮定し、看護師ごとの滞在位置と水晶体等価線量率との関係性について解析を行ったところ、C病院の滞在位置はA、B病院と比べてかなり短く看護師の水晶体等価線量率は、距離逆二乗の法則で良好にフィットすることが出来た。これにより3病院間の看護師の総水晶体等価線量に大きな差を生んだ一番の因子は距離であると推察された。さらに回帰曲線の傾きは滞在位置が2 mを超えると緩やかになり、看護師の滞在位置を少なくともX線照射野から2 m離すことが、水晶体等価線量率の効率的な低減に繋がるということが明らかとなった。

各病院の滞在位置が異なった背景として考えられるのは血管造影室の広さだが、3病院間に差はなかった。看護師ごとの滞在位置と平均人員の関係を調べたところ、滞在位置が平均人員と強く正の相関を示しており (Figure 2)、人員数が少ないほど看護師はX線照射野に近づいて業務を行う傾向にあることが判明した。

さらにIVRを担当するスタッフの人数構成を調査したところ、AとB病院では術者が2名で治療を行うことが多く、C病院では術者1名で手技を担うことが多かった (Table 3)。AやB病院のような大学病院では研修医や医学生への教育の役割が大きいため、治療に入る術者の人数は補佐的な役割を担う研修医等を含めて相対的に多くなる傾向にある。一方で、殆どの症例を術者1人でこなしているC病院では、看護師には術者の行う手技の補佐的な役割がより高くなり、その結果として看護師は術者の直ぐ近くに滞在する時間が長くなると考えられる。看護師は、研修中の看護師も含め手技中に外回り (検査・治療環境の整備、患者介護、記録)、直接介助 (器械出し等) としての役割を担うが、これらは血管造影室内での看護師の滞在位置に直接的に影響を与え、その被ばく線量を左右する可能性がある。本研究では、看護師が手技中に具体的にどのような役割を果たし

ていたかまでは調査を行えなかったが、各病院で看護師が果たす役割に違いがあったものと推察している。看護師は、放射線発生を主体的にコントロールできる術者や診療放射線技師とは異なり、いつ自身が被ばくしているのかを認識することは難しく予測した被ばく回避行動が取りにくい。そのような状況下では、被ばく低減を看護師個人の防護意識や最終的な選択肢であるべきある個人保護装具の装着のみに頼ることには限界があると考えている。看護師の滞在位置の再点検を実施し、可能であればX線照射野から2 m以上離れた位置に滞在するよう指導すべきである。病院の事情で少数のスタッフでIVR手技を行わざるを得ない場合は、看護師個人への指導に限らず、時間の側面への介入として、場合によっては比較的高い被ばくを受ける透視下手技への従事が限られた看護師に偏らないような勤務管理や、防護板等の遮蔽を適切に導入する等、遮蔽面への設備投資も必要である。

E. 結論

本研究では、看護師の水晶体被ばく線量とは本来比例関係にある総担当症例数、総担当治療症例数、総透視時間、総PKAが小さいにも関わらず、看護師の水晶体被ばく線量が高くなる病院があり、その原因が距離因子であるX線照射野-滞在位置間の距離の短さに起因することを明らかにした。病院の事情により少数の人員、特に術者1名と看護師1名の合計2名の構成でIVR手技を行う場合、このX線照射野-滞在位置間距離が短くなる傾向が強いため、出来る限りX線照射野から2 m以上離れた位置に滞在するよう指示し、どうしても近寄る必要があるならば、限られた少数の看護師に偏らないよう均等な勤務シフトを心がけたり、適切な防護機材の使用の徹底が重要である。

F. 健康危機情報

なし

G. 研究発表

(1) 論文発表

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. *Nursing Reports*. 2024; 14(1):413-427. <https://doi.org/10.3390/nursrep14010032>

(2) 学会発表

栗山知子, 盛武敬, 茂呂田孝一, 中上晃一, 人見剛, 松崎賢, 永元啓介, 樺田尚樹. Interventional radiology の環境要因が看護師の水晶体被ばくを与える影響-3病院のデータ解析-. 第38回日本脳神経血管内治療学会学術集会. 2022年10月, 大阪府大阪市.

H. 知的所有権の取得状況

なし

引用文献

- [1] S. Krim, M.B., E. Carinou, L. Donadille, J. Jankowski, C. Koukorava, J. Dominiek, D. Nikodemova, N. Ruiz-Lopez, M. Sans-Merce, L. Struelens, F. Vanhavere. Extremity doses of medical staff involved in interventional radiology and cardiology: Correlations and annual doses (hands and legs). *Radiation Measurements* 2011, 46, 1223-1227.
- [2] Gracia-Ochoa, M.; Candela-Juan, C.; Vilar-Palop, J.; Ruiz Rodríguez, J.C.; Soriano Cruz, A.; Palma Copete, J.D.; Pujades Claumarchirant, M.C.; Llorca Domaica, N. Correlation between eye lens doses and over apron doses in interventional

procedures. *Phys*

Med 2020, 77, 10-17.

[3] Martin, C.J.; Magee, J.S. Assessment of eye and

body dose for interventional radiologists, cardiologists, and other interventional staff. *J Radiol Prot* 2013, 33, 445-460.

[4] Ishii, H.; Chida, K.; Satsurai, K.; Haga, Y.; Kaga, Y.; Abe, M.; Inaba, Y.; Zuguchi, M. Occupational eye dose correlation with neck dose and patient-related quantities in interventional cardiology procedures. *Radiol Phys Technol* 2022, 15, 54-62.

2. 看護師の被ばくに関連する血管造影室内の作業環境調査

A. 研究目的

電離則改正による眼の水晶体等価線量限度が、現行の150mSv/年から20mSv/年への大幅に引き下げられたことを受け、医療従事者の被ばく状況を詳細に把握することが求められている。被ばくが比較的多いとされる診療行為の中には、血管造影に関する業務が含まれている。そこには看護師も介入しているが、術者と比較すると被ばく線量が多くないこともあり、その被ばく状況の実態については多くが明らかになっていない。血管造影室内において、看護師は決められた立ち位置にいる時間も長く、そこで防護状況や患者（散乱体）からの距離が、看護師らの被ばく線量に影響を及ぼす可能性があると考えている。

血管造影検査室業務の中で、看護師は患者のケアや急変時の対応等で患者に近づく状況も度々発生するが、その一方、術者よりも動きの自由度

が高く、被ばく線量以上に個人差が大きいことが、先行研究でも指摘されている。また、手術室にあたる血管造影室やハイブリッド室には、その面積を規定した明確な基準はなく、同時に、その室内での看護師の立ち位置を決める基準や目安もない状況にある。

本研究の目的は、各施設で異なる立ち位置の状況とそれを決定する際に考慮される因子について調査する。これにより、職業被ばくの視点をふまえた血管造影室における看護師の作業環境管理、作業管理上の課題を明らかにし、また改善点等を提示するための資料とする。

B. 研究方法

1. 対象および調査期間

心臓血管系 IVR に現在もしくは過去従事したことのある 434 施設の診療放射線技師を対象とし、2023 年 2 月 1 日から 2023 年 6 月 8 日までの約 4 ヶ月を調査期間とした。

2. データの収集方法（調査方法）

日本血管撮影・インターベンション専門診療放射線技師認定機構および全国循環器撮影研究会のホームページ上に研究参加を促す案内と説明文書、調査票を掲載した。調査票は研究責任者のアカウントで作成した Google forms の URL を提示し、研究対象者は提示された説明文書を読んだ後、研究参加の同意が得られる対象者に回答入力を行ってもらった。

3. 調査項目

(1) 基本属性等

- ・年代、性別、血管造影室での業務経験年数
- ・病院種別：一般病院（公益法人／医療法人／社会福祉法人等）、公立・公的・社会保険関係法人の病院（都道府県／市町村／地方独立行政法人／日本赤十字社／済生会／国民健康保険団体連合会等）、国立病院（厚生労働省／独立行政法人労働者健康安全機構等）、大学病院（国立大学／公立大学／私立大学）
- ・施設のある都道府県

- ・救急医療体制：一次救急指定、二次救急指定、三次救急指定、救急指定はない

- ・病床数

- ・施設の年間心血管撮影・IVR 件数

(2) スタッフの人員構成

① 診断・治療目的の各症例において、医師が 1 人・3 人以上で血管造影室に入る各割合

② 診断・治療目的の各症例において、看護師が 1 人・3 人以上で血管造影室に入る各割合

④ 診断・治療目的の各症例において、卒後 5 年未満の医師（研修医・修練医・専攻医等）が、上級医とともに血管造影室に入る割合

(3) 血管造影室内の作業環境（最も頻繁に使用する 1 室）

① 血管造影室の広さ：40m² 未満、40～50 m² 未満、50～60 m² 未満、60～70 m² 未満、70 m² 以上、わからない

② 吊り下げ型防護板（CSS）ならびについで型防護板（RS）の設置状況

4. 解析方法

病床数の中央値 400 床で二群に分け、滞在位置と IVR チームの人員構成に差があるかを Mann-Whitney の U 検定により比較した。また、同じ二群間において、CSS と RS の設置状況の差を χ^2 検定で解析した。

5. 倫理的配慮

日本血管撮影・インターベンション専門診療放射線技師が登録されている医療機関、すなわち IVR 実施施設に対し調査の依頼文書ならびに同意書、調査票を郵送した。調査票への回答があり、同意を得られたことが確認された施設を対象とする。

産業医科大学倫理委員会において令和 5 年 5 月 31 日付けで承認された。（承認番号：R4-012）

C. 研究結果

63 施設の対象者から回答を得た。そのうち、病院種別、施設の所在地（都道府県）、救急医療体制、病床数のデータから、同一施設の可能性がある 4

つは除外し、59 病院を解析対象とした。その結果、滞在位置 (Median [range]) は、400 床未満の病院 250 [200–300] cm と 400 床以上の病院 300 [250–350] cm との間で統計的有意差を認めた ($p=0.032$)。診断目的の手技を術者が 1 名体制で実施する症例割合は、400 床未満の施設が有意に多く ($p=0.046$)、卒後 5 年未満の医師が入る症例割合は、400 床以上の施設で有意に高かった ($p=0.003$)。看護師が 1 名体制の症例割合は、診断目的の手技で 400 床以上の施設で有意に高かった ($p=0.020$)。

血管造影室内の放射線防護板である CSS と RS の設置状況を、400 床未満と 400 床以上で比較したところ、400 床以上では「設置していない」と回答した病院はなく、有意差が見られた。一方、術者の被ばく防護を目的とした CSS については差は認められなかった (表 1)。

表 1. 血管造影室の放射線防護板の設置状況の比

		Beds < 400 (n=28)		Beds ≥ 400 (n=31)		χ^2 -test p-value
		n	ASR	n	ASR	
CSS	All rooms	25	-1.1	30	1.1	0.116
	Some rooms	0	-1.0	1	1.0	
	No installation	3	1.9	0	-1.9	
RS	All rooms	23	-0.2	26	0.2	0.035*
	Some rooms	1	-1.6	5	1.6	
	No installation	4	2.2	0	-2.2	

ASR, adjusted standardized residual: If the absolute value is greater than 1.96, the item is significantly different at the 5% level.

* $p < 0.05$

D. 考察

血管造影室内の作業環境において、放射線防護板の設置状況や、看護師が主にどこで作業（ここでは看護記録）をしているかは、看護師の被ばく線量に影響する因子になる。本調査では、400 床未満の病院の看護師は、400 床以上の病院より、散乱源に近い位置で作業を行っており、病床数（病院規模）と、血管造影室における看護師の滞在位置は、無関係ではないことが示唆された。加えて、400 床未満の病院では、1 人の医師が診断目的の IVR を実施する割合が高く、研修医の従事割合が低かったことから、400 床未満の病院では、単独で手技を担う術者を支援するため、看護師が

術者や患者に近づき、散乱線の近くで作業する状況が生じやすいと推察する。また、看護師の遮蔽を目的とした RS が未設置である割合も高い傾向があり、距離と遮蔽の観点から、それが放射線の曝露量を増加させる可能性がある。これらのことから、血管造影室業務に従事する看護師の職業被ばく防護対策は、400 床未満の病院でより重要だといえる。

E. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

1) T. Kuriyama, G. Hitomi, K. Nakagami, K. Nagamoto, K. Morota, S. Matsuzaki, T. Moritake, H. Kitamura. Differences in nursing work environments from the perspective of radiation protection: A survey of Japanese Interventional Radiology departments. 27th East Asian Forum of Nursing Scholars. 2024 年 3 月, 香港.

脊髓腔造影検査に携わる医師の眼の水晶体線量の実測と放射線防護評価

研究代表者 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

研究協力者 永元 啓介 産業医科大学産業生態科学研究所放射線衛生管理学 助教

研究要旨

脊髓腔造影に携わる医師の眼の水晶体線量を調査し、放射線防護眼鏡や透視装置の違いによる線量低減効果を評価した。医師（ $n = 11$ ）の眼の水晶体線量（3mm 線量当量）を、放射線防護眼鏡に装着した蛍光ガラス線量計（GD-352M）を用いて1症例ごとに測定した。その結果、オーバーテーブルX線管システムでは524（391-719） μSv /検査、アンダーテーブルX線管システムでは58（42-83） μSv /検査であり、右眼の水晶体で顕著に高いHp(3)が確認された。また、放射線防護眼鏡の使用は、オーバーテーブルX線管システム、アンダーテーブルX線管システムそれぞれ54%（50%-57%）、54%（51%-60%）の線量減少率をもたらした。透視装置の種類や放射線防護眼鏡使用の有無が、眼の水晶体被ばく線量の低減に寄与する重要な要因であることが浮き彫りになった。

A. 研究目的

国際放射線防護委員会は2011年の組織反応に関する声明で、白内障のしきい線量を0.5 Gyに引き下げ、計画被ばく状況での職業被ばくについて“定められた5年間の平均で年20 mSv、かついずれの1年についても50 mSvを超えないこと”とする新たな眼の水晶体等価線量限度を勧告した^(1, 2)。このICRP勧告を受けて、2021年4月に関連国内法である電離放射線障害防止規則が改正され、水晶体等価線量限度が5年間に付き100 mSvおよび、1年間に付き50 mSvを超えないと改正された。

Interventional Radiology (IVR) や内視鏡的逆行性胆管膵管造影 (ERCP) を含む放射線診療に参与している医師の眼の水晶体被ばく線量は顕著であることが報告されている⁽³⁻⁶⁾。この状況の中、腰椎椎体間固定術を含む様々な最小侵襲脊椎安定術 (Minimally Invasive spine Stabilization: MIST) が導入されたことにより、術中に透視を用いる機会が増え、脊椎外科医の放射線被ばく線量が増加している⁽⁷⁻¹²⁾。さらに、脊椎外科医が実施する脊髓腔造影を伴うコンピュータ断層撮影 (CTM) は、脊髓の詳細な評価を可能にし、手術計画を容易にするため、脊椎外科医にとって貴重なツールである⁽¹³⁻¹⁵⁾。

脊髓腔造影の頻度が増加することは、脊椎外科医にとって顕著な放射線被ばくの潜在的リスクをもたらす可能性がある。透視検査時の放射線防護は、これまで放射線防護衣を用いて甲状腺、胸部、骨盤を保護することに重点を置いてきた。し

かし、IVR 領域では、放射線被ばくから眼を保護する重要性がますます認識されており、同様に脊髓腔造影中の眼の水晶体への放射線被ばくを低減するための議論が活発化している。それにもかかわらず、脊髓腔造影を行う際の脊椎外科医の眼の水晶体への放射線被ばくに関する報告は依然として少ない。

この研究は、脊椎腔造影中の脊椎外科医の眼の水晶体への放射線被ばくを調査し、放射線防護眼鏡と透視装置の違いによる眼の水晶体への放射線被ばく影響を評価することを目的としている。

B. 研究方法

測定対象

この研究では、2021年11月から2022年4月までの間に11人の脊椎外科医に対して実施された。脊椎腔造影を行う脊椎外科医の眼の水晶体に実際に与えられる線量(3mm等価線量、Hp(3))を測定した。さらに、Hp(3)の変化に基づき、放射線防護眼鏡の線量低減効果を分析した。また、透視装置や検査部位の特性に基づいて放射線被ばくの特性を分類し、Hp(3)の変化を評価した。

X線装置および放射線防護方法

脊髓腔造影は、オーバーテーブル X 線管システム (SONIALVISION G4; Shimazu, 京都, 日本) またはアンダーテーブル X 線管システム (Ultimax-I; Canon, 栃木, 日本) を用いた。図 1 では脊椎外科医の位置が示されている。脊椎外科医は患者のそばに立ち、モニターは脊椎外科医の左側に配

置される。すべての医師には、放射線防護のために、放射線防護眼鏡 (HF-380, 0.07-mm-Pb; Toray Medical Inc., 東京, 日本) と放射線防護衣 (MSA-25L, 0.25-mm-Pb; Maeda Co., 東京, 日本) を着用して検査が実施された。また各検査の透視時間と累積エアカーマ (C-AK) が記録された。



図 1 脊椎外科医師の立ち位置. (a) オーバーテーブル X 線管装置使用時、(b) アンダーテーブル X 線装置使用時

眼の水晶体等価線量の測定について (Hp(3))

眼の水晶体等価線量である Hp(3) は、蛍光ガラス線量計 (GD-352M; Chiyoda Technol, 東京) を用いて空気カーマ (AK) を測定した。GD-352M は、脊髓腔造影時に脊椎外科医が着用する放射線防護眼鏡の内側と外側に取り付けられた (図 2)。

GD-352M は、国際電気標準会議 (IEC 62387) の線

量計システムの要件を満たし、低線量範囲 (0.01 ~ 50 mGy の範囲で $\pm 5.0\%$ 未満) で安定した線量直線性を有している。GD-352M の寸法は $\phi 1.5 \text{ mm} \times 12.0 \text{ mm}$ で、低エネルギー光子を吸収するための Sn フィルター (0.75 mm) が付加されている。本研究で用いた、GD-352M は、検査開始前に変動係数が 3.0% 未満であることが確認された。

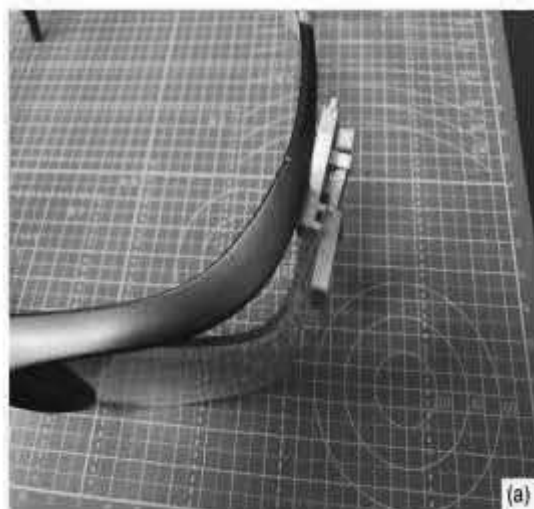


図 2 眼の水晶体線量計装着位置. (a) 装着位置 (上方)、(b) 装着位置 (側方)

測定が完了後、線量計は放射線管理区域の外にある低バックグラウンドの場所に保管した。その後、データは専用の読み取り装置 (FGD-1000; Chiyoda Technol, 東京, 日本) を使用して AK を

測定した。「AK から Hp(3) への変換係数 K」は、以前に報告された方法で実装された。係数 K は 1.21 と決定した⁽¹⁶⁾。使用前に、GD-352M はアニリング処理 (400°C、20 分)、初期 (ベースライ

ン) 値測定を行った。GD-352M の読み取り値から、1 回分の線量値とバックグラウンドの読み取り値を差し引き、係数 K を乗じることで Hp(3) を算出した。

放射線防護メガネによる水晶体線量低減率 (DRR) の解析

DRR は、放射線防護眼鏡の外側と内側の Hp(3) を比較することによって計算され、放射線防護眼鏡による水晶体への放射線量低減効果を判定した。DRR は式 (1) を用いて以下のように計算した：

$$DRR = (1 - \frac{Hp(3)_{inside}}{Hp(3)_{outside}}) \times 100$$

ここで

DRR：線量低減率

Hp(3) outside：外側の放射線防護眼鏡 Hp(3) (μ Sv)

Hp(3) inside：内側の放射線防護眼鏡 Hp(3) (Sv)

統計

Mann-Whitney U 検定は、放射線防護眼鏡の使用前後で Hp(3) に統計学的に有意な差があるかどうかを決定するために使用された。統計的有意性は $p < 0.05$ と設定された。全ての分析は、SPSS ソフトウェア (バージョン 25.0; IBM Corporation, Armonk, NY, USA) を使用して実施された。

倫理について

研究プロトコルの承認は、筆頭著者の所属機関の倫理委員会で承認された (承認番号 R1-054)。

C. 研究結果

オーバーテーブル X 線管装置は、40 件の脊椎腔造影手技に利用され、これらは全て腰椎の検査に限定された。対照的に、アンダーテーブル X 線管装置は、頸椎、胸椎、腰椎の脊椎腔造影検査にそれぞれ 30 件、6 件、22 件で使用され、様々な脊椎領域における検査に幅広く応用された。この結果から、オーバーテーブル X 線管装置が腰椎検査に主に使用されるのに対し、アンダーテーブル X 線管装置は頸椎、胸椎、腰椎を含む多様な脊椎領域での検査に適用されることが示された。

脊椎腔造影に携わる医師の眼の水晶体線量 (Hp(3))

脊椎外科医師の眼の水晶体の線量について、オーバーテーブル X 線管装置を使用した場合、放射線防護眼鏡を着用したときと着用しなかったときの水晶体線量 (右眼) は、それぞれ 236 (150-345) μ Sv/検査と 524 (391-719) μ Sv/検査であり、この差は統計的に有意であった (表 1, Mann-Whitney U 検定、 $p < 0.01$)。アンダーテーブル X 線管装置を使用した場合、放射線防護眼鏡を着用したときと着用しなかったときの水晶体線量 (右眼) は、それぞれ 27 (21-38) μ Sv/検査と 58 (42-83) μ Sv/検査であり、こちらも統計的に有意な差が認められた (表 1, Mann-Whitney U 検定、 $p < 0.01$)

表 1 脊椎外科医師の Hp(3)

X線 管球位置	手技	件数	Hp(3), 右 [μ Sv/ 検査]		p- value	Hp(3), 左 [μ Sv/ 検査]		p- value
			外側 中央値 (IQR)	内側 中央値 (IQR)		外側 中央値 (IQR)	内側 中央値 (IQR)	
オーバー テーブル X線管装置	合計 (腰椎)	40	524 (391-719)	236 (150-345)	<0.01	53 (39-83)	40 (25-61)	0.014
	頸椎	30	47 (39-73)	22 (15-28)	<0.01	13 (8-21)	8 (5-14)	0.017
アンダー テーブル X線管装置	胸椎	6	68 (50-95)	29 (21-45)	0.026	12 (8-22)	9 (7-12)	0.310
	腰椎	22	72 (51-90)	30 (24-46)	<0.01	18 (8-34)	11 (7-21)	0.225
	合計	58	58 (42-83)	27 (21-38)	<0.01	14 (7-23)	10 (6-15)	0.001

放射線防護眼鏡の DRR について

DRR の解析結果を表 2 に示す。オーバーテーブル X 線管装置では、放射線防護眼鏡を使用した場合、DRR は右目で 54% (50%- 57%)、左目で 25%

(11%- 36%) であった。アンダーテーブル X 線管装置では、放射線防護眼鏡を使用した場合、DRR は右目で 54% (51% - 60%)、左目で 34% (16% - 47%) であった。

重回帰分析の結果

重回帰分析の結果、C-AK ($\beta=0.774$, $p<0.01$) と患者の体重 ($\beta=0.123$, $p=0.047$) は Hp (3) に有意な正の影響を及ぼし、これらが Hp (3) 値の有

意な予測因子であることが示された。さらに、透視時間 ($\beta=0.004$, $p=0.941$) と透視システム ($\beta=-0.102$, $p=0.378$) は、Hp (3) に有意な影響を及ぼさなかった。

表 2 放射線防護眼鏡の線量低減率

X線管球位置	手技	DRR [%]	
		右側 中央値 (IQR)	左側 中央値 (IQR)
オーバー テーブル X線管装置	合計 (腰椎)	54 (50-57)	25 (11-36)
	頸椎	56 (52-62)	44 (25-50)
アンダー テーブル X線管装置	胸椎	53 (52-54)	25 (25-43)
	腰椎	53 (50-57)	25 (12-37)
	合計	54 (51-60)	34 (16-47)

D. 考察

本研究では、脊髓腔造影中の脊椎外科医における眼の水晶体等価線量を調査した。その結果、脊髓腔造影に携わる医師は、水晶体線量を低減させるために、1) 照射線量を制御して C-AK を最小化、2) アンダーテーブル X 線管装置システム、3) 放射線防護眼鏡を用いることで、線量低減効果が高いことが示唆された。

放射線診療の安全性は、放射線の可視化を利用した積極的な介入によって近年推進されている⁽¹⁷⁻¹⁹⁾。医療従事者の被ばく線量を低減するためには、各手技に合わせた放射線安全・防護教育と訓練を行うことが必要である⁽²⁰⁾。

この研究では、放射線防護眼鏡の外で測定した Hp (3) は、オーバーテーブル X 線装置で $524 \mu\text{Sv}/\text{検査}$ 、アンダーテーブル X 線装置で $58 \mu\text{Sv}/\text{検査}$ であった (表 1)。Nagamoto らの報告によると、整形外科医における透視下手術時の眼の水晶体等価線量は $8.8 \mu\text{Sv}/\text{検査}$ であり⁽³⁾、それぞれ前述の値の 1/60 および 1/7 に相当する。同様に、IR 中の心臓専門医と脳神経外科医における眼の水晶体等価線量は、それぞれ $207.7 \mu\text{Sv}/\text{検査}$ ⁽³⁾ と $40.0 \mu\text{Sv}/\text{検査}$ ⁽²¹⁾ であったと報告されている。このことは、オーバーテーブル X 線管装置を用いた脊髓腔造影検査において、眼の水晶体被ばくが大きいことを示している。

これまでの研究で、透視下で行う手術中の医師らの被ばく線量は、安全な職業被ばくリスクのレベル内であることが判明している^(3, 9, 10, 12)。本研究では、年間の検査件数と術者の人数を考慮して、想定される年間眼の水晶体線量を算出すると、オーバーテーブル X 線管装置およびアンダーテー

ブル X 線管装置では、 $4.28\text{mSv}/\text{年}$ ($90 \text{ 回} \times 524 \mu\text{Sv}/\text{回} \div 11 \text{ 人}$) および $0.66\text{mSv}/\text{年}$ ($126 \text{ 回} \times 58 \mu\text{Sv}/\text{回} \div 11 \text{ 人}$) であり、前述の年間線量限度を超えていなかった。したがって、脊髓腔造影中の脊椎外科医の被ばく線量も安全な職業被曝リスクレベル内である。

我々は、Hp (3) を低減する簡単な方法として、アンダーテーブル X 線管装置システムの使用を推奨している。しかし、日本では、胃透視や内視鏡をはじめとするさまざまな透視検査がベッドサイドで行われることが多いため、オーバーテーブル型 X 線管装置によく見られる広いベッドが必要となる。そのため、効果的かつ安全に装置を使用するためには、検査の特性を理解し、放射線防護に関する実践的な教育・訓練を実施し、放射線診療の円滑化と放射線防護の最適化を図る必要がある。

放射線防護眼鏡の使用は、どちらのタイプの X 線透視装置においても、眼の水晶体への放射線量を有意に減少させた。オーバーテーブル X 線管装置とアンダーテーブル X 線管装置において、DRR はそれぞれ 54% (50%-57%) と 54% (51%-60%) であり、これは他の透視検査研究で報告された値^(3, 4, 22, 23)と一致している。

重回帰分析の結果、Hp (3) には C-AK と体重が有意に影響したが、透視時間は影響しなかった。検査中の C-AK を低減する方法としては、パルスレートを検査に支障のない低い周波数に調整する、照射野を必要な範囲に限定し不要な拡張を避ける、撮影セッションを最適化する等がある。高画質が要求されない場合には、透視画像保存機能を

用いることで被ばく線量を低減することができる。

脊髓腔造影では、アンダーテーブルX線管の使用、撮影手技や撮影条件の見直し、照射野の縮小、透視画像保存装置の採用、放射線防護眼鏡の使用等、いくつかの対策を組み合わせることで、脊椎外科医の水晶体被曝線量を低減できる。さらに、脊椎外科医に放射線可視化に関するトレーニングを実施し⁽¹⁷⁻¹⁹⁾、患者と医療従事者の放射線量を同時に収集できるシステムを導入することも考えられる⁽²⁴⁾。さらに、防護スクリーン、天井に取り付けた防護板、X線遮蔽板等、代替の放射線防護戦略を検討することも有益である。放射線被ばくと放射線防護に関する包括的な訓練と教育は、画像診断装置を効果的、安全かつ効率的に使用するために重要である。

E. 結論

本研究は、脊髓腔造影手技中における脊椎外科医の眼の水晶体被ばくを最小化するための放射線防護対策の実施の重要性を強調するものである。本研究のデータによれば、単回の脊髓腔造影では、推定される職業被ばく線量が重篤な決定論的影響の閾値を下回っていたことが示されている。しかし、職業被ばく低減に向けた対策は継続的に行うべきである。この結果から、照射線量の管理、撮影セッションの最適化、アンダーテーブルX線管装置の使用、放射線防護眼鏡の使用等が、眼の水晶体被ばく線量を低減する上で重要な要因であることが明らかになった。これらの結果は、脊髓腔造影に携わる医師、特に脊椎外科医の放射線防護に対する意識を高める必要があることを強調するものである。

参考文献

1. ICRP Statement on Tissue Reactions(2011).
2. ICRP ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs - Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. Ann ICRP. 41(1-2), 1-322 (2012).
3. Nagamoto, K., Moritake, T., Nakagami, K., Morota, K., Matsuzaki, S. and Kunugita, N. A multicenter study of radiation doses to the eye lenses of clinical physicians performing radiology procedures in Japan. Journal of Occupational Health. 63(1), e12305 (2021).
4. Endo, M., Haga, Y., Sota, M., Tanaka, A., Otomo, K., Murabayashi, Y., Abe, M., Kaga, Y., Inaba, Y. and Suzuki, M. Evaluation of novel X-ray protective eyewear in reducing the eye dose to interventional radiology physicians. Journal of radiation research. 62(3), 414-419

(2021).

5. Vanhavere, F., Carinou, E., Domienik, J., Donadille, L., Ginjaume, M., Gualdrini, G., Koukorava, C., Krim, S., Nikodemova, D. and Ruiz-Lopez, N. Measurements of eye lens doses in interventional radiology and cardiology: final results of the ORAMED project. Radiation Measurements. 46(11), 1243-1247 (2011).
6. Matsubara, K., Takei, Y., Mori, H., Kobayashi, I., Noto, K., Igarashi, T., Suzuki, S. and Akahane, K. A multicenter study of radiation doses to the eye lenses of medical staff performing non-vascular imaging and interventional radiology procedures in Japan. Physica Medica. 74, 83-91 (2020).
7. Urakawa, H., Sivaganesan, A., Vaishnav, A. S., Sheha, E. and Qureshi, S. A. The feasibility of 3D intraoperative navigation in lateral lumbar interbody fusion: perioperative outcomes, accuracy of cage placement and radiation exposure. Global Spine Journal. 13(3), 737-744 (2023).
8. Ozgur, B. M., Aryan, H. E., Pimenta, L. and Taylor, W. R. Extreme Lateral Interbody Fusion (XLIF): a novel surgical technique for anterior lumbar interbody fusion. The Spine Journal. 6(4), 435-443 (2006).
9. Klingler, J.-H., Scholz, C., Krüger, M. T., Naseri, Y., Volz, F., Hohenhaus, M., Brönnner, J., Hoedlmoser, H., Sircar, R. and Hubbe, U. Radiation Exposure in Minimally Invasive Lumbar Fusion Surgery: A Randomized Controlled Trial Comparing Conventional Fluoroscopy and 3D Fluoroscopy-based Navigation. Spine. 46(1), 1-8 (2021).
10. Wang, T. Y., Farber, S. H., Perkins, S. S., Back, A. G., Byrd, S. A., Chi, D., Vincent, D. and Karikari, I. O. Internally Randomized Control Trial of Radiation Exposure Using Ultra-low Radiation Imaging Versus Traditional C-arm Fluoroscopy for Patients Undergoing Single-level Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. Spine. 42(4), 217-223 (2017).
11. Takaoka, H., Inage, K., Eguchi, Y., Shiga, Y., Furuya, T., Maki, S., Aoki, Y., Inoue, M., Fujiyoshi, T. and Miyamoto, T. Comparison between intervertebral oblique lumbar interbody fusion and transforaminal lumbar interbody fusion: a multicenter study. Scientific Reports. 11(1), 16673 (2021).
12. Funao, H., Ishii, K., Momoshima, S., Iwanami, A., Hosogane, N., Watanabe, K., Nakamura, M., Toyama, Y. and Matsumoto, M.

- Surgeons' exposure to radiation in single-and multi-level minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion; a prospective study. *PloS one*. 9(4), e95233 (2014).
13. Westermaier, T., Doerr, C., Stetter, C., Linsenmann, T., Koehler, S., Eriskat, J., Solymosi, L. and Ernestus, R.-I. Influence of myelography and postmyelographic CT on therapeutic decisions in degenerative diseases of the cervical spine. *Clinical spine surgery*. 30(5), E656-E661 (2017).
 14. Morita, M., Miyauchi, A., Okuda, S., Oda, T. and Iwasaki, M. Comparison between MRI and myelography in lumbar spinal canal stenosis for the decision of levels of decompression surgery. *Clinical Spine Surgery*. 24(1), 31-36 (2011).
 15. Bartynski, W. S. and Lin, L. Lumbar root compression in the lateral recess: MR imaging, conventional myelography, and CT myelography comparison with surgical confirmation. *American Journal of Neuroradiology*. 24(3), 348-360 (2003).
 16. Kowatari, M., Nagamoto, K., Nakagami, K., Yoshitomi, H., Moritake, T. and Kunugita, N. Dose measurement precision of an RPLD-based eye lens dosimeter applicable to the medical sector. *Radiation Protection Dosimetry*. 198(17), 1303-1312 (2022).
 17. Fujibuchi, T. Radiation protection education using virtual reality for the visualisation of scattered distributions during radiological examinations. *Journal of Radiological Protection*. 41(4), S317 (2021).
 18. Chida, K., Takahashi, T., Ito, D., Shimura, H., Takeda, K. and Zuguchi, M. Clarifying and visualizing sources of staff-received scattered radiation in interventional procedures. *American Journal of Roentgenology*. 197(5), W900-W903 (2011).
 19. Matsuzaki, S., Moritake, T., Morota, K., Nagamoto, K., Nakagami, K., Kuriyama, T. and Kunugita, N. Development and assessment of an educational application for the proper use of ceiling-suspended radiation shielding screens in angiography rooms using augmented reality technology. *European Journal of Radiology*. 143, 109925 (2021).
 20. International Commission on Radiological Protection (ICRP) Education and Training in Radiological Protection for Diagnostic and Interventional Procedures. ICRP Publication 113. *Annals of the ICRP*(2009).
 21. Kato, M., Chida, K., Ishida, T., Toyoshima, H., Yoshida, Y., Yoshioka, S., Moroi, J. and Kinoshita, T. Occupational radiation exposure of the eye in neurovascular interventional physician. *Radiation protection dosimetry*. 185(2), 151-156 (2019).
 22. Vano, E., Kleiman, N. J., Duran, A., Romano-Miller, M. and Rehani, M. M. Radiation-associated lens opacities in catheterization personnel: results of a survey and direct assessments. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*. 24(2), 197-204 (2013).
 23. Haga, Y., Chida, K., Kaga, Y., Sota, M., Meguro, T. and Zuguchi, M. Occupational eye dose in interventional cardiology procedures. *Scientific reports*. 7(1), 569 (2017).
 24. Vano, E., Sanchez, R. M. and Fernandez, J. M. Strategies to optimise occupational radiation protection in interventional cardiology using simultaneous registration of patient and staff doses. *Journal of Radiological Protection*. 38(3), 1077 (2018).

放射線被ばく防護に関するアンケート調査

研究分担者 掛田 伸吾 弘前大学医学部附属病院放射線診断科 教授

研究協力者 成田 将崇 弘前大学医学部医療技術放射線部門

研究要旨

背景・目的

医療被ばくの啓発や意識付けにより線量計の装着率は向上したが、その持続性は危惧される。本研究の目的は、現状における意識調査である。

方法

透視室を利用する内科・外科・放射線科の全医師合計 45 名について、無記名で放射線被ばく防護に関するアンケート調査を行った。

結果

主な結果は次の通りである。

- ・放射線被ばく低減に関して興味はありますか：興味がない 7 名、興味がある 38 名
- ・放射線使用時（透視室や血管撮影室、OPE 室 C-arm 等）に線量計（ガラスバッジ等）を装着する義務があることを知っていますか：知っている 41 名、知らない 4 名
- ・放射線使用時（透視室や血管撮影室、OPE 室 C-arm 等）に線量計（ガラスバッジ等）を装着していますか：装着している 30 名、装着していない 11 名、たまにしている 1 名、カテ時はしている 1 名、忘れることがある 1 名、透視はつけるが OPE 室はつけない 1 名
- ・（ガラスバッジを装着していない方に聞きます）ガラスバッジはどこに保管してありますか：医局に保管している 6 名、わからない 1 名、透視室 3 名、カテ室 2 名、外病院所属のため無し 1 名
- ・放射線使用時に放射線防護手袋を使用していますか：使用している 6 名、使用していない 39 名
- ・放射線使用時に放射線防護眼鏡を使用していますか：使用している 7 名、使用していない 38 名
- ・Over tube と Under tube の違いを知っていますか：知っている 5 名、知らない 39 名、無回答 1 名

考察

アンケート結果からは、線量計の装着率は高いが、装着に関しての意識は必ずしも高くなく、持続的な啓発・研修、意識調査が必要と考えられた。「ガラスバッジはどこに保管してありますか」、については科長を含めた指導が早急に必要と考えられた。「放射線使用時に放射線防護手袋を使用していますか」、「放射線使用時に放射線防護メガネを使用していますか」、については装着していない医師が多数であった。この点については、手技についての詳細な聴取を行う必要があり、個別に早急な対応が必要と思われた。Over tube と Under tube の違いを理解していない医師が意外に多く、講義内容を含めた再検討が必要と考えた。

結論

現場医師の放射線被ばく防護に関するアンケート調査により、防護の装着率は高いが、装着に関しての知識や意識は必ずしも高くないことがわかった。このことから、継続的な啓発・研修や意識調査が必要と考えられた。また、教育や啓発活動が持続的に可能な病院長や科長を含めた組織作りが重要と思われた。

A. 背景と目的

医療被曝の啓発や意識付けにより線量計の装着率は向上した。しかし、持続性について危惧されるため、現状における意識調査のため、透視室を利用する内科・外科・放射線科の全医師合計 45 名について、無記名で放射線被ばく防護に関するアンケート調査を行った。

B. 研究方法および結果

アンケート項目と結果は下記である。

1) 放射線被ばく低減に関して興味はありますか
「興味が無い」7 人、「興味がある」38 人、「無回答」0 人

2) ご自身の被ばく線量は知っていますか
「知っている」16 人、「知らない」29 人、「無回答」0 人

3) 診療用放射線の安全利用のための研修会(e ラーニング)を受講しましたか
「受講した」31 人、「受講していない」11 人、記憶にない 3 人

4) 放射線使用時(透視室や血管撮影室、OPE 室 C-arm など)に線量計(ガラスバッジなど)を装着する義務があることを知っていますか
「知っている」41 人、「知らない」4 人、「無回答」0 人

5) 放射線使用時(透視室や血管撮影室、OPE 室 C-arm など)に線量計(ガラスバッジなど)を装着していますか
「装着している」30 人、「装着していない」11 人、「たまにしている」1 人、「カテ時は装着している」1 人、「忘れることがある」1 人、「透視はつけるが OPE 室はつけていない」1 人

6) 5)でガラスバッジを装着していない方に聞きます。ガラスバッジはどこに保管してありますか
「医局に保管している」6 人、「わからない」1 人、「透視室」3 人、「カテ室」2 人、「外病院所属のため無し」1 人

7) 放射線防護手袋を使用することで手指被ばくが低減できることを知っていますか
「知っている」34 人、「知らない」11 人、「無回答」0 人

8) 放射線使用時に放射線防護手袋を使用していますか
「防護手袋を使用している」6 人、「防護手袋を使用していない」39 人、「無回答」0 人

9) 8)で放射線防護手袋を使用していない方に聞きます。使用しない理由をお答えください

「防護手袋があることを知らない」12 人、「防護手袋を着用すると検査がしづらい」13 人、「被ばく線量が少ないため気にしていない」10 人、「どこにあるか知らない」3 人、「忘れてしまう」1 人、「持っていない」1 人、「無回答」5 人

10) 放射線防護メガネを使用することで水晶体被ばくが低減できることを知っていますか
「知っている」41 人、「知らない」4 人、「無回答」0 人

11) 放射線使用時に放射線防護メガネを使用していますか
「防護メガネを使用している」7 人、「防護メガネを使用していない」38 人、「無回答」0 人

12) 11)で放射線防護メガネを使用していない方に聞きます。使用しない理由をお答えください
「防護メガネがあることを知らない」2 人、「防護メガネを着用すると検査がしづらい」21 人、「被ばく線量が少ないため気にしていない」8 人、「持っていない」4 人、「コロナの感染対策のメガネを使っていた」1 人、「使う場所に常置していないため」1 人、「どこにあるかわからない」2 人、「無回答」6 人

13) 手技・検査前のタイムアウトに放射線防護具の確認を加えることに
「賛成」37 人、「反対」8 人
(反対とした理由)
「手順が増える」1 人、「内視鏡など検査中に透視が必要になった場合がある」1 人、「時間的余裕がない」1 人、「これ以上あれこれ増えるのは何かやだ」1 人、「2 外科は防護手袋をやらないと思います」1 人

14) 手技・検査前のタイムアウトに線量計装着の確認を加えることに
「賛成」40 人、「反対」5 人
(反対とした理由)
「無かった場合に検査が滞るから」1 人、「内視鏡など検査中に透視が必要になった場合がある」1 人、「時間的余裕がない」1 人、「これ以上あれこれ増えるのは何かやだ」1 人

15) Over tube と Under tube の違いを知っていますか
「知っている」5 人、「知らない」39 人、「無回答」1 名

16) Over tube を使用した場合、医療従事者の手指被ばくは主に〇〇である

「直接ガンマ線である」0 人、「直接X線である」4 人、「散乱X線である」1 人、「わからない」39 人、「無回答」1 人

17) 線量計（ガラスバッジ）装着率向上に向けて、どのような周知があると効果的ですか（複数回答可）

「病院長からの周知」12 人、「所属長からの周知」21 人、「現場担当者からの周知」25 人、「医療安全推進室からの周知」16 人

【その他】

「タイムアウトでその場で着用するようにする」1 人、「周知が必要かはわからない」1 人

18) 放射線被ばく低減に関してご意見などありましたらお答えください

「保護具以外の暴露防止対策（立ち位置など）についても情報があると良いと思います」「つけやすいアイガードを置いてほしい」

C. 考察

アンケート項目 2)～4)からは、装着率は高いが、装着に関しての意識は必ずしも高くなく、持続的な啓発・研修、意識調査が必要と考えられた。「アンケート項目 6) ガラスバッジはどこに保管してありますか」、については科長を含めた指導が早急に必要と考えられた。「アンケート項目 8) 放射線使用時に放射線防護手袋を使用していますか」、「アンケート項目 11) 放射線使用時に放射線防護メガネを使用していますか」、については装着していない医師が多数であった。この点については、手技についての詳細な聴取を行う必要があり、個別に早急な対応が必要と思われた。「アンケート項目 13) 手技・検査前のタイムアウトに放射線

防護具の確認を加えることに賛成 or 反対とアンケート項目 14) 手技・検査前のタイムアウトに線量計装着の確認を加えることに賛成 or 判定」については、手技・検査前のタイムアウトに放射線防護具の確認に理解している医師は多く、今後に制度化に向けた議論が必要と思われた。「アンケート項目 15) Over tube と Under tube の違いを知っていますか」については、Over tube と Under tube の違いを理解していない医師が意外に多く、講義内容を含めた再検討が必要と考えた。

D. 結論

現場医師の放射線被ばく防護に関するアンケート調査により、防護の装着率は高いが、装着に関しての知識や意識は必ずしも高くないことがわかった。このことから、継続的な啓発・研修や意識調査が必要と考えられた。また、教育や啓発活動が持続的に可能な病院長や科長を含めた組織作りが重要と思われた。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

G. 知的財産権の出願・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

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

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Nagamoto K, Kawachino T, Suetsugu Y, Saruwatari H, Nihei S, Kunugita N.	Eye lens dose in spine surgeons during myelography procedures: A dosimetry study.	Journal of Radiological Protection	43(4)	041509	2023
Kowatari M, Yoshitomi H, Nagamoto K, Nakagami K, Moritake T, Kunugita N.	CHARACTERISATION OF SMALL RADIOPHOTOLUMINESCENCE DOSEMETER IN TERMS OF HP(0.07) FOR EXTREMITY DOSE MONITORING OF MEDICAL PERSONNEL	Radiation Protection Dosimetry	199(15-16)	1807-1812	2023
Nagamoto K, Moritake T, Kowatari M, Morota K, Nakagami K, Matsuzaki S, Nihei S, Kamochi M, Kunugita N.	Occupational radiation dose on the hand of assisting medical staff in diagnostic CT scans assisting medical staff in diagnostic CT scans	Radiation Protection Dosimetry	199(15-16)	1774-1778	2023
Kuriyama T, Moritake T, Nakagami K, Morota K, Hitomi G, Kitamura H	Background Factors Affecting the Radiation Exposure of the Lenses of the Eye among Nurses in Interventional Radiology: A Quantitative Observational Study.	Nursing Reports	14(1)	413-427	2024

