

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3年度 総括・分担研究年度終了報告書

研究代表者 櫻田尚樹

令和 4 (2022)年 3 月

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	
	榎田尚樹 -----	1
II.	分担研究年度終了報告	
1.	簡易版放射線防護マネジメントシステムの開発	
	中上晃一・清水崇弘・森 晃爾 -----	15
2.	放射線被ばく管理に関する労働安全衛生マネジメントシステム導入支援 事業アンケートの集計	
	喜多村紘子・中上晃一・榎田尚樹 -----	22
3.	放射線管理区域に立ち入る医療従事者の個人被ばく線量計装着実態調査 (第2報) 松崎賢・榎田尚樹 -----	37
4.	日本の放射線診療に携わる医師の眼の水晶体線量評価の多施設共同研究	
	永元啓介・盛武 敬・榎田尚樹 -----	42
5.	X線検査時における撮影の介助に従事する医療従事者の眼の水晶体の線 量評価及び防護方法の検討に関する研究	
	小野孝二・榎田尚樹 -----	56
6.	血管撮影室における線量管理の実際とこれから	
	茂呂田孝一・榎田尚樹 -----	62
7.	血管造影室で放射線業務に従事する看護師の水晶体被ばく実態調査	
	栗山知子・盛武 敬 -----	69
8.	ガラスバッジ測定結果から見た線量計装着率と放射線防護講習会との関 係	
	掛田伸吾・成田将崇 -----	73
9.	医療従事者の末端部等価線量評価のための実用量測定へのガラス線量計 の応用に関する検討	
	古渡意彦 -----	75
	参考資料：簡易版放射線防護マネジメントシステム -----	90
	栗山知子 修士論文 -----	126
	中上晃一 博士論文 -----	161
III.	研究成果の刊行に関する一覧表 -----	193

I. 総括研究報告

令和3年度労災疾病臨床研究事業費補助金
総括研究年度終了報告書

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 櫻田尚樹 産業医科大学産業保健学部 教授

研究要旨

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、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するために、マネジメントシステムの運用評価と改良を目的とした。

【放射線防護マネジメントシステムの改善と導入支援】

昨年までの研究班で作成した大規模な病院だけでなく、**中小規模病院向けのマネジメントシステム**の希望の声が寄せられたため新たに作成した。中小規模病院とはいえ、マネジメントシステムの各要素を必要以上に省くことは実効性をなくすため、組織運用の簡便化などを図り定着しやすいものを作成した。

加えて、**放射線防護マネジメントシステムにおける内部監査**の実施法に関して、新しく**40分程度の模擬ビデオ教材**を作成した。

【放射線防護マネジメントシステムのシステムの有効性の検証】

上記成果物を**厚労省・マネジメントシステム導入支援研修会**に教材として提供するだけでなく、**研究班が研修を全面的に支援**した。昨年度は約400の医療機関の参加があったが、今年度は新規に約200の医療機関の参加とともに、昨年度参加機関には事例発表会により具体的な課題の共有が図られた。研修会において、新たに作成した動画はマネジメントシステム全体の理解につながるわかりやすい教材であると、好評をいただいた。

【被ばく線量の実態評価と低減法の開発および支援】

放射線診療に携わる医師の眼の水晶体線量を調査し、新しい水晶体等価線量限度の遵守可能性を評価した。作業環境管理、作業管理、健康管理の労働衛生の3管理の基本に則り、X線発生装置の条件、各種防護板等の利用、個人用保護具着用など“多重放射線防護”を提案し、その効果を見積もることを目的とした。放射線診療に携わる医師の眼の水晶体線量（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を用いて1症例ごとに測定した。その結果、多重放射線防護を実施した場合、眼の水晶体線量率はすべての診療領域で低下した。線量低減効果は、71%であった。労働衛生の基本に則った“多重放射線防護”を実践すれば、医師個人や医療施設に過度な負担を負わせることなく、新しい水晶体等価線量限度の遵守が可能であることを示した。

医療においても職種別の対応として、血管造影に従事する看護師の業務上の特徴について検討した。看護師の被ばくは医師の被ばくと異なり概して低く、必ずしも患者の被ばく線量に比例する訳ではなく、処置の介助や看護ケアの頻度に大きく左右される事が明らかとなった。また、病院の規模による担当看護師の配置体制によっても線量分布が異なる傾向がみられた。

【医療分野における放射線業務従事者の線量計装着実態の把握】

電離則改正の公布前調査を行ったところ、医療現場においては個人線量計の装着が医師においては40%程度である実態を以前に報告した。電離則改正の公布後令和3年の調査では、線量計装着割合は増加の傾向にあったが、一方で未だ医師を中心に線量計未装着者が高い割合で認められた。

なお、厚労省MS支援研修に参加した医療施設ごとの2019年11月、2020年11月の個人線量計配布数の集計では、放射線業務従事者数よりも個人線量計配布数が多く不均等被ばく管理が行われていると推定される施設はそれぞれ約14%、約15%、一致していた施設はそれぞれ約2%、約4%、放射線業務従事者数よりも個人線量計配布数が少なく線量管理が不十分な施設はそれぞれ約84%、約81%であった。

以上、比較的放射線被ばく線量の高い医療分野におけ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重ねた。適切な対応により、医療分野においても線量限度の遵守が可能であることを示した。一方、現状では、個人線量計の配布、装着が適切に行われていないなど、最低限の法令遵守が実施されていない施設も多く、引き続き、患者の医療被ばく低減、医療安全の視点での医療法の改正への対応と併せ、医療分野における放射線管理体制の確立と実践・普及が求められる。

研究分担者

森 晃爾	産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健経営学 教授
盛武 敬	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所 放射線規制科学研究部 上席研究員
掛田 伸吾	弘前大学 医学研究科 教授
小野 孝二	東京医療保健大学 東が丘・立川看護学部 教授
古渡 意彦	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所 計測・線量評価部 物理線量評価グループ グループリーダー
喜多村 絢子	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 (大学院医学研究科産業衛生学専攻博士後期課程)
永元啓介	産業医科大学病院放射線部
梶木繁之	株式会社 産業保健コンサルティングアルク (産業医科大学産業生態科学研究所産業保健経営学)
酒井洸典	産業医科大学産業生態科学研究所産業保健経営学
末吉尚純	産業医科大学産業生態科学研究所産業保健経営学
清水崇弘	産業医科大学産業生態科学研究所産業保健経営学
栗山知子	産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学
茂呂田孝一	新小文字病院 (産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学)
松崎 賢	新小文字病院 (産業医科大学大学院医学研究科産業衛生学専攻博士後期課程)
成田将崇	弘前大学附属病院放射線部
菊名千恵里	東京医療保健大学
菊名邦彦	つくばセントラル病院
新井知大	駒澤大学
金子順一	駒澤大学
小林育夫	福井大学附属国際原子力工学研究所
山口一郎	国際医療保健科学院

A.目的

2011年の国際放射線防護委員会 ICRP の「組織反応に関する声明」(いわゆる「ソウル声明」)において、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20 mSv/年、かついずれの1年においても50 mSvを超えない」ことを勧告し、さらに翌年2012年8月に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。これらは国際原子力機関 (IAEA) の GSR Part3にも取り入れられた。これを受けて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、取り入れることが適当であるとする「眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について」報告書を取りまとめた。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った。その結果を受けて、リスク管理機関として厚生労働省では電離放射線障害防止規則(以下「電離則」という。)の改正を検討するために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。

厚生労働省では、「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(令和元年9月)を取りまとめ、電離則は2021年(令和3年)4月1日から改正施行された。この報告書の中で「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」を提唱し具体的な対応策を提示してきた。

厚生労働省は、2020(令和2)年度において、上記検討会を踏まえた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研修事業を実施しているところである。

我々は、本研修事業にすべての研修教材を提供するとともに、研修を実施する支援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

研究の全体像を図1に示す。

B-1 簡易版放射線防護マネジメントシステムの開発

先行研究で作成し、その有効性が確認されている放射線防護マネジメントシステムのシステムマニュアルテンプレートをもとに、放射線従事者が大規模医療機関に比べて多くなく、また比較的単純な組織形態である中小規模医療機関でも運用可能で、法令順守を主目的とした簡易版放射線防護マネジメントシステム(簡易版 RPMS)を開発しマニュアル(テンプレート)を検討した。

B-2 放射線被ばく管理に関する労働安全衛生マネジメントシステム導入支援事業アンケートの集計

放射線防護マネジメントシステム（放射線 MS）の導入支援にあたり、各医療機関より回答された質問票を集計し、放射線 MS 導入前の医療機関の放射線被ばく管理に関する状態を把握することを目的として研究を行った。

対象は、2020 年度に厚労省・放射線 MS 導入支援事業に参加し、事前調査の質問票に回答した医療機関のうち、本研究班への情報提供の同意が得られた機関である。放射線 MS 導入支援事業への参加を表明した医療機関へ Excel 形式の質問票を送付し、各機関で選任された放射線 MS 導入支援事業の担当者に記入を依頼した。質問票のうち今回は、放射線被ばく管理に係る体制に関する質問、放射線業務従事者のリスクアセスメント結果に関する質問、防護具の管理状況に関する質問、個人線量計の配布状況に関する質問について集計した。

B-3 放射線管理区域に立ち入る医療従事者の個人被ばく線量計装着実態調査（第 2 報）

2021 年 4 月電離則の改正により、水晶体等価線量の引き下げが行われた。今後、ますます適切な個人被ばく線量測定の実施や線量管理が求められている。しかし、2020 年 1 月から約 3 ヶ月間行われた、個人被ばく線量計の装着実施状況の全国調査では、装着が徹底されていないことが明らかとなった。そこで、本調査では、電離則の改正が施行される直前の個人被ばく線量計の装着実施状況を把握することを目的とした。

調査項目は、職種や個人被ばく線量計装着状況などの 8 項目とし、選択回答形式とした。個人被ばく線量計（ガラスバッジな

ど）の装着状況においては、ホームページ上で公募した調査員が、自施設の放射線業務を目視にて調査し、その結果を郵送やメールするよう、依頼した。調査期間は、2021 年 1 月 1 日から 3 月 31 日とした。また、得られた個人被ばく線量計の装着状況より装着率（個人被ばく線量計装着状況の調査人数に対する個人被ばく線量計の装着人数）を算出した。

B-4 日本の放射線診療に携わる医師の眼の水晶体線量評価の多施設共同研究

放射線診療に携わる医師の眼の水晶体線量を調査し、新しい水晶体等価線量限度の遵守可能性を評価した。さらに、発生源対策として透視時のパルスレート、撮影時のフレームレートを画質を落とさないレベルで低減、天吊型防護板、防護衝立の導入等の適切な使用指導、その上で個人用保護具の着用と線量計の完全な装着による被ばく管理等、の労働安全衛生の基本に則って、“多重放射線防護”を提案し、その効果を見積もることを目的とした。放射線診療に携わる医師（n = 15）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。

B-5 X 線検査時における撮影の介助に従事する医療従事者の眼の水晶体の線量評価及び防護方法の検討に関する研究

臨床現場における X 線 CT 検査時における撮影の介助に従事する医療従事者の眼の水晶体の線量を調査し、その実測結果と防護策について検討した。

社会医療法人若竹会つくばセントラル病院に所属する CT 検査業務に専属する診療放射線技師 3 名を研究対象者（以下、対象技師）とし、2021 年 4 月から 7 月までの 4

ヶ月間にわたり、CT検査の撮影介助を行う間について、眼の近傍の深さ3 mmでの個人線量当量Hp(3)を測定した。

B-6 血管撮影室における線量管理の実際とこれから

2020年4月1日に医療法施行規則の一部改正により線量記録と管理が義務化されたことで、全国的に線量情報は収集されることとなった。収集された線量情報の活用によって患者の確率的影響だけでなく、組織反応の回避も同時に考慮する必要がある。今回、線量管理サーバーの試作とその後導入された専用線量管理サーバーの特徴を検討した。

B-7 血管造影室で放射線業務に従事する看護師の水晶体被ばく実態調査

医療従事者の被ばく管理のガイドラインである「放射線マネジメントシステム」を

より有用に展開していくために、各医療機関における潜在的な課題を明らかにすることが求められる。

本調査では、血管造影室業務で放射線業務に従事する看護師に着目した実態調査を行い、さまざまな業務条件と看護師の被ばく線量の傾向に関連があるか、また、それが各医療機関によってどのような違いが見られるかを検討した。

B-8 ガラスバッジ測定結果から見た線量計装着率と放射線防護講習会との関係

放射線防護講習会による線量計装着率への効果を調べた。まず各診療科における月毎のガラスバッジ測定値(mSv)を調べた。調べた期間は放射線防護講習会の実施日の前後1年間、延べ2年間である。講習前に線量計装着率が低い診療科(測定値0

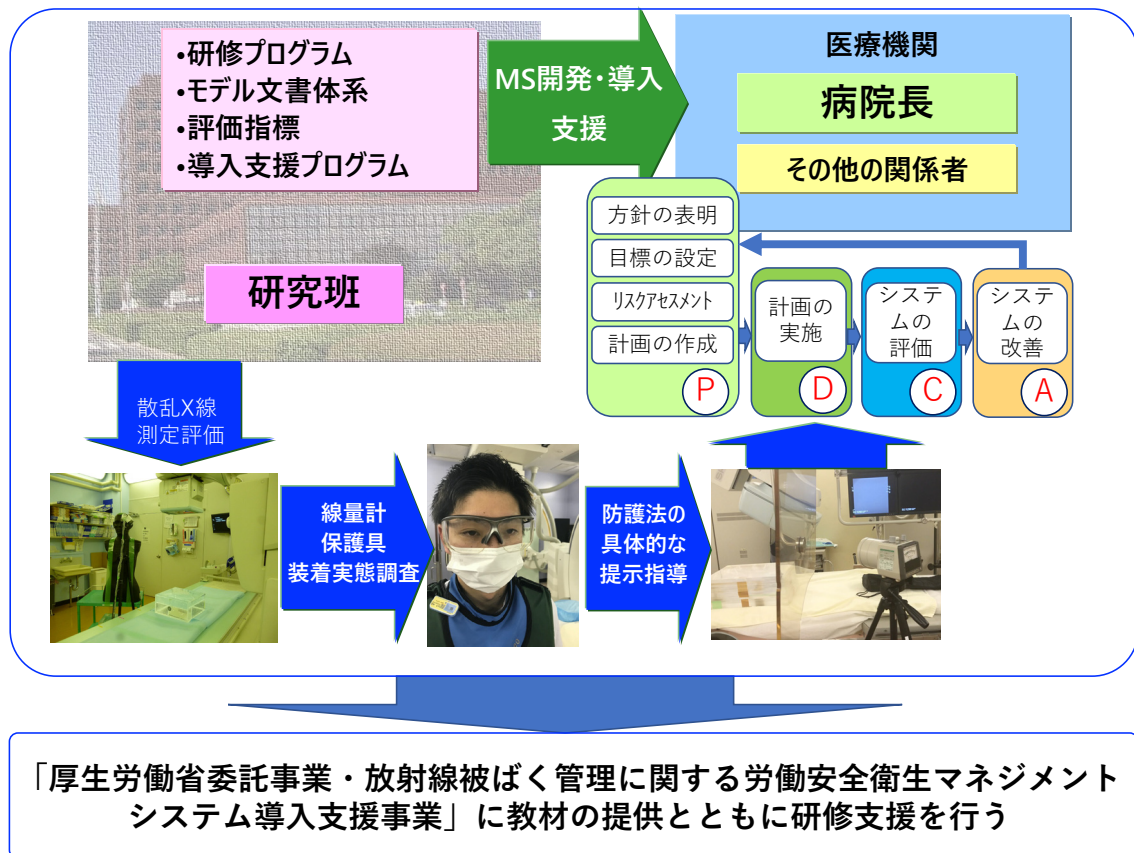


図1 研究の全体像

mSv) をピックアップし、講習会前後のガラスバッジ測定値の変化を調べた。

B-9 医療従事者の末端部等価線量評価のための実用量測定へのガラス線量計の応用に関する検討

放射線業務従事者の末端部等価線量算定に用いられる線量計の校正に関する国際規格 IEC 及び ISO で策定された放射線業務従事者の手指等末端部不均等被ばくの追加モニタリングに関連する規格を参照し、本研究班で用いられているガラス線量計に対し、末端部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及び角度分布特性を計算シミュレーションにより評価した。本研究班で使用し及び使用を計画しているガラス線量計素子 2 種類 (GD-302M 及び GD-352M) について、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。線量計応答に関するエネルギー依存性及び角度依存性について、計算シミュレーションを用いて評価を進めた。

C. 研究結果

C-1 簡易版放射線防護マネジメントシステムの開発

簡易版 RPMS の作成においては、中小医療機関の実態に基づき、文書量や運用負担を軽減する一方で、マネジメントシステムの根幹である PDCA サイクルに基づく継続的改善の機能は保持する必要があることを前提に、主にマニュアルの文書量、基本方針、担当者の役割や組織、年間目標とそれを達成するための取組みの策定、内部監査の自主点検への置き換えを検討した。(成果物を巻末参考資料に掲載)

加えて、放射線防護マネジメントシステムにおける内部監査の実施法に関して、新

しく 40 分程度の模擬ビデオ教材を作成した。

C-2 放射線被ばく管理に関する労働安全衛生マネジメントシステム導入支援事業アンケートの集計

集計対象は 204 機関であった。放射線被ばく管理に係る体制では、労働者の放射線被ばく管理組織 (委員会) が設置されていたのは 143 機関 (70.1%)、病院管理者により労働者の放射線被ばく管理に対する方針や指針が明示されていたのは 118 機関 (57.8%)、労働者の放射線被ばく管理に関する業務や書類を監査する仕組みがあったのは 106 機関 (52.0%)、病院管理者により労働者の放射線被ばく管理に関する書類の文書レビューが毎年実施されていたのは 117 機関 (57.4%)、労働安全衛生マネジメントシステム (OSHMS) が導入されていたのは 17 機関 (8.3%) であった。防護具の管理状況では、リスクアセスメント対象人数 (放射線業務従事者数と見なした) と防護衣、防護眼鏡、ネックガードの保有数を比較すると、およそ防護衣は 2 人に 1 枚、防護眼鏡は 10 人に 1 個、ネックガードも 10 人に 1 個程度の割合で準備されていた。防護衣よりも、防護眼鏡およびネックガードは、同程度のリスクアセスメント対象人数であっても、準備されている数にばらつきがあった。個人線量計の配布状況では、リスクアセスメント対象者人数と個人線量計配布対象者数を比較したところ、線量計配布対象者数がリスクアセスメント対象者人数と同等以上であったのは、2019 年 11 月は 85 機関 (59.4%)、2020 年 11 月は 103 機関 (72.0%) であった。

C-3 放射線管理区域に立ち入る医療従事者の個人被ばく線量計装着実態調査 (第 2 報)

46名の調査員より、1237名の調査結果を得た。全体の個人被ばく線量計（エプロン下）装着率は、71.2%であった。また、職種別の個人被ばく線量計（エプロン下）装着率は、医師が56.1%と一番低く、観察場所別の個人被ばく線量計（エプロン下）装着率は、手術室が35.8%と一番低かった。

C-4 日本の放射線診療に携わる医師の眼の水晶体線量評価の多施設共同研究

多重放射線防護を実施した場合、眼の水晶体線量率はすべての診療領域で低下した。また、線量低減効果は、71%（範囲：39% - 100%）であった。

C-5 X線検査時における撮影の介助に従事する医療従事者の眼の水晶体の線量評価及び防護方法の検討に関する研究

対象技師3名がCT検査時に撮影の介助を行なったのは、4月が11件、5月が17件、6月が14件、7月が7件であった。放射線防護眼鏡の外側で計測された線量は、4月が最大3.9 mSv、5月が最大3.0 mSv、6月が最大2.8 mSv、7月が最大1.8 mSvであった。放射線防護眼鏡の内側で計測された線量は、4月が最大1.8 mSv、5月が最大1.3 mSv、6月が最大1.3 mSv、7月が最大0.5 mSvであった。放射線防護眼鏡の外側及び内側の線量比から算出される線量低減効果は、0.07 mm鉛当量を使用した4月から6月では、それぞれ54.0%、56.2%、54.3%で、0.75 mm鉛当量を使用した7月は73.4%であった。

C-6 血管撮影室における線量管理の実際とこれから

血管撮影装置に実装されたRDSR(Radiation Dose Structured Report)を収集する目的でNAS(Network Attached Storage)サーバーを自主開発し、線量情報

の収集と解析を始めた。さらに、NASサーバーを用いたRDSRの収集と解析の経験を踏まえ、試作した線量管理サーバーに不足していた追加すべき情報をメーカーと協議し、RDSRの自動記録と管理線量の目視やDRLsとの比較ができるように工夫した。

線量情報を自動記録する専用の線量管理サーバーを導入したことで、自施設のDRLの算出とDRLs2020との比較が容易となった。また、検査単位でCSV抽出することが可能で、任意の解析や統計処理をおこなうことで、高線量症例の原因検索（どのイベントの影響が大きいかなど）に応用でき、術者や手技をサポートする医療従事者の防護教育に利用することも可能となった。

C-7 血管造影室で放射線業務に従事する看護師の水晶体被ばく実態調査

看護師が幅広い診療科手技を担当する施設では、看護師が医師の介助で患者に近く頻度の高い場合や、照射線量の高い手技、重症もしくは困難症例の可能性がある手技への従事の頻度が高くなり、高線量率群となりうることを本調査結果から示唆された。加えて、比較的規模の小さい施設では、全体としての個人線量レベルが相対的に高いなど、施設規模が看護師の被ばく線量の傾向に影響を及ぼしうる可能性も示された。

C-8 ガラスバッジ測定結果から見た線量計装着率と放射線防護講習会との関係

講習会前の測定値が0 mSvであった診療科(A, B, C)では、線量計装着確認を含め線量管理が十分に徹底されていなかった。講習後の測定値はいずれも上昇した。しかし、3ヶ月後には測定値は再び0 mSvとなった。

C-9 医療従事者の末端部等価線量評価のための実用量測定へのガラス線量計の応用に関する検討

計算シミュレーションの結果により、評価対象としたガラス線量計のうち、GD-352Mのエネルギー応答特性が、20 keV以上から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。一方のGD-302Mについては、10 keV程度の低エネルギー엑스線に対して高感度であるものの、線量に対しを過大に応答することが明らかとなった。

D. 考察

D-1 簡易版放射線防護マネジメントシステムの開発

簡易版 RPMS マニュアルは、「個人線量計の装着」と「線量限度を超えない被ばく」という法令を順守するためのマニュアルで、大きなPDCAと小さなPDCAを回すことを念頭に置いて設計されている。まずは、「簡易版・放射線防護マネジメントシステムマニュアル」にそって取り組み、その後「完全版・放射線防護マネジメントシステムマニュアル」に取り組むことで、法令順守と可能な限りの被ばく低減を行うことができ継続的に改善する組織となりことができると考えられる。

D-2 放射線被ばく管理に関する労働安全衛生マネジメントシステム導入支援事業アンケートの集計

放射線管理体制、防護具の準備状況、個人線量計の装着と線量測定に関して、いずれも十分とは言えなかった。今後、放射線MS導入が進み、各機関において実効的な

実施要領が作成され、継続的に運用されることが期待される。

D-3 放射線管理区域に立ち入る医療従事者の個人被ばく線量計装着実態調査(第2報)

結論として、未だ個人被ばく線量計装着率は100%でなかったため、引き続き、個人被ばく線量計を装着する重要性の理解が促進されるような、適切な放射線防護教育の実施が必要不可欠である。

D-4 日本の放射線診療に携わる医師の眼の水晶体線量評価の多施設共同研究

放射線診療に携わる医師が、労働衛生の基本に則った“多重放射線防護”を実践すれば、医師個人や医療施設に過度な負担を負わせることなく、新しい水晶体等価線量限度の遵守が可能であった。

D-5 X線検査時における撮影の介助に従事する医療従事者の眼の水晶体の線量評価及び防護方法の検討に関する研究

当該施設では、X線CT検査時における撮影の介助に従事する場合、眼の水晶体の被ばく線量は1年間に最大で46.8mSvに達する可能性が示唆された。

D-6 血管撮影室における線量管理の実際とこれから

高線量被ばく事例の抽出や原因の解析、対策の立案などDICOM-RDSRに記録される情報を利用して管理することは合理的であり簡便である。また、放射線業務従事者への放射線防護に対する教育教材としての利用も可能となる。ただし、正確な線量推定のためには、一定数の実測などにより確認しておくことは言うまでもない。

現状の線量管理サーバーの限界は、疾患情報の紐付けを自動収集できないことであり改善が必要である。このような被ばく管理に資する適切な情報をよく考え、今後の

専用線量管理サーバーには、必要な情報を線量管理サーバーに追加記録できる拡張性が期待される。

D-7 血管造影室で放射線業務に従事する看護師の水晶体被ばく実態調査

従事者への被ばく防護教育では、防護具の使用や退避行動など、各個人の意識や努力に働きかけることが主体となる。ただ、人員やスペース（定められる立ち位置）、限られた防護具の分配など、管理や資源に係る側面については、従事者教育では解決されない。また、施設全体として、被ばく線量が高いレベルにある場合は、施設のなかで被ばく防護の最適化を図る必要性に気づきにくい点があると考えられる。

今後は、より多施設で被ばく実態を明らかにし、それを病院の管理者にフィードバックすることを試みるなどし、資源、風土が異なる各医療機関で「放射線マネジメントシステム」がより有用な仕組みとして適用されるよう繋げていく。

D-8 ガラスバッジ測定結果から見た線量計装着率と放射線防護講習会との関係

今回の結果は、放射線防護における放射線防護講習会の意識付け効果を示す一方で、その効果は持続せず、限定的である点も浮き彫りにした。

より短期間に個別に講習会もしくは啓発活動を行うとともに、放射線透視を用いる全ての手技前のタイムアウトに防護と線量計装着を含めるよう各診療科に働きかけている。

D-9 医療従事者の末端部等価線量評価のための実用量測定へのガラス線量計の応用に関する検討

被ばく線量が比較的大きな集団であるIVR術者が受けるX線のエネルギー範囲は、

20 ～ 100 keV との報告があり、さらに研究分担者が以前報告した散乱X線成分のスペクトル測定で得られた結果から考慮した場合、20 keV から100 keV までの散乱X線エネルギーに対して最大の校正定数となるような校正定数を取ること、適切な線量評価値を与えることが可能となる。

E. 結論

電離則改正に対応し、線量限度の遵守、線量計の装着等の基本的な法定措置の確実な実施はもとより、国際的な動向も踏まえ規制に対する最適化を図るためのマネジメントシステムを開発した。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、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重ねた。

これらの成果は、厚労省委託事業「放射線被ばく管理に関する労働安全衛生マネジメントシステム導入支援事業」研修に反映するとともに、学術論文発表および、関連学会等で招待・企画講演とし発表してきた。

一方で、研修を通じて、患者の医療被ばく低減、医療安全の視点での医療法の改正と医療従事者の安全・衛生確保の電離則の改正の区別が十分でなく、院内組織の確立時に目的が不明確になっている施設が見受けられたので、今後の研修等でも改めて明確にしていく必要がある。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

【原著論文】

- 1) Nagamoto K, Moritake T, Nakagami K, Morota K, Matsuzaki S, Kunugita N: A multicenter study of radiation doses to the eye lenses of clinical physicians performing radiology procedures in Japan. *J Occup Health*. 2021;63:e12305. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12305>
- 2) Kowatari M, Nagamoto K, Nakagami K, Yoshitomi H, Moritake T, Kunugita N, Practical determination of the calibration factors of a glass dosimeter for the eye lens monitoring. *Radiation Protection Dosimetry*, accepted (2022).
- 3) Kowatari M, Nagamoto K, Nakagami K, Yoshitomi H, Moritake T, Kunugita N, Experimental evaluation of scattered X-ray spectra due to X-ray therapeutic and diagnosis equipment for eye lens dosimetry of medical staff, *J Radiat Prot Res*. Accepted on 24th Aug 2021.
- 4) Matsuzaki S, Moritake T, Morota K, Nagamoto K, Nakagami K, Kuriyama T, 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. *Eur J Radiol*. 2021;143:109925. doi: 10.1016/j.ejrad.2021.109925.
- 5) Nakagami K, Moritake T, Nagamoto K, Morota K, Matsuzaki S, Kuriyama T, Kunugita N: Strategy to Reduce the Collective Equivalent Dose for the Lens of the Physician's Eye Using Short Radiation Protection Curtains to Prevent Cataracts. *Diagnostics (Basel)*. 2021;11(8):1415. doi: 10.3390/diagnostics11081415.
- 6) 藤淵俊王, 藤田克也, 五十嵐隆元, 西丸栄治, 堀田昇吾, 桜井礼子, 小野孝二, 放射線診療従事者の不均等被ばく管理の実態に基づく水晶体被ばく低減対策の提案, *日本放射線技術学会雑誌* 77(2): 160-171, 2021.
- 7) Mori K, Nagata T, Nagata M, Okahara S, Odagami K, Takahashi H, Mori T. Development, success factors, and challenges of government-led health and productivity management initiatives in Japan. *J Occup Environ Med*. 63(1):19-26, 2021
- 8) Kowatari M, Zutz H, Hupe O. Applicability of a commercially available active extremity dose-rate meter to eye lens dose monitoring. *Radiation Protection Dosimetry*, 192(4), 460 - 472, 2021, DOI:10.1093/rpd/ncab009
- 9) Kowatari M, Tanimura Y, Kessler P, Neumaier S, Rottger A. Study on Method for Simultaneous Determination of Ambient Dose Equivalent Rates and Activity Concentration in Air for Environmental Radiation Monitoring, *RADIOISOTOPES*, 70, 1-18 (2021) . doi:10.3769/radioisotopes.70.1

【総説その他】

- 10) 櫻田尚樹. 電離則の遵守状況に関する調査報告 *医療従事者の実態*. 医療放射線防護. 2022;86:印刷中.
- 11) 上田克彦, 坂井寛毅, 櫻田尚樹 (スペシャル対談) 医療放射線管理について考える. *日本診療放射線技師会誌* 2022; 69 (833): 262-270.
- 12) 中上晃一, 酒井洗典, 末吉尚純, 櫻田尚樹, 森晃爾. 放射線防護マネジメントシステムについて. *RadFun* 2021; 19(19):69-72.
- 13) 盛武 敬. 医療従事者の水晶体被ばく防護. *RadFun* 2021; 19(19):53-57.
- 14) 中上晃一, 櫻田尚樹. 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. *安全衛生コンサルタント会誌*. 2021; 41(139):48-53.
- 15) 櫻田尚樹. 水晶体の線量限度改正と放射線防護マネジメントシステム. *医療放射線防護*. 2021;85:8-13.
- 16) 櫻田尚樹. 急性放射線障害. 今日の治療指針 私はこう治療している. 2021; 1107-1108.

2. 学会発表

- 1) 樺田尚樹. 電離則の遵守状況に関する調査報告 *医療分野の線量管理の実態* 令和3年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成)事業 第5回ネットワーク合同報告会. 2022年1月.
- 2) 新井知大, 小野孝二, 菊名邦彦, 菊名千恵里, 金子順一, 小林育夫, 山口一郎, 樺田尚樹. CT撮影の介助を想定した放射線業務従事者における眼の水晶体被ばく線量の評価及び効果的な線量低減手段の検討. 第3回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会日本保健物理学会第54回研究発表会 2021年12月.
- 3) 樺田尚樹. 電離則の遵守状況に関する調査報告 *医療従事者の実態*. 第71回, 72回医療放射線安全管理講習会 2021年10, 11月.
- 4) 永元啓介, 盛武 敬, 中上晃一, 茂呂田孝一, 松崎賢, 樺田尚樹. 循環器診療に従事する医師の眼の水晶体線量. 第31回日本心血管インターベンション治療学会九州沖縄地方会, 2021年10月.
- 5) 栗山知子, 盛武 敬, 茂呂田孝一, 人見剛, 中上晃一, 永元啓介, 松崎賢, 樺田尚樹. 血管造影室で放射線業務に従事する看護師の水晶体被ばく実態調査. 産業医科大学学会 2021年10月.
- 6) 樺田尚樹. 電離則改正と放射線防護マネジメントシステム導入. 日本保健物理学会シンポジウム. 2021年9月.
- 7) 盛武 敬. 電離放射線被ばくによる生体影響～電離則改正の概要と対応のポイント～(教育講演). 日本産業衛生学会 2021年5月.
- 8) M. Kowatari, H. Yoshitomi, K. Nagamoto, K. Nakagami, T. Moritake, N. Kunugita, "Investigation on applicability of small radiophotoluminescence dosimeter to extremity dose monitoring for medical personnel" Poster presentation. International Conference on Individual Monitoring of Ionising Radiation (IM2022) and Neutron and Ion Dosimetry Symposium (NEUDOS-14) (2022)
- 9) K. Nagamoto, T. Moritake, K. Morota, K. Nakagami, S. Matsuzaki, S. Nihei, M. Kamochi, N. Kunugita, Occupational radiation dose to the hand of medical staff who assist in diagnostic computed tomography. International Conference on Individual Monitoring of Ionising Radiation (IM2022) and Neutron and Ion Dosimetry Symposium (NEUDOS-14) (2022)

H. 知的所有権の取得状況

なし

II. 分担研究報告

労災疾病臨床研究事業費補助金

分担研究報告書

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 簡易版放射線防護マネジメントシステムの開発

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 清水崇弘(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)

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】先行研究で作成し、その有効性が確認されている放射線防護マネジメントシステムのシステムマニュアルテンプレートをもとに、人材が充分でない中小規模医療機関でも運用可能で、法令順守を主目的とした簡易版放射線防護マネジメントシステム(簡易版 RPMS)の開発を行った。

【方法】放射線従事者が大規模医療機関に比べて多くなく、また比較的単純な組織形態である中小医療機関において対応可能な簡易版 RPMS を開発しマニュアル(テンプレート)を検討した。

【結果】簡易版 RPMS の作成においては、中小医療機関の実態に基づき、文書量や運用負担を軽減する一方で、マネジメントシステムの根幹である PDCA サイクルに基づく継続的改善の機能は保持する必要があることを前提に、主にマニュアルの文書量、基本方針、担当者の役割や組織、年間目標とそれを達成するための取組みの策定、内部監査の自主点検への置き換えを検討した。

【結論】簡易版 RPMS マニュアルは、「個人線量計の装着」と「線量限度を超えない被ばく」という法令を順守するためのマニュアルで、大きなPDCAと小さなPDCAを回すことを念頭に置いて設計されている。まずは、「簡易版・放射線防護マネジメントシステムマニュアル」にそって取り組み、その後「完全版・放射線防護マネジメントシステムマニュアル」に取り組むことで、法令順守と可能な限りの被ばく低減を行うことができ継続的に改善する組織となりことができると考えられる。

A. 研究目的

これまでの研究において、労働安全衛生マネジメントシステムの導入を前提とした労働者の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の開発を行った。放射線防護マネジメントシステムは、厚生労働省事業委託事業「放射線被ばく管理に関する労働安全衛生マネジメントシステム導入支援事業」の教材に選ばれ、本事業は500を超える医療機関を対象に行われた。この事業支援事業に参加した中小規模医療機関からの声として、「個人被ばく線量計の装着率を向上させる仕組みが知りたい」、「放射線防護マネジメントシステムでは役割や仕事内容が多く人的資本が乏しい医療機関では導入することが困難である」、「システムマニュアルが複雑で放射線防護マネジメントシステムを理解できない」等の意見が寄せられた。そこで、人材が充分でない中小規模医療機関でも運用可能で、法令順守を主目的とした簡易版放射線防護マネジメントシステム（簡易版RPMS）の開発を行った。

B. 研究方法

放射線従事者が大規模医療機関に比べて多くなく、また比較的単純な組織形態である中小医療機関において対応可能な簡易版RPMSを開発しマニュアル（テンプレート）を検討した。

C. 研究結果

簡易版RPMSの作成においては、中小医療機関の実態に基づき、文書量や

運用負担を軽減する一方で、マネジメントシステムの根幹であるPDCAサイクルに基づく継続的改善の機能は保持する必要があることを前提に、以下の検討を行った。

1. マニュアル文書

これまでの研究において開発した放射線防護マネジメントシステムを「完全版 放射線防護マネジメントシステム（完全版RPMS）」とし、今回開発した簡易版放射線防護マネジメントシステムと比較すると、マニュアル文書の項目は、完全版RPMSが75項目、簡易版RPMSが53項目となり、簡易版RPMSの文書量も低減していた（表1）。

2. 基本方針

完全版RPMSの基本方針では、法令順守と可能な限りの被ばく低減という2つの目的であった。もともと今回のRPMS導入のきっかけは、電離放射線障害防止規則が改正され、眼の水晶体の等価線量限度が下がったことがきっかけである。また、新しい線量限度を順守するための方策の検討の過程で、医療機関において線量計が適切に設置されていなかったことに端を発する。これらはいずれも法令順守事項であるため、簡易版RPMSでは、可能な限りの被ばく低減に関する記載を削除し、法令順守を主目的とした基本方針とした。

3. 担当者の役割や組織

完全版RPMSの登場人物は14の役割に分けられていたが、簡易版RPMS

では4の役割に分けられた。4つの役割とは、システム責任者である病院長、システム管理者である放射線技師長、システム管理者の指示で実際の業務を行う実務担当者、放射線業務従事者である。また、中小規模医療機は限られた人数での運用のため、想定する組織も放射線防護検討委員会のみとした。

4. 年間目標とそれを達成するための取組みの策定

ISO45001では、計画の内容として、取組の計画と目標達成のための計画の2種類の計画の枠組みが用意されている。法令順守を目的とした簡易版RPMSでは、法令順守事項の確実な運用を取組の計画として盛り込むとともに、前年度の評価結果に基づき順守状況向上のための改善は目標を定めて企画として実施することが想定されるため、ISO45001の枠組みをそのまま利用することとした。

5. 内部監査の自主点検への置き換え

マネジメントシステムで重要な内部監査は、独立した立場で監査が可能な適任者の確保や監査者養成等の体制づくりが必要である。そのため、人材が充分でない中小規模医療機関にとっては内部監査を行うことが多大な負担となるため内部監査の項目を除外し、内部監査に変わる項目として自主点検の項目を設けた。自主点検とは、マネジメントシステムの適切性・妥当性・有効性の評価を年1回以上行うことであり、自主点検

によって組織は継続的に改善する組織となることができる。さらに、自主点検の結果は整理され、継続的改善のための計画策定に結び付けられることが不可欠である。

D. 考察

中小医療機関での導入を前提とした簡易版RPMSのシステムマニュアルテンプレートを作成した。この内容は、今回の検討の目的となった眼の水晶体の線量限度等の順守を確実に果たすためには、最低限の要素が含まれていると考えられる。一方、簡易版RPMSは完全版RPMSをもとに作られているため、それぞれの組織の実態にあわせて簡易版RPMSに必要事項を追加する、または完全版RPMSから項目を削除することも可能である。

マネジメントシステムは、トップのリーダーシップをもとに、構成員が割り振られた役割を果たすことによって始めて有効に機能する仕組みである。そのため、簡易版の仕組みを利用したとしても、これらの構成員の意識が向上しなければRPMSの適切な運用と確実な法令順守は不可能である。導入においては、そのことが強調されるべきである。

E. 結論

簡易版RPMSマニュアルは、「個人線量計の装着」と「線量限度を超えない被ばく」という法令を順守するためのマニュアルで、大きなPDCAと小さなPDCAを回すことを念頭に置いて設計されている。すなわち、『法令順守を

継続的に行う組織』作りのためのマニュアルである。まずは、「簡易版・放射線防護マネジメントシステムマニュアル」にそって取り組み、その後「完全版・放射線防護マネジメントシステムマニュアル」に取り組むことで、法令順守と可能な限りの被ばく低減を行うことができ継続的に改善する組織となりことができる。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

G. 知的所有権の取得状況

1. なし

表1 完全版 RPMS マニュアルと簡易版 RPMS マニュアルの比較

完全版 放射線防護マネジメントシステム マニュアル	簡易版 放射線防護マネジメントシステム マニュアル
1. 基本事項	1. 基本事項
1.1 目的	1.1 目的
1.2 適用範囲	
1.3 リーダーシップ	1.2 リーダーシップ
1.4 放射線防護に関する基本方針	1.3 放射線防護に関する基本方針
1.4.1 基本方針	1.3.1 基本方針
1.4.2 文書化と周知	1.4 文書化と周知
1.5 組織の役割、責任及び権限	1.5 組織の役割、責任及び権限
1.5.1 組織と推進体制	1.5.1 組織と推進体制
1.5.2 組織	1.5.2 組織
1.5.3 役割、責任及び権限	1.5.3 役割、責任及び権限
1.6 働く人の協議および参加	1.6 働く人の参加-
1.6.1 協議および参加の場の確保	
1.6.2 リスクのコミュニケーション	
2. 計画	2. 計画
2.1 リスク及び機会への取組み	
2.1.1 危険源の特定並びにリスク及び機会の評価	2.1 危険源の特定並びにリスクアセスメント
2.1.1.1 危険源の特定	2.1.1 危険源の特定
2.1.1.2 リスクアセスメント	2.1.2 リスクアセスメント
2.1.1.3 職場巡視	
2.1.1.4 本システムの運営に対するその他のリスクの評価	
2.1.1.5 放射線被ばく防護及び本システムの運営に対するその他の機会の評価	
2.1.2 法的要求事項及びその他の要求事項の決定	2.2 法的要求事項及びその他の要求事項
2.1.2.1 適用法令および法的要求事項の明確化	2.2.1 法的要求事項の決定
2.1.2.2 その他要求事項	2.2.2 総合リスク毎に要求される対策
2.1.3 取組みの計画策定	2.3 取組みの計画策定
2.1.3.1 年間計画	2.3.1 年間計画
2.1.3.2 リスク等管理計画	2.3.2 リスク等管理計画
2.1.3.3 放射線防護プログラム計画	
2.2 年間目標及びそれを達成するための計画策定	2.4 年間目標及びそれを達成するための計画策定
2.2.1 年間目標の策定	2.4.1 年間目標の策定
2.2.2 年間目標を達成するための取組みの計画策定	2.4.2 年間目標を達成するための取組みの計画策定
3. 支援	3. 支援
3.1 資源	3.1 資源
3.2 力量	3.2 力量

3.2.1 教育・訓練の実施	3.2.1 教育・訓練の実施
3.2.2 資格	
3.3 コミュニケーション	
3.4 文書管理	3.3 文書の管理
3.4.1 実施要領等の作成及び更新	
3.4.2 文書体系	3.3.1 文書体系
3.4.3 報の文書化	3.3.2 情報の文書化
3.4.3.1 文書化される情報	3.3.2.1 文書化される情報
3.4.3.2 文書化された情報の管理	3.3.2.2 文書化された情報の管理
4. 運用	4. 運用
4.1 運用の計画及び管理	4.1 運用の計画及び管理
4.1.1 プロセスの確立	
	4.1.1 個人線量計および個人保護具の装着
4.1.2 危険源の除去及びリスクの低減	
	4.1.2 リスク管理方法の実施
	4.1.3 職場巡視
4.1.3 変更の管理	4.1.4 変更の管理
4.2 緊急事態への準備及び対応	4.2 緊急事態及び法令を超える被ばくを認めた場合の対応
4.3 外部調査への対応	
5. パフォーマンス評価	5. パフォーマンス評価
5.1 測定、分析及びパフォーマンス評価	
5.1.1 測定及び分析	
5.1.1.1 測定及び分析の実施	
5.1.1.2 測定及び分析機器の校正	
5.1.1.3 測定及び分析結果の記録	
5.1.2 計画および目標の進捗	
5.1.2.1 年間計画及びリスク等管理計画の実施状況	5.1 年間計画及びリスク等管理計画の実施状況
5.1.2.2 放射線防護プログラム計画の実施状況と年間目標の達成状況	5.2 年間目標の達成状況
5.1.3 法的要求事項およびその他の要求事項の順守評価	5.3 法令およびその他の要求事項の順守状況
5.1.3.1 プロセスの確立	
5.1.3.2 順守評価	
5.1.3.3 順守評価結果の記録	
5.2 内部監査	5.4 自主点検
5.2.1 内部監査の実施	5.4.1 自主点検の実施
5.2.1.1 内部監査の実施	5.4.1.1 自主点検の実施
	5.4.1.2 自主点検報告書
5.2.2 内部監査結果の報告と共有	5.4.2 自主点検結果の報告と共有
5.3 マネジメントレビュー	
5.3.1 マネジメントレビューのインプット情報	
5.3.2 マネジメントレビューのアウトプット	
5.3.3 マネジメントレビュー結果の報告と共有	
6. 改善	6. 改善
6.1 インシデント、不適合及び是正処置	6.1 インシデント、不適合及び是正処置

6.1.1 インシデント及び不適合の内容	6.1.1 インシデント及び不適合の内容
6.1.2 原因分析及び再発防止策の検討	6.1.2 原因分析及び再発防止策の実施
	6.1.2.1 原因分析及び再発防止策の検討
6.1.3 再発防止策の決定と実施	6.1.2.2 再発防止策の決定と実施
6.1.4 原因及び再発防止策の周知	6.1.3 原因及び再発防止策の周知
6.2 継続的改善	6.2 継続的改善
6.2.1 継続的改善のための取組	6.2.1 継続的改善のための取組
6.2.2 継続的改善のための計画	6.2.2 継続的改善のための計画

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」

分担研究報告書

産業保健上の課題の整理

～放射線被ばく管理に関する労働安全衛生マネジメントシステム導入支援事業アンケートの集計～

研究分担者 喜多村絢子 産業医科大学産業医実務研修センター 准教授

研究要旨

目的：放射線防護マネジメントシステム（放射線 MS）の導入支援にあたり、各医療機関より回答された質問票を集計し、放射線 MS 導入前の医療機関の放射線被ばく管理に関する状態を把握することを目的として研究を行った。

方法：対象は、2020 年度に放射線 MS 導入支援事業に参加し、事前調査の質問票に回答した医療機関のうち、本研究班への情報提供の同意が得られた機関である。放射線 MS 導入支援事業への参加を表明した医療機関へ Excel 形式の質問票を送付し、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記入を依頼した。質問票のうち今回は、放射線被ばく管理に係る体制に関する質問、放射線業務従事者のリスクアセスメント結果に関する質問、防護具の管理状況に関する質問、個人線量計の配布状況に関する質問について集計した。

結果：集計対象は 204 機関であった。放射線被ばく管理に係る体制では、労働者の放射線被ばく管理組織（委員会）が設置されていたのは 143 機関（70.1%）、病院管理者により労働者の放射線被ばく管理に対する方針や指針が明示されていたのは 118 機関（57.8%）、労働者の放射線被ばく管理に関する業務や書類を監査する仕組みがあったのは 106 機関（52.0%）、病院管理者により労働者の放射線被ばく管理に関する書類の文書レビューが毎年実施されていたのは 117 機関（57.4%）、労働安全衛生マネジメントシステム（OSHMS）が導入されていたのは 17 機関（8.3%）であった。防護具の管理状況では、リスクアセスメント対象人数（放射線業務従事者数と見なした）と防護衣、防護眼鏡、ネックガードの保有数を比較すると、およそ防護衣は 2 人に 1 枚、防護眼鏡は 10 人に 1 個、ネックガードも 10 人に 1 個程度の割合で準備されていた。防護衣よりも、防護眼鏡およびネックガードは、同程度のリスクアセスメント対象人数であっても、準備されている数にばらつきがあった。個人線量計の配布状況では、リスクアセスメント対象者人数と個人線量計配布対象者数を比較したところ、線量計配布対象者数がリスクアセスメント対象者人数と同等以上であったのは、2019 年 11 月は 85 機関（59.4%）、2020 年 11 月は 103 機関（72.0%）であった。

結論：放射線管理体制、防護具の準備状況、個人線量計の装着と線量測定に関して、いずれも十分とは言えなかった。今後、放射線 MS 導入が進み、実効的な実施要領が作成され、継続的に運用されることが期待される。

研究協力者 櫻田尚樹 産業医科大学産業保健学

中上晃一 産業医科大学大学院医学研究科産業衛生学専攻博士後期課程

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、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) の文書体系を作成し、その医療機関への導入支援に関与してきた。本年度は、放射線 MS の導入支援にあたり、各医療機関より回答された質問票を集計し、放射線 MS 導入前の医療機関の放射線被ばく管理に関する状態を把握することを目的として研究を行った。

B. 研究方法

【対象】

対象は、2020 年度に放射線 MS 導入支援事業に参加し、事前調査の質問票に回答した医療機関のうち、本研究班への情報提供の同意が得られた機関である。

【方法】

放射線 MS 導入支援事業への参加を表明した医

療機関へ Excel 形式の質問票を送付し、各機関で選任された放射線 MS 導入支援事業の主担当者 (職種、役職の指定なし) に記入を依頼した。質問票のうち今回は、放射線被ばく管理に係る体制に関する質問、放射線業務従事者のリスクアセスメント結果に関する質問、防護具の管理状況に関する質問、個人線量計の配布状況に関する質問について集計した。

C. 研究結果

【集計対象機関】

無回答の項目があった機関も含め、集計対象は 204 機関であった。病床規模別では、無床 10 機関 (4.9%)、49 床以下 13 機関 (6.4%)、50~99 床 9 機関 (4.4%)、100~199 床 20 機関 (9.8%)、200~299 床 20 機関 (9.8%)、300~399 床 32 機関 (15.7%)、400~499 床 33 機関 (16.2%)、500~599 床 18 機関 (8.8%)、600~699 床 13 機関 (6.4%)、700~799 床 9 機関 (4.4%)、800~899 床 2 機関 (1.0%)、900~999 床 3 機関 (1.5%)、1,000 床以上 7 機関 (3.4%)、無回答 15 機関 (7.4%) であった。図 1 に病床規模別の機関数を示した。

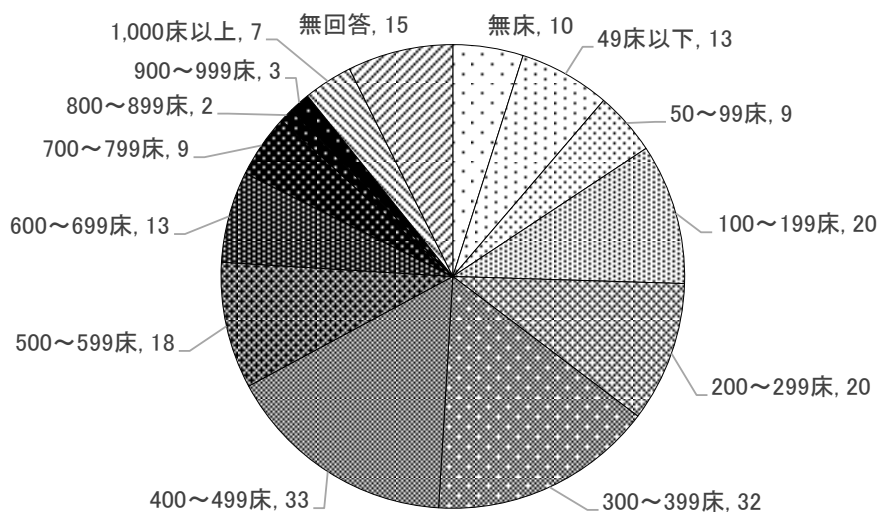


図 1 病床規模別の機関数

【放射線被ばく管理に係る体制に関する質問】

労働者の放射線被ばく管理組織 (委員会) の設置は、ある 143 機関 (70.1%)、ない 45 機関 (22.1%)、無回答 16 機関 (7.8%) であった。病院管理者による労働者の放射線被ばく管理に対する方針や指針の明示は、ある 118 機関 (57.8%)、ない 70 機関 (34.3%)、無回答 16 機関 (7.8%) であった。労働者の放射線被ばく管理に関する業務や書類を監査する仕組みは、ある 106 機関 (52.0%)、ない 81 機関 (39.7%)、無回答 17 機関 (8.3%) であった。病院管理者による労働者の放射線被ばく管理に関する書類の毎年の文書レビューは、ある 117 機

関 (57.4%)、ない 69 機関 (33.8%)、無回答 18 機関 (8.8%) であった。OSHMS の導入状況は、ある 17 機関 (8.3%)、ない 166 機関 (81.4%)、無回答 21 機関 (10.3%) であった。「マネジメントシステム」には馴染みのない機関が 80%以上であった。病床規模別の集計を、表 1 に示した。図 2 には、病床規模別の放射線被ばく管理組織の設置割合、放射線被ばく管理方針の明示割合、被ばく管理監査実施割合、文書レビュー実施割合を示した。病床規模の大きい機関の方が、放射線管理に係る体制が整備されている傾向が見られた。

表1 病床規模別の放射線被ばく管理に係る体制

病床規模	①放射線被ばく管理組織の設置			②放射線被ばく管理方針の明示			③被ばく管理の監査			④文書レビュー			⑤OSHMS 導入		
	あり	なし	無回答	あり	なし	無回答	あり	なし	無回答	あり	なし	無回答	あり	なし	無回答
	無床	6	3	1	6	3	1	3	6	1	3	5	2	0	8
49床以下	8	5	0	9	4	0	9	4	0	8	5	0	0	13	0
50～99床	5	4	0	6	3	0	6	3	0	5	4	0	0	9	0
100～199床	9	11	0	9	11	0	7	13	0	10	10	0	2	18	0
200～299床	14	6	0	12	8	0	12	8	0	13	7	0	2	18	0
300～399床	23	8	1	17	14	1	16	15	1	18	13	1	3	27	2
400～499床	30	3	0	22	11	0	19	13	1	20	12	1	3	29	1
500～599床	15	3	0	10	8	0	10	8	0	13	5	0	1	17	0
600～699床	12	1	0	8	5	0	8	5	0	8	5	0	3	10	0
700～799床	8	1	0	8	1	0	7	2	0	7	2	0	2	6	1
800～899床	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	2	0
900～999床	3	0	0	1	2	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0
1,000床以上	7	0	0	7	0	0	4	3	0	6	1	0	1	5	1
合計	142	45	2	117	70	2	106	80	3	116	69	4	17	165	7

※病床数無回答の機関は集計から除外した。

- ①放射線被ばく管理組織の設置:労働者の放射線被ばく管理組織(委員会)の設置
- ②放射線被ばく管理方針の明示:病院管理者による労働者の放射線被ばく管理に対する方針や指針の明示
- ③被ばく管理の監査:労働者の放射線被ばく管理に関する業務や書類を監査する仕組み
- ④文書レビュー:病院管理者による労働者の放射線被ばく管理に関する書類の毎年の文書レビュー
- ⑤OSHMS 導入:OSHMS(JIS Q 45001, 45100 又は OHSAS18001, ISO9001)の導入

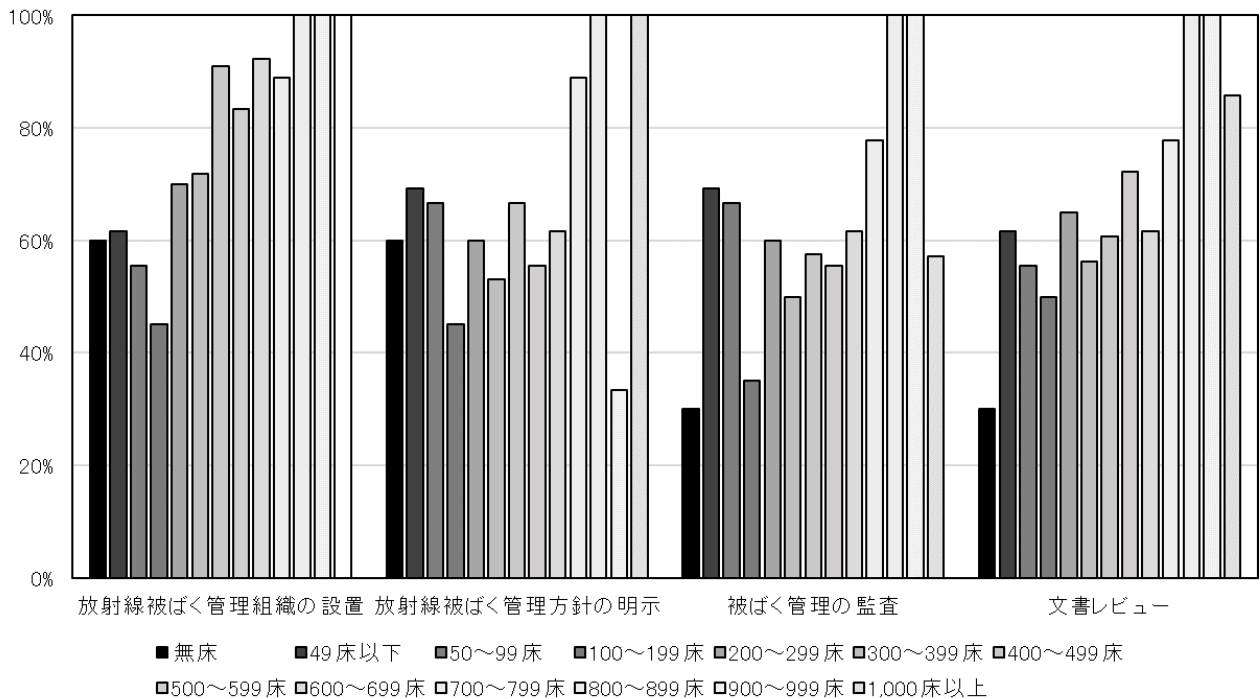


図2 病床規模別の放射線管理に係る体制の整備

【放射線業務従事者のリスクアセスメント結果に関する質問】

モデル文書に沿って自機関の放射線業務従事者についてリスクアセスメントを行った結果を調査した。リスクアセスメント結果は 143 機関 (70.1%) に関して得られ、61 機関 (29.9%) は無回答であった。

機関ごとのリスクアセスメントがなされた放

射線業務従事者数 (低リスク従事者、中リスク従事者、高リスク従事者の合計、以下「リスクアセスメント対象人数」という) は 1 名~914 名に分布した。リスクアセスメント対象人数区分ごとの機関数を図 3 に示した。病床数とリスクアセスメント対象人数を図 4 に示した。病床数が増えるほど、リスクアセスメント対象人数も増える傾向が見られた。

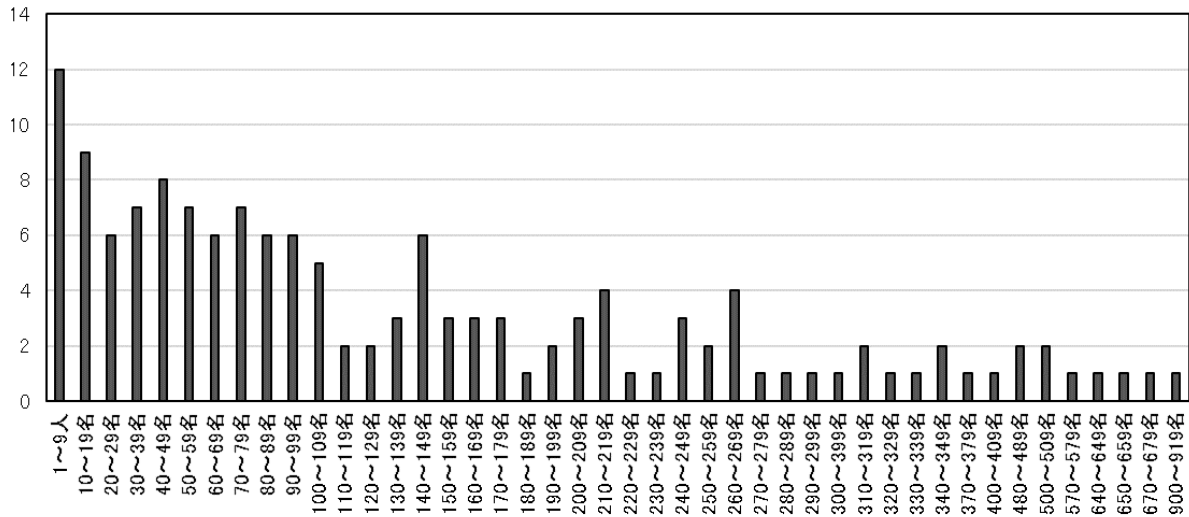


図 3 リスクアセスメント対象人数と機関数

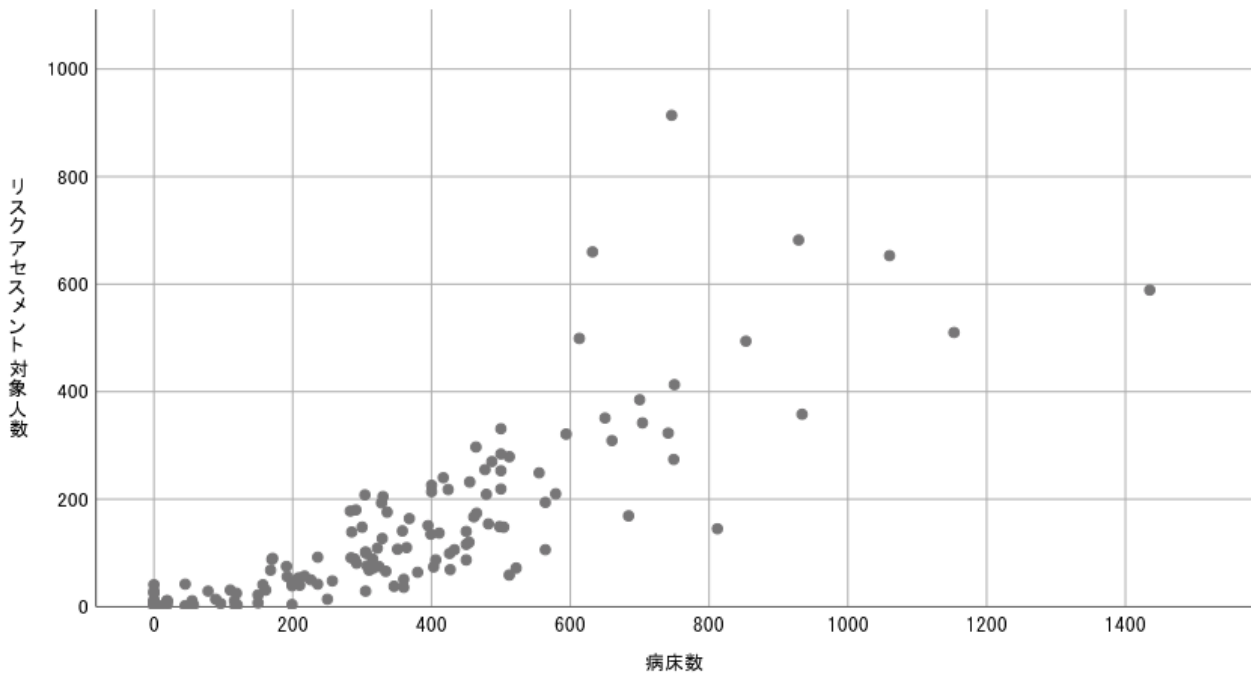


図4 病床数とリスクアセスメント対象人数

【防護具の管理状況に関する質問】

防護衣、防護眼鏡、ネックガードおよび防護クロス（オーバーチューブ透視装置用）の破損状況の1年あたりの確認回数を調査した。防護衣では、0回12機関（5.9%）、1回82機関（40.2%）、2回46機関（22.5%）、3回3機関（1.5%）、4回1機関（0.5%）、5回1機関（0.5%）6回以上4機関（2.0%）、無回答55機関（27.0%）であった。防護眼鏡では、0回48機関（23.5%）、1回57機関（27.9%）、2回23機関（11.3%）、3回3機関（1.5%）、6回以上4機関（2.0%）、無回答69機関（33.8%）であった。ネックガードでは、0回32機関（15.7%）、1回73機関（35.8%）、2回36機関（17.6%）、3回1機関（0.5%）、6回以上3機関（1.5%）、無回答59機関

（28.9%）であった。防護クロス（オーバーチューブ透視装置用）では、0回70機関（34.3%）、1回37機関（18.1%）、2回10機関（4.9%）、無回答87機関（42.6%）であった。病床規模別の集計、OSHMSの導入状況別の集計は表2、3に示した。病床規模によらず、防護衣の確認は年1回の機関が多かった。OSHMS導入機関では、防護具の管理に係る実施要領が作成され、マネジメントシステムが適切に運用されていれば「0回」の機関はないと考えたが、実際には0回の機関も見られた。OSHMSに放射線管理に関する項目が含まれていない、防護具の管理に係る内容が実施要領に含まれていない、OSHMSが適切に運用されていない、等が理由としては考えられた。

表2 病床規模別の防護具の年間の破損の確認回数
(防護衣)

	防護衣の年間の破損の確認回数					
	0回	1回	2回	3回	4回	6回以上
無床	2	2	2	0	0	0
49床以下	2	1	1	0	1	1
50～99床	0	4	1	0	0	1
100～199床	3	6	6	0	0	0
200～299床	0	11	5	0	0	0
300～399床	3	14	6	2	0	2
病床規模 400～499床	0	15	9	0	0	0
500～599床	1	7	5	0	0	0
600～699床	0	6	2	1	0	0
700～799床	0	5	2	0	0	0
800～899床	0	2	0	0	0	0
900～999床	0	2	1	0	0	0
1,000床以上	0	1	2	0	0	0
合計	11	76	42	3	1	4

※病床数無回答および確認回数無回答の機関は集計から除外した

(防護眼鏡)

		防護眼鏡の年間の破損の確認回数				
		0回	1回	2回	3回	6回以上
病床規模	無床	5	0	0	0	0
	49床以下	1	1	1	0	0
	50～99床	4	1	0	0	0
	100～199床	7	4	2	0	0
	200～299床	6	4	2	0	1
	300～399床	5	15	4	1	1
	400～499床	8	11	2	0	1
	500～599床	5	5	4	0	0
	600～699床	2	3	2	2	0
	700～799床	1	4	1	0	0
	800～899床	0	2	0	0	0
	900～999床	1	2	0	0	0
	1,000床以上	0	2	2	0	0
合計	45	54	20	3	3	

※病床数無回答および確認回数無回答の機関は集計から除外した

(ネックガード)

		ネックガードの年間の破損の確認回数				
		0回	1回	2回	3回	6回以上
病床規模	無床	4	0	1	0	0
	49床以下	1	1	1	0	1
	50～99床	2	2	0	0	1
	100～199床	5	6	4	0	0
	200～299床	2	7	4	0	0
	300～399床	6	15	5	0	1
	400～499床	4	14	8	0	0
	500～599床	1	7	6	0	0
	600～699床	2	4	1	1	0
	700～799床	1	5	2	0	0
	800～899床	0	2	0	0	0
	900～999床	1	2	0	0	0
	1,000床以上	0	1	2	0	0
合計	29	66	34	1	3	

※病床数無回答および確認回数無回答の機関は集計から除外した

(防護クロス)

	防護クロスの年間の破損の 確認回数		
	0回	1回	2回
	無床	3	1
49床以下	2	1	0
50～99床	5	0	0
100～199床	7	1	1
200～299床	6	3	1
300～399床	13	6	1
病床規模 400～499床	11	9	1
500～599床	8	0	3
600～699床	4	4	0
700～799床	2	5	1
800～899床	0	1	0
900～999床	1	2	0
1,000床以上	0	1	1
合計	62	34	9

※病床数無回答および確認回数無回答の機関は集計から除外した

表3 OSHMS 導入状況別の防護具の年間の破損の確認回数
(防護衣)

		防護衣の年間の破損の確認回数						
		0回	1回	2回	3回	4回	5回	6回以上
OSHMS の 導入状況	あり	0	8	2	1	0	0	0
	なし	11	64	40	2	1	1	4
	無回答	1	10	4	0	0	0	0
合計		12	82	46	3	1	1	4

※確認回数無回答の機関は集計から除外した

(防護眼鏡)

		防護眼鏡の年間の破損の確認回数				
		0回	1回	2回	3回	6回以上
OSHMS の 導入状況	あり	4	4	0	2	1
	なし	42	45	20	1	2
	無回答	2	8	3	0	1
合計		48	57	23	3	4

※確認回数無回答の機関は集計から除外した

(ネックガード)

		ネックガードの年間の破損の確認回数				
		0回	1回	2回	3回	6回以上
OSHMSの 導入状況	あり	1	8	2	1	0
	なし	29	54	32	0	3
	無回答	2	11	2	0	0
合計		32	73	36	1	3

※確認回数無回答の機関は集計から除外した

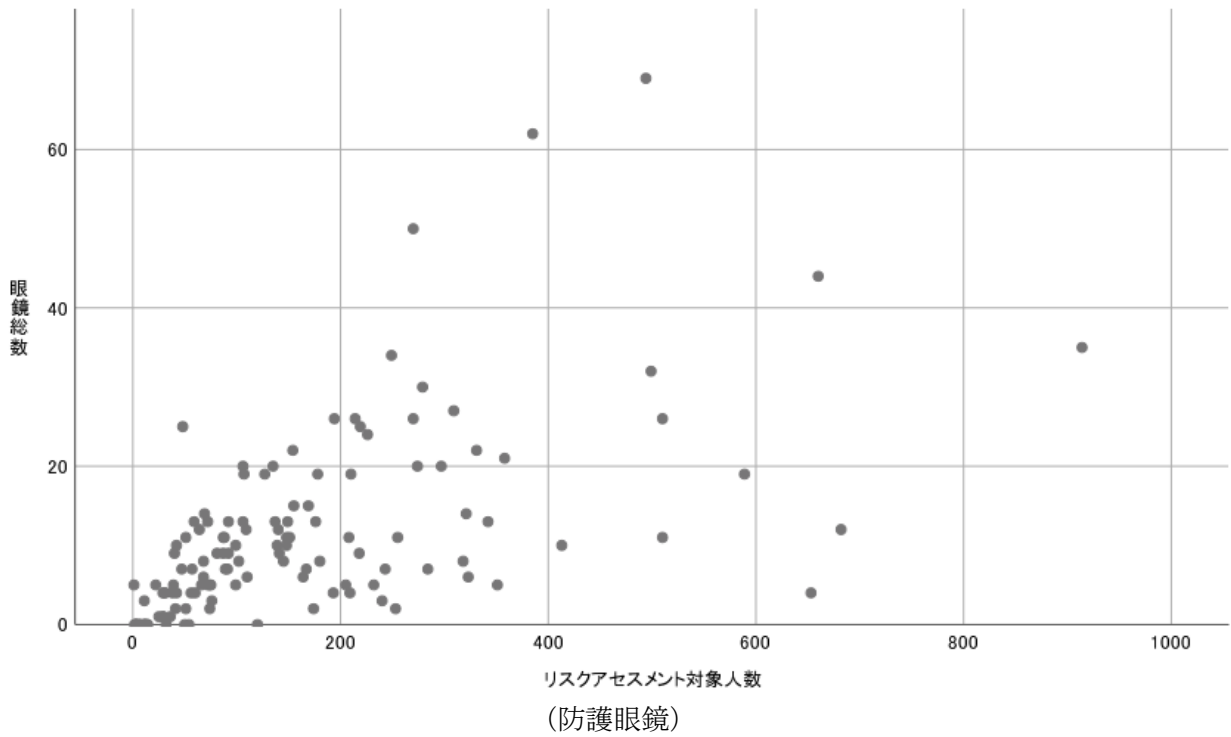
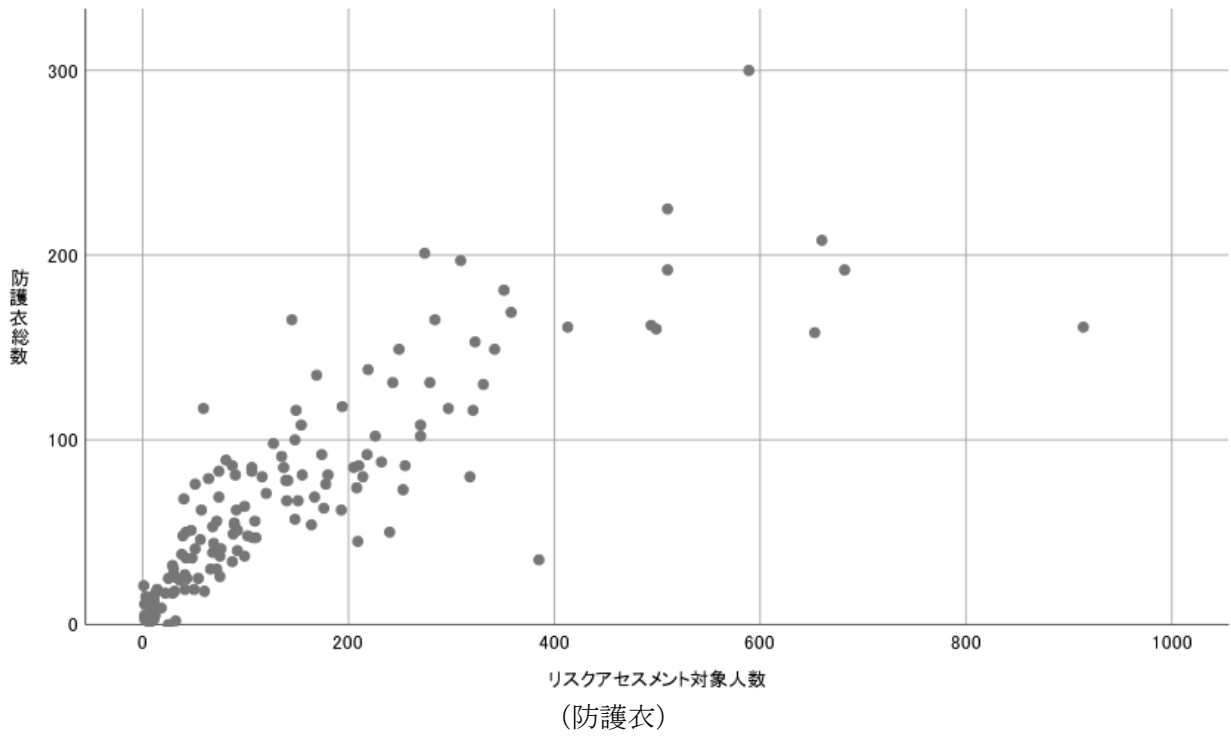
(防護クロス)

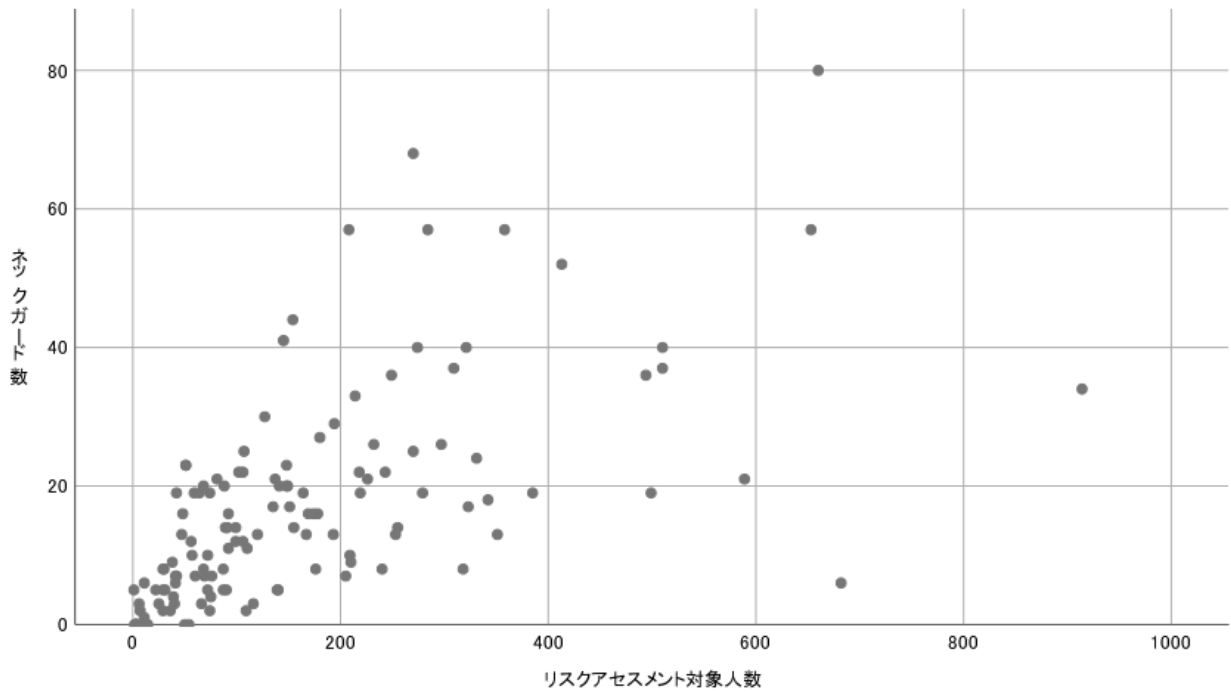
		防護クロスの年間の破損の 確認回数		
		0回	1回	2回
OSHMSの 導入状況	あり	3	7	1
	なし	60	26	8
	無回答	7	4	1
合計		70	37	10

※確認回数無回答の機関は集計から除外した

リスクアセスメント対象人数と防護衣、防護眼鏡、ネックガードの保有数を図5に示した。およそ、防護衣は2人に1枚、防護眼鏡は10人に1個、ネックガードも10人に1個程度の割合で準備されていた。防護衣よりも、防護眼鏡およびネックガードは、同程度のリスクアセスメント対象人数であっても、準備されている数にばらつきがあった。今回は、個人所有ではなく、医療機関が準備した防護具の数を回答させたが、防護眼鏡に

関しては、「全て個人所有」と記載されていた機関もあった。防護眼鏡やネックガードを使用する意識が低い、防護眼鏡やネックガードを医療機関が準備するという認識が薄い、防護眼鏡やネックガードのような防護衣よりも肌に密着するものは共用したくない、自分に合ったサイズで手技の邪魔にならない眼鏡を使用したい等が要因として考えられた。





(ネックガード)

図5 リスクアセスメント対象人数と防護具保有数

リスクアセスメント対象人数と防護衣、防護眼鏡、ネックガードの保有数の差を算出し、各防護具について防護具充足、防護具同数、防護具不足の割合を図6に示した。リスクアセスメントの結果が得られなかった機関、防護具の保有数が無回答の機関は集計から除外した。防護具保有数がリスクアセスメント対象人数と同等以上であった

のは、防護衣は27機関(18.9%)、防護眼鏡およびネックガードは1機関(0.8%)であった。リスクアセスメント対象人数区分と防護具保有数を表4に示した。防護具が充足していたのは、リスクアセスメント対象人数が149名以下の機関のみであった。(表4にて、グレーの網掛け部分)

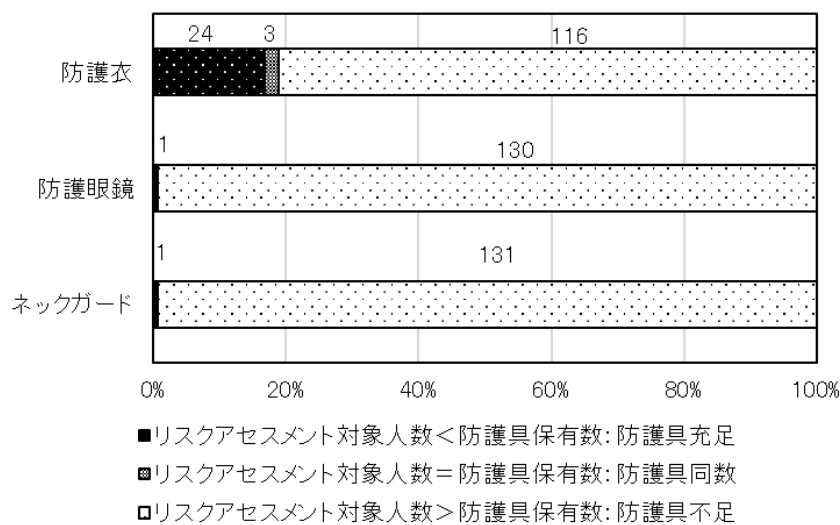


図6 防護具の充足、同数、不足の割合

表4 リスクアセスメント対象人数区分と保護具保有数

リスクアセスメント対象人数	防護衣		防護眼鏡		ネックガード	
	リスクアセスメント対象人数 \leq 防護具保有数	リスクアセスメント対象人数 $>$ 防護具保有数	リスクアセスメント対象人数 $<$ 防護具保有数	リスクアセスメント対象人数 $>$ 防護具保有数	リスクアセスメント対象人数 $<$ 防護具保有数	リスクアセスメント対象人数 $>$ 防護具保有数
1～9名	8	4	1	9	1	8
10～19名	4	5	0	7	0	7
20～29名	2	4	0	5	0	5
30～39名	3	4	0	6	0	5
40～49名	3	5	0	6	0	7
50～59名	3	4	0	7	0	7
60～69名	1	5	0	6	0	6
70～79名	1	6	0	6	0	6
80～89名	1	5	0	5	0	5
90～99名	0	6	0	5	0	6
100～109名	0	5	0	5	0	5
110～119名	0	2	0	1	0	2
120～129名	0	2	0	2	0	2
130～139名	0	3	0	3	0	3
140～149名	1	5	0	6	0	6
150～159名	0	3	0	3	0	3
160～169名	0	3	0	3	0	3
170～179名	0	3	0	3	0	3
180～189名	0	1	0	1	0	1
190～199名	0	2	0	2	0	2
200～209名	0	3	0	3	0	3
210～219名	0	4	0	4	0	4
220～229名	0	1	0	1	0	1
230～239名	0	1	0	1	0	1
240～249名	0	3	0	3	0	3
250～259名	0	2	0	2	0	2
260～269名	0	4	0	4	0	4
270～279名	0	1	0	1	0	1
280～289名	0	1	0	1	0	1
290～299名	0	1	0	1	0	1
300～399名	0	1	0	1	0	1
310～319名	0	2	0	2	0	2
320～329名	0	1	0	1	0	1
330～339名	0	1	0	1	0	1
340～349名	0	2	0	2	0	2
370～379名	0	1	0	1	0	1
400～409名	0	1	0	1	0	1
480～489名	0	2	0	2	0	2
500～509名	0	2	0	2	0	2
570～579名	0	1	0	1	0	1
640～649名	0	1	0	1	0	1
650～659名	0	1	0	1	0	1
670～679名	0	1	0	1	0	1
900～919名	0	1	0	1	0	1

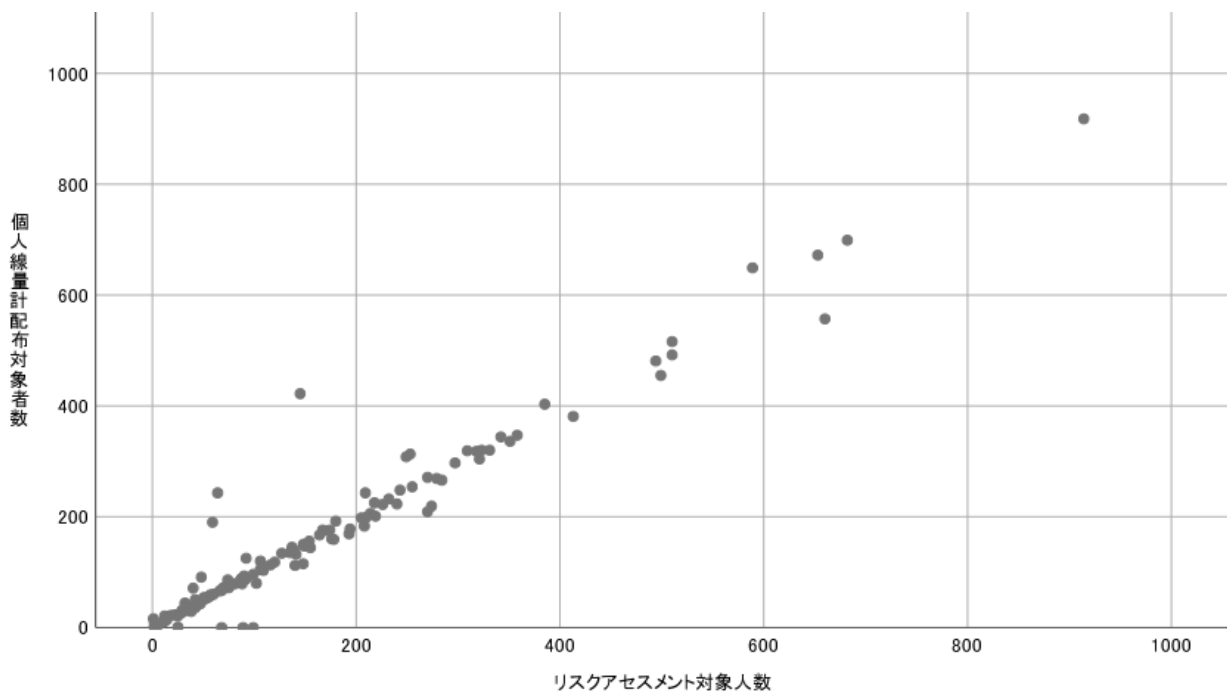
※リスクアセスメント結果無回答および防護具の保有数無回答の機関は集計から除外した

【個人線量計の配布状況に関する質問】

個人線量計の適正な装着のための周知方法を調査した。リーフレットやポスターの掲示 51 機関 (25.0%)、講習会・勉強会 62 機関 (30.4%)、管理体制の整備 12 機関 (5.9%)、リーフレットやポスターの掲示かつ講習会・勉強会 2 機関 (1.0%)、周知は行っていない 19 機関 (9.3%)、その他 13 機関 (6.4%)、無回答 45 機関 (22.1%) であった。厚生労働省が 2020 年 8～9 月に実施した電離健診対象事業場に対する自主点検では、回答した医療機関の 21.0% が線量計の適正な装着のための「周知などは行っていない」と回答した¹⁾。本調査の対象である放射線 MS 導入支援事業へ参加した機関は放射線被ばく管理に興味を持っている機関が多いと考えられる。周知は行っていないと回答した機関は自主点検よりも少なかったのは対象機関のバックグラウンドの違いが影響していると考えられた。

各機関の個人線量計配布対象者数について、

医師、看護師、放射線技師、臨床検査技師、臨床工学技士、事務員、その他職種の1個配布対象者および2個配布対象者の合計を算出した。各機関における、2019年11月および2020年11月のリスクアセスメント対象人数と個人線量計配布対象者数を図7に示した。リスクアセスメント対象人数と個人線量計配布対象者数が1対1の直線近くに分布していた。リスクアセスメント対象人数と個人線量計配布対象者数の差を算出し、2019年11月および2020年11月のリスクアセスメント対象人数<個人線量計配布対象者数、リスクアセスメント対象人数=個人線量計配布対象者数、リスクアセスメント対象人数>個人線量計配布対象者数の割合を図8に示した。線量計配布対象者数がリスクアセスメント対象人数と同等以上であったのは、2019年11月は85機関 (59.4%)、2020年11月は103機関 (72.0%) であった。



(2019年11月)

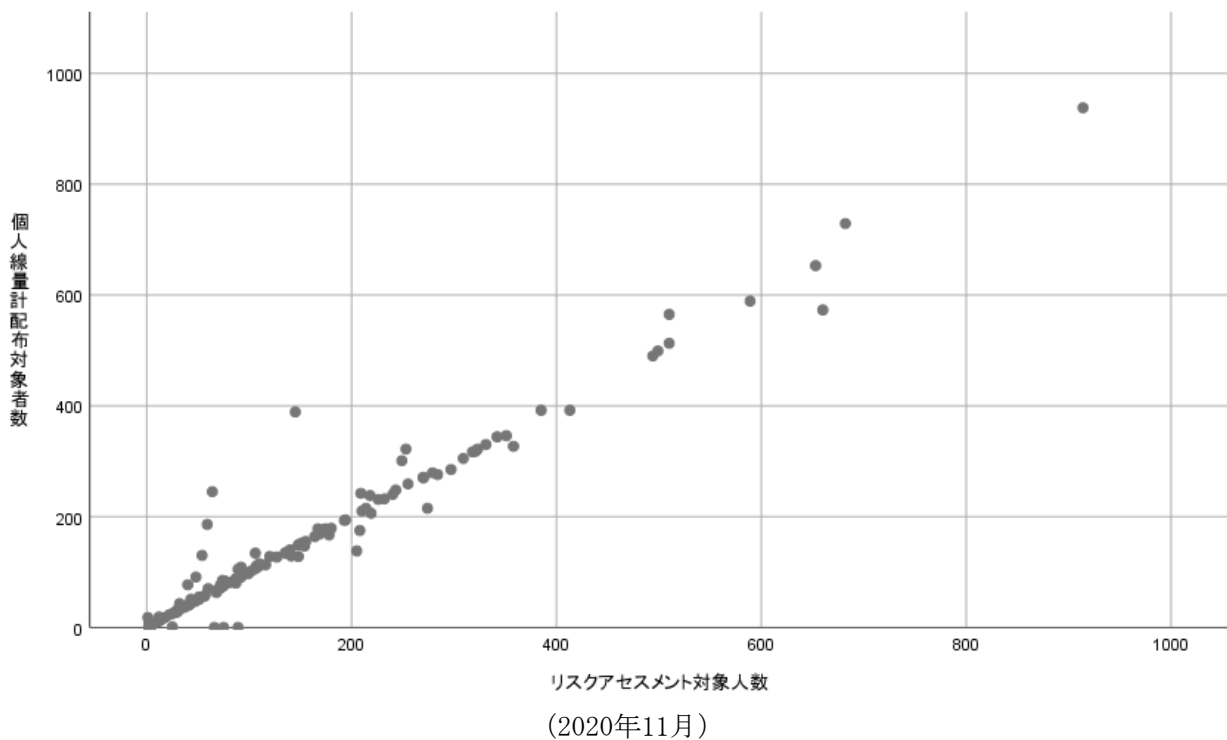


図7 リスクアセスメント対象人数と個人線量計配布対象者数

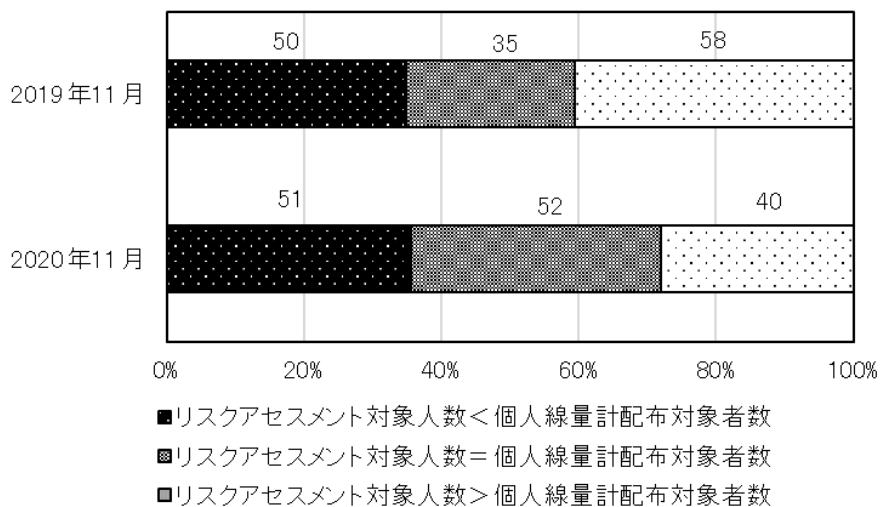


図8 リスクアセスメント対象人数と個人線量計配布対象者数の関連（2019年11月、2020年11月）

2019年11月および2020年11月の両月に個人線量計を2個配布する対象者が含まれた89機関において、2019年11月と2020年11月における個人線量計2個配布対象者の割合を散布図に示した(図9)。2019年よりも2個配布対象者の割合が増加したのは51機関(57.3%)、変化なかったのは24機関(27.0%)、減少したのは14機関(15.7%)であった。2020年11月には、21機関

で2個配布対象者の割合が100%であった。「放射線業務従事者等に対する線量測定等の徹底及び目の水晶体の被ばくに係る放射線障害防止対策の再周知について(基安発1101第1号)」により不均等被ばくの場合の2つ以上の放射線測定器の装着の徹底が示され、各機関での周知徹底が進んだためと考えられた。

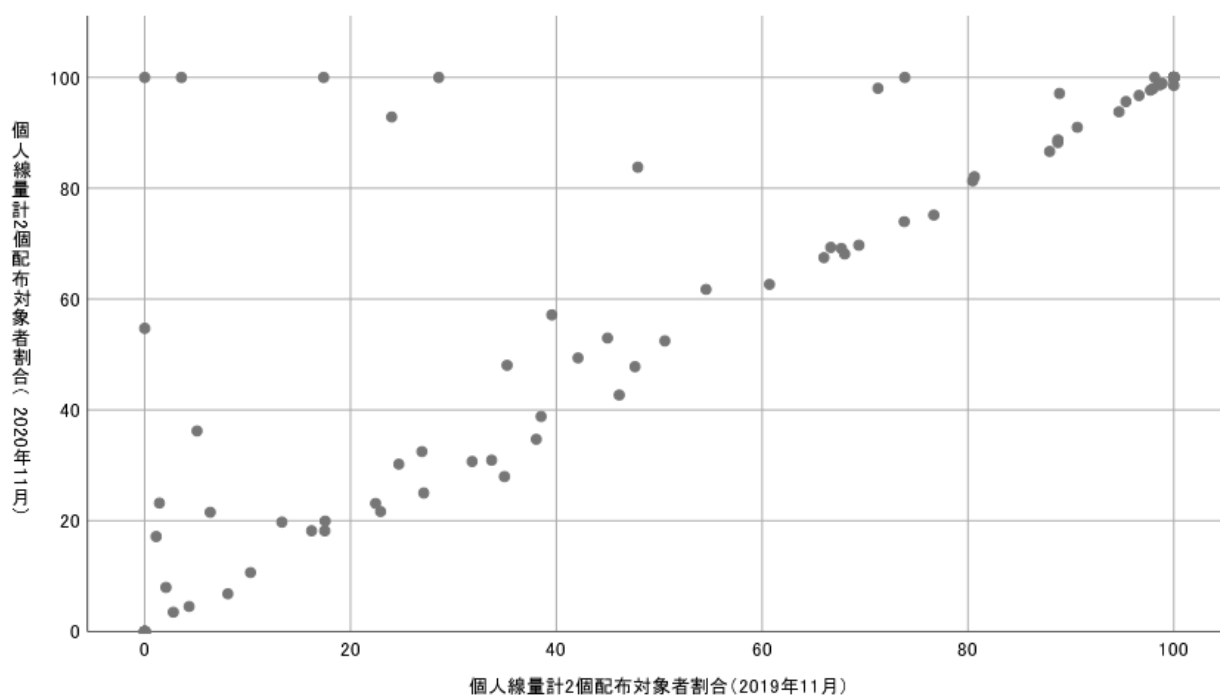


図9 個人線量計2個配布対象者割合の比較（2019年11月－2020年11月）

【放射線業務従事者の被ばく状況の情報共有に関する質問】

全ての放射線業務従事者の毎月の個人被ばく線量を把握している者について、放射線施設の事務員、診療放射線技師長、看護師長、放射線管理者、その他から該当する者をすべて選択させた。それぞれを選択したのは、放射線施設の事務員 20

機関、診療放射線技師長 89 機関、看護師長 5 機関、放射線管理者 110 機関、その他 22 機関であった。その他では、放射線安全委員長、診療放射線技師、産業医、健康管理医、衛生管理者、放射線取扱主任者、健康管理センター（事務員）の回答があった。

表5 放射線業務従事者の被ばく線量を把握している者

放射線業務従事者の個人被ばく線量を把握している者	選択機関数
放射線施設の事務員	20
診療放射線技師長	89
看護師長	5
放射線管理者	110
その他	22

D. 考察

本研究では、放射線 MS 導入前の医療機関の放射線被ばく管理の実態を把握することを目的に調査を行った。労働者の放射線被ばく管理組織が設置されている機関は 70.1%、病院管理者により労働者の放射線被ばく管理に対する方針や指針が明示されている機関は 57.8%であり、放射線被ばく管理を適切に実施しなければならないと考えている病院管理者であっても、病院管理者として実施すべき事、医療機関全体としての具体的な進め方、労働者への周知と教育等、不十分なことが多くあり、適切な管理には至っていない機関が

多いと推測された。

また、OSHMS が導入されている機関は 8.3%のみで、MS のシステム文書や実施要領の作成で困難を感じる機関も多いことが心配される。公益財団法人日本適合性認定協会（Japan Accreditation Board）によると、マネジメントシステムとは「方針及び目標を定め、その目標を達成するために組織を適切に指揮・管理するための仕組み」で、OSHMS はその一つで「組織の労働災害のリスクを防止し、労働者やその関係者だけでなく社会全体の安全を確保する一連の仕組み」とされている。MS の導入が目標になってしまわず、MS 導入後に

継続的に運用ができてはじめて MS を導入した意義があるため、自立して MS を運用できるまで、機関ごとにきめ細かなサポートを提供できる体制が必要と考える。

防護具（保護具）に関して、電離放射線障害防止規則（以下「電離則」という）では、第 38 条～第 39 条で保護具の記載はあるが汚染の防止対策で、本研究で対象としている医療機関の放射線業務従事者には適さない内容である。一方、労働安全衛生規則（以下「安衛則」という）第 593 条呼吸用保護具等では「事業者は、著しく暑熱又は寒冷な場所における業務、多量の高熱物体、低温物体又は有害物を取り扱う業務、有害な光線にさらされる業務、ガス、蒸気又は粉じんを発散する有害な場所における業務、病原体による汚染のおそれの著しい業務その他有害な業務においては、当該業務に従事する労働者に使用させるために、保護衣、保護眼鏡、呼吸用保護具等適切な保護具を備えなければならない。」とされている。また、同規則第 596 条保護具の数等では「事業者は、前 3 条に規定する保護具については、同時に就業する労働者の人数と同数以上を備え、常時有効かつ清潔に保持しなければならない。」、同規則第 597 条労働者の使用義務では「第 593 条から第 595 条までに規定する業務に従事する労働者は、事業者から当該業務に必要な保護具の使用を命じられたときは、当該保護具を使用しなければならない。」とされている。医療機関における電離放射線業務は安衛則第 593 条のその他有害な業務に含まれると考えられ、事業者（病院管理者と読み替えられるかどうかは機関による）は同時に就業する労働者の人数と同数以上を備えることが求められる。操作性や術者の好み等、事情は様々と考えますが、事業者は適切な防護具（防護衣、防護眼鏡、ネックガード等）を必要数準備する義務、労働者は事業者より使用を命じられた防護具を使用する義務があることを再度認識し、実行する必要があると考える。

線量の測定に関して、電離則第 8 条第 1 項では「事業者は、放射線業務従事者、緊急作業に従事する労働者及び管理区域に一時的に立ち入る労働者の管理区域内において受ける外部被ばくによる線量及び内部被ばくによる線量を測定しなければならない。」と事業者の義務が示されている。更に、第 8 条第 3 項第 1 号～3 号には放射線測定器の装着場所が記載されているが、正確に理解し適正に線量計を装着するのは電離則を読むだけでは困難と思われる。2019 年には、電離則の改正に先立ち医療法施行規則が改正され、診療用放射線の安全利用（放射線診療を受ける者の放射線防護（正当化と防護の最適化））や医療放射線安全管理責任者の配置等が規定された。放射線業務従事者が自身の放射線防護を考える 1 つのきっか

けになったのではないかと推測される。放射線防護に多少なりとも意識づけされたところで、厚生労働省によるリーフレット「医療保健業に従事する皆さまへ～被ばく線量の見える化のために～」²等、わかりやすい資料で周知し、かつ、事業者が義務を的確に果たすことで線量計の適正な装着が進むことが期待される。

E. 結論

放射線 MS 導入支援事業に参加した医療機関の、放射線 MS 導入前の放射線被ばく管理の実態を把握することを目的に調査を行った。放射線管理体制、防護具の準備状況、個人線量計の装着と線量測定に関して、いずれも十分とは言えなかった。今後、放射線 MS 導入が進み、実効的な実施要領が作成され、継続的に運用され、その結果として放射線管理体制が整い、防護具が必要数準備され、個人線量計の装着が 100%となり、適正に装着した個人線量計で測定して線量限度を超える者がいない管理が可能となり、電離放射線による健康障害が引き起こされることがなくなることが期待される。

参考資料

- 1 厚生労働省. 電離健診対象事業場に対する自主点検について.
<https://www.mhlw.go.jp/content/11300000/000788913.pdf>.
- 2 厚生労働省. 医療保健業に従事する皆さまへ～被ばく線量の見える化のために～.
<https://www.mhlw.go.jp/content/000481094.pdf>.

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

令和3年度(2021年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

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

放射線管理区域に立ち入る医療従事者の個人被ばく線量計装着実態調査 (第2報)

研究協力者 松崎賢 (新小文字病院)

研究分担者 櫻田尚樹 (産業医科大学産業保健学部教授)

要旨

2021年4月、電離放射線障害防止規則(以下、電離則)の改正により、水晶体等価線量の引き下げが行われた。今後、ますます適切な個人被ばく線量測定への遵守や線量管理が求められる。しかし、2020年1月から約3ヶ月間行われた、個人被ばく線量計の装着実施状況の全国調査では、装着が徹底されていないことが明らかとなった。そこで、本調査では、電離則の改正が施行される直前の個人被ばく線量計の装着実施状況を把握することを目的とした。

調査項目は、職種や個人被ばく線量計装着状況などの8項目とし、選択回答形式とした。個人被ばく線量計(ガラスバッジなど)の装着状況においては、ホームページ上で公募した調査員が、自施設の放射線業務を目視にて調査し、その結果を郵送やメールするよう、依頼した。調査期間は、2021年1月1日から3月31日とした。また、得られた個人被ばく線量計の装着状況より装着率(個人被ばく線量計装着状況の調査人数に対する個人被ばく線量計の装着人数)を算出した。

46名の調査員より、1237名の調査結果を得た。全体の個人被ばく線量計(エプロン下)装着率は、71.2%であった。また、職種別の個人被ばく線量計(エプロン下)装着率は、医師が56.1%と一番低く、観察場所別の個人被ばく線量計(エプロン下)装着率は、手術室が35.8%と一番低かった。

結論として、未だ個人被ばく線量計装着率は100%でなかったため、引き続き、個人被ばく線量計を装着する重要性の理解が促進されるような、適切な放射線防護教育の実施が必要不可欠である。

背景

2021年4月、電離放射線障害防止規則（以下、電離則）の改正が行われ、水晶体等価線量の引き下げが行われた。今後、ますます適切な個人被ばく線量測定の遵守や線量管理が求められる。しかし、第5回眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会（1）において、個人被ばく線量計の装着を適切に実施していない可能性が明らかにされた。さらに、2020年1月から約3ヶ月間、電離則改正公布前の個人被ばく線量計の装着実施状況の全国調査（以下、前期）を行い、実際に装着が徹底されていないことが明らかとなった。

目的

本調査では、電離則の改正が公布され、施行される直前の個人被ばく線量計の装着実施状況を把握することを目的とした。

方法

調査は、全国の各医療機関に従事する放射線業務従事者を対象とし、放射線業務における個人線量計（ガラスバッジやフィルムバッジなど）装着状況を、各調査員が目視で調査した。調査員は、各医療機関よりホームページ上で公募し、得られた結果は郵送もしくはメールにて回収し、解析を行った。調査期間は2021年1月1日から3月31日の中から選択された任意の一日とした。

調査項目は、前回と同様（観察日、診療科、職種、観察場所、放射線業務従事者登録状況、個人被ばく線量計（胸・腹部）装着状況（電離則第8条第3項第1号に該当）、個人被ばく線量計（頭・頸部）装着状況）とし、個人被ばく線量計装着率（調査期間に個人被

ばく線量計装着状況を調査した全人数に対する同期間内に個人被ばく線量計を装着した人数）を算出し、評価した。

結果

全国から46名の調査員（27施設）にご協力頂き、1237名の調査結果を得た。放射線業務従事者登録状況の集計結果を表1に示す。90%以上が放射線業務従事者として管理されていた。また、不均等被ばく管理が67.8%と、一番比率が高かった。職種別における個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率の結果表2に示す。全職種の個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率は71.2%であった。また、職種ごとの比較では診療放射線技師が高く、97.5%であったが、医師は56.1%と一番低かった。なお、放射線業務従事者管理・登録されていない者であっても、電子式線量計で線量測定されている者が散見された。医師診療科別の個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率の結果を表3に示す。医師の診療科において、個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率は放射線科が73.6%と高く、脳神経外科が25.0%と一番低かった。観察場所別の個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率の結果を表4に示す。観察場所における個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率は核医学検査室が90.6%と高く、反対に手術室は35.8%と一番低かった。

不均等被ばく管理における職種別の個人被ばく線量計（頭・頸部）装着率の結果を表5に示す。不均等被ばく管理時における全職種の個人被ばく線量計（頭・頸部）装着率は68.9%であった。また、職種別に比較すると、診療放射線技師が95.8%と高く、医師は53.5%と一番低かった。

考察

本研究では、放射線業務従事者の個人被ばく線量計装着状況を調査した。その結果、放射線業務従事者管理登録されている者は90%以上であることが明らかとなった。また、実際の個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率は、全職種で71.2%であり、なかでも医師は56.1%であった。医師の診療科別に個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率をみると、脳神経外科が一番低く、25.0%であった。その他、観察場所別の個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率は、手術室が35.8%と一番低かった。また、不均等被ばく管理時における個人被ばく線量計（頭・頸部）装着率は全職種68.9%であり、職種別に比較すると医師が53.5%と一番低かった。

放射線業務従事者管理登録は、90%以上でされているものの、10%程度は何ら管理されていない可能性が認められた。職種によっては、被ばく線量が高くなることが予測されるため、何らかの管理下におかれることが望ましいと考えられる。

前期同様、個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率は必ずしも100%でなく、実際の被ばく線量は過小評価されている可能性が推察された。今後、電離則の改正が施行される過程で、装着率の上昇が期待される。また、引き続き、装着率の向上のための適切な放射線防護教育の実施が望まれる。

医師の診療科別の個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率において、放射線科は、放射線防護に関する専門教育を受けてきたため高かったと考えられる。また前期では、整形外科が8.9%と一番低かったが、今期では37.8%と増加が認められた。その他の診療科に関しても、概ね装着率の増加が認めら

れ、電離則改正公布による影響があった可能性が考えられた。また、観察場所別の個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率においては、前期同様、手術室が一番低かった。手術室は多職種が関わっているため、放射線防護教育の頻度が多様であることが要因として考えられる。

個人被ばく線量計（頭・頸部）装着率も低く、全職種の装着率は、前期の53.2%から68.9%と、多少の増加を認めたものの、未だ100%装着されていないことが明らかとなった。今後、個人被ばく線量計の装着の実施に特化した防護教育の重要性が示唆された。

結論

電離則改正交付後の個人被ばく線量計の装着状況の調査を行った。全職種の個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率は、未だ100%になっておらず、被ばく線量は過小評価されている可能性が示唆された。ただし、電離則改正の公布に伴い、多少の増加も認められ、今後、新法令が施行される過程で、装着率の上昇が期待される。ただし、それだけでは不十分であるため、引き続き、個人被ばく線量計を装着する重要性の理解が促進されるような、適切な放射線防護教育の実施が必要不可欠である。

参考文献

1. Ministry of Health LaW. The 5th meeting for reviewing the exposure limits of the crystalline lens of the eye: Japan. <https://www.mhlw.go.jp/content/11201000/000519683.pdf>. Accessed 11 August 2020.

表1 放射線業務従事者の管理・登録状況

管理状況	人数	比率 (%)
均等被ばく管理*	292	23.6
不均等被ばく管理**	839***	67.8
無	106	8.6
合計	1237	

* 個人被ばく線量計1個で管理(電離則第8条第3項第1号に該当)

** 個人被ばく線量計2個以上で管理(電離則第8条第3項第2、3号に該当)

*** 1名のみ、2個目は個人被ばく線量計(手指)(電離則第8条第3項第3号に該当)で管理

表2 職種別における個人被ばく線量計(胸・腹部)装着率

職種	対象者		個人被ばく線量計(胸・腹部)*	
	人数	割合 (%)	装着人数	装着率 (%)
医師	519	42.0	291	56.1
看護師	349	28.2	262	75.1
診療放射線技師	238	19.2	232	97.5
臨床工学技士	105	8.5	79	75.2
その他	26	2.1	17	65.4
合計	1237		881	71.2

* 電離則第8条第3項第1号に該当

表3 医師診療科別における個人被ばく線量計(胸・腹部)装着率

医師診療科	対象者		個人被ばく線量計(胸・腹部)*	
	人数	割合 (%)	装着人数	装着率 (%)
循環器内科	158	30.4	99	62.7
外科	40	7.7	20	50.0
消化器外科	14	2.7	7	50.0
消化器内科	52	10.0	39	75.0
整形外科	37	7.1	14	37.8
脳神経外科	40	7.7	10	25.0
泌尿器科	17	3.3	11	64.7
放射線科	53	10.2	39	73.6
その他	108	20.8	52	48.1
合計	519		291	56.1

* 電離則第8条第3項第1号に該当

表 4 観察場所別における個人被ばく線量計 (胸・腹部) 装着率

観察場所	対象者		個人被ばく線量計 (胸・腹部)*	
	人数	割合 (%)	装着人数	装着率 (%)
血管造影検査室	551	44.5	398	72.2
透視検査室	310	25.1	249	80.3
CT室	70	5.7	63	90.0
手術室	109	8.8	39	35.8
ハイブリッド手術室	72	5.8	33	45.8
一般撮影室	41	3.3	30	73.2
核医学検査室	32	2.6	29	90.6
放射線治療室	35	2.8	28	80.0
その他	16	1.3	12	75.0
合計	1237		881	71.2

* 電離則第 8 条第 3 項第 1 号に該当

表 5 不均等被ばく管理時における職種別の個人被ばく線量計 (頭・頸部) 装着率

職種	対象者		個人被ばく線量計 (頭・頸部)*	
	人数	割合 (%)	装着人数	装着率 (%)
医師	391	46.7	209	53.5
看護師	192	22.9	142	74.0
診療放射線技師	165	19.7	158	95.8
臨床工学技士	76	9.1	56	73.7
その他	14	1.7	12	85.7
合計	838		577	68.9

* 電離則第 8 条第 3 項第 2 号に該当

労災疾病臨床研究事業費補助金

分担研究報告書

日本の放射線診療に携わる医師の眼の水晶体線量評価の
多施設共同研究

研究協力者 永元啓介（産業医科大学病院放射線部）

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 上席研究員）

研究分担者 櫻田尚樹（産業医科大学産業保健学部教授）

研究要旨

放射線診療に携わる医師の眼の水晶体線量を調査し、新しい水晶体等価線量限度の遵守可能性を評価した。さらに、労働衛生の基本に則って“多重放射線防護”を提案し、その効果を見積もることを目的とした。放射線診療に携わる医師（ $n = 15$ ）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、多重放射線防護を実施した場合、眼の水晶体線量率はすべての診療領域で低下した。また、線量低減効果は、71%（範囲: 39% - 100%）であった。放射線診療に携わる医師が、労働衛生の基本に則った“多重放射線防護”を実践すれば、医師個人や医療施設に過度な負担を負わせることなく、新しい水晶体等価線量限度の遵守が可能であった。

A. 研究目的

国際放射線防護委員会は2011年のソウル声明で、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年間につき100 mSvおよび、1年間につき50 mSvを超えないと改正された。

脳血管⁽³⁾、心血管^(4, 5)、腫瘍^(5, 6)へのインターベンショナル・ラジオロジー（IR）、内

視鏡的逆行性胆管膵管造影^(5, 7, 8)、整形外科領域⁽⁹⁾など、放射線診療に携わる医師の眼の水晶体被ばくが大きいことはこれまでに数多く報告されているその中でも、循環器内科医師や消化器内科医師が眼の水晶体に対して放射線防護を行わずに放射線診療を実施した場合、水晶体等価線量限度を超えることが報告されている^(4, 5, 8, 10)。そのため、International Atomic Energy Agency (IAEA)では、放射線防護眼鏡や天吊型防護板を用いることによって被ばく低減が可能であるとの情報を発信し、水晶体防護の重要性を啓蒙している⁽¹¹⁾。

放射線診療を施行する医師の多くは、放射線防護について十分な訓練と知識を持た

ずに手技を行っている可能性がある^(5, 12-17)。過去の報告によると、手技中に放射線防護衣やネックガードは90%以上着用している^(5, 13)が、放射線防護眼鏡の着用率は30% - 47%^(5, 13-15)である。また、鉛を含む天吊型防護板は、眼の水晶体被ばくを70%以上減少させると考えられており⁽¹⁸⁻²¹⁾、放射線診療の実施において不可欠な放射線防護具である。しかしながら、天吊型防護板の使用法が不適切な場合、その低減率は50%にも満たない可能性が指摘されている^(22, 23)。そのため、放射線診療を施行する医師に対する放射線防護教育は必要不可欠である。しかしながら、放射線診療に従事する医師の放射線防護教育は十分に行えているとは言えず、眼の水晶体には高い放射線量を受けるリスクがある。

この多施設共同研究では、日本国内の学会に推薦を受けた医師の眼の水晶体線量 $H_p(3)$ を1症例ごとに測定し、新たな水晶体等価線量限度の遵守可能性を評価した。さらに、医師の身体に無理な負担をかけずに医療施設に対しても費用負担の少ない労働衛生の基本に則って“多重放射線防護”を提案し、その効果を見積もることを目的とした。

B. 研究方法

測定対象

2019年4月から2019年7月の間に、日本の15の医療施設において放射線診療(血管系造影検査, 非血管系造影検査, インターベンショナルラジオロジー (IVR))に従事する医師で、各学会(日本放射線医学会・日本IVR学会, 整形外科学会, 日本循環器学会, 日本消化器病学会, 日本脳神経血管内治療学会)から推薦を受けた15名を対象とし、従来の放射線防護方法で放射線診療を実施

した時(放射線防護介入前, 表1)と、各医療施設の設備環境や手技内容を考慮して作成した放射線防護対策を用いた時(放射線防護介入後, 表1)の眼の水晶体線量(3mm線量当量: $H_p(3)$)を1症例ごとに測定した。また、過去3年間の個人被ばく線量値(70 μ m線量当量: $H_p(0.07)$)と過去1年間の検査件数を合わせて調査した。

X線装置および放射線防護方法

参加した15の医療機関のうち、バイプレーン式血管造影装置を用いていたのは6施設、X線CT装置を組み合わせたハイブリットシングルプレーン式血管造影装置を用いていたのは3施設、外科用X線透視装置を用いていたのは1施設であった。残りの5施設はX線透視装置を用いており、そのうちの4施設がオーバーテーブルX線管装置、1施設がアンダーテーブルX線管装置を用いていた。

放射線診療に携わる医者の放射線防護には、放射線防護眼鏡や天吊型防護板、オーバーテーブルX線管用の散乱線防護クロス、寝台下防護カーテン、RADPAD[®](0.25-mmPb, 株式会社日本メディカルリードス, 東京)、透視の際の正側面同時照射の低減、透視モードの適切な選択/切り替え(15ppsから7.5ppsに変更)、撮影時の室外退避行為、常に必要な範囲に照射野、CT透視時には逐次近似応用再構成を用いて線量軽減の実施を放射線診療に影響がないように組み合わせて実施した。

使用した放射線防護眼鏡は以下のとおりである。HF-400(0.07-mmPb換算, 東レ・メディカル株式会社, 医師10名)、HF-350

表1 放射線介入前後の放射線防護状況

対象医師	介入	眼鏡	防護板	寝台下防護 カーテン	散乱線防護 クロス	RADPAD®	透視側面同時 照射の低減	室外退避	透視モードの 切り替え	照射野	逐次近似応 用再構成	
循環器内科	A	前	○ ^a	● ^d	○		○			○		
		後	○ ^a	○ ^d	○		○		○	○		
	B	前	○ ^a	● ^e	○			○		○	○	
		後	○ ^a	○ ^e	○		○		○	○	○	
	C	前	○ ^b		○			○		○	○	
		後	○ ^c	○ ^e	○			○		○	○	
脳神経外科	D	前	○ ^a		○					○		
		後	○ ^a	○ ^e	○		○		○	○		
	E	前	○ ^a	● ^e	○				○	○	○	
		後	○ ^a	○ ^e	○		○	○	○	○	○	
消化器内科	F	前	○ ^a		● ^f					○		
		後	○ ^a		○ ^f				○	○		
	H	前	○ ^a			○ ^g						
		後	○ ^a			○ ^g			○			
	I	前	○ ^a			● ^f						
		後	○ ^a			○ ^f						
J	前	○ ^a			○ ^f							
	後	○ ^a			○ ^f							
整形外科	K	前	○ ^a	●		○		○	○	○	○	
		後	○ ^a	○								
	M	前	○ ^a									
放射線科	N	前	○ ^a	○ ^e	○			○	○	○	○	
		後	○ ^a	○ ^e	○			○	○	○	○	
	O	前	○ ^a	○ ^e	○			○	○	○	○	
	後	○ ^a	○ ^e	○			○	○	○	○		

a 放射線防護眼鏡(Panorama shield® ultra-light 0.07-mmPb, Toray, Japan), b 放射線防護眼鏡(HAGOROMO フェイスガード FG06-110,0.06-mmPb,マエダ, Japan), c 放射線防護眼鏡(CROSSLINK 0.75mmPb, barrier technologies®, U.S), d 天吊型遮蔽板(Overhead ceiling mounted shield 350, 0.5-mmPb, Kenex,England), e 天吊型遮蔽板(MAVIG 0.5mmPb, MAVIG GmbH,Germany), f 防護クロス(散乱線防護クロスNP,0.125-mmPb,マエダ, Japan), g 防護クロス(自作散乱線防護クロス,0.25-mmPb), ○放射線防護具を適切に使用している, ●放射線防護具を用いているが,使用方法が不適切であった.

(0.07-mmPb 換算, 東レ・メディカル株式会社, 医師 3 名), FG06-110 (0.06-mmPb 換算,マエダ, 東京, 医師 1 名), CROSSLINK (0.75-mmPb, barrier technologies®, 医師 1 名). 使用した天吊型防護板は以下のとおりである. Overhead ceiling mounted shield 350 (0.5-mmPb 換算, Kenex, England), MAVIG (0.5-mmPb 換算, MAVIG GmbH, Germany). また, オーバーテーブル X 線管装置用として, 散乱線防護クロス NP (0.125-mmPb 換算,マエダ) や各医療機関で自作された散乱線防護クロス (0.25-mmPb 換算) が用いられた.

職業上の眼の水晶体線量 $H_p(3)$ の測定について

医師は, 放射線防護衣と放射線防護眼鏡を着用した. 眼の水晶体 $H_p(3)$ は, 放射線防護眼鏡の内側と外側に取り付けられた蛍光ガラス線量計⁽²⁴⁾ (GD-352M, 千代田テクノル, 東京) によって測定された空気カメラから算出した.測定に用いたGD-352Mは, パッシブ検出器を備えた線量測定システムに対する IEC62387 要件に準拠しており, 低線量範囲 (0.01 mGy から 50 mGy の範囲内で±5.0%以下) から安定した線量直線性を提供する^(25, 26). この研究を開始する前に, 変動係数が 3.0%を超えていないことを確

認した。過去に報告した眼の水晶体線量計クリップ⁽²⁷⁾を改良して放射線防護眼鏡の左右に装着し、レンズの内外の定位置に GD-352M を各 1 本配置した(図 1 a, b)。眼の水晶体線量計クリップを用いることができない放射線防護眼鏡の場合は、テープを用いて GD-352M をレンズ左右内外に貼り付けた(図 1 c, d)。

測定終了後、蛍光ガラス線量計を放射線管理区域外のバックグラウンドが低い場所で保管し、調査期間終了後、まとめて当大学に郵送にて返却してもらった。その後、当大学に設置されている読み取り装置 (FGD-1000, 千代田テクノル, 東京) を用いて測定データを読み取り、解析を実施した。

本研究における眼の水晶体線量 $H_p(3)$ は、蛍光ガラス線量計を用いて得られた空気カーマから算出した。具体的には、モンテカルロシミュレーションを用いて計算されたシリンドーフantom ($\varphi 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$) 上で

の“空気カーマ-3mm 線量当量変換係数 $K(H_p(3)/\text{Air kerma})$ ”を既知のレポート⁽²⁸⁾から求め、この係数 K を用いて、以下の式 (1) に従って空気カーマから眼の水晶体線量 $H_p(3)$ への変換を行った。本調査では、放射線診療に用いられる実効エネルギーを 50 keV と仮定し、 $K(H_p(3)/\text{Air kerma})$ に 1.590 Sv/Gy を採用した。

$$H_p(3) [\mu\text{Sv}] = K \cdot \text{Air kerma} [\mu\text{Gy}], (1)$$

ただし、

$H_p(3)$: 眼の水晶体線量 $H_p(3)$ [μSv]

Air kerma: 蛍光ガラス線量計の指示値 [μGy]

K : 空気カーマ-3mm 線量当量変換係数 ($H_p(3)/\text{Air kerma}$) [Sv/Gy]とした

放射線防護介入前に測定された各医師の眼の水晶体線量 $H_p(3)$ を左右で比較し、大きい側の線量値を本調査の眼の水晶体線量

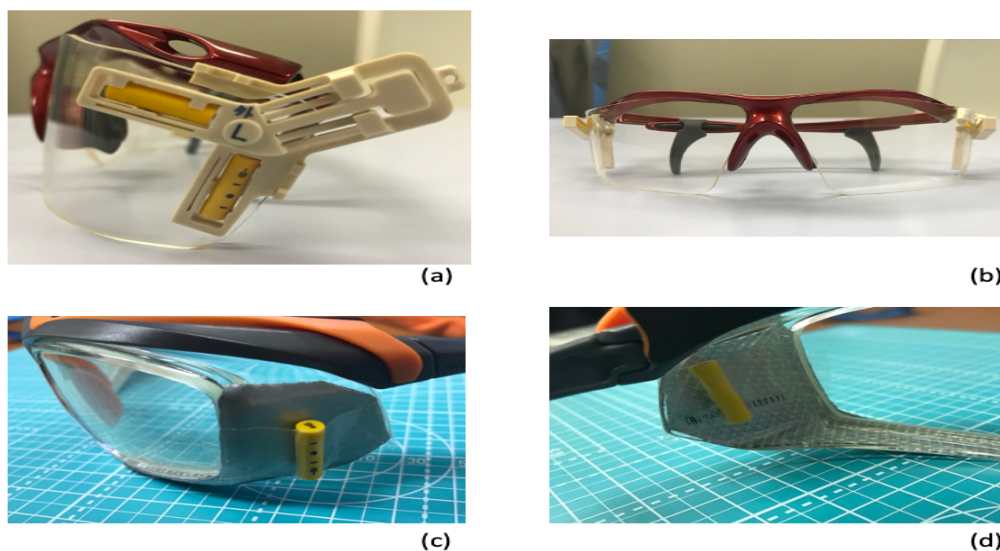


図 1 放射線防護眼鏡に装着した水晶体線量計クリップの位置: (a)側面図, (b)正面図. 放射線防護眼鏡に装着した RPLD の位置(テープ使用時): (c)側面図, (d)内面図. 放射線防護眼鏡の左右内外に計 4 つの RPLD が配置されている. Nagamoto, K., Moritake, et al. A multicenter study of radiation doses to the eye lenses of clinical physicians performing radiology procedures in Japan. *Journal of Occupational Health*. **63**(1), e12305 (2021) より Figure 1 を引用した.

$H_p(3)$ とした。放射線防護介入後の眼の水晶体線量 $H_p(3)$ は、放射線防護介入前に採用した側の放射線防護眼鏡内側の線量値とした。

眼の水晶体線量率 $H_p(3)$ ($H_p(3)_{rate}$) の算出方法について

放射線防護効果を見積もるため、以下の式 (2) に従い、式 (1) で得られた $H_p(3)$ [μSv] を手技の透視時間 [分] で除し、手技あたりの眼の水晶体線量率 $H_p(3)$ ($H_p(3)_{rate}$) [$\mu\text{Sv}/\text{分}$] を求めた。

$$H_p(3)_{rate} [\mu\text{Sv}/\text{分}] = H_p(3) [\mu\text{Sv}] / T[\text{分}], (2)$$

ただし、

$H_p(3)_{rate}$: 眼の水晶体線量率 $H_p(3)$ [$\mu\text{Sv}/\text{分}$]

$H_p(3)$: 眼の水晶体線量 $H_p(3)$ [μSv]

T: 実施した手技の透視時間 [分] とした

診療科ごとの年間放射線診療可能件数の算出

式 (2) で求めた $H_p(3)_{rate}$ [$\mu\text{Sv}/\text{分}$] (中央値) と放射線防護介入前後に実施した手技の透視時間 [分] (中央値) から医師の眼の水晶体線量 $H_p(3)$ ($H_p(3)_{procedure}$) [$\mu\text{Sv}/\text{手技}$] をそれぞれ求め、以下の式 (3), (4) に従って年間放射線診療可能件数を求めた。

$$H_p(3)_{procedure} [\mu\text{Sv}/\text{手技}] = H_p(3)_{rate\ median} [\mu\text{Sv}/\text{分}] \times T_{median} [\text{分}], (3)$$

$$\text{年間放射線診療可能件数} = H_{Lens} / H_p(3)_{procedure}, (4)$$

ただし、

$H_p(3)_{procedure}$: 医師の眼の水晶体線量 $H_p(3)$ [$\mu\text{Sv}/\text{手技}$]

$H_p(3)_{rate\ median}$: 眼の水晶体線量率 $H_p(3)$ [$\mu\text{Sv}/\text{分}$] (中央値)

T_{median} : 放射線防護介入前後の透視時間 [分] (中央値)

H_{Lens} : 職業被ばくの年間水晶体水晶体等価線量限度とした

放射線防護介入前後の線量低減効果

放射線防護介入による線量低減効果を求めるために、以下の式 (5) に従い、介入前の $H_p(3)_{procedure}$ ($H_p(3)_{procedure\ before}$) と介入後の $H_p(3)_{procedure}$ ($H_p(3)_{procedure\ after}$) から放射線防護介入による線量低減率を算出した。

$$\text{線量低減率} [\%] = (1 - H_p(3)_{procedure\ after} / H_p(3)_{procedure\ before}) \times 100, (5)$$

ただし、

$H_p(3)_{procedure\ before}$: 放射線防護介入前の放射線防護眼鏡外側の眼の水晶体線量 $H_p(3)_{procedure}$ [$\mu\text{Sv}/\text{手技}$]

$H_p(3)_{procedure\ after}$: 放射線防護介入後の放射線防護眼鏡内側の眼の水晶体線量 $H_p(3)_{procedure}$ [$\mu\text{Sv}/\text{手技}$] とした。

半導体検出器を用いた散乱線スペクトル評価

X 線 CT 装置の散乱線スペクトル評価を実施した。散乱線スペクトル測定には、半導体検出器 (GR-1, kromek, UK, 図 2) を用いて行った。GR-1 を水ファントム (24 cm ϕ) から 200 cm 位置に配置し、管電圧: 120 kVp, 管電流: 50 mA, X 線管回転時間: 0.5 s, 撮影範囲: 10 cm, CTDI_{vol}: 15.6 mGy, DLP: 156 mGy \cdot cm とした。



図 2 散乱線スペクトル測定に用いた半導体線量計 (GR-1, kromek, UK)

統計

放射線防護介入前後の $H_p(3)_{rate}$, 透視時間の差は Kruskal-Wallis の一元配置分散分析で確認した. 一元配置分散分析が有意だった場合, 個々の放射線防護介入前後間の差をダン検定 (Bonferroni 補正あり) で評価した. なお, $p < 0.05$ のとき有意差ありと判断した.

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

眼の水晶体線量計の誤った取り付けや蛍光ガラス線量計の紛失, 線量計保管不備があった整形外科医師 1 名は解析から除外し, 14 名の医師のデータを分析した.

過去 3 年間の眼の水晶体線量 ($H_p(0.07)$)

測定対象者の頸部に装着された過去の個人被ばく線量情報を示す (表 2). 改定後の眼の水晶体等価線量限度を越える線量を示した割合は, 27% (4/14) であった. 特に高い線量を示したのは, 循環器内科医師 A と

表2 過去3年間の眼の水晶体線量($H_p(0.07)$)

測定対象医師	2016	2017	2018
循環器内科医師 A	49.8	51.7	42.3
循環器内科医師 B	18	15.2	31
循環器内科医師 C	N/A*	N/A*	N/A*
脳神経外科医師 D	14.5	12.8	11.9
脳神経外科医師 E	12.1	14.5	12.7
消化器内科医師 F	22.1	21.4	75.3
消化器内科医師 G	N/A*	N/A*	3.6
消化器内科医師 H	0.9	0	0.3
消化器内科医師 I	8.9	15.3	9.9
消化器内科医師 J	N/A***	N/A***	27.1
整形外科医師 K	N/A***	0.5	0.8
整形外科医師 L	N/A*	N/A*	N/A*
整形外科医師 M	N/A**	N/A**	N/A**
放射線科医師 N	N/A***	6	3.9
放射線科医師 O	N/A***	N/A***	9

Note: *病院から個人被ばく線量計を配布されていない
 **病院から個人被ばく線量計を配布されているが, 使用していない
 ***入職前につき他院の線量情報無し
 $H_p(0.07)$: 70 μ m線量当量

表3 モニタリング期間中に実施した放射線診療

診療領域	手技
循環器内科領域	冠動脈造影検査 (CAG)
	経皮的冠動脈インターベンション (PCI)
	経皮的腎動脈形成術 (PTRA)
	末梢血管インターベンション (EVT)
頭頸部領域	脳血管形成術 (PTA)
	脳血管塞栓術 (AN)
	脳血管コイル塞栓術
	脳血管診断アンギオ
	脳血管血栓回収術
	頭頸部ステント留置術 (CAS)
消化器内科領域	内視鏡的逆行性胆道腫管造影 (ERCP)
	内視鏡的乳頭括約筋切開術 (EST)
	内視鏡的乳頭バルーン拡張術 (EPBD)
	内視鏡的静脈硬化療法 (EIS)
	経鼻膵管ドレーナージ
整形外科領域	胆管ステント留置術
	椎間板髄核融解術
	神経根ブロック
	ミエログラフィ
	内視鏡下椎間板摘出術 (MED)
	後方椎体固定術 (PLIF)
	感染性偽関節手術
放射線科領域	骨折観血的整復内固定術
	骨折観血的整復内固定術 (創外固定)
	CVポート留置
	部分的肝動脈塞栓術
	肝動注化学療法併用マイクロ波焼灼術
	肝動脈化学塞栓術
肝動脈化学塞栓療法 (TACE)	
	bland-TAE (Embosphere)

消化器内科医師 F の眼の水晶体等価線量 H_p (0.07) で、それぞれ 42.3 mSv/年、75.3 mSv/年であった。

眼の水晶体線量測定を実施した放射線診療件数

眼の水晶体線量測定を測定した放射線診療件数は、放射線防護介入前が 5 ± 2 件、介

表4 放射線介入前後の眼の水晶体線量率 $H_p(3)$

測定対象医師	防護眼鏡有	介入前		介入後	ANOVA† (p value)
		中央値 [範囲]	中央値 [範囲]	中央値 [範囲]	
循環器内科A	有	12.0 [3.1 - 72.8]	5.2 [1.4 - 32.5]	2.6 [0.6 - 11.5]	
循環器内科B	無	7.6 [2.0 - 23.1]	3.9 [0.7 - 23.7]	2.8 [0.7 - 4.9]	
循環器内科C	有	23.5 [13.7 - 33.3]	13.4 [6.4 - 20.4]	1.5 [0.8 - 37.9]	
循環器内科領域		12.0* [2.0 - 72.8]	5.0 [0.7 - 32.5]	2.6* [0.6 - 38.0]	0.011
脳神経外科D	有	7.8 [1.3 - 16.7]	3.6 [1.4 - 7.1]	0.8 [0.5 - 2.2]	
脳神経外科E	有	5.0 [4.0 - 11.6]	2.1 [1.5 - 5.3]	0.5 [0.4 - 1.0]	
脳血管内科領域		5.0** [1.3 - 16.7]	2.5 [1.4 - 7.1]	0.7** [0.4 - 2.2]	0.000
消化器内科F	有	6.6 [4.2 - 14.6]	3.7 [2.2 - 7.7]	1.4 [0.6 - 4.9]	
消化器内科G	無	1.1 [0.6 - 3.2]	-	0.6 [0.33 - 1.5]	
消化器内科H	有	0.4 [0.0 - 0.9]	0.2 [0.2 - 0.4]	0.0 [0.0 - 1.3]	
消化器内科I	無	8.3 [3.65 - 12.3]	-	5.1 [2.0 - 9.1]	
消化器内科J	無	2.2 [0.6 - 3.2]	-	1.2 [0.1 - 2.3]	
消化器内科領域		2.7 [0.0 - 15.0]	2.5 [0.2 - 8.0]	1.3 [0.0 - 4.9]	0.073
整形外科K	有	9.0 [0.0 - 41.9]	8.0 [0.0 - 19.8]	3.1 [0.0 - 13.7]	
整形外科L	無	2.9 [0.6 - 4.9]	-	1.1 [0.6 - 1.7]	
整形外科領域		6.4 [0.0 - 41.9]	8.0 [0.0 - 19.8]	2.5 [0.0 - 13.7]	0.194
放射線科N	有	1.9 [0.4 - 4.0]	1.8 [0.5 - 1.4]	0.7 [0.0 - 4.0]	
放射線科O	有	1.4 [0.2 - 5.6]	0.7 [0.0 - 2.8]	0.3 [0.0 - 1.0]	
放射線科領域		1.9 [0.2 - 5.6]	0.8 [0.0 - 2.8]	0.4 [0.0 - 4.0]	0.219

$H_p(3)$ rate, 眼の水晶体線量率 (3mm線量当量)

† 放射線防護介入前後の $H_p(3)$ rateはKruskal-Wallisの一元配置分散分析で確認した。一元配置分散分析が有意だった場合、個々の放射線防護介入前後間の差をダン検定 (Bonferroni補正あり) で評価した。

Dunn test * $p < .05$. ** $p < .005$

表5 放射線介入前後の眼の水晶体線量率 $H_p(3)$ と透視時間

測定対象医師	介入前		介入後	ANOVA† (p value)
	中央値 [範囲]	中央値 [範囲]	中央値 [範囲]	
循環器内科医師 A	15.3 [4.5 - 25.4]		17.7 [8.6 - 34.4]	
循環器内科医師 B	23.2 [13.6 - 36.6]		29.4 [22.1 - 36.6]	
循環器内科医師 C	15.5 [12.5 - 18.5]		28.8 [7.3 - 44.1]	
循環器内科領域	17.2 [4.5 - 36.6]		23.2 [7.3 - 44.1]	0.363
脳神経外科医師 D	35.0 [20.3 - 84.4]		39.8 [26.9 - 79.3]	
脳神経外科医師 E	10.3 [9.2 - 32.9]		20.4 [10.9 - 21.9]	
脳血管内科領域	25.9 [9.2 - 84.4]		24.4 [10.9 - 79.3]	0.705
消化器内科医師 F	13.8 [10.1 - 63.9]		15.1 [6.9 - 28.8]	
消化器内科医師 G	22.7 [9.5 - 56.0]		22.7 [9.5 - 56.0]	
消化器内科医師 H	2.5 [1.4 - 2.6]		2.0 [1.8 - 2.5]	
消化器内科医師 I	3.0 [2.0 - 33.0]		3.0 [2.0 - 33.0]	
消化器内科医師 J	5.3 [1.9 - 10.8]		5.3 [1.9 - 10.8]	
消化器内科領域	9.3 [1.4 - 63.9]		8.8 [1.8 - 56.0]	0.743
整形外科医師 K	1.1 [0.4 - 3.2]		0.6 [0.3 - 3.1]	
整形外科医師 L	6.6 [2.4 - 7.3]		6.6 [2.4 - 7.3]	
整形外科領域	2.0 [0.4 - 7.3]		1.6 [0.3 - 7.3]	0.807
放射線科医師 N	48.8 [8.2 - 114.8]		40.6 [10.5 - 80.8]	
放射線科医師 O	12.6 [1.8 - 30.8]		17.3 [0.3 - 43.0]	
放射線科領域	21.5 [1.8 - 114.8]		36.4 [0.3 - 80.8]	0.997

$H_p(3)$ rate, 眼の水晶体線量率 (3mm線量当量)

† 放射線防護介入前後の $H_p(3)$ rate, 透視時間の差はKruskal-Wallisの一元配置分散分析で確認した。一元配置分散分析が有意だった場合、個々の放射線防護介入前後間の差をダン検定 (Bonferroni補正あり) で評価した。

Dunn test * $p < .05$. ** $p < .005$

入後が 5 ± 2 件であった。実施された手技を表 3 に示す。

放射線防護の詳細

各診療科の放射線防護介入前後の放射線防護状況を表 1 に示す。放射線防護眼鏡の使用率は、介入前が 64% (9/14) であったが、介入後は 100% (14/14) であった。また、天吊型防護板を適切に用いていた者は、介入前は 29% (2/7) であったが、介入後は 100% (7/7) であった。また、消化器内科医師らが用いる透視装置は、80% (4/5) がオーバーテーブル型 X 線管球で、患者からの散乱線を遮蔽する散乱線防護クロスは、それらの装置の 100% (4/4) に用いられていた。

放射線診療に携わる医療従事者の眼の水晶体線量 $H_p(3)$

調査に参加したすべての医師の $H_p(3)_{rate}$ が、放射線防護介入によって減少した。特に、循環器内科領域 ($p = 0.011$, Kruskal-Wallis, 表 4) と脳神経領域 ($p = 0.000$, Kruskal-Wallis, 表 4) の放射線防護介入前

後の $H_p(3)_{rate}$ に有意差が認められた。一方、透視時間に関しては、すべての診療領域で有意な差は認められなかった (表 5)。

各医師の年間放射線診療可能件数について

改定後の職業上の眼の水晶体の等価線量限度と $H_p(3)_{procedure\ before}$ [$\mu\text{Sv/手技}$] から年間放射線診療可能件数を算出した結果、放射線防護介入前の防護方法では、4 人が 2018 年度の放射線診療実施件数を下回った (表 6)。しかし、我々が提案した放射線防護方法 (表 1) を実践した場合の年間放射線診療可能件数は、すべての医師で 2018 年度放射線診療実施件数を上回った (表 6)。また、線量低減効果は、53% (範囲: 39% - 79%) であった。

ケース 1 脳神経外科医師に対する放射線防護介入について

日本脳神経血管内治療学会より推薦を受けた脳神経外科医師 D の 2018 年度放射線診療実施件数は、頭頸部領域の IVR で 120 件であった (表 6)。頸部に装着された個人被

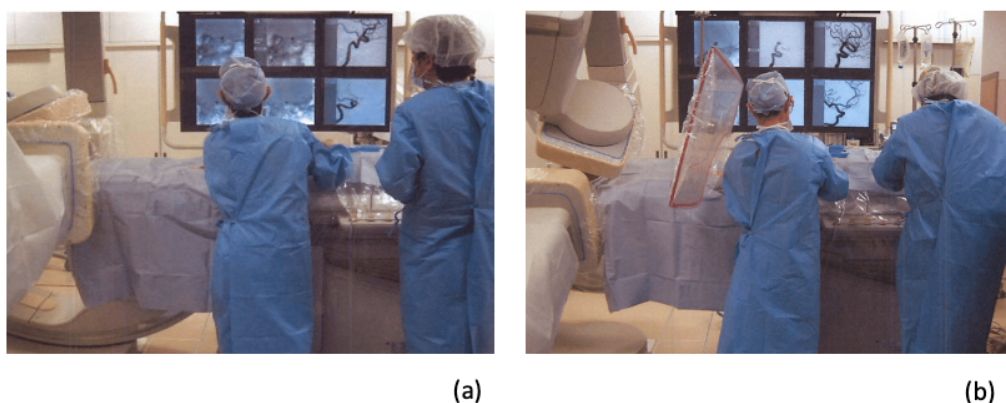


図 3 循環器内科領域で放射線診療に従事している医師の手技中の写真。(a)放射線防護介入前の放射線防護状況: 天吊型防護板を用いていない。(b)放射線防護介入後の放射線防護状況: 天吊型防護板を用いている。Nagamoto, K., Moritake, et al. A multicenter study of radiation doses to the eye lenses of clinical physicians performing radiology procedures in Japan. Journal of Occupational Health. 63(1), e12305 (2021) より Figure 2 を引用した。

ばく線量計から求められた眼の水晶体等価線量 $H_p(0.07)$ は 11.9 mSv/年 (表 2) であり、新しい眼の水晶体等価線量限度の範囲内であったが、手技件数の増加に伴い、手技あたりの線量低減を実施する必要があった。そこで、脳神経外科医師 D の放射線防護状況 (表 1) を調査したところ、放射線防護眼鏡は用いていたが、天吊型防護板は用いていなかった (図 3a)。また、透視時に正側面同時照射や高フレームレート (15 pps) での手技を施行していることが明らかになった。そこで、介入前のこの状況で $H_p(3)_{\text{rate median}}$ を測定したところ、放射線防護眼鏡外側は $3.8 \mu\text{Sv/分}$ であった。この $H_p(3)_{\text{rate median}}$ と放射線防護介入前の透視時間 35.0 分 (中央値) から求めた $H_p(3)_{\text{procedure before}}$ は、 $273.0 \mu\text{Sv/手技}$ であった。これにより、頭頸部領域の IVR を 73 回施行すると新しい水晶体等価線量限度を超過することが明らかになった。

そこで、脳神経外科医師 D に天吊型防護板の使用や照射線量の低減 (透視時に正側面同時照射の低減、透視時のフレームレートを 7.5 pps に下げる。) を促し、それらを実施した状況下で放射線防護眼鏡内側の眼の水晶体線量 $H_p(3)$ の評価を行った (図 3b)。その結果、放射線防護介入後の $H_p(3)_{\text{rate median}}$ は $0.8 \mu\text{Sv/分}$ で、放射線介入後の透視時間 15.1 分 (中央値) から求めた $H_p(3)_{\text{procedure before}}$ は $79.0 \mu\text{Sv/手技}$ であった。これならば、頭頸部領域の IVR を 253 件施行することが可能になるため、2018 年度の検査実績である 120 件を考慮しても新しい眼の水晶体等価線量限度を超過する可能性は低くなった。

ケース 2 消化器内科医師に対する放射線防護介入について

消化器病学会より推薦を受けた消化器内科医師 F の 2018 年度放射線診療実施件数は、ERCP で 397 回 (表 6) であった。頸部に装着された個人被ばく線量計から求められた眼の水晶体等価線量 $H_p(0.07)$ は 75.3 mSv/年 (表 2) であったため、現状の放射線防護方法では新しい眼の水晶体等価線量限度を超過していることが明らかになった。そこで、消化器内科医師 F の放射線防護状況 (表 1) を調査したところ、散乱線防護クロスと放射線防護眼鏡を用いていたが、散乱線防護クロスの使用方法に不備がある可能性が明らかになった。また、高フレームレート (15 pps) にて手技を施行していることも明らかになった。そこで、介入前のこの状況で $H_p(3)_{\text{rate median}}$ を測定したところ、放射線防護眼鏡外側は $6.6 \mu\text{Sv/分}$ であった。これは、オーバーテーブル X 線管球を用いている消化器内科医師の中で最も高値であ



図 4 消化器内科で放射線診療に従事している医師の手技中の写真。オーバーテーブル X 線管用に開発された散乱線防護クロスを用いている。Nagamoto, K., Moritake, et al. 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) より Figure 3 を引用した。

った。この $H_p(3)_{\text{rate median}}$ と放射線防護介入前の透視時間 13.8 分 (中央値) から求めた $H_p(3)_{\text{procedure before}}$ は $91.1 \mu\text{Sv/手技}$ であったため、ERCP を 219 回施行すると新しい水晶体等価線量限度を超過する恐れあることが明らかになった。

そこで、消化器内科医師 F に散乱線防護クロス適切な使用方法 (図 4) を説明し、照射線量の低減 (透視時のフレームレートを 7.5pps に下げる) を促した後、放射線防護眼鏡内側の眼の水晶体線量 $H_p(3)$ の評価を行った。その結果、放射線防護眼鏡内側の $H_p(3)_{\text{rate median}}$ は $1.4 \mu\text{Sv/分}$ で、放射線介入後の透視時間 15.1 分 (中央値) から求めた $H_p(3)_{\text{procedure before}}$ は $21.1 \mu\text{Sv/手技}$ であった。これならば、ERCP を 946 回施行することが可能になるため、2018 年度の検査実績である 397 回を考慮しても新しい眼の水晶体等価線量限度を超過する可能性は低くなった。

半導体検出器を用いた散乱線スペクトル評価

散乱線スペクトルの測定結果を示す (図 5)。測定された X 線 CT 装置の散乱線スペクトルは連続スペクトルを示した。

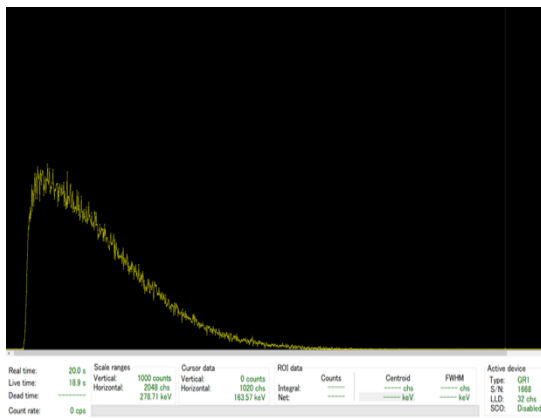


図 5 半導体検出器を用いた X 線 CT 装置の散乱スペクトル。

D. 考察

この多施設共同研究では、放射線診療に従事する医師の眼の水晶体線量 $H_p(3)$ を 1 症例ごとに調査し、新たな水晶体等価線量限度の遵守可能性を評価した。さらに、放射線診療に従事する医師に対して、労働衛生の基本に則って“多重放射線防護”を提案することで、医師と医療施設の双方に過度な負担を課すことなく、新しい眼の水晶体等価線量限度を遵守することが十分に可能であることを明らかにした。

放射線診療を施行する医師の多くが、放射線防護についての十分な訓練と知識をもたずに手技を行っている可能性が報告されていた^(5, 12-16)。本調査でも、放射線防護が適切に行われていたのは放射線を用いた画像診断を専門とする放射線科医師が実施した手技においてのみであり、放射線科以外の診療科では不十分な放射線防護状況が散見された (表 1)。放射線防護眼鏡装着率は、放射線防護介入前は 64% (9/14) であったが、放射線防護介入後は 100% (14/14) に向上した。これは、過去の報告より高い結果であった^(30% - 47%)^(5, 13-15)。また、天吊型防護板が設置されている施設は 50% (7/14) であったが、これら天吊型防護板を適切に用いることが出来ていた医師は 29% (2/7) で、いずれも放射線科医師であった。そこで、天吊型防護板の適切な使用方法に関する動画を作成し、天吊型防護板を患者に密着した状態で用いることを促した結果、放射線防護介入後はすべての医師 100% (7/7) が適切な位置で天吊型防護板を用いていた。また、消化器内科領域で用いられる散乱線防護クロスには高い遮蔽効果^(29, 30)があることが報告されているにも関わらず、散乱線防護クロスを用いている消化器内科医師の中に $H_p(3)$

rate median の高い者が存在した。その原因として、患者の胸部の動きを確認するために放射線照射（透視）中に散乱防護クロスをめぐり上げることで、遮蔽効果が低下することが報告されている^(29, 30)。患者を鎮静させて手技を行う ERCP では、患者の呼吸状態の確認が必要になる。そこで、このような場合にはパルスオキシメータ等のデバイスを活用して呼吸管理を行うことを推奨した。

すべての診療領域で $H_p(3)_{\text{rate median}}$ は低下した。特に、循環器内科領域 ($p = 0.011$, Kruskal-Wallis, 表 4) と頭頸部領域 ($p = 0.000$, Kruskal-Wallis, 表 4) では、我々が提案した放射線防護策を実施することによって $H_p(3)_{\text{rate median}}$ の低減に有意な差が認められた。これは、天吊型防護板の適切な使用に加え(図 3 b), 透視時に正側面同時照射を行わない、診療に影響が出ない程度で低フレームレート (7.5pps) を用いる、必要な撮影範囲に照射野を絞るなどの対応によって総合的に照射線量を減少させ、眼の水晶体線量 $H_p(3)$ を大幅に低減することができたためである。整形外科領域の放射線防護介入前後の $H_p(3)_{\text{rate median}}$ はそれぞれ $6.4 \mu\text{Sv/分}$, $2.5 \mu\text{Sv/分}$ であり(表 4), 一定の線量率低減効果が認められた ($p = 0.194$, Kruskal-Wallis, 表 4)。整形外科領域の $H_p(3)_{\text{rate median}}$ は、職業上の眼の水晶体線量が高いと言われている消化器内科医師より高く、循環器内科医師と同等の線量率であった。

放射線診療に従事する医師の放射線防護は、労働衛生の基本である 3 管理⁽³¹⁾ に則って考える必要がある。本研究ではまず作業環境管理の点から、透視の正側面同時照射使用の低減、撮影時の室外退避、透視モードの適切な選択/切り替え (15 pps から 7.5pps に変更)、必要な範囲に照射野を絞る、CT 透

視時には逐次近似応用再構成を用いた線量軽減の実施を提案した。次に、作業管理の点から、放射線防護眼鏡、天吊型防護板、寝台下防護カーテン、散乱線防護クロス等の放射線防護具を使用する提案を行った。さらに、天吊型防護板の使用方法に関する動画を作成し医師に説明を行った。このように、作業環境管理や作業管理を重ね合わせた“多重放射線防護”を実践した結果、医療従事者と医療施設の双方に特段の負担を強いることなく、71% (範囲: 39%-100%) もの眼の水晶体線量 $H_p(3)$ を低減することができた。放射線防護介入後の $H_p(3)_{\text{procedure after}}$ [$\mu\text{Sv/手技}$] から算出された年間放射線診療可能件数も、すべての医師で、新たな眼の水晶体等価線量を遵守できる可能性が示唆された(表 6)。これらの結果より、放射線防護に関して適切なアドバイスを行うことで医師の眼の水晶体線量を大幅に低減できることが明らかとなった。しかしながら、“多重放射線防護”を実施するには、医療現場における実質的な放射線被ばく管理者である診療放射線技師の責務は大きく、労働衛生環境の向上のために積極的に放射線防護に介入することが必要である。

E. 結論

放射線診療に携わる医師の眼の水晶体線量 $H_p(3)$ を 1 症例ごとに調査したところ、2018 年度の放射線診療実施件数を実施した場合 21% (3/14) の医師が、新しい眼の水晶体等価線量限度を超える可能性が明らかになった。しかし、労働衛生の基本に則り、天吊型防護板や散乱線防護クロスの使用、放射線防護眼鏡の装着、透視方法やパルスレートの見直しによる“多重放射線防護”を実施することで、医師と医療施設の双方に

過度な負担を課すことなく、新しい眼の水晶体等価線量限度を遵守することは十分に可能である。

F. 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. 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).
4. Haga, Y., Chida, K., Kaga, Y., Sota, M., Meguro, T. and Zuguchi, M. Occupational eye dose in interventional cardiology procedures. Sci Rep. **7**(1), 569 (2017).
5. Vanhavere, F., Carinou, E., Domienik, J., Donadille, L., Ginjaume, M., Gualdrini, G., Koukorava, C., Krim, S., Nikodemova, D., Ruiz-Lopez, N. et al. Measurements of eye lens doses in interventional radiology and cardiology: Final results of the ORAMED project. Radiation Measurements. **46**(11), 1243-1247 (2011).
6. O'Connor, U., Walsh, C., Gallagher, A., Dowling, A., Guiney, M., Ryan, J. M., McEniff, N. and O'Reilly, G. Occupational radiation dose to eyes from interventional radiology procedures in light of the new eye lens dose limit from the International Commission on Radiological Protection. Br J Radiol. **88**(1049), 20140627 (2015).
7. O'Connor, U., Gallagher, A., Malone, L. and O'Reilly, G. Occupational radiation dose to eyes from endoscopic retrograde cholangiopancreatography procedures in light of the revised eye lens dose limit from the International Commission on Radiological Protection. Br J Radiol. **86**(1022), 20120289 (2013).
8. 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).
9. Pomeroy, C. L., Mason, J. B., Fehring, T. K., Masonis, J. L. and Curtin, B. M. Radiation exposure during fluoroscopy-assisted direct anterior total hip arthroplasty. The Journal of arthroplasty. **31**(8), 1742-1745 (2016).
10. Mori, H., Koshida, K., Ishigamori, O. and Matsubara, K. A novel removable shield attached to C-arm units against scattered X-rays from a patient's side. European radiology. **24**(8), 1794-1799 (2014).
11. IAEA. 10 Pearls: Radiation protection of staff in fluoroscopy. (2021) Available at <https://www.iaea.org/sites/default/files/documents/rpop/poster-staff-radiation-protection.pdf>.

12. Rehani, M., Ciraj-Bjelac, O., Vañó, E., Miller, D., Walsh, S., Giordano, B. and Persliden, J. Radiological protection in fluoroscopically guided procedures performed outside the imaging department. *Annals of the ICRP*. **40**(6), 1-102 (2010).
13. Shin, J. M., Lee, T. H., Park, S.-H., Kang, S. G., Lee, Y. S., Park, S. J., Ku, M. G., Lee, S.-H., Chung, I.-K. and Choi, H. J. A survey of the radiation exposure protection of health care providers during endoscopic retrograde cholangiopancreatography in Korea. *Gut and liver*. **7**(1), 100 (2013).
14. 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).
15. Sethi, S., Barakat, M. T., Friedland, S. and Banerjee, S. Radiation training, radiation protection, and fluoroscopy utilization practices among US therapeutic endoscopists. *Digestive diseases and sciences*. **64**(9), 2455-2466 (2019).
16. ICRP Education and training in radiological protection for diagnostic and interventional procedures. ICRP Publication 113. *Ann ICRP*. **39**(5)(2009).
17. 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).
18. Thornton, R., Dauer, L., Altamirano, J., Alvarado, K., St. Germain, J. and Solomon, S. Comparing Strategies for Operator Eye Protection in the Interventional Radiology Suite. *Journal of vascular and interventional radiology : JVIR*. **21**, 1703-7 (2010).
19. Koukorava, C., Carinou, E., Simantirakis, G., Vrachliotis, T., Archontakis, E., Tierris, C. and Dimitriou, P. Doses to operators during interventional radiology procedures: Focus on eye lens and extremity dosimetry. *Radiation protection dosimetry*. **144**, 482-6 (2010).
20. Fetterly, K. A., Magnuson, D. J., Tannahill, G. M., Hindal, M. D. and Mathew, V. Effective Use of Radiation Shields to Minimize Operator Dose During Invasive Cardiology Procedures. *JACC: Cardiovascular Interventions*. **4**(10), 1133-1139 (2011).
21. Jia, Q., Chen, Z., Jiang, X., Zhao, Z., Huang, M., Li, J., Zhuang, J., Liu, X., Hu, T. and Liang, W. Operator Radiation and the Efficacy of Ceiling-Suspended Lead Screen Shielding during Coronary Angiography: An Anthropomorphic Phantom Study Using Real-Time Dosimeters. *Scientific Reports*. **7**, 42077 (2017).
22. Ferrari, P., Becker, F., Carinou, E., Chumak, V., Farah, J., Jovanovic, Z., Krstic, D., Morgun, A., Principi, S. and Teles, P. Monte Carlo study of the scattered radiation field near the eyes of the operator in interventional procedures. *Journal of radiological protection : official journal of the Society for Radiological Protection*. **36**,

- 902-921 (2016).
23. Koukorava, C., Carinou, E., Ferrari, P., Krim, S. and Struelens, L. Study of the parameters affecting operator doses in interventional radiology using Monte Carlo simulations. *Radiation Measurements*. **46**(11), 1216-1222 (2011).
24. Silva, E. H., Knezevic, Z., Struelens, L., Covens, P., Ueno, S., Vanhavere, F. and Buls, N. Energy and angular dependence of radiophotoluminescent glass dosimeters for eye lens dosimetry. *Radiat Prot Dosimetry*. **170**(1-4), 208-12 (2016).
25. Silva, E. H., Knezevic, Z., Struelens, L., Covens, P., Ueno, S., Vanhavere, F. and Buls, N. Energy and Angular Dependence of Radiophotoluminescent Glass Dosimeters for Eye Lens Dosimetry. *Radiat Prot Dosimetry*. **170**(1-4), 208-212 (2016).
26. Silva, E. H., Struelens, L., Covens, P., Ueno, S., Koguchi, Y., Vanhavere, F. and Buls, N. Optimization of a Radiophotoluminescent Glass Dosimeter for Occupational Eye Lens Dosimetry in Interventional Radiology/Cardiology. *Radiat Prot Dosimetry*. **182**(2), 177-183 (2018).
27. Nagamoto, K., Moritake, T., Nakagami, K., Morota, K., Matsuzaki, S., Nihei, S.-i., Kamochi, M. and Kunugita, N. Occupational radiation dose to the lens of the eye of medical staff who assist in diagnostic CT scans. *Heliyon*. **7**(1), e06063 (2021).
28. Daures, J., Gouriou, J. and Bordy, J. M. Conversion coefficients from air kerma to personal dose equivalent $H_p(3)$ for eye-lens dosimetry. CEA-R-6235 Saclay(2009).
29. Morishima, Y., Chida, K. and Meguro, T. Effectiveness of additional lead shielding to protect staff from scattering radiation during endoscopic retrograde cholangiopancreatography procedures. *Journal of radiation research*. **59**(2), 225-232 (2018).
30. Minami, T., Sasaki, T., Serikawa, M., Kamigaki, M., Yukutake, M., Ishigaki, T., Ishii, Y., Mouri, T., Yoshimi, S. and Shimizu, A. Occupational radiation exposure during endoscopic retrograde cholangiopancreatography and usefulness of radiation protective curtains. *Gastroenterology research and practice*. **2014**(2014).
31. Koshi, S. A Basic Framework of Working Environment Control for Occupational Health in Japan. *Industrial health*. **34**(3), 149-165 (1996).

労災疾病臨床研究事業費補助金

分担研究報告書

X線検査時における撮影の介助に従事する医療従事者の
眼の水晶体の線量評価及び防護方法の検討に関する研究

研究分担者 小野孝二（東京医療保健大学看護学部/大学院看護学研究科教授）
櫻田尚樹（産業医科大学産業保健学部教授）

研究要旨

【目的】本研究では、臨床現場におけるX線CT検査時における撮影の介助に従事する医療従事者の眼の水晶体の線量を調査し、その実測結果と防護策について検討した。

【方法】社会医療法人若竹会つくばセントラル病院に所属するCT検査業務に専属する診療放射線技師3名を研究対象者（以下、対象技師）とし、2021年4月から7月までの4ヶ月間にわたり、CT検査の撮影介助を行う間について、眼の近傍の深さ3mmでの個人線量当量Hp(3)を測定した。

【結果】対象技師3名がCT検査時に撮影の介助を行なったのは、4月が11件、5月が17件、6月が14件、7月が7件であった。放射線防護眼鏡の外側で計測された線量は、4月が最大3.9mSv、5月が最大3.0mSv、6月が最大2.8mSv、7月が最大1.8mSvであった。放射線防護眼鏡の内側で計測された線量は、4月が最大1.8mSv、5月が最大1.3mSv、6月が最大1.3mSv、7月が最大0.5mSvであった。放射線防護眼鏡の外側及び内側の線量比から算出される線量低減効果は、0.07mm鉛当量を使用した4月から6月では、それぞれ54.0%、56.2%、54.3%で、0.75mm鉛当量を使用した7月は73.4%であった。

【結論】当該施設では、X線CT検査時における撮影の介助に従事する場合、眼の水晶体の被ばく線量は最大で46.8mSvに達する可能性が示唆された。

研究協力者

菊名千恵里 東京医療保健大学

菊名邦彦 つくばセントラル病院

新井知大 駒澤大学

金子順一 駒澤大学

小林育夫 福井大学附属国際原子力工学
研究所

山口一郎 国際医療保健科学院

則が施行・適用され、眼の水晶体（以下、水晶体）線量限度が等価線量限度を5年間につき100mSv、1年間につき50mSvと変更された[1]。放射線を使用した医療手技は高い専門技術を要し、特定の医療従事者が長年にわたり長時間かつ高頻度で行う可能性が高いため、上記変更後の限度を超えた線量を被ばくするおそれがある[2]。一方で、職能団体は、水晶体の等価線量を正

A. 背景

2021年4月、改正電離放射線障害防止規

確に評価することに伴う医療手技の妨げも危惧している [3, 4].

B. 研究目的

本研究では、臨床現場における X 線 CT 検査時における撮影の介助に従事する医療従事者の眼の水晶体の線量を調査し、その実測結果と防護策について検討する。

C. 研究方法

本研究では、社会医療法人若竹会つくばセントラル病院に所属する CT 検査業務に専属する診療放射線技師 3 名を研究対象者（以下、対象技師）とし、2021 年 4 月から 7 月までの 4 ヶ月間にわたり、CT 検査の撮影介助を行う間について、眼の近傍の深さ 3 mm での個人線量当量 Hp (3) を測定した。

測定に当たり、光刺激ルミネッセンス (Optically Stimulated Luminescence : OSL) 線量計 (ナノドット, 長瀬ランダウア株式会社) を用いて評価した (Fig. 1-a).



a. nanoDot 線量計



b. パノラマシールド (0.07 mmPb)



c. エックスガード (0.75mmPb)

Fig. 1 本研究で使用した個人線量計及び放射線防護眼鏡

nanoDot 線量計は外形寸法が 10 x 10 x 2 mm, 線量測定範囲が 10 Gy - 10 Gy, エネルギー範囲は 5 keV - 20 MeV で測定が可能である [5]. 対象技師は水晶体の放射線防護策として放射線防眼鏡及び放射線防護衣を着用した. 放射線防護眼鏡は 4 月から 6 月までの期間は 0.07 mm 鉛当量 (パノラマシールド・オーバーグラス, HF-480S : 東レ・メディカル株式会社,) を着用し, 7 月は 0.75 mm 鉛当量 (エックスガード・アーマー : 昭和工学株式会社) を着用した (Fig. 1-b, Fig. 1-c). nanoDot 線量計は放射線防護眼鏡の左右及び中央部の上方, 側方, 下方に区分し, それらの表側及び裏側に貼付して測定を実施した (Fig. 2). 測定期間は各 1 ヶ月単位とし, 区分した各測定箇所について nanoDot 線量計の平均値を算出することで当該位置での測定値とした. 対象技師が使用した CT 装置は, IQon spectral CT (Koninklijke Philips, Netherlands) で撮影に当たり当該施設の標準プロトコルに準拠して実施した.

(倫理面への配慮)

本研究は、東京医療保健大学の倫理審査委員会の承認を受けて実施した (承認番号 : 院 32-48).

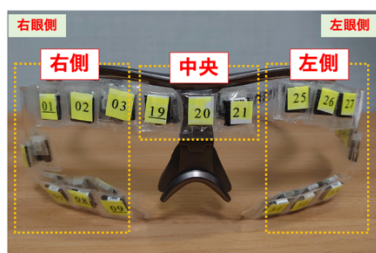
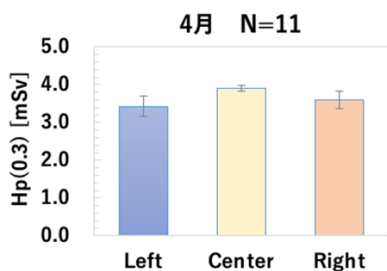


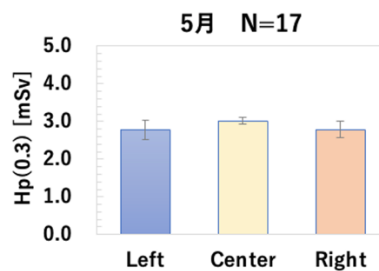
Fig. 2 nanoDot 線量計の貼付例

D. 研究結果

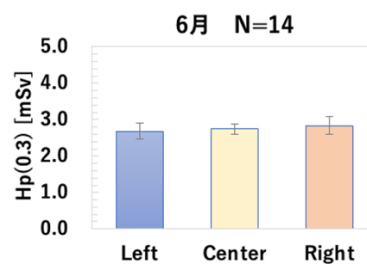
対象技師 3 名が CT 検査時に撮影の介助を行なったのは、4 月が 11 件、5 月が 17 件、6 月が 14 件、7 月が 7 件であった。放射線防護眼鏡の外側で計測された線量は、4 月が最大 3.9 mSv、5 月が最大 3.0 mSv、6 月が最大 2.8 mSv、7 月が最大 1.8 mSv であった (Fig. 3-a, b, c, d)。放射線防護眼鏡の内側で計測された線量は、4 月が最大 1.8 mSv、5 月が最大 1.3 mSv、6 月が最大 1.3 mSv、7 月が最大 0.5 mSv であった (Fig. 3-e, f, g, h)。放射線防護眼鏡の外側及び内側の線量比から算出される線量低減効果は、0.07 mm 鉛当量を使用した 4 月から 6 月では、それぞれ 54.0%、56.2%、54.3%で、0.75 mm 鉛当量を使用した 7 月は 73.4%であった。グラフに示されるエラーバーは、対象技師 3 名が着用した nanoDot 線量で計測された、各箇所における線量の平均値に対する標準誤差を示したものである。



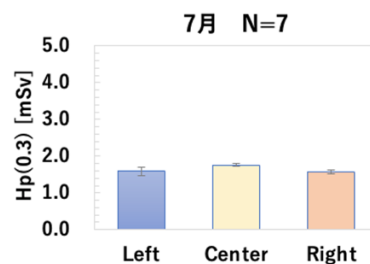
a. 放射線防護眼鏡の外側で計測された線量結果



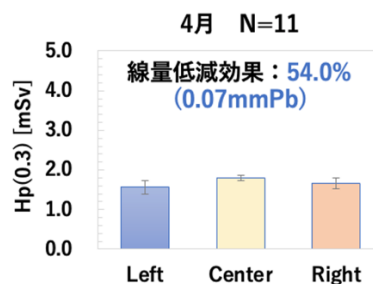
b. 放射線防護眼鏡の外側で計測された線量結果



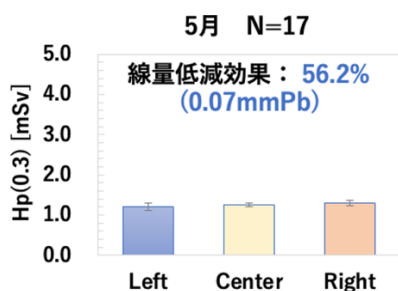
c. 放射線防護眼鏡の外側で計測された線量結果



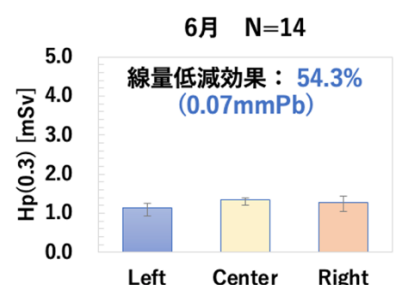
d. 放射線防護眼鏡の外側で計測された線量結果



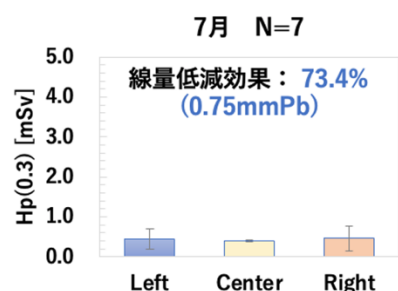
e. 放射線防護眼鏡の内側で計測された線量結果



f. 放射線防護眼鏡の内側で計測された線量結果



g. 放射線防護眼鏡の内側で計測された線量結果



h. 放射線防護眼鏡の内側で計測された線量結果

Fig. 3 放射線防護眼鏡の線量低減効果の検証結果

E. 考察

放射線防護眼鏡の外側で計測された量について、放射線防護策を講じなかった場合の結果として捉える。本結果において、眼の近傍の3mm線量当量における1月あたりの最大値は3.9 mSvと高値を示した。これを1年相当(12月分)に単純乗算すると、年間あたりの水晶体被ばくは46.8 mSvとなり、等価線量限度を超過する可能性があることが示唆される。また、放射線防護眼鏡上の左右及び中央部については、IVR術者

のように左眼近傍の線量が高くなるような線量分布の勾配は確認されなかったため、CT検査の解除時における線量計の着用位置は限定する必要はないと考えられる。本結果に基づき4月から7月に計測されたCT検査時の撮影の介助1回あたりの水晶体被ばくは平均値が0.13 mSv、中央値が0.12 mSv、最大値(ひげが示す上端)が0.32 mSv、最小値(ひげが示す下端)が0.00 mSvであった(Fig. 4)。これより、介助時の水晶体被ばくは撮影の介助時の状況(被験者の状態の深さ、年齢等)、撮影部位(頭部、体幹部等)及び撮影条件に依存することが考えられ、介助の頻度を指標とした従事者の被ばく管理は適切とはいえない。

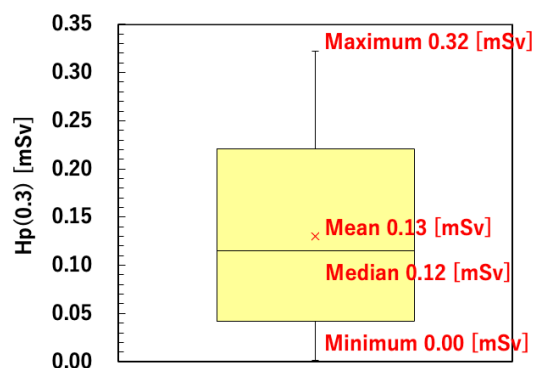


Fig. 4 本研究期間中に計測されたCT検査時の撮影の介助1回あたりの水晶体被ばく

このような各諸条件を鑑み、個人モニタリングを行うためには実測に基づいた個人線量評価を実施することが適切であると考えられる。

放射線防護眼鏡の内側で計測された量について、4月から6月にかけて検証された0.07 mm鉛当量の放射線防護眼鏡を着用した場合の線量低減効果は約54.8%であった。これは先行研究で報告された低減効果と概ね一致している[6, 7]。本研究期間のうち7月

の期間については放射線防護眼鏡の鉛当量を 0.75mm 鉛当量に変更した。このときの、線量低減効果は約 73.4%となり 0.07 mm 鉛当量の線量低減効果と比較すると約 18.6%程度向上した。しかしながら、それぞれの鉛当量の遮蔽率をアメリカ国立標準技術研究所 (NIST: National Institute of Standards and Technology) が公開データ [8] を基に直接線 50keV で理論的に算出した場合、0.07mm 鉛当量で 47.2%及び 0.75mm 鉛当量で 99.9%となる。0.75mm 鉛当量の防護眼鏡の線量低減効果が、73.4%に留まった要因として、防護眼鏡の内側に散乱線が到達する経路のうち、理論値及び実測値の差となる約 26.5%に相当する線量は防護眼鏡の範囲外から寄与している可能性があるといえる。このことより、当該線量に係る要因としては、従事者自身の体側からの多重散乱による被ばくの寄与が考えられる。当該被ばく線量を効果的に低減させるためには、放射線防護眼鏡の範囲の拡大、材質及び形状の変更に加え、放射線防護シート等を活用した CT ガントリ付近の空間線量率を低減させる手法等についても、経済性を考慮しつつ合理的に検討を行う必要がある。

F. 結論

当該施設では、X 線 CT 検査時における撮影の介助に従事する場合、眼の水晶体の被ばく線量は最大で 46.8mSv に達する可能性が示唆された。しかしながら、介助時における被ばく線量は 1 件あたり大きく異なるため、介助の頻度のみによる線量管理は適切ではない。また、放射線防護眼鏡の鉛当量を増加させることで、一定の線量低減効果の改善はみられたが、全体のうち 26.5%の散乱線は防護眼鏡による線量低減は困難

であることが明らかとなった。今後、CT 介助時の散乱線による水晶体被ばくを更に低減させるためには、放射線防護眼鏡の着用に加え放射線防護シートを活用し CT ガントリ付近の空間線量率の低減手法についても検討を行う必要がある。

G. 謝辞

本研究にご協力いただきました社会医療法人若竹会つくばセントラル病院 放射線科のスタッフの皆様に感謝申し上げます。

H. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

新井知大, 小野孝二, 菊名邦彦, 菊名千恵里, 金子順一, 小林育夫, 山口一郎, 櫻田尚樹. CT撮影の介助を想定した放射線業務従事者における眼の水晶体被ばく線量の評価及び効果的な線量低減手段の検討. 第3回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会日本保健物理学会第54回研究発表会 2021年12月.

I. 知的所有権の取得状況

なし

J. 引用文献

[1] 厚生労働省労働基準局, “厚生労働省労働基準局, “電離放射線障害防止規則の一部を改正する省令等の施行等について (基発 1027 第 4 号) ,” 2020 年 10 月 27 日.

[2] 藤淵 俊王, “医療分野における職業被ばくと放射線防護, 保健物理 53.4:

247-254,” 2018年.

[3] 原子力規制委員会 第6回放射線審議会
眼の水晶体の放射線防護検討部会, “資料
3-3「眼の水晶体の放射線防護 について」,”
平成30年1月29日.

[4] 原子力規制委員会 第6回放射線審議会
眼の水晶体の放射線防護検討部会, “議事
録,” 平成30年1月29日.

[5] 長瀬ランダウア株式会社, “InLight
Systems(個人被ばく線量測定装置),
<https://www.nagase-landauer.co.jp/download/pdf/InlightSystem.pdf>,” 参照日:
2022年1月14日.

[6] Kato, Mamoru, et al. , “Occupational
radiation exposure of the eye in
neurovascular interventional
physician.” Radiation protection
dosimetry 185.2: 151-156,” 2019.

[7] 加藤守, et al. , “脳神経血管およ
び心臓電気生理手技のインターベンション
に携わる医師の水晶体線量評価.” 日本放
射線技術学会雑誌 76.1: 26-33.,” 2020.

[8] NIST: National Institute of
Standards and Technology, “NIST Standard
Reference Database
126([https://www.nist.gov/pml/x-ray-mas
s-attenuation-coefficients](https://www.nist.gov/pml/x-ray-mass-attenuation-coefficients)), ”
Reference date: January 19, 2022.

令和3年度(2021年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

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

血管撮影室における線量管理の実際とこれから

研究協力者 茂呂田孝一(新小文字病院医療技術部長)

研究分担者 櫻田尚樹(産業医科大学産業保健学部教授)

2021年11月25日(木)から11月27日(土)に、福岡市で開催された第37回NPO法人日本脳血管内治療学会に参加し、シンポジウム「どうしてる？アンギオ部門-線量管理は義務化へ」のシンポジストとして、「血管撮影室における線量管理の実際とこれから」というタイトルで発表した。

はじめに

2020年4月1日に医療法施行規則の一部改正により検査ごとの線量記録と管理が義務化された。その背景には、CT (Computed Tomography) 検査や IVR (Interventional Radiology) に起因する皮膚障害などの発生がある[1-7]。特に、IVR が施行され始めた1980年後半からその普及とともに放射線皮膚障害の報告が散見されるようになり、1990年半ば以降増加している。

血管撮影室において患者被ばく管理の参考となる線量情報として、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[8]。また、米国放射線防護審議会 (National Council

of Radiation Protection and Measurements: NCRP) は、MSD (Maximum Skin Dose) : 3 Gy、 $K_{a,r}$ (Incident air kerma at the reference point) : 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[9]。演者らは、自施設で DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) - RDSR (Radiation Dose Structured Report) を用いた調査を行ったところ、血管撮影を受けた患者の最大入射皮膚線量が3 Gy を超えた症例は、頭頸部領域で16.7%、心臓領域で27.3%存在することがわかった[10]。線量管理をマネージメントする上で必要な情報源として、DICOM-RDSR を利用した。DICOM-RDSR の開発から発展の経過を図1に示す。

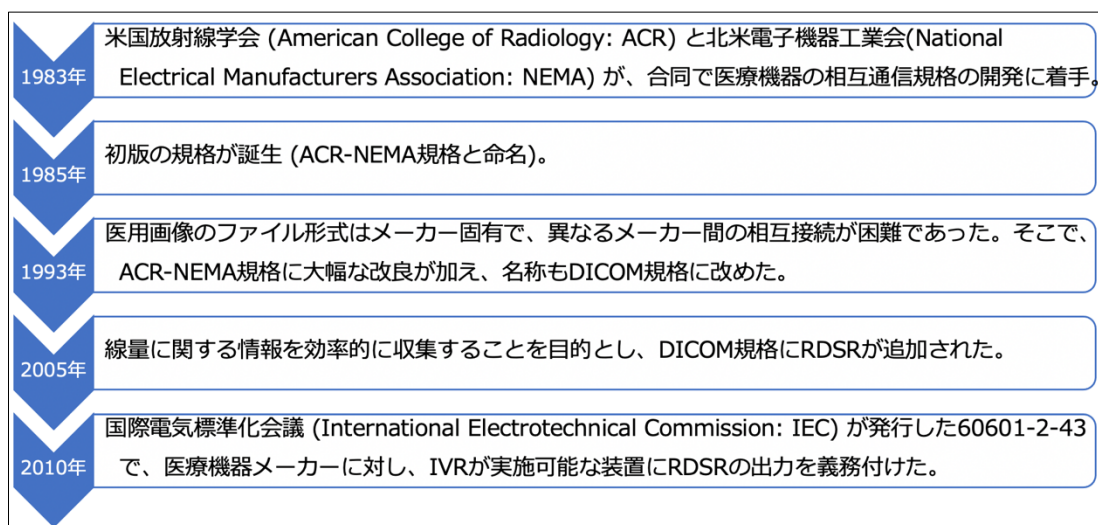


図1 DICOM-RDSRの開発と機能追加

DICOM-RDSR について

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年にはDICOM規格が完成している。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が実施可能な装置にRDSRの出力が義務付けられている。これにより、当院においてもDICOM-RDSRを任意に抽出し解析できる環境が実現した。DICOMの基本構造は、付帯情報と画像のセットで構成されている(図2)。タグは患者情報や検査情報などの分類する識別子であり、グループと個々の要素であるエレメントで構成される。開発時には存在しなかったRDSRが追加されたことで、現在では線量収集に欠かせない情報となっている。このように、DICOMはグループに新たな情報

を追加することで拡張性が期待できる(図3)。

線量管理サーバーの自主開発

2015年に当院では、血管撮影装置に実装されたRDSRを収集する目的でNAS(Network Attached Storage)サーバーを自主開発し、線量情報の収集と解析を始めている(図4)。この自作サーバーの特徴は、利点として、1. 検査終了後にRDSRが記録されること、2. 検査単位でCSV(Comma Separated Value)抽出することで任意の解析や統計処理が可能となり、高線量症例の検出と原因検索に利用され、被ばくの傾向を解析することが可能となったことである。一方で欠点として、1. RDSRの転送は手動操作のため転送忘れが発生すること、2. 患者情報や疾患情報が自動で取得できない、また、RDSRの収集機能しか持たず画像連携ができないことであった。

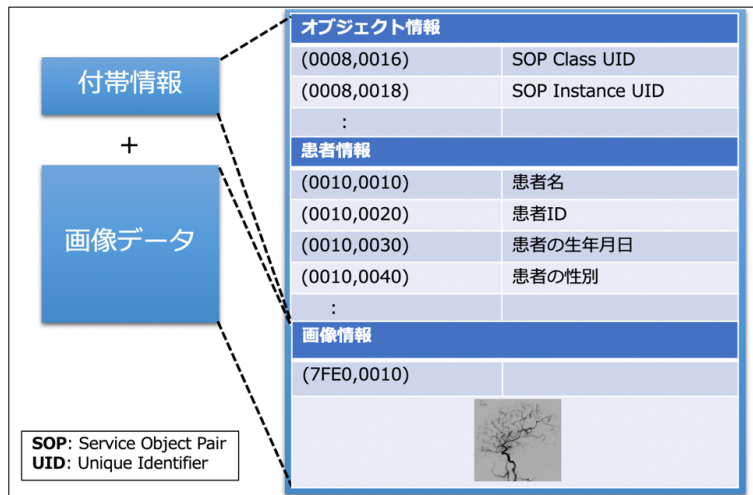


図 2 DICOM 画像の基本構造

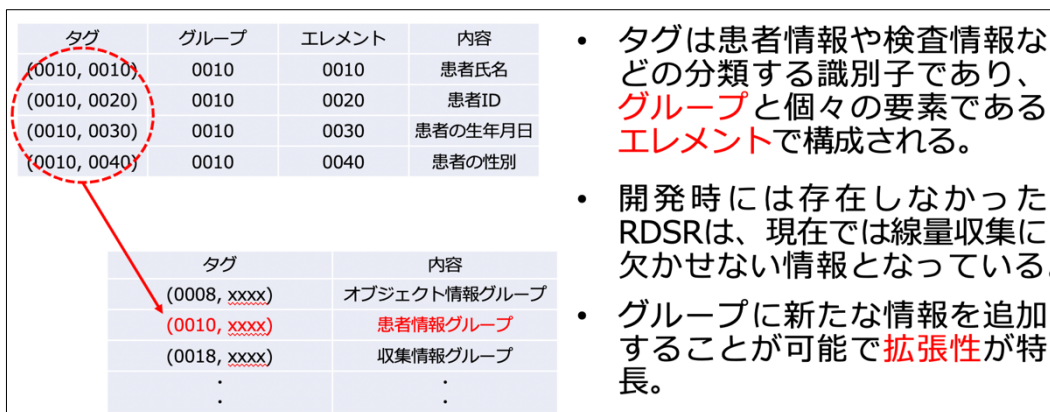


図 3 DICOM の拡張性

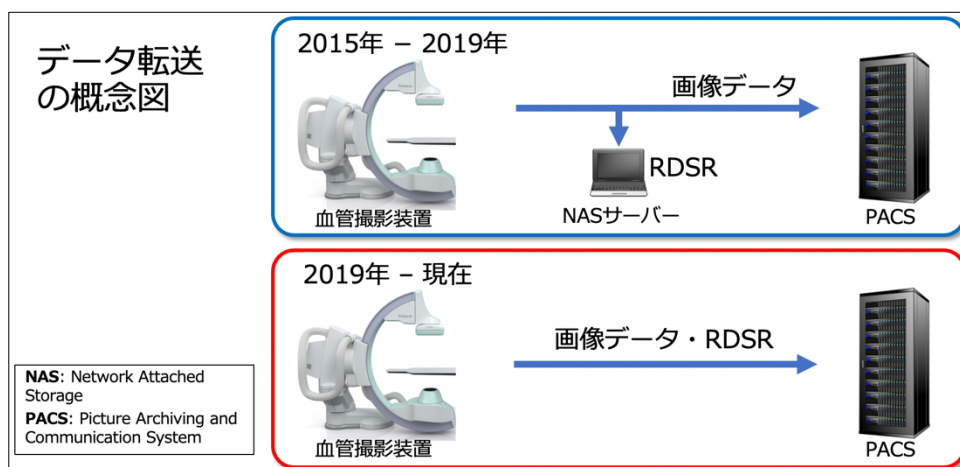


図 4 線量管理サーバーの試作から専用線量管理サーバーの設置へ

専用の線量管理サーバーの導入による管理

2019年にはコニカミノルタ製の線量管理サーバー (FINO. XManage) を導入し、その後の線量管理はこちらに移行している。NASサーバーを用いたRDSRの収集と解析の経験を踏まえ、試作した線量管理サーバーに不足していた追加すべき情報をメーカーと協議し、RDSRの自動記録と管理線量の目視やDRLsとの比較ができるように工夫した(図5)。

線量管理サーバーに期待することは、自施設の診断参考レベルの算出や、被ばく防護に寄与する情報の効率的な抽出などが考えられる。患者線量の記録とプロトコル管理が基本となるが、高線量事例などの異

常値のアラートの発信や原因の解析も自動的に実施できると都合がよい。疾患情報の紐付けを自動でできないなど、実際の運用では改良すべき点が未だ多く残っている。

図5の上の図は、縦軸が患者基準点の空気カーマ($K_{a,r}$)で、横軸が検査日を示している。また、図中の赤線は5 Gyを示し、これを超える症例が僅かなことが一目でわかる。さらに、高線量のポイントにカーソルを置くと総線量と被ばくした日が同時に表示され、その検査のRDSRの展開(図5下の図)や、画像との連携も可能となった。現在では5 Gy以上を対象に経過観察の対象としている。

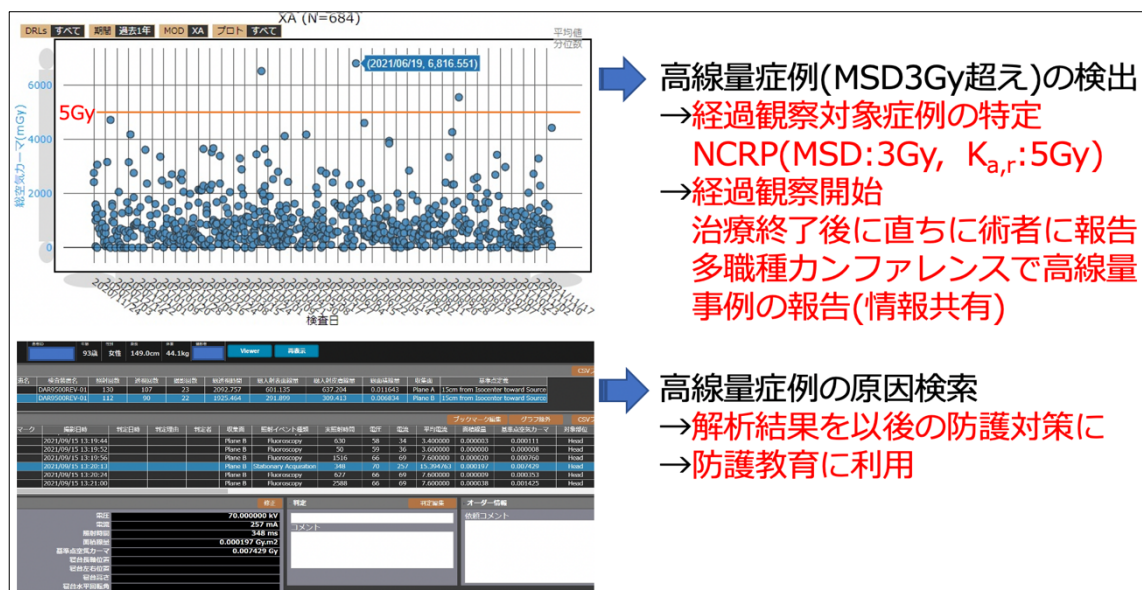


図5 専用線量管理サーバーの運用

最大入射皮膚線量の推定

5 Gy 以上を経過観察の対象とした経緯を図 6 に示す。患者の最大入射皮膚線量の実測に蛍光ガラス線量計 (radiophotoluminescence glass dosimeter: RPLGD) を用いて測定し、線量分布の描画と最大入射皮膚線量を明らかにした。このとき、実測値と $K_{a,r}$ の関係は強い正の相関関係を示し、簡単な一次関数の相関式 $y = 0.58$ によって $K_{a,r}$ から最大入射皮膚線量が推定できることがわかる。NCRP は、最大

入射皮膚線量: 3 Gy、 $K_{a,r}$: 5 Gy を放射線皮膚障害の線量指標として推奨している。我々の実験において図 6 の相関式から、 $K_{a,r}$: 5 Gy のとき患者の最大入射皮膚線量はおおよそ 3 Gy となり NCRP の推奨値と一致した。ただし、この関係は装置や術者の癖も反映していることが考えられ、 $K_{a,r}$ を利用した管理線量を用いる場合、一定数の実測値との相関関係を評価することは必須である。

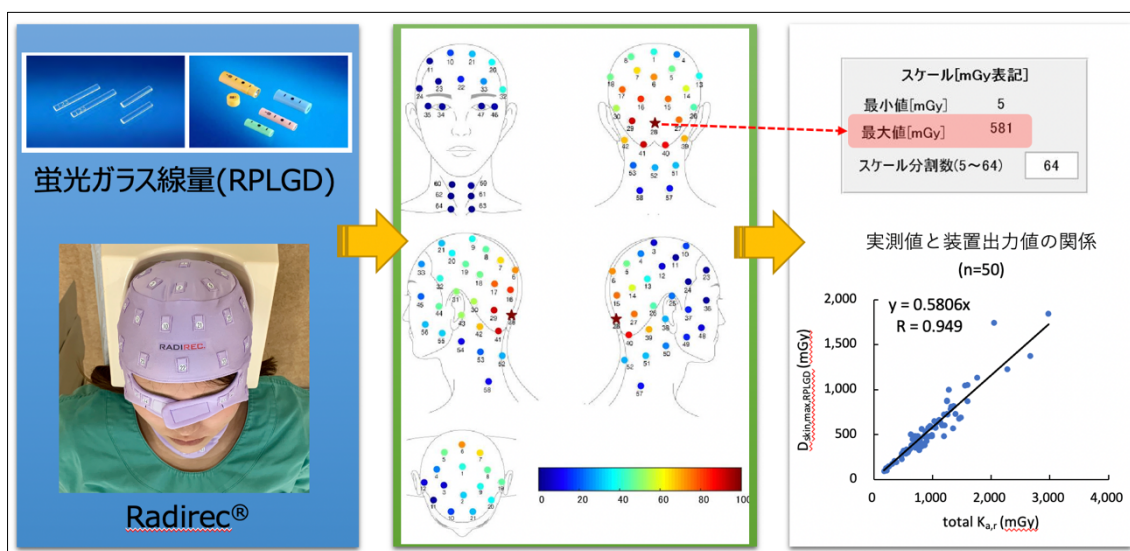


図 6 患者の最大入射皮膚線量の实測と装置出力線量値の関係

線量管理をもっと効率的に行うために

線量情報を自動記録する専用の線量管理サーバーを導入したことで、自施設の DRL の算出と DRLs2020 との比較が容易となった。また、検査単位で CSV 抽出することが可能で、任意の解析や統計処理をおこなうことで、高線量症例の原因検索 (どのイベントの影響が大きいかなど) に応用でき、術者や手技をサポートする医療従事者の防護教育に利用することも可能となった。

しかしながら、現時点でも解決すべき問題点は残っており、特に、疾患情報 (疾患名や病変の局在部位など) が自動で取得できない点は、早急に改善する必要がある。現在は、手技が終了したのち毎回手動で疾患情報を入力しているが、大変手間のかかる作業となっている (図 7)。将来 DRLs 更新のためのデータ抽出をする場合には、なくてはならない情報である。

患者ID	年齢	性別	身長	体重	Viewer	更新
0002869231	73歳	男性	162.0cm	82.8kg		

ワーク	撮影日時	判定日時	判定理由	判定者	収集面	照射イベント種類	実照射時間	電圧	電流	平均電流	面積線量	基準点空気カーマ
	2021/11/10 12:39:14				Single Plane	Fluoroscopy	690	62	77	7.600000	0.000005	0.000239
	2021/11/10 12:40:45				Single Plane	Fluoroscopy	700	69	109	10.900000	0.000011	0.000523
	2021/11/10 12:41:06				Single Plane	Fluoroscopy	570	75	137	13.600000	0.000024	0.001159
	2021/11/10 12:41:14				Single Plane	Fluoroscopy	440	80	150	15.000000	0.000013	0.001191
	2021/11/10 12:41:20				Single Plane	Fluoroscopy	900	81	150	15.000000	0.000033	0.002900
	2021/11/10 12:41:30				Single Plane	Fluoroscopy	3050	80	150	15.000000	0.000108	0.009357
	2021/11/10 12:43:01				Single Plane	Fluoroscopy	410	80	150	15.000000	0.000015	0.001295
	2021/11/10 12:43:32				Single Plane	Fluoroscopy	480	83	150	15.000000	0.000031	0.003459
	2021/11/10 12:43:40				Single Plane	Stationary Acquisition	577	78	769	769.000000	0.000438	0.048451
	2021/11/10 12:44:04				Single Plane	Fluoroscopy	410	100	121	12.000000	0.000033	0.003879

部位名	頭部/頸部領域(術前)
疾患名	
	頭部/頸部領域(術前) 囊状動脈瘤
	頭部/頸部領域(術前) 脳動静脈奇形
	頭部/頸部領域(術前) 脳硬膜動静脈瘻
	頭部/頸部領域(術前) 頸部頸動脈狭窄/閉塞
	頭部/頸部領域(術前) 急性脳動脈狭窄/閉塞
	頭部/頸部領域(術前) 頭蓋内腫瘍

図7 現状の専用線量管理サーバーの限界

まとめ

IVR は増加傾向にあり、複雑な手技では患者被ばくは増加する。2020年4月1日に医療法施行規則の一部改正により線量記録と管理が義務化されたことで、全国的に線量情報は収集されることとなった。収集された線量情報の活用によって患者の確率的影響だけでなく、組織反応の回避も同時に考慮する必要がある。

今回、線量管理サーバーの試作とその後に導入された専用線量管理サーバーの特徴を紹介した。特に、高線量被ばく事例の抽出や原因の解析、対策の立案など DICOM-RDSR に記録される情報を利用して管理することは合理的であり簡便でもある。また、放射線業務従事者への放射線防護に対する教育教材としての利用も可能となる。ただし、正確な線量推定のためには、一定数の実測などにより確認しておくことは言うまでもない。

収集された線量情報は、自施設の中央値と DRLs との比較が容易となり、今後の

DRLs 更新の際にも貴重なデータとなることが予想される。現状の線量管理サーバーの限界は、疾患情報の紐付けを自動収集できないことであり改善が必要である。このような被ばく管理に資する適切な情報をよく考え、今後の専用線量管理サーバーには、必要な情報を線量管理サーバーに追加記録できる拡張性が期待される。

参考文献

1. Walter Huda Keith R. Peters (1994): Radiation-induced Temporary Epilation after a Neuroradiologically Guided Embolization Procedure. Radiology 193: 642-644
2. Shope Thomas B. (1996): Radiation-induced Skin Injuries from Fluoroscopy. RadioGraphics 16: 1195-1199
3. Mooney R. B.; McKINSTRY C. S.; KAMEL H. A. M. (2000): Absorbed

- dose and deterministic effects to patients from interventional neuroradiology. *The British Journal of Radiology* 73: 745-751
4. 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
 5. Magrassi L., Bongetta D., D'Ercole L., Lisciandro F., Arienta C., Thyron F. Z. (2012): Neuroembolization may expose patients to radiation doses previously linked to tumor induction. *Acta Neurochir (Wien)* 154: 33-41
 6. Corrigall R. S., Martin C. J., Scott I. (2020): Observations of tissue reactions following neuroradiology interventional procedures. *J Radiol Prot* 40: N9-N15
 7. Thrall James H (2012): Radiation exposure in CT scanning and risk: where are we? *Radiological Society of North America, Inc.* pp 325-328
 8. ICRP (2000): Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. . ICRP publication 85: 1-53
 9. Jaschke W., Schmuth M., Trianni A., Bartal G. (2017): Radiation-Induced Skin Injuries to Patients: What the Interventional Radiologist Needs to Know. *Cardiovasc Intervent Radiol* 40: 1131-1140
 10. 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

令和3年度(2021年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

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 血管造影室で放射線業務に従事する看護師の水晶体被ばく実態調査

研究協力者 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/
産業医科大学 大学院医学研究科

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 上席研究員

研究要旨

医療従事者の被ばく管理のガイドラインである「放射線マネジメントシステム」をより有用に展開していくために、各医療機関における潜在的な課題を明らかにすることが求められる。

本調査では、血管造影室業務で放射線業務に従事する看護師に着目した実態調査を行い、さまざまな業務条件と看護師の被ばく線量の傾向に関連があるか、また、それが各医療機関によってどのような違いが見られるかを検討した。

看護師が幅広い診療科手技を担当する施設では、看護師が医師の介助で患者に近づく頻度の高い場合や、照射線量の高い手技、重症もしくは困難症例の可能性のある手技への従事の頻度が高くなり、高線量率群となりうることが本調査結果から示唆された。加えて、比較的規模の小さい施設では、全体としての個人線量レベルが相対的に高いなど、施設規模が看護師の被ばく線量の傾向に影響を及ぼしうる可能性も示された。

従事者への被ばく防護教育では、防護具の使用や退避行動など、各個人の意識や努力に働きかけることが主体となる。ただ、人員やスペース(定められる立ち位置)、限られた防護具の分配など、管理や資源に係る側面については、従事者教育では解決されない。また、施設全体として、被ばく線量が高いレベルにある場合は、施設のなかで被ばく防護の最適化を図る必要性に気づきにくい点があると考えられる。

今後は、より多施設で被ばく実態を明らかにし、それを病院の管理者にフィードバックすることを試みるなどし、資源、風土が異なる各医療機関で「放射線マネジメントシステム」がより有用な仕組みとして適用されるよう繋げていく。

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/
産業保健学部 産業・地域看護学 客員研究員

中上孝一 産業医科大学病院 放射線部/産業医科大学 大学院医学研究科

人見剛 川崎医科大学付属病院 中央放射線部/産業医科大学 大学院医学研究科

永元啓介 産業医科大学病院 放射線部

松崎賢 社会医療法人財団池友会 新小文字病院 放射線科

/産業医科大学 大学院医学研究科

A. 研究目的

医療従事者は X 線管からの直接線や、患者を通して生じる散乱線により被ばくする。加えて直接的な患者ケアを担う看護師は、患者のニーズや状態変化に合わせた行動が発生し、都度被ばく線量に変化する可能性も考えられる。そこで本研究では、その行動特性が被ばく状況にどの程度影響するかを調査する前段階として、血管造影室業務におけるさまざまな条件と看護師の被ばく線量との関連を明らかにする。

B. 研究方法

1. 調査期間

2018 年 1 月から 2021 年 3 月において、対象施設が定める任意の 1 年間とした。

2. 調査場所および対象者

対象者は、A (大学病院 678 床)、B (大学病院 1182 床)、C (総合病院 214 床) で血管造影室業務に従事する看護師計 72 名である。

3. データ抽出方法

水晶体等価線量 (頭頸部の個人線量計) を総透視時間で除し、水晶体等価線量率を算出した。また、担当症例における診療科、IVR 手技 (X 線透視手術含む) 等の関連情報を集計した。データは病院情報システム、放射線科情報システムおよび病院内医療用画像規格線量レポート等から抽出した。

4. 調査項目

(1) 高線量率群と低線量率群の比較

水晶体被ばくを認めた者において年間水晶体線量率の中央値をを上回る者を「高線量率群」、下回る者を「低線量率群」と施設毎に定義した。業務条件を「(手技の) 目的」、「診療科」、「手技」、「部屋」、「緊急性」、「医

師数」、「看護師数」の 카테고리に分け、上記二群間で、カテゴリ内の因子数の比が同じであるかを分析した。「目的」の 카테고리では「診断」、「治療」を、「緊急性」は「高」、「低」を、「医師数」および「看護師数」は「1 人」、「2 人」、「3 人」もしくは「3 人以上」を、そして「部屋」は、透視下手技が行われた全部屋とした。「診療科」は、解析対象者の関与の多い順に上位 3 科、「手技」は全体の半数以上を占めたものを含めた。水晶体被ばくを認めなかった者は、担当症例が非常に少なく該当する条件や因子が限られ、今回は各施設の検出限界未満の者を解析対象から除外した。各因子比の差の解析には Pearson の χ^2 検定および Haberman の残差分析を用い、調整済み残差を算出した。調整済み残差は、絶対値が 1.96 より大きければ 5 %水準でその因子で有意差があることを意味する。

(2) 個人線量計および放射線防護具の装着状況、放射線防護教育

個人線量計および防護具 (エプロン、ネックガード、メガネ、防護板) の装着状況は全員の場合を満点 5 とし、8~9 割を 4、半数を超える場合を 3、半数よりも少ない場合を 2、そして 1~2 割を 1、誰もいないを 0 とした。各施設の防護教育内容も把握した。

個人線量計は、国内の線量測定サービス機関から提供を受けたものである。

(3) 施設間の比較

施設間の年間線量比較には Kruskal Wallis 順位検定ならびに Mann-Whitney の U 検定を用いた。多重比較における有意水準の調整には Bonferroni 法を用いた。

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 1 月 8 日付けで承認された。

C. 研究結果

(1) 高線量率群と低線量率群の比較

施設 A で高線量率群が有意に高かったカテゴリーの「因子」では、医師数の「3名以上」が挙げられた。Bは目的の「治療」、手技の「整形外科手術」、部屋の「手術室」(透視下の整形外科手術を実施)、「血管造影室2」(頭頸部領域のIVRを多く実施)、看護師数の「3名」が挙げられた。Cは「緊急性」や「目的」の2つのカテゴリーのみの解析で、いずれも有意差は認められなかった。

(2) 個人線量計および放射線防護具の装着状況、放射線防護教育

施設 A および B の看護師は殆どが個人線量計を装着していた。医師は A では過半数、B は一部の診療科のみ全員装着で他は不明であった。C は線量計、防護具ともに全員が装着していた。

(3) 施設間の比較

水晶体等価線量の中央値は、A: $0 \mu\text{Sv}$ 、B: $100 \mu\text{Sv}$ 、C: $3200 \mu\text{Sv}$ で3群間には有意差 ($p < 0.05$) を認めた。群間比較では A と C、B と C に、それぞれ有意差 ($p < 0.05$) を認めた。A、B とは異なり、C では検出限界値未満の者はいなかった。看護師数は、A ($n=31$)、B ($n=33$) に比べ、C ($n=8$) は明らかに少なく、各症例の担当看護師数も、A: 1~5名/件、B: 1~3名/件、C: 1~2人/件であった。

D. 考察

二群間比較から施設 A および B では関与する医師や看護師が多い、重症もしくは困難症例の可能性のある手技への従事、また介助等で患者に近づく整形外科手術や、比較的照射線量の高い頭頸部領域の IVR 手技で、高線量率群となりうる可能性が示唆された。

看護師は、医師に比べ行動の自由度が高く、医師以上に複数の要因が被ばく線量の

違いに関与する可能性があり、熱心に患者に寄り添うなど、看護師の透視室内での行動特性も個々人の被ばく線量に影響することも考えられる。

個人線量計は、施設 A および B では未装着の従事者が少なからず存在し、医師は看護師より装着度が低い傾向が見られた。水晶体被ばく線量限度の引き下げを受け、線量の低減を図ることが課題だが、今回調査対象とした施設でも、未だ線量測定が徹底されていない現状が判明した。

施設 C では、全体に対する定期的な被ばく防護教育に加え、血管造影室スタッフが集まる会議で比較的高線量の従事者の情報を共有し、要因場면을振り返るなど、効果的な防護策を都度検討する取り組みが随時行われていた。こうした取り組みの過程で、C では個人線量計や防護具の装着率が改善した経緯がある。線量管理や防護を従事者個人に任せる医療現場では、従事者の問題認識を高める働きかけにより、管理レベルが向上することが分かる結果だと言える。

看護師の水晶体被ばく線量レベルは3施設で中央値に有意差があり、施設の状況に左右されることが伺えた。施設 A および B に比べ、C が相対的に高かった要因の一つと考えられることは、担当部署の看護師の母数である。C は、8名で全症例を担当しており、母数の多い A、B と比べ IVR を担当する頻度が高くなる。加えて、同様症例を複数ではなく1人で対応する方が、患者ケアや術者の介助で線源に近づく頻度が上がることが考えられ、そうした意味でも常に1人もしくは2人で対応する C が相対的に高線量となったことも考えられる。すなわち血管造影室業務を担う看護師の被ばく線量レベルは、その各施設の看護体制に伴う影響をも考慮する必要があると考える。

E. 結論

施設 A および B のように、幅広い診療科の手技を担当する施設では、看護師は患者に近づく必要のある診療介助や、照射線量の高い手技、重症もしくは困難症例の可能性のある手技への従事の頻度が高くなり、高線量率群となりうる。

また中規模の総合病院では、大学病院のように多くの看護師がローテーションで IVR を担当する体制は取れず、その場合、全体としての個人線量レベルが相対的に高くなるなど、施設規模や看護体制が看護師の被ばく線量傾向に影響を及ぼしうる可能性が示唆された。

従事者への被ばく防護教育では、防護具の使用や退避行動など、各個人の意識や努力に働きかけることが主体となる。ただ、人員や限られた防護具の分配など、管理や資源に係る側面については、従事者教育では解決されない。また施設全体として、被ばく線量が高いレベルにある場合は、施設のなかで被ばく防護の最適化を図る必要性に気づきにくい点もあると考える。それを病院の管理者にフィードバックすることを試みるなどし、資源、風土が異なる各医療機関で「放射線マネジメントシステム」がより有用な仕組みとして適用されるよう繋げていく必要がある。

F. 論文報告

なし

G. 研究発表

栗山知子, 盛武敬, 茂呂田孝一, 人見剛, 中上晃一, 永元啓介, 松崎賢, 樺田尚樹.
血管造影室で放射線業務に従事する看護師の水晶体被ばく実態調査. 産業医科大学学会 2021 年 10 月.

H. 知的所有権の取得状況

なし

労災疾病臨床研究事業費補助金

分担研究報告書

ガラスバッジ測定結果から見た線量計装着率と放射線防護講習会との関係

研究分担者 掛田伸吾（弘前大学附属病院放射線診断科教授）

研究要旨

【目的】放射線防護講習会による線量計装着率への効果を調べる。

【方法】放射線防護講習会実施日前後の各診療科における月毎のガラスバッジ測定値（mSv）を調べた。線量計装着率が低い診療科（測定値0）をピックアップし、講習会前後のガラスバッジ測定値の変化を調べた。

【結果】講習会前の測定値が0mSvであった診療科（A, B, C）の講習後の測定値はいずれも上昇した。しかし、3ヶ月後には測定値は再び0mSvとなった。

【結論】放射線防護講習会は一定の意識付けの効果はあるが、その効果は限定的である。

研究協力者

成田将崇 弘前大学附属病院放射線部 技師長

A. 研究目的

ガラスバッジの装着は放射線防護における基本であるが、当施設ではガラスバッジ測定値（mSv）より極めて装着率が低いと思われる診療科が存在していた。このため、我々は医師が全員参加する病院全体の放射線防護講習会を開催し、ガラスバッジ装着の必要性について周知した。今回、講習会による線量計装着率への効果を後ろ向きに検証する。

B. 研究方法

各診療科における月毎のガラスバッジ測定値（mSv）を調べた。調べた期間は放射線防護講習会の実施日の前後1年間、延べ2年間である。講習前に線量計装着率が低い診療科（測定値0 mSv）をピックアップし、講習会前後のガラスバッジ測定値の変化を調べた。倫理面への配慮；本研究は院内調

査記録を後ろ向きに検討したものであり、同意書は必要としない。

C. 研究結果

当施設で血管系 IVR を行う診療科では線量計装着確認を含め線量管理が徹底されていた。一方、非血管系の透視下手技（診療科 A, B, C）においては不十分であった。Table 1.は、診療科 A, B, C における月毎のガラスバッジ測定値の結果（mSv）である。XX月-1およびXX月-2での測定値は0 mSv（黄色部分）が示すように診療科 A, B, C では線量計は装着していないと推測された。

XX月に行った病院全体放射線防護講習会ではガラスバッジ装着の必要性について周知された。結果、XX月以降に各診療科の線量値は上昇し、装着率が向上したことが推測された。しかし、XX月+6以降には再びガラスバッジ測定値は0 mSvとなった。

		XX月-2	XX月-1	XX月	XX月+1	XX月+2	XX月+3	XX月+4	XX月+5	XX月+6	XX月+7	XX月+8
診療科A	実効線量 (全身)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	等価線量 (水晶体)	0.0	0.3	0.0	0.0	0.7	1.2	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0
	等価線量 (皮膚)	0.0	0.3	0.0	0.0	0.7	1.2	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0
	X線透視検査件数	43	68	57	62	39+50	61+52	59+46	43+48	49+49	50+47	39+44
診療科B	実効線量 (全身)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	等価線量 (水晶体)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.5	0.9	0.3	0.1	0.0
	等価線量 (皮膚)	0.0	0.0	0.0	1.6	0.6	22.2	17.2	14.2	4.8	4.9	0.0
	X線透視検査件数	1	7	0	2	4+1	23+7	5+8	5+10	12+16	4+5	4+4
診療科C	実効線量 (全身)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0
	等価線量 (水晶体)	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	0.4	3.2	0.3	0.7	0.1	0.0
	等価線量 (皮膚)	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	0.4	3.2	0.3	0.7	0.1	0.0
	X線透視検査件数	77	73	64	65	75+64	78+71	60+64	73+57	60+74	63+65	64+60

D. 考察

今回の結果は、放射線防護における放射線防護講習会の意識付け効果を示す一方で、その効果は持続せず、限定的である点も浮き彫りにした。

年一回の放射線防護の講習会を行う施設は多いが、ガラスバッジの高い装着率を持続するには、その効果は不十分と思われる。この結果より当施設ではより短期間に個別に講習会もしくは啓発活動を行うとともに、放射線透視を用いる全ての手技前のタイムアウトに防護と線量計装着を含めるよう各診療科に働きかけている。また、ガラスバッジの管理についても、その後の個別調査で様々な問題が判明したため、線量計の配置・保管などについて各診療科で調査することとなった。

E. 結論

放射線防護講習会は一定の意識付けの効果はあるが、その効果は限定的である。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

G. 知的所有権の取得状況

なし

I. 分担研究報告

医療従事者の末端部等価線量評価のための実用量測定へのガラス線量線量計の応用
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

本研究では、放射線業務従事者の末端部等価線量算定に用いられる線量計の校正に関する国際規格 IEC 及び ISO で策定された放射線業務従事者の手指等末端部不均等被ばくの追加モニタリングに関連する規格を参照し、本研究班で用いられているガラス線量計に対し、末端部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及び角度分布特性を計算シミュレーションにより評価した。本研究班で使用し及び使用を計画しているガラス線量計素子 2 種類 (GD-302M 及び GD-352M) について、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。線量計応答に関するエネルギー依存性及び角度依存性について、計算シミュレーションを用いて評価を進めた。計算シミュレーションの結果により、評価対象としたガラス線量計のうち、GD-352M のエネルギー応答特性が、20 keV 以上から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。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て高感度であるものの、線量に対しを過大に応答することが明らかとなった。

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関し、手指等末端部における皮膚等価線量算定に用いられる個人線量計に関し、我が国におけるモニタリング指針、線量計の国際規格等でどのように要求されているかに着目し、手指等末端部等価線量測定用の線量計の応答及び構成方法について検討を行ったものである。一連の検討で得られる知見は、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のうち、マネジメントシステム導入に際して、放射線業務従事者の被ばく実態を把握し、被ば

く状況に適した線量評価方法と、適切なマネジメントシステム運用方法を確立することに資するものである。

放射線防護マネジメントシステムを導入して医療現場で適切に運用するには、線量評価上の課題も依然として残されている。令和 2 年度まで実施されていた研究では、医療現場における実践的モニタリング方法及び線量推計方法として、ガラス線量計を用い、放射線業務従事者の被ばく線量を 1 症例ごとに評価・管理する方法で、放射線に対する防護について注意喚起を継続するとともに、個別の放射線業務従事者に対する防護の最適化を図ってきたところである。放射線防護従事者に対する個別の防護の最

適化は、各医療機関における施術時の各従事者の放射線防護に関する情報を診療放射線技師と研究班で交換しあうことで、工学的な被ばく線量低減方法を具体的にアドバイスすることで行われてきた。

放射線防護の最適化についての具体的なアドバイスを出したのちに重要となるのが、その効果をモニタリングする手段となる。各医療機関における施術状況（放射線発生装置の種別、個人保護具の使用状況、人員の配置等）を記録して具体的な防護の最適化を進めることになるが、防護上の施策が適切であるか不十分であるかの指標となるのは、個別の放射線業務従事者の被ばく線量低減の割合となる。被ばく線量の低減効果について最も望ましい状況は、施術毎に被ばく線量がどの程度低減したかの効果が比較できることである。これは、後述する被ばく線量測定サービス会社の提供する線量測定では、施術毎の被ばく線量モニタリングが困難である場合がある。被ばく線量測定サービス会社の提供する線量測定サービスは、①線量計の借用、②使用者の着用した線量計の回収、③線量計の読み出し、④測定値の決定、⑤測定値の検証、⑥線量測定値の確定、⑦測定値の報告、までを含んでいるが、①及び⑦以外は全てサービス会社で実施される。①から⑦まで完結するには、被ばく線量測定期間の1か月を加味して通常2か月程度必要である。その間にも施術は実施されるため、施術毎のモニタリングには不向きである。施術毎に放射線業務従事者の放射線防護の最適化を実効性あるものとするためにも、施術毎の放射線業務従事者の被ばく線量をモニタリングできる線量測定システムの支援が不可欠といえる。

前述の研究において、現研究班にも参加

する研究分担者らが提案するガラス線量計素子を眼の水晶体等価線量モニタリングのために使用することを提案した。そこで採用されたガラス線量計は、千代田テクニクス社製 Dose Ace 用ガラス線量計 GD352M である[1]。研究分担者らは、当該ガラス線量計素子を別途製作したガラス線量計素子用専用ホルダに装着して、一症例ごとの医師の眼の水晶体被ばく線量をモニタリングし、放射線防護の最適化の観点からの介入を行い、適切なアドバイスが医師の水晶体被ばく線量の低減につながったことを示した[2]。また、研究分担者は、ガラス線量計素子からの読み値が水晶体等価線量の推定値となる3mm線量当量を与えるような校正定数を、国際規格に基づき導出する手法を開発している。このガラス線量計素子の利用を、手指部等末端部線量の追加モニタリングに拡張することを検討している。

不均等被ばく状況による過剰な放射線被ばくを回避するために行われる追加モニタリングに用いられる局所被ばく測定用の線量計のうち、手指に装着して用いられる線量計は慣例としてリングバッジ（指リングとも）と呼ばれる。



図1 市販のリングバッジ（これはガラスリングと呼称される）の例（千代田テクニクス社ホームページより引用[3]）

放射線業務従事者は電離放射線障害防止規則等に基づく被ばく線量管理のため、体幹部の被ばく線量を測定するための線量計を作業衣の胸に装着して作業を行うが、前述の IVR、X線透視、放射性薬剤を取り扱う作業等では、X線の照射場に直接手指が入り、また放射性薬剤を直接手でハンドリングすることで手指に放射性薬剤中のアイソトープからの放射線を直接受けることになる。この場合、体幹部より手指の方が数十倍も多く放射線のばく露を受ける場合がある。上述の放射線作業でうける局所的な γ 線、 β 線の被ばく線量を正確に測定するため、体幹部線量計に加え図1に示すリングバッジが用いられる。リングバッジは、検出器に熱ルミネセンス線量計（TLD）等が採用され、手指の末端部の皮ふ被ばくを簡便かつ正確な測定を可能とする。

医療分野の放射線業務従事者において、不均等被ばく状況における末端部の皮ふ等価線量の評価対象となるのは、主に手指と足である。例えば、J. Domienik らの報告では、IVR 術者の不均等被ばくについて、眼の水晶体線量と同時に足首及び脛に装着した線量計からの読み値を比較している[4]。使用された線量計はいずれも TLD である。この時の測定では、IVR 術者の左眼側から右眼側へ線量の勾配がある一方で、左足首に装着された線量計からの線量値には勾配は認められなかった。一方で、足首への線量計装着は左足首のみに行われており、右足首との差異については不明である。

手指等の末端部等価線量の適切な推定値を与える実用量は、 $70\mu\text{m}$ 線量当量である。を適切に測定するためには、1) 線量計が適

切な仕様にに基づき製造されていること、2) 線量計が定期的に校正されていること、及び3) 線量計の指示値が、校正定数を通じて測定トレーサビリティにより国家標準に切れ目なく関連付けられていること、が不可欠である。上記は、いずれも国際規格の中で、個人線量計が有すべき技術的仕様、定期的な校正手法、及び校正機関・試験所等が具備すべき能力とその能力を実証するために満たすべき要求事項が定められている。

本分担研究では、眼の水晶体等価線量が強調される場合のみならず、医療現場における不均等被ばく状況で放射線作業を行う放射線業務従事者に対し、最大の線量を与える被ばく線量を適切に評価できるよう、研究班で使用するガラス線量計素子を手指及び足首に取り付けた際にも適切な指示値を与えうるかの適応可能性について検討を進める。以前の研究班の調査では、眼の水晶体等価線量を適切に評価するために線量計に求められる仕様及び線量計校正に関する国際規格についての調査を進め、本研究班で使用中のガラス線量計のエネルギー応答特性を実験的に検証した。本研究着手初年度の令和3年度は、国際規格についての調査に加え、基礎特性把握に関する実験的検証に着手する前に、モンテカルロシミュレーションによる基礎特性評価を行う。

B. 研究方法

手指等末端部モニタリング用線量計について、前述のとおり既にいくつかの提案が既になされており、TLD 及びガラス線量計では製品化され個人被ばく線量測定サービス会社による定期的なモニタリングが実施されている[3],[5]。これらは前掲のリングバッジ（指リング等）と呼ばれる線量計であ

り、いずれも受動型線量計である。一方、アクティブ型末端部モニタリング用線量計も既に市販されており [6]、当該線量計の適応範囲や眼の水晶体線量追加モニタリングへの応用について、研究分担者によって評価されており、非常に有望な線量計であることが示されている [7]。

令和3年度の研究では末端部線量計に関する国際規格についての調査を進めると同時に、前研究事業で採用されていたガラス線量計について、手指等末端部の追加モニタリングに適した線量計としての利用が可能か検討を進めた。評価に用いた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2 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[8]）



図3 GD-352M用エネルギー補償フィルター（左上）及びGD-302M用ケース（右下）の様子[8]

本研究班で用いられているガラス線量計についての仕様を文献により確認するとともに、計算シミュレーションを用いて線量計の応答を計算し、末端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確認した。また、得られた計算結果から、ガラス線量計指示値からの $70\mu\text{m}$ 線量当量を「正しく」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。

令和3年度の研究事業初年度は、エネルギー応答及び応答の角度依存についてシミュレーション計算を行った。試験対象となるガラス線量計素子を計算体系内で詳細に再現し、当該ガラス線量計素子を ISO ロッドファントム（直径 19 mm 長さ 30 cm のアクリル製ファントム）中央に直接貼り付け基準放射線を照射した（図4参照）。使用した基準放射線の線種は、ISO4037-3:2019 の記載に従い、S-Cs、から ISO Narrow series の N-10 から N-300 までの15線種とした。

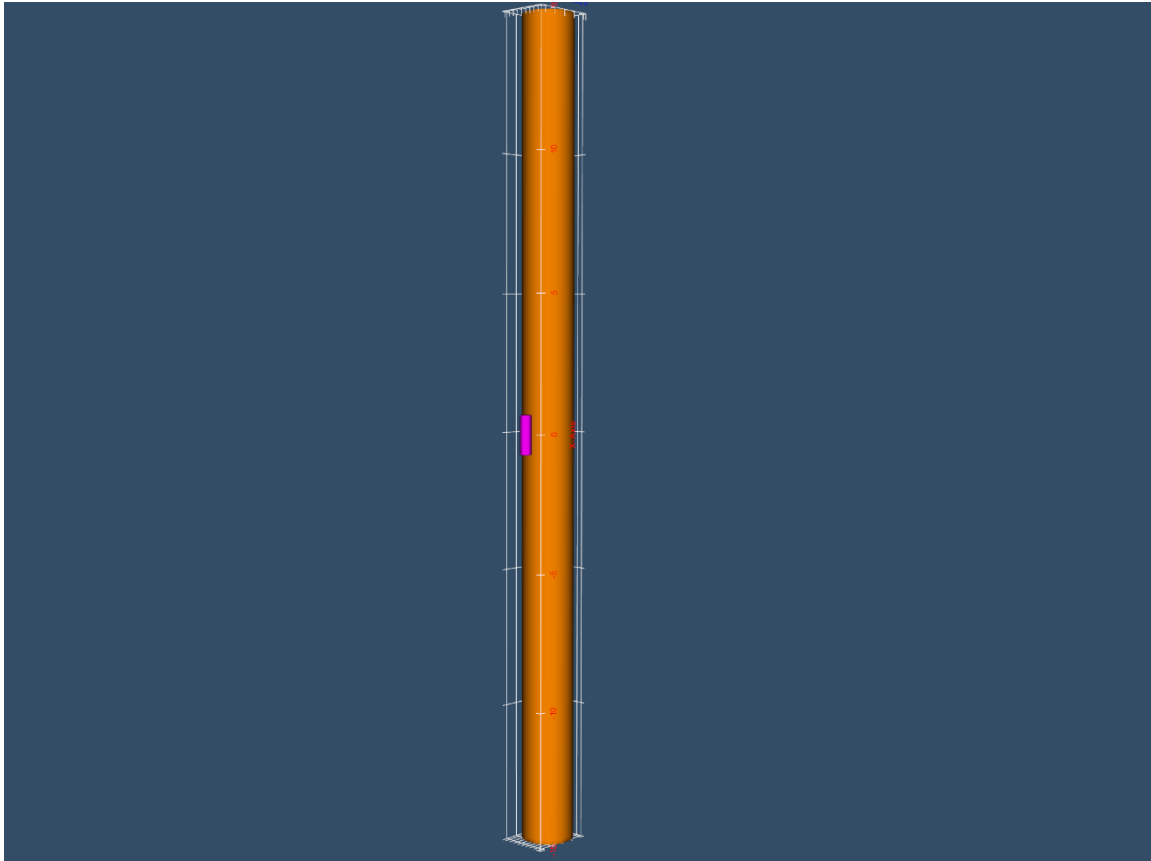


図4 本研究班で使用するガラス線量計 GD352M のエネルギー応答特性に使用した計算シミュレーションの体系図。茶色部分がアクリル製 ISO ロッドファントム。薄赤部分がガラス線量計素子。

ガラス線量計の応答は、IEC62387:2012 の記述に従い、後述の式に従って求めた。測定の場合、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を用いることになるが、本研究では計算シミュレーションであるため、ガラス線量計読出し装置による線量計素子からの蛍光発光量の応じた計数値の評価はできない。そこで、計算シミュレーション上で照射した基準放射線により実際に蛍光を発行する領域である蛍光ガラス部分に沈着したエネルギーの量[Gy]を、ガラス線量計の読み値の正味値として定義し、下式の M_E とした。

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

本研究では、先行研究で系統的に実施されている試験内容に従い、ガラス線量計素子を手指等末端部モニタリング用線量計に応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ことから、ISO4037-1 で示される線質 S-Cs ($Cs \gamma$ 線校正場：平均エネルギー662 keV) で得られたレスポンスを基準として他の 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。

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

なお、本補助金事業で医療従事者の眼の近傍に取り付けて追加モニタリングに供されるガラス線量計は、本来診療・診断領域における患者の医療被ばくモニタリング用途で用いられることが想定されている。医療現場で業者による納入時設定の状態で線量測定システムとして使用する際には、ファントムに取り付けない状態で（フリーエアで）空気カーマの単位で基準照射を行ったガラス線量計が準備される。そのため、照射後のガラス線量計からの読み値は、どの場合でも空気等価吸収線量の単位となる。従

って、納入時状態の線量測定による評価では、個人線量計には評価が不可欠な人体組織（この場合は医療従事者の指）からの後方散乱成分は考慮されていない。

（倫理面への配慮）

本分担研究は、特定個人を対象としたものではなく、人権擁護上の配慮等を特に必要としない。

C. 研究結果

本研究班で使用し及び使用を計画しているガラス線量計素子2種類（GD-302M及びGD-352M）について、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5では、計算シミュレーショ

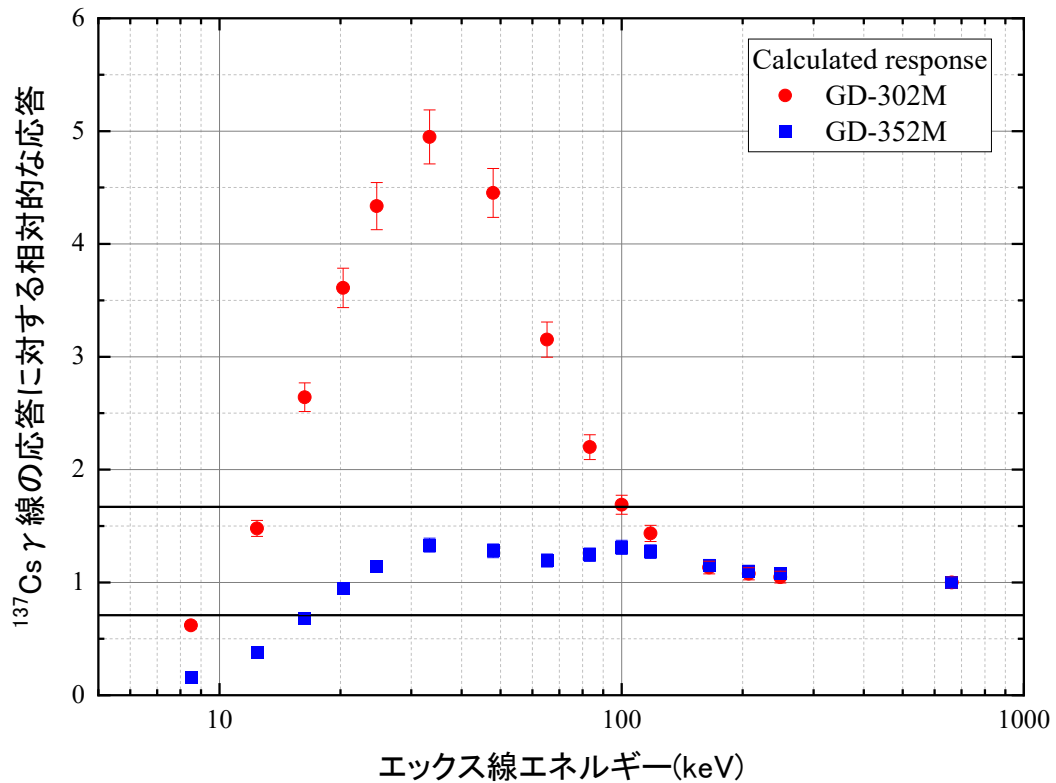


図5 本研究班で使用するガラス線量計（GD-302M及びGD-352M）の応答に関するエネルギー依存性

ン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。計算シミュレーションの結果により、評価対象としたガラス線量計のうち、GD-352M のエネルギー応答特性が、20 keV 以上から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。

ガラス線量計応答の角度依存性について、計算シミュレーション上での投与 X 線を、ISO N-series N-60 (平均エネルギー：48 keV)に固定して評価を行った。基準放射線の入射角度は0度から90度とした。0度で得られた各ガラス線量計素子のレスポンス

との相対的なレスポンスの角度依存性を図6に示す。同図に示す通り、計算シミュレーションで得られた線量計応答は広い角度範囲で平坦であり、-90度から90度の評価した全範囲で IEC 規格が示す 0.71~1.67 の基準内に十分に収まっていることが明らかとなった。

D. 考察

本研究で得られた結果から以下の課題に従って考察を進めた。

(1) ガラス線量計応答のエネルギー依存性について

ここでは、前項で得られたが楽線量計素子のエネルギー依存に関する考察をすすめ

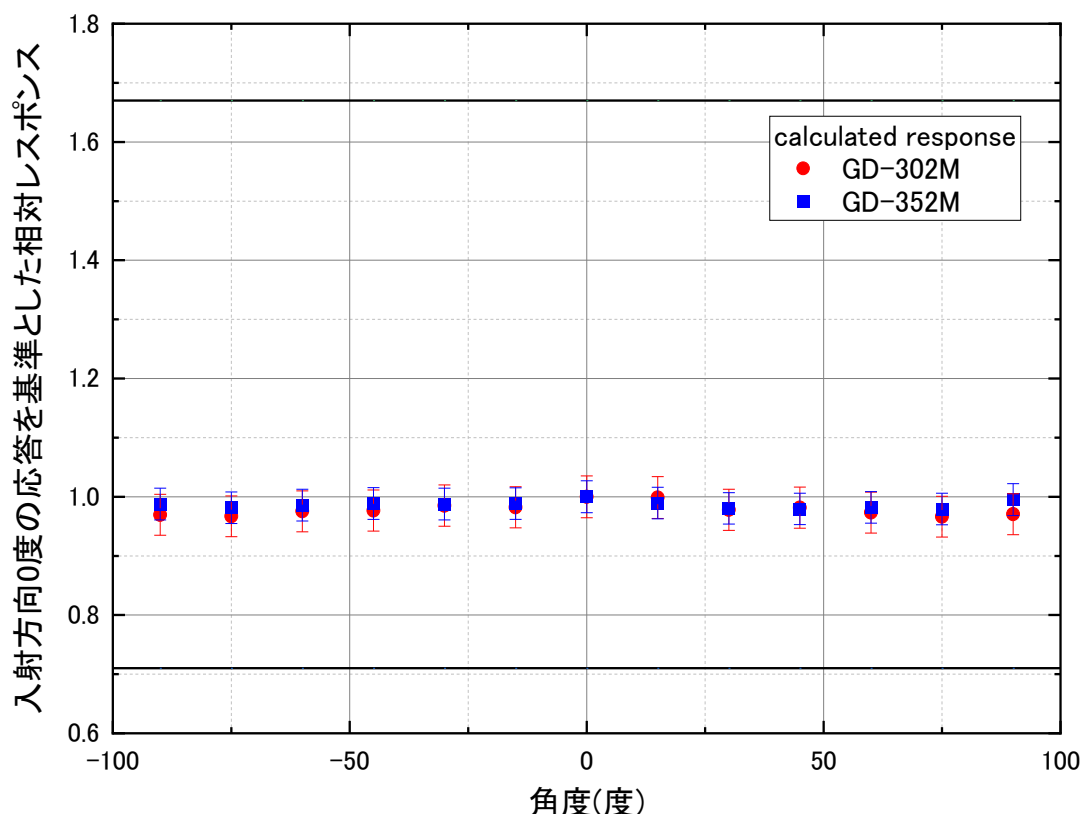


図6 本研究班で使用するガラス線量計 (GD-302M 及び GD-352M) の応答における角度依存性。基準放射線は ISO narrow series N-60 を選択した。

る。本研究班で検討を進めた2種類のガラス線量計素子には、図7に示す通り線量計素子からの読み出し値の入射エックス線エネルギーに対する変化を低減させるためのエネルギー補償フィルターを有しているかどうかの違いがある。図7に示す通り、ガラス線量計の線量読み出し領域を挟んで左右にスズ製のフィルターが装着されているGD-352Mとフィルターが装着されていないGD-302Mで応答のエネルギー依存性に大きな違いが生じた。同文献[9]におけるSilvaらの評価は、本ガラス線量計素子を眼の水晶体等価線量追加モニタリングに適応可能か検討したものであるが、同評価においても全く同じ傾向が生じている（図8参照）。本件研究で実施した計算シミュレーションによる評価の妥当性を示すものといえる。

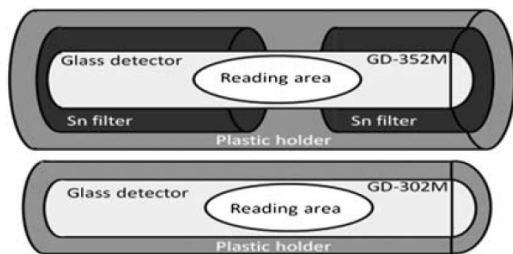


Figure 1. Design of GD-352M and GD-302M.

図7 本調査で使用したガラス線量計素子の断面図（模式図。文献[9] Figure 1より引用）

図5及び図8に示す通り、エネルギー補償フィルターを有しないGD-302Mの応答は、20 keV～100 keVで1を大きく越える。これは、入射エックス線に対しガラス線量計読み出し値が数倍になることを示しており、ガラス線量計素子に補正係数を導入せずに放射線作業の現場でそのまま使用

した場合には、照射業務従事者の被ばく線量を過大に評価することを示唆する。このような応答を有する線量計を追加モニタリングに使用しても、被ばく線量が線量限度を大きく下回る場合には放射線防護上の齟齬は生じない。しかしながら、計画被ばく状況における職業被ばくの年間線量限度近傍（年間 500 mSv）まで被ばく線量が到達するような場合、過大評価は防護の観点では有益であるが、対象となる医療従事者の年間の施術数を大きく制限することにつながる。この点を考慮すると、GD-302Mを手指等末端部等価線量の追加モニタリング用線量計としてそのまま使用する場合には、使用範囲や用例について十分検討する必要がある。一方のGD-352Mの線量計応答は、20 keV以上から¹³⁷Cs線源からのγ線のエネルギーまで幅広い範囲でIEC規格の定める基準内に入っている。この点から、20 keV以下の低エネルギー領域のエックス線による被ばくが顕著になる放射線作業でない限りは、GD-352Mを使用の方が適切である。

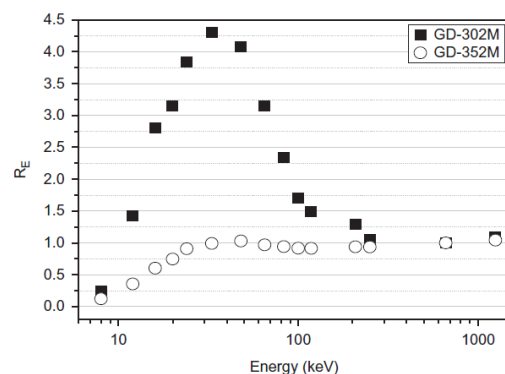


図8 本調査で使用したガラス線量計素子の応答に関するエネルギー依存性（文献[9] Figure 4より引用）。図は、当該ガラス線量計素子を眼の水晶体等価線量モニタリングに使用する場合の応答特性を示す。

GD-352M を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おいても、適切な校正定数を導出して使用されなければならない。校正定数は、
 末端部等価線量(70 μ m 線量当量)[Sv] =
 ガラス線量計指示値[Gy] × 校正定数

となり、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、使用状況の実態に合わせて適切な校正定数を導出する必要がある。

(2) ガラス線量計応答の向上に係る検討
 ここでは、(1)で示したガラス線量計応答のエネルギー依存性評価の結果を受けて、ガラス線量計指示の精度向上に資することを目的として、線量計応答の向上に関する検討を進める。上述のとおり、GD-302M 及び GD-352M の違いは、エネルギー補償フィルター装着の有無であり、エネルギー補償フィルターが線量計応答に大きな役割を果たしていることが本研究においても証明できた。そこで、本項ではエネルギー補償フィルターがない状態の GD-302M について、適切なエネルギー補償フィルターを施すことで当該線量計の応答がどの程度改善できるかについて検討を進めた。図9では、エネルギー補償フィルターが装着されたガラス線量計素子である GD-352M の断面図を示す。ガラス線量計素子は図2及び図3に示す通り円筒形であり、エネルギー補償フィルターも中空の円筒形構造である。図9に示す通り、ガラス線量計素子の中央部に設けられた線量計読み出し部を避ける形で、ガラス線量計素子本体左右部分に設置されている。GD-352M はエネルギー補償フィル

ターの材質にスズが選択されている。線量計応答改善にあたり、1) 20 keV ~ 300 keV のエックス線に対し、線量計応答が IEC 規格で示す基準値である 0.71 ~ 1.67 に入るようにする、2) エネルギー補償フィルター装着による遮へいの効果でエックス線に対するガラス線量計の感度を低減させないようにする、を目標とした。

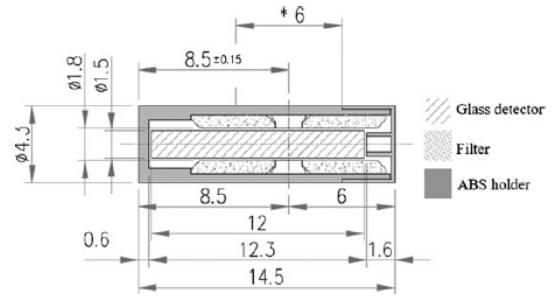


Figure A.1. Dimensions of GD-352M, in mm⁽³³⁾.

図9 本調査で使用したガラス線量計素子の断面図 (模式図。文献[10] Figure A.1 より引用)

本研究では、エネルギー補償フィルターにアルミニウム及び銅を選択し、ガラス線量計素子 GD-302M に装着する形 (図10参照) で計算シミュレーション体系内に導入し、線量計応答のエネルギー依存性について評価を行った。

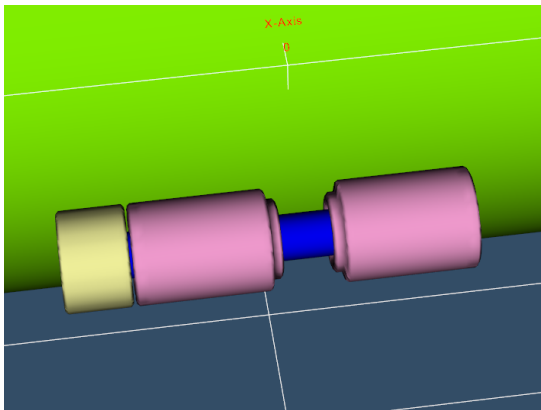


図 1 0 ガラス線量計素子 GD-302M に銅フィルターを導入した計算体系（薄桃色の部分：銅製フィルター、青色の部分：ガラス線量計素子本体）

図 1 1 では本研究班で使用するガラス線量計 GD-302M に種々のエネルギー補償フ

ィルターを装着した場合の線量計応答の変化を示す。図に示す通り、エネルギー補償フィルターに使用する材質を変化させることで、線量計応答のエネルギー依存性が変化することが確認できた。エネルギー補償フィルターが無い場合に得られた線量計応答に対し、エネルギー補償フィルターがアルミニウムの場合、10 keV から 20 keV の領域で応答が半分以下に低下した一方で、40 keV 以上からは線量計応答に大きな差は見られず、80 keV より高いエネルギーのエクソ線に対しては、線量計応答はほぼ一致している。 ^{137}Cs γ 線を得られた応答に対する相対的な応答は、フィルター無及びアルミニウム製エネルギー補償フィルター装着時いずれも入射エクソ線のエネルギー 32

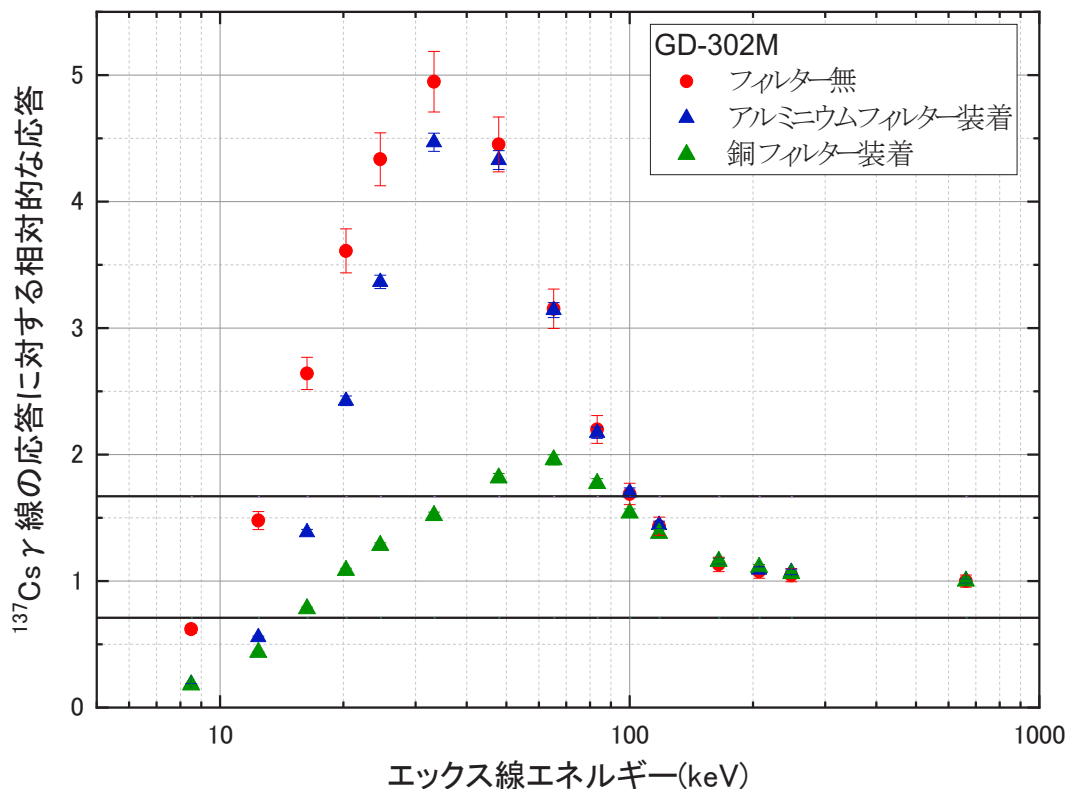


図 1 1 本研究班で使用するガラス線量計 GD-302M に種々のエネルギー補償フィルターを装着した場合の線量計応答の変化。

keV に最大値が得られており、それぞれ 4.9 及び 4.5 であった。アルミニウム製エネルギー補償フィルターをガラス線量計素子に装着しても、線量計応答の大幅な改善は見込めない。一方、エネルギー補償フィルターに銅を利用した場合の計算シミュレーションの結果では、10 keV～60 keV までのエックス線エネルギー範囲で線量計応答が提言しており、IEC 規格の示す基準値 (0.71 ~ 1.67) の範囲に入るようになった。100 keV より高いエネルギーでは、線量計応答についてフィルター無の状態で作られた結果と大きな差がないことが確認できた。表 1 では、線量計応答評価の基礎となる、単位エックス線あたりのガラス線量計素子の吸収線量の違いについて示している。この値がエックス線に対する感度として評価されるべきものである。エネルギー補償フィルターの装着は、フィルター自身がエックス線に対する遮へいとして機能することからエックス線に対する感度を低減させると同時に、フィルター装着によりエックス線を検出する領域であるガラス線量計への二次電子平衡条件を達成させるための平衡体として機能する場合には、エックス線に対する感度を向上させる。入射エックス線エネルギーが低い場合、フィルターの密度が大きくなるに従い (フィルター無の場合は空気また

はプラスチック容器、アルミニウム、及び銅)、ガラス線量計への吸収線量は減少したが、エネルギーが高い場合(100 keV)には、アルミニウムフィルター装着の場合に得られた吸収線量が最も大きくなり、銅フィルターとフィルター無の場合に得られた単位エックス線あたりの吸収線量を比較すると、銅フィルター装着の場合には約 8%低減した。銅フィルターを装着したガラス線量計素子の線量計応答は、フィルター無の GD-302M と比較して、図 1 1 に示す通り、低エネルギーエックス線領域で大幅な線量計応答の改善が見込まれる一方で、エックス線に対する感度自体は大きく損なわれないことが明らかとなった。

E. 結論及び今後の課題

令和 3 年度の研究では末端部線量計に関する国際規格について調査すると同時に、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、手指等末端部の追加モニタリングに適した線量計としての利用が可能か検討を進めた。本研究班で使用し及び使用を計画しているガラス線量計素子 2 種類 (GD-302M 及び GD-352M) について、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。線量計応

表 1 各フィルター条件でのガラス線量計素子の吸収線量の違い

単位：入射エックス線あたりの吸収線量(Gy source⁻¹)

線質 (平均エネルギー)	フィルター無	アルミニウム	銅
N-40 (33.3 keV)	3.52×10^{-14}	3.19×10^{-14}	1.12×10^{-14}
N-120 (100 keV)	8.04×10^{-15}	8.86×10^{-15}	7.46×10^{-15}

答に関するエネルギー依存性及び角度依存性について、計算シミュレーションを用いて評価を進めた。計算シミュレーションの結果により、評価対象としたガラス線量計のうち、GD-352Mのエネルギー応答特性が、20 keV以上から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。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て高感度であるものの、線量に対しを過大に応答することが明らかとなった。

本研究課題は今年度から開始されたが、事業期間3か年における今後の課題として次のようなことが挙げられる。

本研究班で使用するガラス線量計の読み出し装置の主たる用途は、患者の医療被ばくモニタリングである。そのため、線量計読み出し装置校正に用いられる標準ガラス線量計は、 ^{137}Cs の662 keVによる基準照射が実施されている。線量の基準となる標準ガラス線量計素子の照射条件は、フリーエア照射であり、この照射条件では、ガラス線量計の読出しの結果求められる線量は、空気等価吸収線量(Gy)となる。厳密には空気カーマというべきであるが、比較的エネルギーの低いX線の場合、測定に供される場でも二次電子平衡が成立するため、空気等価吸収線量と実質的に同等である。いずれにせよ、この単位で測定されることとなるため、放射線場の吸収線量を評価したことになり、個人線量当量を測定したことにならない。一方で、医療従事者の手指等末端部の追加モニタリングを検討する場合、本研

究班では医療従事者の手指等の周辺にガラス線量計素子を装着して、当該部位の被ばく線量を評価することとなる。この場合、ガラス線量計素子はフリーエア状態で散乱エックス線にばく露されることにはならず、測定対象となる医療従事者の指等から散乱するX線を加味した校正定数が与えられなければならない。ISO4037-3:2019においても手指等末端部モニタリングに供される個人線量計は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)を用いて校正することが求められている。これは、被校正物である個人線量計に対して、人体各部からの後方散乱成分の入射を加味した応答から校正定数は評価されるべきである、という考えに立脚したものである。ガラス線量計素子に対する校正定数は、線量計読み出し装置校正用基準ガラス線量計を介することにより、以下の式で導出可能である。

$$70\mu\text{m 線量当量(皮ふ等価線量に相当)}[\text{Sv}] = \text{蛍光ガラス線量計指示値} [\text{Gy}] \times \frac{137\text{Cs の基準線量Hp}(0.07) [\text{Sv}]}{\text{基準照射時の指示値} [\text{Gy}]} \times 137\text{Cs に対するあるエックス線線質の相対的な校正定数}$$

被ばく線量が比較的大きな集団であるIVR術者が受けるX線のエネルギー範囲は、20～100 keVとの報告があり、さらに研究分担者が以前報告した散乱X線成分のスペクトル測定で得られた結果から考慮した場合、20 keVから100 keVまでの散乱X線エネルギーに対して最大の校正定数となるような校正定数を取ること、適切な線量評価値を与えることことが可能となる。

F. 健康危機情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

M. Kowatari, H. Yoshitomi, K. Nagamoto, K. Nakagami, T. Moritake, N. Kunugita, “Investigation on applicability of small radiophotoluminescence dosimeter to extremity dose monitoring for medical personnel”

Poster presentation. International Conference on Individual Monitoring of Ionising Radiation (IM2022) and Neutron and Ion Dosimetry Symposium (NEUDOS-14) (2022)

H. 知的財産権の出版・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

I. 引用文献

[1] <https://www.c-technol.co.jp/cms/wp-content/uploads/2020/03/Dose-Ace.pdf> accessed on 18th February 2022.

[2] Nagamoto, K. et al., “A multicenter study of radiation doses to the eye lenses of clinical physicians performing radiology procedures in Japan”, J

Occup Health. 2021;63:e12305.

[3] 長瀬ランダウア株式会社,

[https://www.nagase-](https://www.nagase-landauer.co.jp/luminess/ring-badge.html)

[\[badge.html\]\(https://www.nagase-landauer.co.jp/luminess/ring-badge.html\) Available on 2nd March 2022.](https://www.nagase-landauer.co.jp/luminess/ring-</p></div><div data-bbox=)

[4] Domienik, J. et al., “A study on the dose distributions near the eye lens and the legs. Part 2 - Interventional radiology”, Radiation Measurements 51-52 (2013) 62 - 66.

[5] 千代田テクノル株式会社, ガラスバッジサービス取扱説明書

[https://www.c-](https://www.c-technol.co.jp/monitoring/pdf/pdf_all.pdf)

[technol.co.jp/monitoring/pdf/pdf_all.pdf](https://www.c-technol.co.jp/monitoring/pdf/pdf_all.pdf)

f Available on 2nd March 2022.

[6] ED3 Extremity Dosimeter

[https://www.rotundascitech.com/products](https://www.rotundascitech.com/products/ed3-extremity-dosimeter)

[/ed3-extremity-dosimeter](https://www.rotundascitech.com/products/ed3-extremity-dosimeter) Available on

22nd February 2022.

[7] Kowatari, M. et al., “APPLICABILITY OF A COMMERCIALY AVAILABLE ACTIVE EXTREMITY DOSE-RATE METER TO EYE LENS DOSE MONITORING”, Radiation Protection Dosimetry, Volume 192, Issue 4, December 2020, Pages 460–472, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncab009>

[8] 千代田テクノル株式会社 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-](https://www.c-technol.co.jp/cms/wp-content/uploads/2014/11/e-)

[content/uploads/2014/11/e-](https://www.c-technol.co.jp/cms/wp-content/uploads/2014/11/e-)

[dose_ace.pdf](#) Available on 22nd
February 2022.

- [9] Silva E. H, et al., “ENERGY AND ANGULAR DEPENDENCE OF RADIOPHOTOLUMINESCENT GLASS DOSEMETERS FOR EYE LENS DOSIMETRY.” *Radiat Prot Dosimetry*, 170:1–4, 208–212 (2016).
- [10] Silva E. H,, “OPTIMIZATION OF A RADIOPHOTOLUMINESCENT GLASS DOSEMETER FOR OCCUPATIONAL EYE LENS DOSIMETRY IN INTERVENTIONAL RADIOLOGY/CARDIOLOGY.” *Radiat Prot Dosimetry* 182: 2, 177-183 (2018).

参考資料

- ・ 簡易版放射線防護マネジメントシステム
- ・ 栗山知子 修士論文
- ・ 中上晃一 博士論文

簡易版・放射線防護マネジメントシステム マニュアル

このマニュアルは、「個人線量計の装着」と「線量限度を超えない被ばく」という法令を順守するためのマニュアルで、大きな PDCA と小さな PDCA を回すことを念頭に置いています。すなわち、『法令順守を継続的に行う組織』作りのためのマニュアルです。まずは、「簡易版・放射線防護マネジメントシステムマニュアル」にそって取り組み、その後「完全版・マネジメントシステムマニュアル」に取り組むことで、『法令順守と可能な限りの被ばく低減を行う組織』となります。

1. 基本事項

1.1 目的

本放射線防護マネジメントシステムは、〇〇病院・病院長が定めた放射線防護に関する基本方針に基づき、〇〇病院において働く人の放射線被ばくによる健康障害リスクの低減を図るために、放射線防護マネジメントシステムを文書化したものである。

1.2 リーダーシップ

〇〇病院・病院長は、以下の事項によって、本システムの目的を確実に果たすために、運用にかかるリーダーシップを発揮する。

- (1) 働く人の放射線被ばくを低減し、健康障害を防止することに対する全体的な責任及び説明責任を果たす。
- (2) 放射線防護に関する基本方針を達成するために、定期的なレビューを行うことによってシステムの状況や有効性を評価し、継続的改善を促進する。

1.3 放射線防護に関する基本方針

1.3.1 基本方針

〇〇病院は、病院内のすべての働く人の放射線被ばくについて、法定の線量限度を厳守する。この目的を達成するために、関連法令（個人線量計の装着等）を確実に順守するとともに、法令の規定がない場合でも適正な基準を適用する。

1.4 文書化と周知

職員放射線防護方針は、施設内に掲示するほか、教育研修の機会他、様々な機会を利用して関係職員に周知する。

1.5 組織の役割、責任及び権限

病院長は、組織・役割・責任の権限を定める。

1.5.1 組織と推進体制

放射線防護に関する基本方針及び本マネジメントシステムが意図した成果を達成するために、病院長をトップマネジメントとする放射線防護マネジメントシステムを、以下の基本体系にて推進する。

1.5.2 組織

(1) 放射線防護検討委員会

「放射線防護検討委員会運営要領」(要領 1-5-1)を定め、病院長の諮問委員会として1年に1回以上開催する。本システムの技術的な事項、計画および予算・目標等の検討を行う。検討を行った事項は、病院安全衛生委員会に報告する。

1.5.3 役割、責任及び権限

(1) システム責任者(病院長)

本システムの方針を明確にし、システム責任者として方針達成のためのリーダーシップを発揮する。システムの確実な運営のために必要な人的・経済的な資源を確保する。改善計画の策定を行う。

(2) システム管理者(放射線部技師長)

関係法令を理解し、法令遵守の為にシステムを運用する。個人線量計の装着状況や被ばく線量などを収集評価し具体的なシステム改善の為に指示を行う。

(3) 実務担当者

システムの実務を担当する。業務を以下に示す。

- ① 評価結果をレビューし、具体的な改善を行う。
- ② 本システムの記録を行う。計画の実施状況・評価結果・改善等の記録を行う。
- ③ 適用法令およびその他の要求事項の順守状況の確認

(4) 放射線診療に関わる職員(放射線業務従事者)

放射線防護に関わるルールを順守し、業務上の日常点検を行いリスク軽減に努め、放射線被ばくから自らを守るための行動を取る。そのために必要な教育研修および法令上求められている特殊健康診断を確実に受ける。

1.6 働く人の参加

システム責任者及びシステム管理者は、放射線業務従事者の放射線防護に関する意見を聴取するよう努める。

2. 計画

2.1 危険源の特定並びにリスクアセスメント

2.1.1 危険源の特定

システム責任者は、放射線被ばくに係るすべての危険源を特定し、文書化する。

2.1.2 リスクアセスメント

システム責任者は、特定された危険源に対して、「放射線防護リスクアセスメント実施要領」(要領 2-1-1) 3つの視点でリスクアセスメントを行なった後、前年度の被ばく線量実績を勘案して、総合リスクを決定する。リスクは、年 1 回以上見直される。以下の 4 つの視点でリスクアセスメント手法によって導き出されるリスクに応じて、リスク管理方法を明確化する。

(1) 放射線照射機器のリスクアセスメント

放射線照射機器ごとに、術者等の想定される被ばく量を評価しリスクを推定する。

(2) 診療行為のリスクアセスメント

診療行為ごとに、想定される被ばく量を評価しリスクを推定する。

(3) 職員のリスクアセスメント

放射線管理区域で作業を行うすべての職員について、想定される被ばく量を評価しリスクを推定する。

(4) 前年度の被ばく線量実績による調整

前年度の被ばく線量実績をもとに、想定される被ばく量を推定しリスクを推定する。

2.2 法的要求事項及びその他の要求事項

2.2.1 法的要求事項の決定

システム責任者は、以下の事項を規定した法的要求事項実施要領(要領 2-1-2)に基づき、放射線防護に関する要求事項を遵守する。

本システムに関連した順守すべき法令は、以下の通りである。これらの法的要求事項を適用法令リスト(基準 2-1-1)としてリストアップし、関係法令順守チェックリスト(様式 2-1-1)等を活用して順守を図る。

- ① 労働安全衛生法
- ② 電離放射線障害防止規則
- ③ 医療法施行規則

2.2.2 総合リスク毎に要求される対策

システム責任者は、本システムで組織および関係者が順守すべき要求事項として、総合リスク防護管理基準(基準 2-1-2)を定める。

2.3 取組みの計画策定

システム責任者は、下記の事項について取組み計画を策定する。

- ① 2.1 で特定した危険源の特定並びにリスクへの取組み
- ② 2.2で特定した法的要求事項及びその他の要求事項への取組み

計画には、月ごとに実施事項を定めた「年間計画」を作成する。

2.3.1 年間計画

実務担当者は、本システムを運用するために必要な年間計画の原案を、年間計画表（様式 2-1-2）を用いて作成し、責任者と協議の上決定する。

年間計画には、以下の事項を含まなければならない。

- ① 放射線防護検討委員会の開催
- ② 放射線防護教育
- ③ 年間計画および年間目標の策定
- ④ 法令およびルール・基準の順守状況の評価
- ⑤ 計画の進捗状況の確認
- ⑥ 目標の評価

2.3.2 リスク等管理計画

リスク評価の結果、速やかに改善が必要と判断された場合、担当者はリスク等管理計画表（様式 2-1-3）に基づき改善計画を策定する。

2.4 年間目標及びそれを達成するための計画策定

2.4.1 年間目標の策定

実務担当者は、本システムの有効性を確認するために必要な年間目標の原案を、年間目標表（様式 2-2-1）を用いて作成し、システム管理者に提出し承認する。年間目標には、基本方針に示された以下の項目についての達成状況を確認するための指標を含む。

- ① 法定の線量限度の順守状況
- ② 関連法令の順守状況
- ③ 個人線量計装着状況

2.4.2 年間目標を達成するための取組みの計画策定

年間目標を達成するために、年間計画と同じ手順で、目標達成プログラム計画（様式 2-2-2）を策定し、実施し、維持する。必要な場合には、「年間計画表」および「リスク等管理計画表」を利用する。

「目標達成プログラム計画」には、下記事項を含める。

- ① プログラムの構造等の具体的な内容を含む実施事項

- ② 必要な資源
- ③ 目標を達成するための責任者
- ④ 目標の達成期限
- ⑤ 目標の達成に向けた進捗をモニタリングするための測定可能な指標を含む、結果の評価方法（目標の進捗管理と結果の評価）

システム責任者は、年間目標及びそれらを達成するための計画に関する文書化した情報を維持し、保持する。

3. 支援

3.1 資源

システム責任者は、本マネジメントシステムの確立、実施、維持及び継続的改善に必要な資源を決定し、提供する。

3.2 力量

3.2.1 教育・訓練の実施

電離放射線障害防止規則で定める放射線業務従事者（医師、歯科医師、看護師、診療放射線技師、臨床工学士、薬剤師）等、雇入れ時及び定期的に、教育訓練実施要領（要領 3-2-1）に基づき、放射線従事者講習会等の必要な教育・訓練を実施する。教育・訓練の内容を記録し保管する。

3.3 文書の管理

3.3.1 文書体系

本システムの運用においては、以下の下位文書をシステムの一部として利用する。

要 領	基 準	様 式
1. 基本事項		
放射線防護検討委員会運営要領（要領1-5-1）		
2. 計画		
放射線被ばくリスクアセスメント実施要領（要領2-1-1）		
法的要求事項実施要領（要領2-1-2）	適用法令リスト（基準2-1-1）	関係法令順守チェックリスト（様式2-1-1）
	総合リスク防護管理基準（基準2-1-2）	年間計画表（様式2-1-2）
		リスク等管理計画表（様式2-1-3）
		年間目標表（様式2-2-1）
		目標達成プログラム計画（様式2-2-2）
3. 支援		
教育訓練実施要領（要領3-2-1）		
4. 運用		
個人線量計着用状況及び個人保護具着用状況確認実施要領（要領4-1-1）		
変更の管理実施要領（要領4-1-2）		
5. パフォーマンス評価		

自主点検実施要領 (要領 5-3-1)		自主点検報告書 (様式 5-3-1)
6. 改善		
インシデント及び不適合発生時対応要領 (要領 6-1-1)		

3.3.2 情報の文書化

3.3.2.1 文書化される情報

本システムに基づく活動で生じる情報は、各実施要領等に基づき、文書化され、管理される。本システムで管理される情報の代表例として、以下のとおり列挙する。

- ① 放射線防護検討委員会の議事録
- ② 教育内容および受講者
- ③ 職員への周知内容
- ④ リスクアセスメント結果
- ⑤ 個人線量計の装着調査
- ⑥ 個人線量計でのモニタリング結果
- ⑦ 年間目標の評価結果
- ⑧ 適用法令およびその他の要求事項の順守状況の確認結果

3.3.2.2 文書化された情報の管理

本システムの関わる文書化された情報は、以下の事項に配慮して適切に維持・管理する。

- ① 文書化した情報が、必要なときに、必要なところで、入手可能か利用に適した状態にする。
- ② 文書化した情報を十分に保護する（例：機密性の喪失、不適切な使用及び完全性の喪失からの保護）。
- ③ 特種健康診断の結果等、個人のプライバシーに係る記録については、健康診断実施細則第 12 条に基づき管理する。
- ④ 文書化した情報の管理者を明確にして、法令の規定に基づく期間または法令の規定がない場合には 3 年間、保管する。

4. 運用

4.1 運用の計画及び管理

4.1.1 個人線量計および個人保護具の装着

システム責任者は、個人線量計装着および個人保護具の着用については、「個人線量計装着状況及び個人保護具着用状況確認実施要領」（要領 4-1-1）を用いて確実化する。

4.1.2 リスク管理方法の実施

システム責任者は、リスクに応じた管理方法、その他の総合リスク防護管理基準（基準 2-1-2）を定められた事項の実施を確実化する。

4.1.3 職場巡視

労働安全衛生法に基づく産業医および衛生管理者の職場巡視の機会を有効に活用して、リスク状況や管理状況の確認を行い、本システムの目的を果たす上での課題を明確にする。

4.1.4 変更の管理

人員や機器・作業の変更がある場合には、リスクアセスメントを行いそのリスクに応じて被ばく低減策を講じる。

4.2 緊急事態及び法令を超える被ばくを認めた場合の対応

5年で 100mSv を超える被ばくが想定される場合、もしくは年間 50mSv を超える場合を想定し、必要な対応を行う。救急処置の用意を含めた緊急事態や法令を超える被ばくへの計画的な対応を確立する。

緊急事態及び法令を超える被ばくへの計画的な対応について、年間計画に盛り込み教育訓練を提供する。

5. パフォーマンス評価

5.1 年間計画及びリスク等管理計画の実施状況

年間計画の進捗は、必要に応じて計画の見直し等の対応がされる。また、システム責任者は、年度末に進捗状況が評価する。

5.2 年間目標の達成状況

システム責任者は、半年後および1年後の年間目標の達成状況を確認する。

5.3 法令およびその他の要求事項の順守状況

システム責任者は、1年に1回、法令およびリスク管理基準の順守状況を確認する。

5.4 自主点検

5.4.1 自主点検の実施

5.4.1.1 自主点検の実施

システム責任者は、本システムの適切性、妥当性及び有効性を評価するために、自主点検実施要領（要領5-3-1）に則り、放射線防護検討委員会において年に1回以上自主点検を実施する。

5.4.1.2 自主点検報告書

自主点検報告書（様式5-3-1）を作成する。システム責任者の署名によって、自主点検報告書は完成する。

5.4.2 自主点検結果の報告と共有

自主点検報告書は、病院安全衛生委員会に報告される。また、働く人及びその他の関係する利害関係者にも公表する。

6. 改善

6.1 インシデント、不適合及び是正処置

6.1.1 インシデント及び不適合の内容

システム責任者は、以下の事項を含むインシデント及び不適合の範囲を決定する。

- ① 短期間の高線量被ばく及び線量限度を超える被ばく
- ② 法定要求事項の非順守
- ③ その他、システム責任者が必要と認めた事態

6.1.2 原因分析及び再発防止策の実施

6.1.2.1 原因分析及び再発防止策の検討

インシデント及び不適合が発生した際には、インシデント及び不適合発生時対応要領（要領 6-1-1）に基づき、実務担当者にその結果を報告する。実務担当者は結果を放射線防護検討委員会に報告する。

6.1.2.2 再発防止策の決定と実施

システム責任者は、放射線防護検討委員会での検討および審議を経て、再発防止策を決定する。決定された再発防止策は、緊急度や内容に応じて、年間計画に盛り込み実施する。

6.1.3 原因及び再発防止策の周知

インシデント及び不適合の原因および再発防止策については、文書化し、働く人に周知する。

6.2 継続的改善

6.2.1 継続的改善のための取組

システム責任者は、以下の事項における取組みを通じて、放射線防護マネジメントシステムの適切性、妥当性及び有効性を、継続的に改善する。

- ① 放射線防護の取組みのパフォーマンスを向上させる
- ② 放射線防護の取組みを支援する文化を推進する
- ③ 放射線防護マネジメントシステムの継続的改善の対策の実施に働く人の参加を推進する
- ④ 継続的改善の関連する結果を働く人及び労働組合に伝達する
- ⑤ 継続的改善の証拠として、文書化した情報を維持し、保持する

6.2.2 継続的改善のための計画

システム責任者は、年間計画の進捗、パフォーマンス評価の結果、法令およびその他の要求事項の順守評価の結果、自主点検結果、インシデント及び不適合の発生と対策の進捗等を確認して、継続的な改善のために必要な措置についてシステム管理者に指示する。

システム管理者は、病院長の指示を受けて、必要なシステム上の改善策を立案して、各種計画に盛り込み実施する。

要領 1-5-1

放射線防護検討委員会運営要領

制定日： 年 月 日

放射線防護検討委員会 編

担当者：放射線防護検討委員会

1. 目的

本要領は、放射線防護マネジメントシステムに準拠し、放射線防護検討委員会を運営する為の具体的内容を示す事を目的とする。

2. 組織

- 1) 放射線防護検討委員会は、放射線防護検討委員会事務局を置く。
- 2) 放射線防護検討委員会は次の各号に掲げる委員をもって組織する。
 - ① システム責任者
 - ② システム管理者
 - ③ 実務担当者
- 3) 放射線防護検討委員会事務局は次に掲げる委員をもって組織する。
 - ① システム管理者
 - ② 実務担当者
 - ③ 事務員 1 名
- 4) 放射線防護検討委員会の委員長はシステム責任者とする。
- 5) 委員長（部会長）が職務を遂行できない場合は、あらかじめ委員長（部会長）が指名した委員がその職務を代行する。

3. 審議事項

放射線防護検討委員会は、次に掲げる事項を審議する。

- ① 全ての放射線業務従事者の個人線量
- ② リスクアセスメント実施状況
- ③ 放射線業務従事者と放射線部安全衛生推進者に対する訓練・講習・教育の実施状況
- ④ 総合リスク防護管理基準の順守状況（個人線量計、個人保護具の装着状況）
- ⑤ 次年度の年間計画案と今年度の年間計画実施状況
- ⑥ 予算（防護具、防護設備 等）に関すること

4. 会議

1) 放射線防護検討委員会

- ① 委員長は、委員会を招集し、その議長となる。
- ② 委員会は委員の2分の1以上の出席により成立する。
- ③ 委員会の議事は、出席委員の過半数をもって決し、可否同数は議長が決定するところによる。
- ④ 委員会は原則として年1回以上開催する。
- ⑤ 委員長は、必要に応じ、委員以外の者の出席を求め意見を聞くことができる。

5. 庶務

放射線防護検討委員会及の庶務は、放射線防護検討委員会事務局において処理する。

要領 2-1-1

放射線被ばくリスクアセスメント実施要領

改定日： 年 月 日

放射線防護検討委員会 編

担当者：放射線防護検討委員会

1. 目的

本実施要領は、放射線防護マネジメントシステムに準拠し、各個人に存在するリスクを評価し、リスクに応じて個人線量計の装着や個人防護対策を実行し、関係者に周知させることを通して、労働による傷病や損害の発生を防止する。

2. 対象

放射線業務従事者全員とする。

3. 実施者・実施方法

(1) 実施者

放射線防護マネジメントシステムに則り、実務担当者を中心に実施する。

(2) 実施時期

最低年に1回以上計画のうえ実施する。

(3) 情報収集

放射線被ばくリスクアセスメントを行うための情報は、放射線業務従事者から収集する。そして、放射線照射機器及び診療行為のリスクアセスメントについては主任診療放射線技師が放射線防護検討委員会事務局に報告する。職員のリスクアセスメントについてはRISデータ（昨年度）を用いる。

(4) 実施方法

「放射線被ばくリスクアセスメントチェックシート」に記載・列挙されている箇所につき、放射線部安全衛生推進者が記入する。

a. ステップ1：放射線照射機器のリスクアセスメント

放射線照射機器から照射されるX線等の照射線量でリスク分類を行う。下記を参照しリスクを決定する。ただし、機器に工学的対策（防護板、防護クロス等）がなされている場合リスクを1つ減らす。また、放射線診断用の核医学装置などの体内のX線量を体外から測定する場合はリスク2とする。

リスク 1：放射線照射機器から照射される X 線の照射線量が少ない装置かつ X 線透視を行なわない装置

- ① X 線装置、移動型 X 線装置
- ② 骨密度装置
- ③ 歯科用 X 線装置
- ④ 乳房用 X 線装置

リスク 2：放射線照射機器から照射される X 線の照射線量が少ない装置かつ X 線透視を行なう装置

- ① 移動型透視装置
- ② 核医学装置（SPECT 装置、PET-CT 装置）

リスク 3：放射線照射機器から照射される X 線の照射線量が多い装置かつ X 線透視を行なう装置

- ① 設置型透視装置
- ② 血管造影装置

リスク 4：放射線照射機器から照射される X 線の照射線量が非常に多い装置

- ① 放射線治療装置
- ② CT 装置

b. ステップ 2：診療行為のリスクアセスメント

「放射線被ばくリスクアセスメントチェックシート」に記載・列挙されている箇所につき、放射線部安全衛生推進者が記入する。散乱体と術者までの距離でリスク分類を行う。下記を参照しリスクを決定する。ただし、リスクアセスメント対象行為は、1 回の診療行為の中で、最も時間を有している行為である。

リスク 1：距離が遠い診療行為（200cm 以上もしくは管理区域外から操作）

- ① 診療放射線技師や看護師の作業など

リスク 2：距離が近い診療行為（100 - 200cm）

- ① 見学者や記録者など
- ② 血管内超音波装置などの操作する者など

リスク 3：距離がやや近い診療行為（50 - 100cm）

- ① 患者介助全般など
- ② IVR 全般など

リスク 4：距離が非常に近い診療行為（50cm 未満）

- ① 透視検査全般など

c. ステップ 3：職員のリスクアセスメント

「放射線被ばくリスクアセスメントチェックシート」に記載・列挙されている箇所につき、放射線部安全衛生推進者が記入する。放射線管理区域内で作業する検査数及び放射線使用平均作業時間（平均照射時間）は、昨年度実績を用いて下記を参照しリスクを決定する。昨年度実績でも情報がない場合は、所属する部署の実績を参考にする。

リスク 1：検査数もしくは作業時間が極端に少ない。

（検査数が月平均 5 件未満、1 件あたりの撮影や透視時間 1 分未満）

リスク 2：検査数と作業時間が少ない

（検査数が月 20 件未満、1 件あたりの透視時間 15 分未満）

リスク 3：検査数が多いもしくは作業時間が長い

（検査数が月 20 件以上、もしくは 1 件あたりの透視時間 15 分以上）

リスク 4：検査数が多く、かつ作業時間が長い。

（検査数が月 20 件以上、かつ 1 件あたりの透視時間 15 分以上）

d. ステップ 4：昨年度の個人被ばく実績

「放射線被ばくリスクアセスメントチェックシート」に記載・列挙されている箇所につき、安全衛生推進者が記入する。昨年度の水晶体等価線量が 1mSv 以上ならば、総合リスク点数に 1 点加算する。

e. ステップ 5：総合リスクアセスメント

「放射線被ばくリスクアセスメントチェックシート」に記載・列挙されている箇所につき、安全衛生推進者が記入する。下記の式を参照し総合リスクを決定する。

総合リスク＝放射線照射機器のリスクアセスメント点数＋診療行為のリスクアセスメント点数＋職員のリスクアセスメント点数＋昨年度の個人被ばく実績の点数

総合リスクⅠ：リスクの合計点数が 4 点

総合リスクⅡ：リスクの合計点数が 5 - 7 点

総合リスクⅢ：リスクの合計点数が 8 -10 点

総合リスクⅣ：リスクの合計点数が 11 点以上

f. ステップ 6：総合リスクアセスメント

ただし、1 人の者が「様々な診療行為を行う事」や「様々な場所で放射線業務を行う事」が考えられる時は、想定されるだけのリスクアセスメントを行い、総合リスクが最も高いリスクアセスメントを採用する。

g. ステップ 7：総合リスクアセスメントの結果を個人に通知

5. 実施結果の評価（のこす、フィードバック、PDCA、総合リスクの点数配分）

実務担当者は、「放射線被ばくリスクアセスメントチェックシート」を記入し、放射線防護検討委員会事務局に提出する。放射線防護検討委員会は、リスクアセスメント実施結果を審議し、必要に応じて調査などを行なう。その際、リスクアセスメント、リスク等管理計画、労災事故、職場巡視などで把握したリスクや最近の知見などによる新たなリスクが、チェックリストに含まれていることを確認し、必要に応じてリストの追加・変更も行なう。自部署内でのリスク低減対策の実施結果の評価は、職場巡視（産業医、衛生管理者等）や自主的な定期活動報告、内部監査等にて確認する。

要領 2-1-2

法的要求事項実施要領

制定日： 年 月 日

放射線防護検討委員会 編

担当者：放射線防護検討委員会

1. 目的

本要領は、放射線防護マネジメントシステムに準拠し、法令の遵守状況を確認するための具体的内容を示す事を目的としている。

2. 対象

放射線防護検討委員会が管轄する施設、組織

3. 実施方法

a. 遵守状況のチェック

(1) 実務担当者は放射線関連法令が遵守されているかの評価を行う。

(2) 評価には「関係法令遵守チェックリスト」(様式 2-1-1)を用いる。列記されている事項の他に、各部署で特有の事項があれば下欄に追記する。

(3) 各部署の評価担当者は評価に際して、適宜、放射線防護検討委員会に助言、協力を求めることができる。※以下、放射線分野で適用される主な法令を参考に列挙する。

1. 法律

・労働基準法 ・労働安全衛生法 ・医療法・放射性同位元素等の規制に関する法律(放射性同位元素等規制法、RI 規制法、RI 法)

2. 政令

・労働安全衛生法施行令

3. 省令

・医療法施行規則
・労働安全衛生規則
・電離放射線障害防止規則

(4) 記載された「関係法令遵守チェックリスト」(様式 2-1-1)は放射線防護検討委員会でチェックされ、遵守がなされなかった場合、実務担当者は各部署に指導、助言

を行う。

b. 法規改正、新施行令への対応

放射線部安全衛生推進者は、関連法規/通達の改正や施行の動向等について、官報、学会誌、業界紙、その他の専門紙、官庁のホームページ等を常にモニターし、改正が必要と思われた場合は、放射線防護検討委員会で討議する。可決された場合は、逐次訂正を行う。

要領 3-2-1

教育訓練実施要領

制定日： 年 月 日

放射線防護検討委員会 編

担当者：放射線防護検討委員会

1. 目的

本実施要領は、放射線防護マネジメントシステムに準拠して、放射線業務に関する安全衛生を確保するために必要な教育、訓練を実行し、関係者に周知することを通じて、労働による傷病や損害の発生を防止することを目的とする。

2. 対象

放射線業務従事者全員とする。

3. 実施方法

3-1. 雇入れ時等の教育

a. 対象

労働安全衛生法第 60 条に定める危険有害業務従事者に該当する者。病院安全衛生委員会所轄区域としては主に、放射線発生装置、RI 機器及び RI 取扱作業者を対象とする。

b. 方法

主に以下の項目に関しては重点的に実施される事が望ましい。途中から業務従事者になった場合は随時教育を実施する。

- ・放射線防護マネジメントシステムについて
- ・個人線量計の装着について
- ・リスクアセスメントについて

3-3. 教育の計画と実施結果の保管

教育計画は、事前に広く周知し、必要な教育を受ける機会を確保する。実施した教育については、受講者へアンケート等を実施し、その効果を把握するように努める。

要領 4-1-1

個人線量計装着状況及び個人保護具着用状況確認実施要領

制定日： 年 月 日
放射線防護検討委員会 編
担当者：放射線防護検討委員会

1. 目的

本要領は、放射線防護マネジメントシステムに準拠し、リスクアセスメントで定められた個人線量計装着状況及び個人保護具の着用状況を確認する為の具体的内容を示す事を目的とする。

2. 対象

放射線防護検討委員会が管轄する施設、組織

3. 実施方法

a. 個人線量計所有状況のチェック方法

- (1) 先月の線量計が提出された場合に所有しているとみなす。
- (2) 提出が無かった従事者は、実務担当者によってリストが作成され、システム管理者へ報告される。
- (3) 提出が無かった従事者は、所属診療科長に報告される。

b. 管理状況のチェック方法

- (1) 実務担当者の職場巡視で週に1回確認される。
 - (2) 実務担当者は、適切な管理保管ができるような環境整備を行う。
- * 自宅やデスクに持っていかない状況を作る。
* 放射線管理区域の近くで管理する事が望ましい。

c. 個人線量計装着状況及び個人保護具の着用状況のチェック方法

- (1) 実務担当者の職場巡視で週に1回確認される。実務担当者によってリストが作成され、システム管理者へ報告される。装着及び着用状況が著しく悪い場合は、所属診療科長に報告される。
- (2) 各手技を実施する前に、医療チームのスタッフはお互いに個人線量計装着状況及び個人保護具の着用状況をチェックする。
- (3) 実務担当者は、総合リスクで決まった個人線量計装着状況個人線量計装着状況及び個人保護具の着用状況を確認する。

- (4) 実務担当者は、適切な個人線量計の装着個人線量計装着及び個人保護具の着用ができるような環境整備を行う。

要領 4-1-2

変更の管理実施要領

制定日： 年 月 日

放射線防護検討委員会編

担当者：放射線部安全衛生推進者

1. 目的

本実施要領は、職員の安全と健康に影響を及ぼす危険性のある変更がなされた場合に、その影響について評価を行い、適切なリスク管理ができることを目的とする。

2. 対象

放射線防護検討委員会が所轄する組織及び、部署

3. 実施方法

(1) 設備等の変更を行う際、変更に関わる診療放射線技師は変更の計画をした時点で遅滞なく設備等変更届を担当する実務担当者に提出するものとする。なお、設備等の変更とは、具体的に以下の変更を指す。

- ① 新規設備の導入および設備の改廃
- ② 新規の放射線照射機器の導入および機器の改変
- ③ 新規の医療行為の導入および改変
- ④ 本システムの運用に影響を及ぼす組織の大幅な変更

(2) 実務担当者は必要に応じて、放射線防護の専門家等の意見を求め評価を行う。変更が不適切であると判断された場合は、速やかに各部署の診療放射線技師に報告、指導を行う。

自主点検実施要領

制定日： 年 月 日

放射線防護検討委員会編

担当者： 放射線防護検討委員会委員長

1. 目的

自主点検とは、マネジメントシステムの適切性・妥当性・有効性の評価を年 1 回以上行うことであり、自主点検によって組織は継続的に改善する組織となることができる。

2. 対象

放射線防護検討委員会

3. 頻度

システム監査を年 1 回実施する。実施予定は、年間計画の中に明記される。

4. 自主点検実施者

- ・ システム責任者
- ・ システム管理者
- ・ 実務担当者

5. 実施方法

a. 実施手順

- (1) システムに関わる文書および記録の閲覧
- (2) 担当者からのヒヤリング
- (3) 事業場内の視察

b. 実施の評価

- (1) 自主点検の評価は、システムの導入状況およびシステムの有効性の両面から実施される。実施者は、「自主点検報告書」（様式 5-3-1）を取りまとめる。取りまとめにあたって、事実についての確認や改善の現実性について、自主点検報告書を作成する。
- (2) 改善が必要とされた内容について 1 ヶ月以内に対応策を策定する。対応策は、内容によっては年間計画（様式 2-1-2）に、緊急性があるものについてはリスク等管理計画（様式 2-1-3）に含められ、進捗が管理される。

6. 評価

a. マネジメントシステムの評価

マネジメントシステムを導入状況と有効性の 2 面で評価する。「自主点検報告書」(様式 5-3-1) の評価点欄に 1~4 を記入する。

・ 導入状況の評価

- 1 マネジメントシステムの導入段階である。
- 2 マネジメントシステム導入が行われたが、安全衛生対策実行上、大きな課題が存在する。
- 3 マネジメントシステム導入の結果、大きな課題が存在しないが、小さな課題が改善されていない。
- 4 マネジメントシステム導入の結果、大きな課題が存在せず、小さな課題についても継続的に改善が実施されている。

・ 有効性の評価

- 1 マネジメントシステムが機能せず、必要な安全衛生活動がほとんど行われていない。
- 2 マネジメントシステムの実施基準の達成に大きな課題が存在する。
- 3 マネジメントシステムの実施基準の達成には大きな課題は存在しないが、小さな課題が存在する。
- 4 マネジメントシステムの実施基準は、ほぼ完全に達成している。

b. 結果と周知

自主点検の結果は職員に公表される。

c. 改善への取り組み

部署のみでは対応不可、解決困難と思われた場合は、リスク等管理計画に則り、改善が遂行される。

要領 6-1-1

インシデント及び不適合発生時対応要領

制定日： 年 月 日

放射線防護検討委員会 編

担当者： 放射線防護検討委員会

1. 目的

本実施要領は、職場に起こりうるインシデント及び不適合発生時（法定線量限度を超える被ばく者発生時等）の対応を手順化し、早期に的確な措置を実施できることを目的とする。

2. 対象

放射線業務従事者全員とする。

3. 実施方法

a. 法定線量限度を超える線量被ばく者の発生時

- (1) 法定線量限度を超える線量（目安：年間 20mSv を超える値、6 ヶ月で 10mSv）が判明した場合、実務担当者が速やかに被対象者、システム責任者とシステム管理者に連絡する。
- (2) 初期処理は実務担当者が被対象者に「個人線量計の装着の不備や管理区域内での置き忘れ等」をヒアリングする。
- (3) 次にシステム管理者と実務担当者は、「原因解明、防護対策、防護対策にかかる費用の試算」を速やかに行い、システム責任者と被対象者に報告する。

b. インシデント及び不適合発生時

システム管理者と実務担当者が迅速に行動・介入し、システム責任者にその結果を報告する。a. 法定線量限度を超える線量被ばく者の発生時の対応を参考にする。

基準2-1-1

適用法令リスト

作成日： 年 月 日

作成者：

	項目
	1. 労働安全衛生法
	安全衛生委員会
1.	第十条
2.	第十一条
3.	第十二条、二
4.	第十三条、二、三
5.	第十四条
6.	第十五条、二、三
7.	第十六条
8.	第十七条
9.	第十八条
10.	第十九条、二、三
	作業環境測定
11.	第六十五条
	健康診断
12.	第六十六条
	掲示、区分表示、明示
13.	電離放射線障害防止規則第三条
	教育
14.	第五十九条
	保護具
15.	労働安全衛生規則第五百九十六条
	作業管理
16.	第六十五条、二、三、四
	計画の届出
17.	第八十八条
	2. 放射性同位元素等規制法
	個人線量の測定
1.	第二十条、二
2.	第二十一条、二、三
	教育訓練
3.	第二十一条の二
	健康診断
4.	第二十二条

5.	第二十二條の二
	3. 電離放射線障害防止規則
	個人線量の測定
1.	第四條
2.	第五條
3.	第六條
4.	第七條、二、三
5.	第八條
6.	第九條
	健康診断
7.	第五十六條、二、三
8.	第五十七條、二、三
9.	第五十八條
10.	第五十九條
	教育訓練
11.	第五十二條の五
12.	第五十二條の六
	4. 医療法（医療法施行規則）
	個人線量の測定
1.	第三十條の十八、二
2.	第三十條の二十七
	教育訓練
3.	医療法第六條十二
4.	医療法施行規則一條十一

委員長確認

年 月 日 署名

基準 2-1-2

総合リスク防護管理基準

作成日： 年 月 日

作成者：

被ばく管理方法 (個人線量計等)	保護具の使用	順守状況の確認
総合リスクⅠ：リスクの合計点数が4点		
均等被ばく管理	防護衣（エプロンタイプ）	被ばく管理：3ヶ月間の個人線量の結果が1mSvを超える場合は、装着方法等の適切な使用を個人に確認する。 保護具の使用：月一回の職場巡視で、使用状況や保護具の数を確認する。
総合リスクⅡ：リスクの合計点数が5 - 10点		
不均等被ばく管理	防護衣（エプロンタイプ）	被ばく管理：3ヶ月間の個人線量の結果が測定下限値の場合は、装着方法等の適切な使用を個人に確認する。 保護具の使用：月一回の職場巡視で、使用状況や保護具の数を確認する。
総合リスクⅢ：リスクの合計点数が11点		
不均等被ばく管理 ＋水晶体線量計	防護衣（コートタイプ） ＋防護眼鏡	被ばく管理：ひと月の個人線量の結果が測定下限値の場合は、装着方法等の適切な使用を個人に確認する。 保護具の使用：月一回の職場巡視で、使用状況や保護具の数を確認する。

* 基準の順守状況の確認に必要な記録方法

被ばく管理：個人線量報告書を記録とする。

保護具の使用：職場巡視の報告書を記録とする。

* 補足：1人の者が「様々な診療行為を行う事」や「様々な場所で放射線業務を行う事」が考えられる時は、想定されるだけのリスクアセスメントを行い、総合リスクが最も高いリスクアセスメントを採用する。

委員長確認 年 月 日 署名

関係法令順守チェックリスト

作成日： 年 月 日

作成者：

実施、未実施、非該当欄にそれぞれ○を記入する。列記されている事項の他に、各部署で特有の事項があれば下欄に追記する。

項目	時期	実施	未実施	非該当	備考
1. 労働安全衛生法					
安全衛生委員会					
安全衛生委員会が設置され、毎月1回以上開催する。	月1回以上				
衛生委員会の委員には衛生管理者、産業医を含み、議長を除く半数は労働者の代表者を選ぶ。					
衛生委員会の記録を3年間保存する。	3年間				
安全衛生委員会の議事概要を開催の都度、遅滞なく、労働者に周知している。	月1回以上				
作業環境測定					
放射線業務を行う作業場	1ヶ月毎に1回				
それぞれの作業環境測定の結果に対して必要な処置が取られている。	適時				
作業環境測定結果の保管が適切である。	3年間又は5年間				
健康診断					
雇入れ時の健康診断	雇入れ時				
配置替えの際の健康診断	配置替え時				
特定業務従事者健康診断	6ヶ月毎				
健康診断結果の従業員への通知	—				
健康診断結果の永久保存	永久				
掲示、区分表示、明示					
電離放射線管理区域を標識で明示する。					
教育					
雇入れ時、作業変更時には安全衛生に関する教育を行う。	雇入れ時・変更時				
作業者を有害な業務につかせる時、安全衛	配置替え時				

生に関する「特別の教育」を行う。 受講者・科目の記録を3年間保存する。					
保護具					
保護具の管理の徹底					
作業管理					
放射線業務の従事者及び管理区域に一時的に立ち入る作業者の被ばくを個人線量計等で測定する。	適時				
計画の届出					
放射線装置、中央管理方式による空調等に係る発生装置、排気装置、換気装置、発散防止装置等の設置、移転、変更を行う時は所轄労働基準監督署に届ける。	適時				
2. 放射性同位元素等規制法					
個人線量の測定					
放射線測定器を用いて測定すること。 外部被ばくの測定 内部被ばくの測定					
管理区域に立入る場合は継続して3ヶ月毎（妊娠した女子は1ヶ月毎）					
教育訓練					
管理区域に立ち入る者及び取扱業務に従事する者に行う。	立ち入る前・年度毎に1回				
教育及び訓練の項目 ① 放射線の人体に与える影響 ② 放射線同位元素等又は放射線発生装置の安全取り扱い ③ 放射線障害の防止に関する法令及び放射線障害予防規程 新規教育は、6時間以上行う。					
健康診断					
初めて管理区域に立ち入る前に行なうこと	立ち入る前				
管理区域に立ち入った後は一年を超えない期間毎に行なうこと	1年以内に1回				
下記に該当する場合は遅滞なく行うこと ① 放射線同位元素を誤って吸入摂取し、又は経口摂取したとき ② 放射線同位元素により表面密度限度を超えて皮膚が汚染され、その汚染が容易に除去することができないとき	遅滞なく				

③ 放射線同位元素により皮膚の創傷面が汚染され、又は汚染されたおそれがあるとき					
④ 実効線量限度又は等価線量限度を超えて放射線に被ばくし、又は被ばくしたおそれがあるとき					
3. 電離放射線障害防止規則					
個人線量の測定					
放射線測定器を用いて測定すること。 外部被ばくの測定 内部被ばくの測定					
管理区域に立入る場合は継続して1ヶ月毎					
健康診断					
雇入れ時の健康診断	雇入れ時				
配置替えの際の健康診断	配置替え時				
特定業務従事者健康診断	6ヶ月毎				
健康診断結果の従業員への通知	遅滞なく				
健康診断結果の永久保存	永久				
教育訓練					
労働者を就かせるときは、該当労働者に教育を行わなければならない。	立ち入る前・年度毎に1回				
教育及び訓練の項目 ① 透過写真の撮影の作業方法 ② エックス線装置又はガンマ線照射装置の構造及び取り扱いの方法 ③ 電離放射線の生体に与える影響 ④ 関係法令					
4. 医療法					
個人線量の測定					
放射線測定器を用いて測定すること。 外部被ばくの測定 内部被ばくの測定					
管理区域に立入る場合は継続して1ヶ月毎					
教育訓練					
従事者に対する医療機器の安全使用のための研修の実施	医療機器導入時				

委員長確認

年 月 日 署名

様式2-1-2

年間計画表

作成日： 年 月 日

作成者：

項目	スケジュール（月）												備考	
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
1	放射線防護検討委員 会の開催													
2	放射線防護教育（訓 練・講習・協議）													
3	年間計画および年間 目標の策定													
4	モニタリングとフィ ードバック													
5	法令およびルール・ 基準の順守状況の評 価													
6	計画の進捗状況の確 認													
7	目標の評価													
8	自主点検													
9	防護具・防護設備購 入に関する予算													

委員長確認

年 月 日 署名

様式 2-1-3

リスク等管理計画表

作成日： 年 月 日

作成者：

項目	内容
契機	
リスクの内容	
改善事項原案	
改善予定・計画	完了予定日： 年 月 日
改善実施結果	
責任担当者	
完了確認日	

委員長確認

年 月 日 署名

様式 2-2-1

年間目標表

作成日： 年 月 日

作成者：

左欄の目標が6ヵ月後に順調に進行している、または1年後に達成された場合は該当欄に○を、なされていない場合は×を記載する。※ P：パフォーマンス評価、0：アウトカム評価

年間目標	P/0※	6ヶ月後 進捗状況	年間総合 評価
1、法定の線量限度の順守状況			
数値目標：100%			
2、個人線量計の装着状況			
数値目標：100%			
3、			
数値目標：			
4、			
数値目標：			

上記、未達成目標に関して、委員会で討議した原因及び措置内容を記す。

--

委員長確認

年 月 日 署名

様式 2-1-4

目標達成プログラム計画表

作成日： 年 月 日

作成者：

項目	内容
プログラムの構造等の具体的な内容を含む実施事項	
必要な資源	人員)
	物品)
	予算)
	その他)
進捗管理と結果の評価方法	達成期限： 年 月 日
目標達成の責任者	
目標達成期限	

委員長確認

年 月 日 署名

様式5-3-1

自主点検 報告書

作成日： 年 月 日

作成者：

1. 対象組織：
2. 対象期間： 年 月 日～ 年 月 日
3. 実施日：
4. 実施者：
5. 評価点： 導入状況 () 有効性 ()
6. 特記すべき観察事項

7. 他組織で参考になる良好な事項

8. 改善を検討すべき事項

9. 改善が推奨される事項

委員長確認

年 月 日 署名

修 士 論 文

血管造影室で放射線業務に従事する
看護師の水晶体被ばく実態調査

産業医科大学大学院医学研究科
産業衛生学専攻産業保健疫学領域

栗山 知子

3. 放射線防護教育	14
4. A 病院の結果	14
1) 診療科と術式件数	14
2) 看護師の症例件数・透視時間・被ばく線量	15
3) 年間担当症例数および年間水晶体等価線量の比較	16
4) 年間の水晶体等価線量と担当症例件数・総透視時間	17
5) 高線量率群、低線量率群間の比較	18
5. B 病院の結果	21
1) 診療科と術式件数	21
2) 看護師の症例件数・透視時間・被ばく線量	21
3) 年間担当症例数および年間水晶体等価線量の比較	22
4) 水晶体等価線量と症例件数・総透視時間	22
5) 高線量率群、低線量率群間の比較	23
6. C 病院の結果	26
1) 診療科と術式件数	26
2) 看護師の症例件数・透視時間・被ばく線量	26
3) 年間担当症例数および年間水晶体等価線量の比較	27
4) 水晶体等価線量と症例件数・総透視時間	28
5) 高線量率群、低線量率群間の比較	29
7. 病院間の比較	31
1) 看護師の年間水晶体等価線量の差	31
2) 看護師の立ち位置と年間水晶体線量率との関係	32
第5章 考察	33
1. 個人線量計と放射線防護具の使用状況、および放射線防護教育	33
2. 年間の症例件数および総透視時間と水晶体等価線量	35
3. 医師と看護師における年間担当症例数および年間水晶体線量	35
4. 高線量率群、低線量率群間の比較	36
1) A 病院	36
2) B 病院	37
3) C 病院	38

目次

第1章 背景	1
1. 研究の背景	1
1) 医療現場の放射線被ばくの特徴	1
2) 医療従事者の水晶体被ばく	2
3) X線透視下での診断・治療に携わる看護師の水晶体被ばく	2
4) 放射線による眼の障害	3
2. 関連する先行研究	5
1) IVR 看護師の水晶体被ばく線量	7
2) IVR 看護師の被ばくの傾向	7
3) 先行研究からの課題	8
第2章 目的	8
第3章 方法	8
1. 被ばく実態調査の対象者および調査期間	8
2. 調査項目およびデータの抽出方法	9
3. 個人線量計および放射線防護具の装着状況、放射線防護教育	9
4. 年間担当症例数および年間水晶体等価線量	9
5. 水晶体等価線量と担当症例件数・総透視時間	10
6. 高線量率群と低線量率群の比較	10
7. 病院間の比較	10
8. 統計解析	10
1) 年間担当症例数および年間水晶体等価線量	11
2) 高線量率群と低線量率群の差の比較	11
3) 病院間での年間水晶体等価線量の比較	11
9. 倫理的配慮	11
第4章 結果	11
1. 対象者の属性、各病院の概要	11
2. 個人線量計と放射線防護具の使用状況	13

C. IVR およびその他 X 線画像を用いた手術	54
C.1 血管系 IVR	54
C.2 非血管系 IVR	54
C.3 その他 X 線を用いた手技	54
D. 医療従事者の外部被ばくを低減する防護具	54
D.1 防護板	55
D.2 防護衣	55
D.3 防護メガネ	56
D.4 ネットガード	56
E. 個人線量計	56
E.1 蛍光ガラス線量計	56
E.2 光刺激ルミネセンス線量計	57
E.3 熱ルミネセンス線量計	57
F. 放射線防護に係る放射線の単位とその概念	57
F.1 線量概念	57
F.1.1 カーマ	57
F.1.2 照射線量	58
F.1.3 吸収線量	58
F.1.4 等価線量	58
F.1.5 実効線量	59
F.1.6 線量当量	60
F.1.7 個人線量当量を元にした実効線量, 等価線量の求め方	61
F.2 防護量と実用量	61
G. 医療従事者に対する日本の被ばく規制	61
G.1 医療従事者に適用される法令	61
G.1.1 電離放射線障害防止規則 (電離則)	62
G.1.2 医療法施行規則	62
G.1.3 放射線同位元素等の規制に関する法律 (RI 規制法)	62
G.2 被ばく線量限度	62
G.3 被ばく線量測定	63

付録の参考文献

4) まとめ	38
5. 病院間での年間水晶体線量レベルの比較	39
1) 年間水晶体等価線量	39
2) 各施設の立ち位置と年間水晶体線量率	42
6. 産業衛生学的な意義	43
7. 本研究の限界	45
第6章 結論	45
利益相反と倫理的配慮	45
謝辞	45
参考文献	46
付録	48
A. 医療従事者の被ばく規制に関する国際的な事項	48
A.1 国際放射線防護委員会 (ICRP)	48
A.2 被ばくの区分とその内容	48
A.2.1 職業被ばく	48
A.2.2 医療被ばく	48
A.2.3 公衆被ばく	49
A.3 放射線防護体系の三原則, および被ばく区分への適応	49
A.3.1 行為の正当化	49
A.3.2 防護の最適化	49
A.3.3 線量限度	50
A.4 外部被ばく防護の三原則	50
A.4.1 距離	50
A.4.2 遮蔽	50
A.4.3 時間	50
B. 放射線の性質と人体への影響	51
B.1 放射線の種類と基本的な性質	51
B.2 散乱線の機序と職業被ばくへの影響	51
B.3 放射線が人体の健康状態に及ぼす影響	52

血管造影室で放射線業務に従事する看護師の水晶体被ばく実態調査

第1章 背景

1. 研究の背景

1) 医療現場の放射線被ばくの特徴

医療用の放射線機器は人の生体が照射対象である。そのため工業用品が対象の放射線機器とは異なり、短時間での撮影を可能にするなど、人の被ばく線量が出来るだけ少なくなるよう設計されている[1]。しかし、ある国内の線量測定サービス機間の報告によると、職業被ばくにおける業種別の一人当たりの年実効線量は、過去10年の推移を見ると、若干減少傾向が見られるものの、医療分野は0.23 mSv/年と、非破壊検査分野の0.26 mSv/年に次いで高い (Fig.1-1)。また、非破壊検査分野においては10 mSv/年を超える者は9名だが、医療分野では294名もいる状況である[2]。

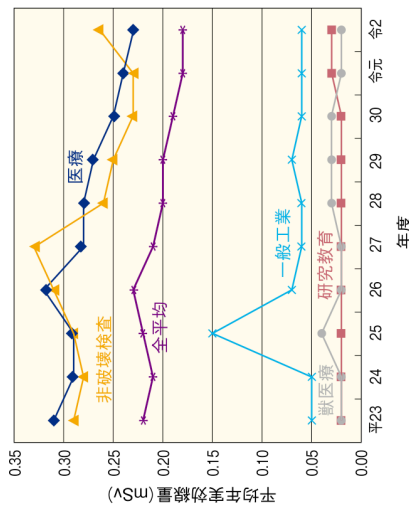


Fig. 1-1 過去10年間の業種別平均年実効線量の推移 [2]

診療においては、患者の病状に合わせて撮影や透視が行われることから、時間を制限することは難しい。また、放射線が照射されている患者を間近で観察しながら、手技やケアを行う必要がある画像下治療 (Interventional Radiology: IVR) などは、患者や放射線源から離れた場所での作業

は行えない。同じ理由で、患者に接する際の妨げになることから、防護具を用いて完全に遮蔽された状態での作業も現実的に困難である。このように他の産業分野よりも、医療現場は従事者の放射線防護対策がとりにくいという特徴がある。

2) 医療従事者の水晶体被ばく

医療従事者は、X線防護エプロンを着用し体幹部のみを防護した状態で放射線作業を行うことが多く、ときには照射野に手指を入れて作業したり、線源である放射線装置に頭部を近づけて作業をしたりする状況も発生する。国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency: IAEA) は、こうした医療従事者を「体幹は遮蔽されるかもしれないが頭部はそうでない作業員」や「頭部が透過性線源に近い作業員」、「眼の水晶体が優先的に被ばくを受ける極めて不均一な放射線場に曝される作業員」として、水晶体の被ばく防護が重要な作業員に位置付けている[3]。

X線透視下での手技は多くの診療科で行われるが、大別すると血管系IVRと非血管系IVRに分けられる。IVRは、透視下で体外から細い医療器具 (カテーテル等) を病変部位まで挿入する検査・治療であるが、画像を通じた間接的な手技であり、複雑かつ難易度が高く、症例によっては施術や放射線照射に長い時間を要する。さらにIVRで用いられる線量は比較的高い。したがって患者のみならず、患者に関わる医療従事者の被ばくリスクも増大することになる。医療従事者が一症例で受ける被ばく線量は、患者との比較においては明らかに少ないが、従事者は長期間に渡ってその業務に就く場合も多い。医療の高度化に伴い放射線の活用がますます拡大・進展するなか、とくに専門的にIVRに従事する被ばくの実態の詳細を明らかにすることが求められる。

2021年4月に法令によって、医療のように計画された職業被ばく状況下の眼の水晶体の線量限度が引き下げられたことを機に、線量管理の見直しや、眼の被ばく防護対策への取り組みが始められている。ただこれまでは、線量測定・線量管理さえ十分に行われていたとは言えない現状があり、未だ把握されていない被ばくの実態があることも推測される[4]。

3) X線透視下での診断・治療に携わる看護師の水晶体被ばく

医療分野ならびに医療従事者の職種別個人被ばく線量を Table 1-1 に示す。ある線量測定機関の報告では、実効線量、水晶体等価線量は、診療放射線技師、医師、看護師の順で高い結果となっている。日本の医療従事者に関する最近の報告では、透視装置を用いた診療で、とくに水晶体等価線量が高いことが指摘されている。そして新たな水晶体透過線量限度である20 mSv/年を超える可能性が高い診療科としては循環器内科、消化器内科が挙げられており、業務別では血管造影、X線透視、内視鏡、手術、また、看護師の業務ではX線透視、内視鏡検査が挙げられている[6]。

Table1-1 2020年度 個人被ばく線量の実態 (文献[5]の表を一部改変)

	職種別			
	医療分野* (n=219,571)	医師 (n=81,760)	診療放射線 技師 (n=32,875)	看護師 その他 (n=25,150)
平均線量 (mSv/年)	0.23	0.25	0.66	0.10
測定下限値以下 (人/年)	171,682	65,170	15,101	49,705
20.1 mSv 以上 (人/年)	37	30	6	0
平均線量 (mSv/年)	0.63	0.79	1.19	0.46
測定下限値以下 (人/年)	158,485	-	-	-
20.1 mSv 以上 (人/年)	851	-	-	-

*「医療分野」のn数は、複数の勤務先や異動などで重複した数が含まれる

4) 放射線による眼の障害

放射線の影響として、生体には細胞死、細胞分裂阻害、発生異常、物質代謝異常、突然変異、がんなどが現れる。ただ標的となる組織によってどの程度の被ばく線量で障害が生じるかは異なり(線量-効果関係)、眼の組織の中でも、放射線障害の現れ方に差がみられる。

外部被ばくで眼の組織に起こりうる影響としてはTable1-2のように、眼瞼皮膚紅斑、涙腺萎縮、結膜毛細血管拡張症、角膜炎、強膜萎縮、網膜浮腫、白内障が挙げられており[7]、また、これらの影響は5-20 Gyで生じるとされている[8]。

Table1-2 眼の組織における放射線誘発非確率的影響の推定しきい線量[7]

組織	影響		割合
	回数	線量(Gy)	
眼瞼の皮膚	早期紅斑	4-6	1×(日) ^{0.33}
涙腺	萎縮	20	50×60(6週)
結膜	晩発性毛細血管拡張症	30-50(3-5週)	
角膜	初期浮腫と角膜炎	10	30-50
強膜	晩発性萎縮	200-300	
網膜	早期浮腫	30-50	
	晩発性変性	30-50	
水晶体	白内障	2-10	4×(日) ^{0.17}

放射線による眼の障害の具体的事例としては、急性被ばくを受けた原爆被爆者で、正常眼圧緑内障[9]と糖尿病網膜症[10]のリスクが増加するという報告がある。血管新生緑内障も、眼瞼瘻等

の放射線治療後(高線量・分割被ばく後)に生じる正常組織の有害事象として知られている[11]。

また、上顎洞内腫への重粒子線治療で放射線網膜症が発症した症例[12]も報告されている。このように難治性の放射線網膜症という網膜血管や網膜細胞の萎縮が生じる可能性がある。

これらは概ね高線量、高線量率の被ばくによって生じており、低線量被ばくでは、水晶体以外の眼の組織ではほとんど確認されていない。つまり職業被ばくで問題となるのは、主に水晶体被ばくであると言える。ICRP や 米国放射線防護委員会 (National Council on Radiation Protection: NCRP) の報告書でも、被ばく防護の対象として言及しているのは水晶体だけである。

水晶体は、生体のなかでも放射線感受性が高い臓器であり、原爆被爆者[13][14]のみならず、診療放射線技師[15]、心臓カテーテル IVR 術者[16][17]等の複数の被ばくによる内障(以下、放射線白内障)が生じることや、100mGy未滿のいわゆる低線量被ばくでも検出されている。

水晶体は古い水晶体線維細胞が集まった中心部分の「核」と、そのまわりにある新しい水晶体線維細胞から成る「皮質」、そして「核」や「皮質」を包む「水晶体嚢」で構成される(Fig.1-2)。白内障は「核型」、水晶体嚢の後側に生じる「後囊下型」に分けられ、「皮質型」は加齢性白内障の典型である。一方、被ばくによって生じる白内障は、水晶体上皮細胞の増殖や損傷細胞が後囊下へ移行することなどによって生じ[13]、最も多いのは「後囊下型」とされる。

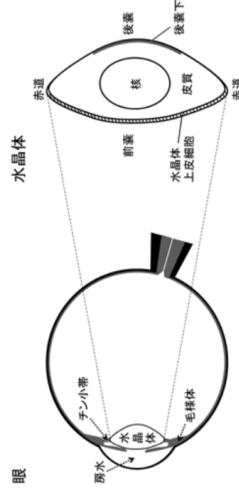


Fig.1-2 眼の水晶体の構造[12]

佐々木ら[20]は撮影した水晶体散乱画像から、水晶体各層の後方散乱光強度を測定し、68名のIVR術者と健常者171名を比較している。その結果、水晶体後囊の後方散乱光強度はIVR術者で有意に上昇しており、「後囊下型」白内障の初期病変である可能性を示唆している。また、この「後囊下型」は晩期になると「皮質型」が観察される[19]ということも報告されている。

近年、国内で継続的に行われていた調査として、「医療従事者を対象とした放射線障害による水晶体混濁調査」がある。第36回(2020年)日本脳神経血管内治療学会の放射線防護委員会が行っ

た調査では、対象者の一部に水晶体の水泡 (Vacuoles) や後囊下の多色点状混濁所見が認められている。放射線誘発白内障は、混濁や Vacuoles を初期病変として時間と共に進行し、やがて視機能低下を生じさせる混濁に至ると考えられている。つまり後囊下中心の Vacuoles を認めた対象者はその後の視覚障害につながる可能性があり、今後は長期的な調査が求められるところである。なお、医療分野以外で水晶体被ばくが高まる領域として、東京電力福島第一原子力発電所事故後の廃炉作業があるが、ここでは、電離放射線障害防止規則の改正を見越して、早期より長期的な健康管理プログラムにおいて水晶体白内障の検査が導入、実施されている[21]。

これまで述べたように、水晶体等価線量限度は引き下げられたものの、医療従事者にとどの程度放射線白内障が生じているのか、実態としてはまだまだあまり明らかになっていない。加えて、放射線白内障の発症が大きい値のない確率的影響である可能性を示唆、支持する疫学研究や動物実験がある。そうしたなか、放射線業務従事者の被ばく防護では、年間水晶体等価線量限度 (20mSv/5年平均) を守るだけではなく、防護の最適化に努めなければならないと言える。

2. 関連する先行研究

医療従事者の被ばくは、患者の被ばくに関する研究と比べて、あまり注目されてこなかったが、2011 年以降、水晶体被ばく線量を調査した報告が急増している。その背景には、国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection: ICRP) の動向があり、新しい疫学的知見を踏まえて水晶体等価線量限度が再考される中、ICRP は放射線被ばくによる組織反応に関する声明を 2011 年に発表[21]。さらに、白内障を含む“組織反応とその他の非がん影響”に対する大きい線量の根拠をまとめた報告書を 2012 年に刊行している[8]。そうした経緯の中で 2011 年以降に報告されたものうち、血管系 IVR 従事者の水晶体被ばく線量を測定、ないしは推定した研究を Table1-3 に示す。

Table1-3 血管系 IVR 従事者の水晶体被ばく線量のレビュー (2011 年以降)

筆頭著者 (発行年) 国	職種	線量計の位置	線量計のタイプ	対象者の水晶体等価線量
Efstathioulou E. (2011) Greece [22]	Nurse Cardiologist	眼、手首 左手、脚	TLD	MD/case Nurse 4 μSv Cardiologist 64 μSv
Dominik J. (2012) Poland [23]	Nurse Cardiologist	四肢、眼	TLD	MD/case Nurse 6-24 μSv Cardiologist 8-276 μSv

Antic V. (2012) Serbia [24]	Nurse Primary operator Secondary operator Radiographer	左眼	APD	MD/case Nurse&Secondary operator 1-33 μSv Primary operator 1-121 μSv Radiographer 1-12 μSv
Chida K. (2013) Japan [25]	Nurse Cardiologist Radiographer	頸部 体幹部 (内)	RPLD	MD/year Nurse 4730 ±720 μSv Cardiologist 19840±12450 μSv Radiographer 1300 ± 1000 μSv 医師に声をかけた群 医師に声をけしなかった群 0.018 μSv±0.41/case 0.056 μSv±0.129/case
Komemushi A. (2014) Japan [26]	Nurse Cardiologist	胸部 (外) 体幹部 (内)	PDM-117	real time 表示によって以下の通り減少 Nurse は 4.3 から 2.5 μSv/case へ Cardiologist は 68 から 28 μSv/case へ
Sandblom V. (2013) [27]	Nurse Cardiologist	外側の胸	DoseAware	MD/case Nurse 11-24 μSv Cardiologist 42-251 μSv
Principi S. (2015) Spain [28]	Nurse Cardiologist	左眼、胸部	TLD	MD/case Scrub nurse 17 μSv Scout nurse 4 μSv Cardiologist, Radiographer 170 μSv
Sailer A. (2015) The Netherlands [29]	1-Primary operator 2-Secondary operator 3-Radiographer 4-Scout nurse 5-Scrub nurse	1-4 頸部(外) 5-胸部(外)	DoseAware	median/case Nurse 0.1-1.0 μSv Cardiologist Median dose 7.3-15.4 μSv Cardiac Technicians 2.7-3.3 μSv Radiographer 2.5-4.2 μSv
Gilligan P. (2015) Ireland [30]	Nurse Cardiologist Cardiac Technicians Radiographer	頸部	EPD	median/year Cardiologist 1.54 mSv IC Nurse 1.32 mSv IR operator & radiographer 18.05 mSv IR Nurse 6.06 mSv
McLennan D. (2016) Australia [31]	Cardiologist IC Nurse IR operator IR nurse IR radiographer	眼	TLD	MD/6mo Nurse 1.6 mSv Cardiologist 6.3 mSv
Haga Y. (2017) Japan [32]	Cardiologist Nurse	1-左眼 2-頸部	1-TLD 2-RPLD	Third quartile values of equivalent/case Scrub nurse 3.1-57 μSv Scout nurse 2.1-11 μSv IR and IC physician 35-500 μSv Anaesthetist 4.8 μSv Anaesthetic nurse 20-30 μSv
Omar A. (2017) Sweden [33]	Scrub nurse Scout nurse IR and IC physician Anaesthetist Anaesthetic nurse	胸部 (水晶体線量に変換)	APD	APD: Active personal dosimeter, MD: Mean Dose RPLD: Radio-photoluminescence Glass Dosimeter TLD: Thermoluminescence Dosimeter

1) IVR 看護師の水晶体被ばく線量

IVR スタッフの年間職業被ばく線量について、国内でも海外でも同様に、看護師は概ね医師よりも低いと報告されている。先に述べた線量測定機関の報告 (Table 1-1) では、水晶体等価線量の平均は、診療放射線技師が最も高く、次いで医師、看護師の順に高かったが、IVR に限ると診療放射線技師は、血管造影室外の遮蔽された操作室で業務することが多いためか、施設によっては医師や看護師より低い線量となっている。

看護師の年間被ばく線量について、Chida *et al* [25] は「IVR 看護師は一般に IVR 医師よりも被ばくレベルが低い、看護師の年間線量は IVR を行わない医師よりも高い」と報告している。また Domicnik *et al* [23] は「看護師の線量は医師の線量よりもはるかに少ないものの、患者と X 線管に対する看護師の位置や、最終的には看護師が放射線防護ツールによって効果的に保護されているか否かによりかなり影響を受ける」としている。

さらに Antic *et al* [24] は、防護メガネの装着と年間線量に関し、「防護メガネが、未装着もしくは不定期な装着だった場合、第一術者は 160 例で、第二術者と看護師の場合は 600 例で、また診療放射線技師の場合は、1600 例で 20 mSv の線量限度に到達する」と報告している。

すなわち、IVR 看護師の年間被ばく線量は、終始、患者の側で手技を行う医師と比べると低いが、それ以外の医療従事者との比較では高い傾向が見られること、また、患者から離れたり、防護具を装着したりすることで、被ばく線量がかなり低減されることが報告されている。

2) IVR 看護師の被ばくの傾向

看護師の線量とその役割との関連について、Sailer *et al* [29] は「第一術者と第二術者および麻酔科医の線量には、同様の動きを反映する有意な相関関係が見られたが、直接介助や間接介助を行う看護師の線量は、第一術者とは相関が見られず、看護師はその役割のもとで医師とは異なる柔軟な動きをすることにより、放射線源までの距離をとるか、術者の防護板の後ろに立つことも可能であることを示す」と述べている。つまり、看護師の被ばくを低減させるためには、臨機応変な動きができることを利点とし、可能な場合は自ら距離をとったり、術者の防護板の後ろに立つたりすることもあるとしている。また Chida *et al* [25] は、「看護師の線量は、IVR 医師ほど均一ではない」ことを報告している。これは、看護師の被ばく線量は IVR 医師よりも被ばく線量に個人差が生じやすいということを示唆したものとみられる。

加えて、術者とのコミュニケーションで看護師の被ばく線量に変化することも報告されている。Komemushi *et al* [26] は、「看護師が患者に近づくと術者に声をかけたグループでは、看護師の放射線量は以前の研究よりもはるかに低く保たれた」としている。

先行研究で示されたこれらのことから、看護師は動きの自由度が高いという業務特性があり、そのために看護師の被ばく線量にはさまざまな因子が複雑に反映し得るということが言える。

3) 先行研究からの課題

IVR に携わる医療従事者、とくに血管造影室で医師とともに業務に従事する看護師は、患者のケアや急変時の対応など重要な役割を担っており、場合によっては散乱線源である患者に近づく状況も多く発生するため、線量評価が必要である。しかしながら、これまでの研究では、医師や他の医療従事者の被ばく線量との比較における看護師の相対的、断片的な線量評価に留まっておらず、医師よりも被ばく線量が低いという結論のもと、それ以上の踏み込んだ調査はあまり行われていない印象がある。また、複数の医療機関における看護師の線量データを扱った調査は多くない。IVR など医療現場の放射線業務従事者は、チームとして業務にあたり、被ばく防護においても全体としてマネジメントしていくことが重要であると考えられるため、その点でも、被ばく線量の高い職種のみならず、関連する他職種についてもより詳細な実態把握が必要である。

第2章 目的

X 線透視下の検査や治療に関わる医療従事者は、X 線管からの直接線や、患者を通して生じる散乱線により被ばくする。加えて直接的な患者ケアを担う看護師は、患者のニーズや状態変化に合わせた行動が発生するため、それにより被ばく線量に変化する可能性も考えられる。

そこで本研究では、その行動特性が被ばく状況にどの程度影響するかを調査する前段階とし、手技の目的や内容、スタッフ体制などの血管造影室業務におけるさまざまな条件と看護師の被ばく線量との関連を明らかにする。

第3章 方法

1. 被ばく実態調査の対象者および調査期間

対象者は、3 病院 (Table 3-1) の血管造影室業務に従事した看護師計 72 名である。期間は 2018 年 1 月から 2021 年 3 月のなかで各病院が定める任意の 1 年間とした。

Table 3-1 各対象病院の対象者の概要

	A 病院	B 病院	C 病院
所属	外来*	中央手術室	救急外来
対象	n=31 (女性 29, 男性 2)	n=33 (女性 24, 男性 9)	n=8 (女性 5, 男性 3)
期間	2020 年 4 月～2021 年 3 月	2020 年 2 月～2021 年 1 月	2018 年 1 月～2018 年 12 月

*主に放射線部門担当であり、一般外来は含まれていない

2. 調査項目およびデータの抽出方法

対象者の頭頸部に装着した個人線量計から得られる水晶体等価線量を、担当した全症例の透視時間の総和（総透視時間）で除すことで、各対象者の水晶体等価線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）を算出した。また、担当した症例における血管造影装置の患者照射基準線量（ K_{eq} ）ならびに関連情報として担当症例の診療科、手技、部屋、緊急症例か否か、対象者らと共に症例に携わった医師および看護師数を集計した。これらのデータは、各病院の研究協力者によって病院情報システム（hospital information system: HIS）、および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（DICOM radiation dose structured record: DICOM RDSR）等から抽出されたものである。

関連情報として抽出した「手技」は、血管造影室で行われている IVR のことである。IVR には複数の手技があり、血管系と非血管系に大別されるが、本調査では各対象病院で行われている全ての IVR を対象とした。加えて B 病院の対象者は、X 線透視を用いた手術等も担当しており、それらも「手技」として含まれる。

3. 個人線量計および放射線防護員員の装着状況、放射線防護教育

各病院の透視室業務を担当する診療放射線技師より、採用している個人線量計および放射線防護員の種類、またそれらの装着状況について聞き取り調査を行い、その情報をもとに記述した。個人線量計および放射線防護員の装着状況については、従事者全員の場合を満点 5 とし、8 から 9 割の場合を 4、半数を超える場合を 3、半数より少ない場合を 2、1 から 2 割の場合を 1、誰もいない場合を 0 と表記した。また、放射線業務従事者に対して、各病院で行われている防護教育内容についても聞き取りを行なった。

医療機関で主に用いられる個人線量計は、国内の線量測定サービスマンから提供を受けたものであり、銀リン酸塩ガラスを素子とした蛍光ガラス線量計（Radio-photoluminescence Glass Dosimeter: RPLD）や、炭素添加酸化アルミニウムを素子とした光刺激ルミネセンス線量計（Optically Stimulated Luminescence Dosimeter: OSLD）などがある。

4. 年間担当症例数および年間水晶体等価線量

各病院の血管造影室で年間に行われる検査や治療のうち、最も症例数が多い診療科は循環器内科であった。そこで看護師と循環器内科医の二群間で、年間担当症例数および年間水晶体線量を比較した。A 病院は、看護師 32 名と循環器内科医 42 名、C 病院は、看護師 8 名と循環器内科医 15 名を対象とした。C 病院から提示された医師の水晶体等価線量は一部のみであったことから、

水晶体線量比較は行わず、担当症例数の比較のみ行うこととした。B 病院は、医師のデータが得られなかったため解析対象から除外した。

5. 水晶体等価線量と担当症例数・総透視時間

調査対象の病院ごとに、対象看護師が担当した症例件数、総透視時間と水晶体等価線量との相関係数（Pearson の相関）を求めた。

6. 高線量率群と低線量率群の比較

病院 A, B, C で水晶体等価線量率の範囲が異なったことから、病院ごとに水晶体被ばくを認めた者の年間水晶体線量率の中央値をカットオフ値とし、それを上回る者を「高線量率群」、下回る者を「低線量率群」と定義した。また、血管造影室業務に関わる条件を、「（手技の）目的」、「診療科」、「手技」、「部屋」、「緊急性」、「医師数」、「看護師数」のカテゴリに分けた。次に、各カテゴリ内の因子としてそれぞれ代表的なものを 2~5 つ挙げ、「高線量率群」と「低線量率群」の二群間で、カテゴリ内の因子数の比が同じであることを分析した。具体的な因子として、「目的」のカテゴリでは「診断」、「治療」を、「緊急性」は「高」、「低」を、「医師数」および「看護師数」は「1人」、「2人」、「3人」もしくは「3人以上」を、そして「部屋」は、透視下で手技が行われた全部屋を挙げた。また「診療科」と「手技」の因子については、解析対象者の多くが関与したもとして「診療科」は上位 3 科、「手技」は全体の半数以上を占めたものとした。カテゴリ内因子は、各病院から提示されたデータの範囲内で抽出した。 K_{eq} 値が得られた A 病院では、 K_{eq} 値の二群間差も明らかにした。ここで本来ならば、全対象者の分析をすべきところであるが、水晶体被ばくを認めなかった者では、担当症例が年間 5 回未満と非常に少なく、限られた条件、因子しか当てはまらない状況もあり、検出限界未満の者を共通して除外し分析した。

7. 病院間の比較

年間水晶体等価線量が病院間で差があるかを調べるために、3 病院における看護師の年間透視時間の差を分析し比較した。

8. 統計解析

それぞれの分析に用いた解析法を、項目ごとに以下に示す。統計解析は、SPSS Ver.25 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) を用い、有意水準をいずれも 5%未満とした。

Table 4-2 に示す通り、調査対象である血管造影室業務の担当看護師が所属する部署は、各病院で異なっており、A 病院は外来、B 病院は手術室、C 病院は救急外来であった。A および B 病院での血管造影室業務の担当看護師は、全診療科の透視下で行われる清潔操作手技（消化器科の内視鏡を除く）に対応しており、対象看護師が手術室所属となる B 病院では、IVR のほか X 線を用いた整形外科手術等の介助にも従事していた。C 病院の対象看護師は、循環器内科と脳神経外科の血管系 IVR にもみ従事していた。

Table 4-2 血管造影室業務に従事する看護師が担当した症例数、およびその診療科と手技

症例	A 病院 908 件/年	B 病院 2942 件/年	C 病院 395 件/年
循環器内科: CoAG, PCI, EPS (アブレーション含む)、体外式ペースメーカー他	循環器内科: CoAG, PCI 他	循環器内科: CoAG, PCI 他	循環器内科: CoAG, PCI
消化器内科: 肝動脈造影	整形外科: 脊椎手術 (椎体間固定術、前・後方椎体間固定、椎体・椎弓形成術、脊椎腫瘍摘出術、内視鏡下椎間板摘出術)	脳神経外科: 頭頸部動脈造影	脳神経外科: 頭頸部動脈造影、CAS 他
脳神経外科: 頭頸部動脈造影	脳神経外科: 頭頸部動脈造影	整形外科: 関節鏡下椎間板摘出術、人工関節置換術等	
消化器外科: 肝動脈造影	呼吸器内科: 気管支動脈造影	消化器外科: 肝動脈造影	
整形外科: 骨盤血管造影	整形外科: 骨盤血管造影	整形外科: 骨盤血管造影	
救急科: CoAG, PCI, 血管造影	救急科: CoAG, PCI, 血管造影	救急科: CoAG, PCI, 血管造影	
診療科: 手技	脳神経科: CAS, PTA, 塞栓術、血栓回収他 泌尿器科: 結石破砕術 麻酔科: PICC, 硬膜外腔造影 肝胆膵内科: 肝動脈塞栓療法 心臓血管外科: TEVAR, EVAR 他 消化器外・放射線科・臨床腫瘍科・乳腺甲状腺外科: CV 胃腸内科: シヤント PTA 他	脳神経科: CAS, PTA, 塞栓術、血栓回収他 泌尿器科: 結石破砕術 麻酔科: PICC, 硬膜外腔造影 肝胆膵内科: 肝動脈塞栓療法 心臓血管外科: TEVAR, EVAR 他 消化器外・放射線科・臨床腫瘍科・乳腺甲状腺外科: CV 胃腸内科: シヤント PTA 他	

CoAG: coronary angiography (冠動脈造影検査)
CAS: carotid artery stenting (頸動脈ステント治療)
CV: central Venous Catheter (中心静脈カテーテル)
EPS: electrophysiological study (心臓電気生理学的検査)
ORIF: open reduction and internal fixation (開血的整復固定術)
PCI: percutaneous coronary intervention (心臓カテーテル手術)
PICC: peripherally inserted Central venous Catheter (末梢挿入型中心静脈カテーテル)
PTA: percutaneous transluminal angioplasty (経皮的血管形成・拡張術)
TEVAR: thoracic endovascular aortic repair (胸部ステントグラフト内挿術)
EVAR: endovascular aortic repair (腹部ステントグラフト内挿術)

1) 年間担当症例数および年間水晶体等価線量
年間担当症例数および年間水晶体等価線量ともに正規性を仮定できなかつたため、Mann-Whitney の U 検定にて群間比較を行なった。水晶体等価線量と担当症例件数、または総透視時間との相関係数の有意差検定には無相関の検定を使用した。

2) 高線量率群と低線量率群の差の比較
二群間の K_{α} に対しては Mann-Whitney の U 検定を行った。また病院ごとの血管造影室業務に係る条件内の各因子比の差の解析には、Pearson の χ^2 検定および Haberman の残差分析を用い、調整済み残差を算出した。 χ^2 検定で有意差を認められたカテゴリー内での因子の比率が優位性に貢献したかを判断するために用いた調整済み残差は、その絶対値が 1.96 より大きければ 5 %水準でその因子で有意差があり、それが正の値であれば他の因子に比べ有意に多く、逆に負の値であれば他の因子より有意に少ないことを意味する。

3) 病院間での年間水晶体等価線量の比較
3 つの病院間の年間水晶体等価線量の比較には、Kruskal Wallis 順位検定を行い、その後 Mann-Whitney の U 検定を行なった。なお多重比較における有意水準の調整には Bonferroni 法を用いた。

9. 倫理的配慮
本研究の実施計画は、産業医科大学倫理委員会において令和 2 年 1 月 8 日付けで承認された。(受付番号 R1-054 号)

第 4 章 結果
1. 対象者の属性、各病院の概要
対象 3 病院の規模概要を Table 4-1 に示す。A および B は大学病院であり、400 床以上を有し大規模病院に位置付けられる。C 病院は、200 床を超える中規模病院である。

Table 4-1 対象 3 病院の規模

病院	A	B	C
全病床	678	1,182	214
重症系病床*	10	12	18
年間手術	5,591	9,535	2,400
手術室	12	15	5
血管造影室	3	3	2

*ICU, CCU, HCU のいずれかを含む病床の合計 (各調査期間における数値)

2. 個人線量計と放射線防護具の使用状況

各病院の調査期間内における個人線量計、各種防護具の使用頻度、記録担当看護師の立ち位置および、立ち位置から照射野からまでの距離を Table 4-3 および Fig. 4-1 に示す。A および B 病院では、看護師、医師ともに個人線量計および各種防護具の使用頻度にばらつきがみられたが、個人線量計に関しては、医師に比べて看護師の装着度が比較的高いことが分かる。C 病院の看護師と医師は Fig. 4-2 に示すように、個人線量計、防護具ともにほぼ全員が装着していた。3 病院の看護師は、全て不均等被ばく管理されており、個人線量計の装着箇所は防護衣内の基本部位および防護衣外の頸頸部の 2 箇所であった。また個人線量計の種類は A 病院と B 病院は RPLD を、C 病院は OSLD を採用していた。

Table 4-3 個人線量計および防護具の装着度、記録看護師の基本立ち位置と照射野までの距離

	A 病院		B 病院		C 病院	
	看護師	医師	看護師	医師	看護師	医師
個人線量計	4	3	4	不明 (循環器内科: 5)	5	5
防護エプロン	5	5	5	5	5	5
防護メガネ	0	不明	3	3	5	5
ネックガード	0	0	1	2	5	5
防護板*	0	5	5	5	5	5
基本立ち位置	患者の左足側	患者体幹の左側	患者の左足側もしくは頭側	患者体幹の左側	第一術者の背後	患者体幹の左側
照射野から上記までの距離	5.0m	1.0m	心臓カテーテル室 4.0m 血管造影室 2.2m	1.0m	1.8m	1.0m

個人線量計および各種防護具の数は装着度 (5 点満点)

* 看護師には可動式防護具衝立、医師 (第一術者) には吊下げ防護板を使用

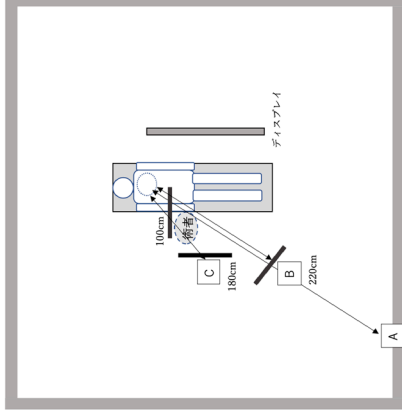


Fig. 4-1 各病院看護師のおよその基本的立ち位置 (冠動脈造影検査, 心臓カテーテル手術時)



Fig. 4-2 線量計と全ての防護具を装着した C 病院の看護師

3. 放射線防護教育

それぞれの病院で、法定の時期 (初めてその業務に就く際と、その後は年 1 回) に放射線業務従事者講習会が開催されており、個人線量計や防護具の説明および適切な装着部位、具体的な被ばく低減のための方法などがおよそ 1 時間程度の内容に含まれていた。これらは基本的に集団教育として実施されている。C 病院はそれに加えて、血管造影室業務に従事する全職種が参加する週 1 回の担当者会議の場が、被ばく防護に関する独自の教育機会となっている。ここでは、患者の被ばく線量評価とともに、従事者の中に被ばく線量が高い傾向が見られた場合などにチームの中でその要因を振り返り、具体的な防護対策を検討し、評価するといった働きかけが適宜実施されていた。

4. A 病院の結果

1) 診療科と術式件数

2020 年 4 月 1 日から 2021 年 3 月 31 日の 12 カ月間に、対象看護師 31 名が担当した症例は計 908 件であった。診療科は Fig. 4-3 に示す通り、循環器内科、消化器内科、放射線科、脳神経外科、内科、消化器外科、呼吸器外科、整形外科、耳鼻科、救急科に及び、循環器内科が 664 件と全体の 73% を占め最多であり、続いて消化器内科 98 件 (11%)、放射線科 52 件 (6%) の順であった。手技については Fig. 4-4 に示す通り、冠動脈造影検査 (coronary angiography: CoAG) が 156 件と 17% を

占め、続いて心臓カテーテル手術 (percutaneous coronary intervention: PCI)が143件 (16%)、心臓電気生生理学的検査 (electrophysiological study: EPS)が128件 (14%)、腰部血管造影116件 (13%)であった。

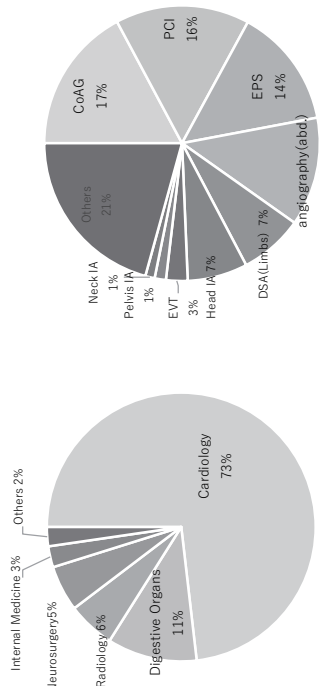


Fig. 4-3 A 病院の診療科の割合

Fig. 4-4 A 病院の手術の割合

2) 看護師の症例数・透視時間・被ばく線量

全対象者の年間における症例数、透視時間、実効線量および水晶体等価線量 (率) の中央値を Table 4-4 に示す。担当症例数、透視時間、実効線量および水晶体等価線量 (率) の中央値は16件であり、最小2件から最大175件であった。透視時間は中央値8.4時間であり、最小1.1時間から最大115.2時間と個人によって大きく差が見られた。

Table 4-4 A 病院 全対象者の症例数・透視時間・被ばく線量

Cases (y)	Total fluoroscopy time (h/y)	Effective dose		
		Total (μSv/y)	Maximum (μSv/mo)	Monthly average dose rate (μSv/h)
Median	8.4	0.0	0.0	0.0
[range]	[3.9-63.9]	[0.0-0.0]	[0.0-100.0]	[0.0-45.8]
				Median [range]: 中央値 [第1四分位-第3四分位]

対象者の半数を超える19名が検出限界未満であり、実効線量、年間水晶体等価線量ともにそれぞれ中央値0.0 mSvであった。最も高い線量は、実効線量では0.5 mSv、水晶体等価線量では2.3

mSvであった。31名の対象者の年間水晶体等価線量は、Fig. 4-5にも示す通り、最小0.0 μSv/hから最大62.5 μSv/hの範囲にあり中央値は0.0 μSv/hであった。

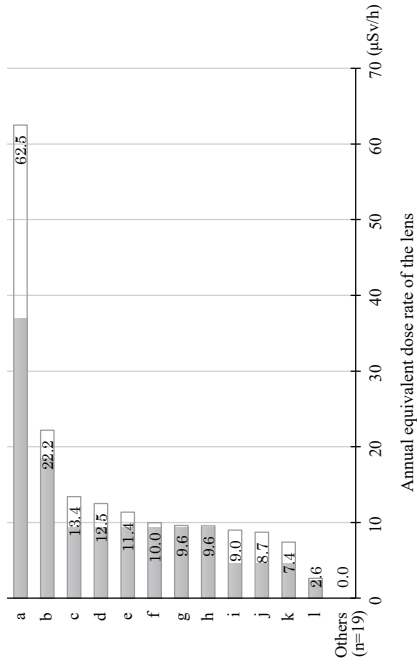


Fig. 4-5 A 病院における対象者の年間水晶体等価線量率

3) 年間担当症例数および年間水晶体等価線量の比較

医師と看護師の年間担当症例数の比較においては、A 病院の循環器内科医42名と看護師32名を対象とした。一人あたりの症例数の中央値は、Fig. 4-6に示すように看護師では15件 (range: 7.3-105.3)、循環器内科医では18件 (range: 1.3-47.8)であった。Mann-WhitneyのU検定の結果は、二群間に差があるとは言えなかった ($p > 0.05$)。

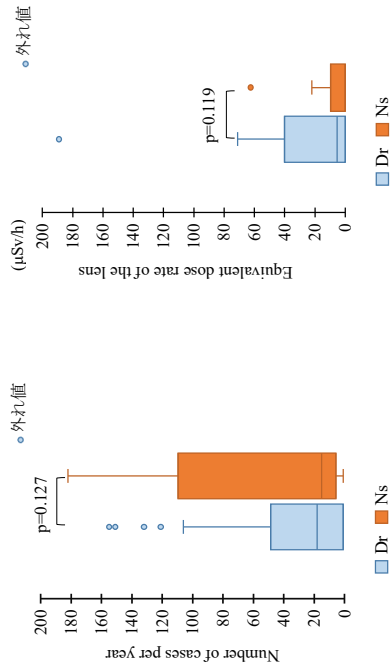


Fig. 4-6 A 病院の年間症例数比較

また一人当たりの年間水晶体等価線量率の中央値は、Fig. 4-7 に示すように看護師 31 名は 0.0 μ Sv/h (range: 0.0-9.3) であったのに対し、被ばく線量データが確認された循環器内科医 17 名は、5.3 μ Sv/h (range: 5.3-38.6) であり、二群間に差があるとは言えなかった ($p \geq 0.05$)。ここで、医師数に関して年間担当症例数比較を行った 42 名と数が一致していないが、線量データが確認された 17 名を除く 25 名は、個人線量管理が必要であるにも関わらず、未申請のため管理対象外となっている可能性が高い。

4) 年間の水晶体等価線量と担当症例数・総透視時間

担当症例数と水晶体等価線量の間には、高い正の相関が認められ ($R=0.79$, $p < 0.05$)。また、総透視時間と水晶体等価線量においても、同様に高い正の相関が認められた ($R=0.79$, $p < 0.05$)。上記それぞれの関連性を、散布図で Fig. 4-8 と Fig. 4-9 に示した。

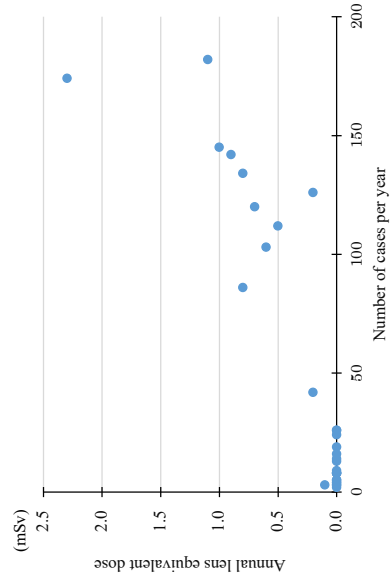


Fig. 4-8 A 病院の水晶体等価線量と症例件数の関連性

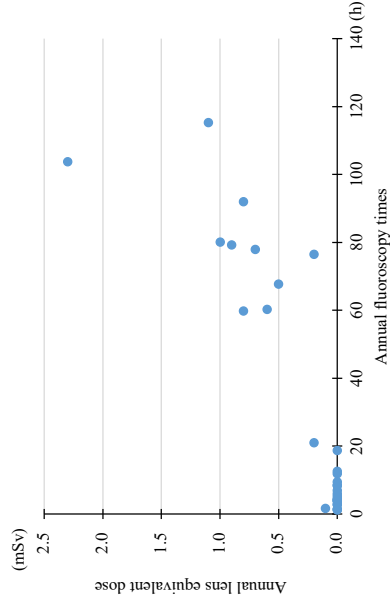


Fig. 4-9 A 病院の水晶体等価線量と総透視時間の関連性

5) 高線量率群、低線量率群間の比較

水晶体被ばくを認めた A 病院の対象者 a から対象者 l の 12 名の水晶体等価線量率の範囲は、最小 2.62 μ Sv/h から最大 62.50 μ Sv/h であり、24 倍の差が見られた。Table 4-5 に示すように中央値 9.8 μ Sv/h をもとに a から f を高線量率群 ($n=6$)、g から l を低線量率群 ($n=6$) とした。

A 病院の高線量率群と低線量率群における K_{dr} は、Table 4-6 に示す通り有意差を認めなかった ($p=0.170$)。次にその他の条件として「目的」、「診療科」、「手技」、「部屋」、「医師数」、「看護師数」の 6 つのカテゴリで解析を行なった結果を Table 4-7 に示す。各因子の比に二群間差を認めた

のは「医師数」のみであり ($p < 0.05$)、その他のカテゴリーでは有意差は認められなかった。有意差のあった「医師数」の残差分析では、3つの因子「1名」、「2名」、「3名以上」のうち「1名」のみ有意差が見られた。つまり、低線量率群に単独術者の症例が有意に多いという結果であった。

Table 4-6 A 病院 高線量率群と低線量率群における K_{air} (mGy)

	High dose rate group (n=653)	Low dose rate group (n=713)	p-value
Median	1045.2	1207.0	0.170
Range	[441.0-2178.0]	[435.0-2436.0]	
Median [range]: 中央値 [第1四分位-第3四分位]			

Table 4-7 A 病院 高線量率群と低線量率群における各条件 (因子比) の差

	Hospital A (n=12)		χ ² -test	p-value
	High dose rate group (n=6)	Low dose rate group (n=6)		
Department	n	Adjusted res*	n	Adjusted res
Cardiology	507	-	538	-
Gastroenterology	52	-	74	-
Radiology	30	-	45	-
total	589	-	657	-
Purpose	n	Adjusted res*	n	Adjusted res
Diagnostic	374	-	368	-
Treatment	279	-	347	-
total	409	-	490	-
Procedure	n	Adjusted res*	n	Adjusted res
CoAG	125	-	115	-
PCI	105	-	128	-
EPS	126	-	139	-
Angiography(abd.)	75	-	87	-
total	431	-	469	-
Rooms	n	Adjusted res*	n	Adjusted res
a	246	-	266	-
b	72	-	71	-
c	335	-	382	-
total	653	-	719	-
Number of doctors	n	Adjusted res*	n	Adjusted res
one	63	-2.7	96	2.7
two	489	0.7	479	-0.7
three or more	291	1.0	274	-1.0
total	843	-	849	-
Number of nurses	n	Adjusted res*	n	Adjusted res
one	128	-	156	-
two	357	-	381	-
three or more	159	-	213	-
total	644	-	750	-

* Adjusted res: 調整済み残差。絶対値が 1.96 より大きければ 5%水準で項目に有意差あり
 K_{air} : air kerma at the patient entrance reference point (空気カーマ値, 単位 mGy)
 CoAG: coronary angiography (冠動脈造影検査)
 PCI: percutaneous Coronary Intervention (心臓カテーテル治療)
 EPS: electrophysiological Study (心臓電気生理学的検査)

Table 4-5 A 病院 各対象者の症例件数・透視時間・被ばく線量

Nurse	Case (y)	Total fluoroscopy time (h/y)	Effective dose		Lens equivalent dose			High dose rate group (n=6)
			Total (μSv/y)	Total (μSv/y)	Maximum (μSv/mo)	Monthly average (μSv/mo)	Annual dose rate (μSv/h)	
a	3	1.6	100	100	100	8.33	62.50	High dose rate group (n=6)
b	174	103.7	500	2300	600	191.67	22.18	
c	86	59.7	200	800	200	66.67	13.41	
d	145	80.0	200	1000	200	83.33	12.50	
e	142	79.2	0	900	200	75.00	11.36	
f	103	60.2	0	600	300	50.00	9.97	
g	42	20.9	0	200	100	16.66	9.57	Low dose rate group (n=6)
h	182	115.2	100	1100	300	91.67	9.55	
i	120	77.9	0	700	100	58.33	9.0	
j	134	91.9	0	800	100	66.67	8.71	
k	112	67.6	0	500	200	41.67	7.40	
l	126	76.4	0	200	100	16.67	2.62	
Median	123	77.1	0	750	200	62.5	9.8	
Range	[98.8-142.8]	[60.0-83.0]	[0-125]	[425-925]	[100-225]	[35.4-77.1]	[8.9-12.7]	

Median [range]: 中央値 [第1四分位-第3四分位]

5. B 病院の結果

1) 診療科と術式件数

2020年2月1日から2021年1月31日の12ヵ月間に、対象看護師33名が担当した症例は計2942件であった。B病院の対象者は血管造影室以外に手術室も担当していることから、診療科はFig.4-10に示す通り、循環器内科、整形外科、脳神経科、心臓血管外科などあらゆる科に及んだが、循環器内科が898件で全体の30%を占め、続いて整形外科725件(25%)、脳神経科273件(9%)の順であった。また手技についてはFig.4-11に示す通り、PCIが386件と13%を占め、続いてCoAGが365件(13%)、脊椎手術263件(9%)、血管造影261件(8%)の順であった。

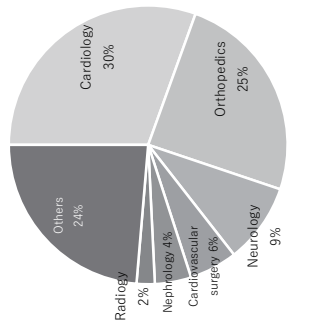


Fig. 4-10 B病院の診療科の割合

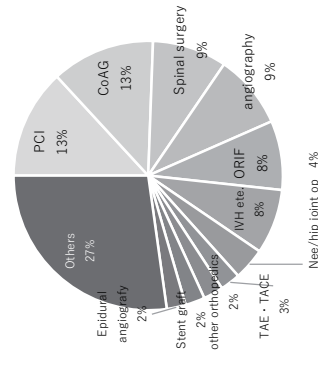


Fig. 4-11 B病院の手技の割合

2) 看護師の症例件数・透視時間・被ばく線量

全対象者の年間における症例件数、透視時間、実効線量および水晶体等価線量(率)の中央値をTable 4-8に示す。担当症例件数の中央値は114件であり、最小80件から最大359件であった。透視時間は中央値32.0時間であり、最小14.8時間から最大189.0時間と個人によって大きく差が見られた。

実効線量、年間水晶体等価線量については、ともに対象者の半数近い15名が検出限界未満であり、中央値はそれぞれ0.0 μ Sv, 100 μ Svであった。対象者のうち最も線量が高い者は、実効線量は300 μ Sv、水晶体等価線量は2100 μ Svであった。

また、33名の対象者の年間水晶体等価線量率はFig.4-12にも示す通り、最小0.0 μ Svhから最大39.6 μ Svhの範囲にあり、中央値は4.1 μ Svhであった。

Table 4-8 B病院の全対象者の症例件数・透視時間・被ばく線量

	Case (y)	Total fluoroscopy time (h/y)	Effective dose		Lens equivalent dose	
			Total (μ Sv/y)	Maximum (μ Sv/mo)	Monthly average (μ Sv/mo)	Annual dose rate (μ Sv/h)
Median [range]	114.0 [96.0-125.0]	32.0 [24.1-42.0]	0.0 [0.0-0.0]	100.0 [0.0-100.0]	8.3 [0.0-50.0]	4.1 [0.0-15.3]
				Median [range]: 中央値 [第1四分位-第3四分位]		

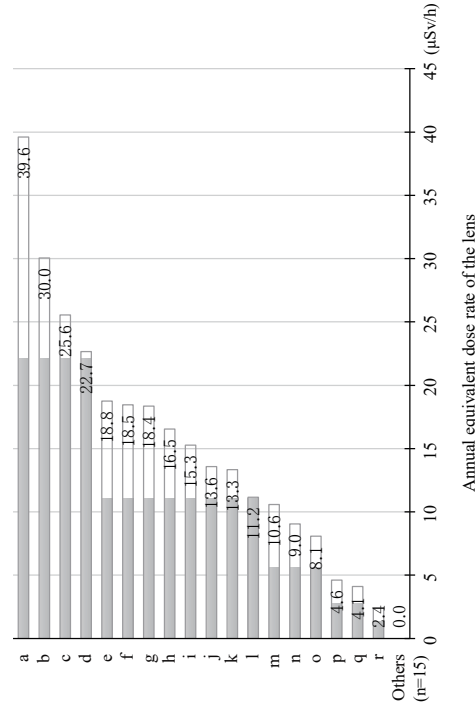


Fig. 4-12 B病院の看護師ごとの年間水晶体等価線量率

3) 年間担当症例件数および年間水晶体等価線量の比較

医師のデータが得られず、B病院における看護師と医師との二群間比較は行っていない。

4) 水晶体等価線量と症例件数・総透視時間

年間の担当症例数と水晶体等価線量においては、正の相関が認められた($R=0.45, p<0.05$)。また、総透視時間と水晶体等価線量においても、同様に正の相関が認められた($R=0.42, p<0.05$)。上記それぞれの関連性を、散布図でFig. 4-13とFig. 4-14に示した。

Table 4-9 B 病院の各対象者の症例件数・透視時間・被ばく線量

Nurse	Case (y)	Total fluoroscopy time (h/y)	Effective dose		Lens equivalent dose		
			Total ($\mu\text{Sv/y}$)	Total ($\mu\text{Sv/y}$)	Maximum ($\mu\text{Sv/mo}$)	Monthly average ($\mu\text{Sv/mo}$)	Annual dose rate ($\mu\text{Sv/h}$)
a	175	53.0	0	2100	300	175.0	39.6
b	144	39.9	0	1200	200	100.0	30.0
c	113	31.3	0	800	100	66.7	25.5
d	101	35.3	0	800	100	66.7	22.7
e	119	32.0	0	600	100	50.0	18.8
f	86	27.1	0	500	100	41.7	18.5
g	121	32.7	0	600	200	50.0	18.4
h	120	48.4	0	800	100	66.7	16.5
i	115	19.6	0	300	200	25.0	15.3
<hr/>							
j	125	36.8	0	500	100	41.7	13.6
k	125	52.5	0	700	100	58.3	13.3
l	131	62.7	0	700	100	58.3	11.2
m	359	189.0	0	2000	300	166.7	10.6
n	105	22.1	0	200	100	16.7	9.0
o	100	24.7	100	200	100	16.7	8.1
p	105	21.7	0	100	100	8.3	4.6
q	88	24.3	0	100	100	8.3	4.1
r	132	42.0	300	100	100	8.3	2.4
Median	119.5	34.0	0.0	600.0	100.0	50.0	14.4
[range]	[105.0-129.5]	[25.3-46.8]	[0.0-0.0]	[225.0-800.0]	[100.0-175.0]	[18.8-66.7]	[9.4-18.7]

Median [range]: 中央値 [第1四分位-第3四分位]

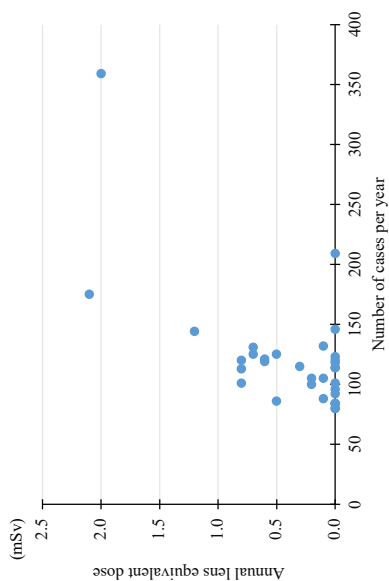


Fig.4-13 B 病院の水晶体等価線量と症例件数の関連性

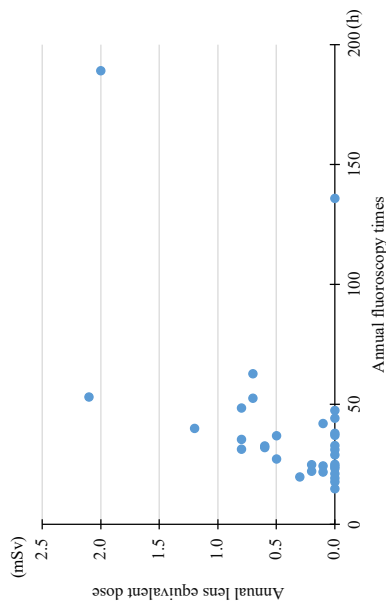


Fig.4-14 B 病院の水晶体等価線量と透視時間の関連性

5) 高線量率群, 低線量率群間の比較

水晶体被ばくを認めた B 病院の対象者 a から r の水晶体等価線量率の範囲は, 最小 2.4 $\mu\text{Sv/h}$ から最大 39.6 $\mu\text{Sv/h}$ で 16.5 倍の差が見られた (Table 4-9). 中央値 14.4 $\mu\text{Sv/h}$ をもとに a から i (n=9) を高線量率群, j から r (n=9) を低線量率群とした。

Table 4-10 B 病院の高線量率群と低線量率群における各条件 (因子比)の差

	Hospital B (n=18)				χ^2 -test p-value	
	High dose rate group (n=9)		Low dose rate group (n=9)			
	n	Adjusted res*	n	Adjusted res		
Department	Cardiology	185	-11.9	503	11.9	0.000
	Orthopedics	539	11.2	411	-11.2	
	Neurosurgery total	55	0.9	58	-0.9	
Purpose	Diagnostic Treatment total	779	-4.1	321	4.1	0.000
		638	4.1	626	-4.1	
		852		947		
Procedure	PCI	58	-3.7	126	3.7	0.000
	CoAG	74	-7.0	208	7.0	
	Spinal surgery Angiography	154	8.2	73	-8.2	
Urgency	ORIF total	126	2.4	123	-2.4	0.350
		467		595		
	High Low total	849	-	1022	-	
Rooms	Operation	519	8.7	403	-8.7	0.000
	Cardiac cath	179	-12.4	504	12.4	
	Angiography 1 Angiography 2 total	88	-0.1	107	0.1	
Number of nurses		171	4.2	130	-4.2	0.000
		957		1144		
	one two three total	247	-3.8	382	3.8	
	535	1.4	604	-1.4	0.000	
	175	2.9	156	-2.9		
	957		1142			

*Adjusted res: 調整済み残差. 絶対値が1.96より大きければ5%水準で項目に有意差あり
 PCI: percutaneous Coronary Intervention (心臓カテーテル治療)
 CoAG: coronary angiography (冠動脈造影検査)
 ORIF: open reduction and internal fixation (靭血的骨折整復固定術)

6. C 病院の結果

1) 診療科と術式件数

2018年1月1日から2021年12月31日の12ヶ月間に、対象看護師8名が担当した症例は計395件であった。診療科は循環器内科、脳神経外科の2科のみであるが、各科の症例数および手術についてはデータがなく、それらの件数や割合は不明である。

2) 看護師の症例件数・透視時間・被ばく線量

全対象者の年間における症例件数、透視時間、実効線量および水晶体等価線量 (率) の中央値を Table 4-11 に示す。担当症例件数の中央値は52.5件であり、最小18件から最大67件であった。

これらの2群について「診療科」、「目的」、「手技」、「緊急性」、「部屋」、「緊急性」、「手術」、「手技」、「目的」、「手技」、「緊急性」、「部屋」の6つのカテゴリで解析を行った。その結果を Table 4-10 に示す。「緊急性」を除いた全カテゴリにおいて、各因子の比率に二群間差を認めた ($p < 0.005$)。有意差を認めたカテゴリにおける残差分析の結果を次に述べる。

「診療科」では、全体の6割以上を占めた「循環器内科」、「整形外科」、「脳神経外科」を因子とした時、「整形外科」と「循環器内科」に有意差があり、高線量率群で「整形外科」症例が有意に多く、低線量率群で「循環器内科」症例が多いという結果であった。「目的」では、低線量率群で「診断」目的の手技が多く、高線量率群で「治療」目的の手技が多かった。「診断」目的の手技における透視時間 (中央値) は 12.1 min [range: 4.2-22.1] であったのに対し、「治療」目的の手技における透視時間は、13.2 min [range: 2.8-37.6] であった。B 病院では、整形外科が使用する移動型のモバイル透視装置に線量計が装備されていないために、 K_{ar} 値は把握できなかった。循環器内科については、診断目的の症例の K_{ar} (中央値) は 571.3 mGy [range: 134.0-967.2] であるのに対し、治療目的の症例は 1595.0 mGy [range: 981.1-2396.7] であった。また「治療」として行われている手技には、照射線量の高い心臓カテーテル手術の TEVAR・EVAR K_{ar} (中央値)、934.7 mGy [range: 528.4-1549.6] や、脳神経外科領域のステント K_{ar} (中央値) 1315.0 mGy [range: 996.2-2221.19] などが含まれる。

「手技」では、全体の6割を占めた「PCI」、「CoAG」、「脊椎手術」、「血管造影検査」、「ORIF」を因子とした結果、「血管造影検査」を除く全てにおいて有意差を認め、低線量率群で「CoAG」が多く、高線量率群は「脊椎手術」および「ORIF」が多いという結果であった。「部屋」では、X線透視下での手術が行われている「手術室」、「心臓カテーテル室」、「血管造影室1」、「血管造影室2」の4室を因子とした結果、「血管造影室1」を除く3室で有意差を認め、高線量率群では「手術室」、「血管造影室2」における症例数が有意に多く、低線量率群では「心臓カテーテル室」での症例数が多かった。有意差が見られた「血管造影室2」の透視時間 (中央値) は 10.0 分 [range: 2.03-30.58]、 K_{ar} 450.1 mGy [range: 4.9-1171.7] である。一方、今回有意差を認めなかった「血管造影室1」では、心臓カテーテル室・腎臓内科の症例が多く扱われており、透視時間は 10.7 分 [range: 3.5-25.6]、 K_{ar} 78.4 mGy [range: 14.3-502.4] であった。血管造影室1、2ともに防護壁立までの距離は 2.2 m と同じであった。「看護師数」では、「1名」、「2名」、「3名」のうち「1名」と「3名」で有意差を認め、高線量率群では「3名」で担当した症例数が多く、一方、低線量率群では「1名」で担当した症例が有意に多いという結果であった。

透視時間の中央値は21.1時間であり、最小8.2時間から最大26.4時間であった。

実効線量、年間水晶体等価線量の中央値はそれぞれ550.0 μ Sv、3200.0 μ Svであり検出限界値未満の者はいなかった。対象者のうち最も線量が高い者の実効線量は1700 μ Sv、水晶体等価線量は5300 μ Svであった。また、8名の対象者の年間水晶体等価線量率は、Fig. 4-15にも示す通り最も80.1 μ Sv/hから最大214.4 μ Sv/hの範囲にあり中央値は140.4 μ Sv/hであった。

Table 4-11 C病院の全対象者の症例件数・透視時間・被ばく線量

Cases (y)	Total fluoroscopy time (h:y)	Effective dose		Lens equivalent dose		
		Total (μ Sv/y)	Monthly average (μ Sv/mo)	Maximum (μ Sv/mo)	Annual dose rate (μ Sv/h)	Annual dose rate (μ Sv/h)
Median	21.1	550.0	3200.0	900.0	70.8	140.4
[range]	[18.6-24.8]	[275.0-900.0]	[1975.0-4150.0]	[375.0-1275.0]	[64.6-85.4]	[104.5-195.4]
					Median [range]: 中央値 [第1四分位-第3四分位]	

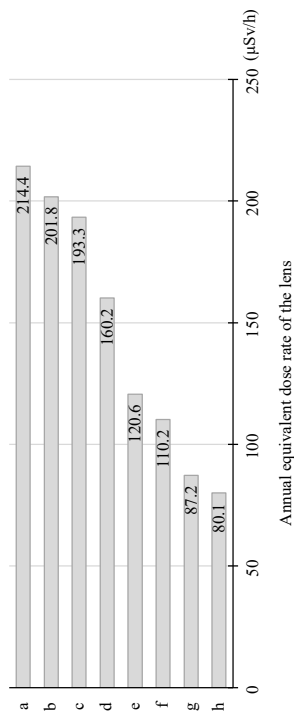


Fig. 4-15 C病院の看護師の年間水晶体等価線量率

3) 年間担当症例数および年間水晶体等価線量の比較

循環器内科医15名と看護師8名の年間担当症例数を比較した。その結果、一人あたりの症例数の中央値は、Fig. 4-16に示すように、看護師52.5件 (range:45.5-58.3)、循環器内科医2.0件 (range:2.0-9.0)であり、担当症例数の比較においては看護師の方が件数は多く、同様の結果、二群間に差が認められた ($p < 0.05$)。水晶体等価線量の比較については、医師のデータが不十分であったため行っていない。

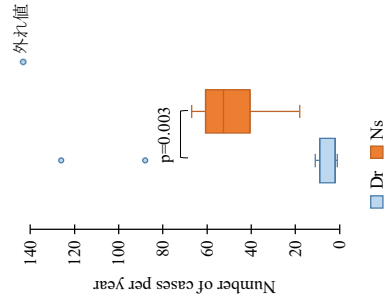


Fig. 4-16 C病院の医師と看護師の年間症例数比較

4) 水晶体等価線量と症例件数・総透視時間

看護師8名の年間担当症例数と水晶体等価線量には、正の相関が認められた ($R=0.70, p=0.05$)。また、総透視時間と水晶体等価線量にも正の相関が認められた ($R=0.55, p=0.16$)。上記それぞれの関連性を、散布図でFig. 4-17とFig. 4-18に示した。

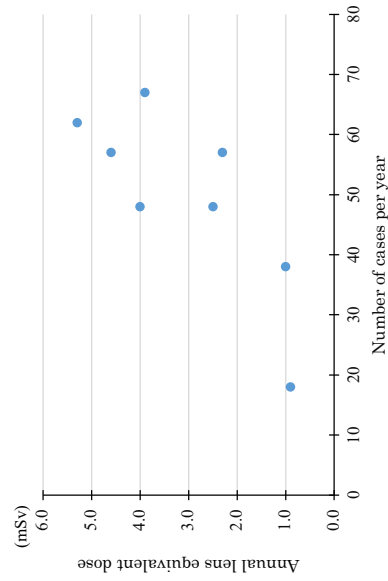


Fig. 4-17 C病院の症例件数と水晶体等価線量との関連性

Table 4-12 C 病院の各対象者の症例件数・透視時間・被ばく線量

Nurse	Case (y)	Total fluoroscopy time (h/y)	Effective dose		Lens equivalent dose			
			Total (μSv/y)	Total (μSv/y)	Maximum (μSv/mo)	Monthly average (μSv/mo)	Annual dose rate (μSv/h)	
a	57	21.5	900	4600	1200	91.7	214.4	High dose rate group (n=4)
b	62	26.3	1700	5300	1500	191.7	201.8	
c	48	20.7	900	4000	1000	66.7	193.3	
d	67	24.3	700	3900	1600	66.7	160.2	
e	48	20.7	400	2500	800	83.3	120.6	Low dose rate group (n=4)
f	18	8.2	0	900	300	75.0	110.2	
g	38	12.5	300	1000	300	58.3	80.1	
h	57	26.4	200	2100	400	50.0	79.7	
Median [range]	52.5 [45.5-58.3]	21.1 [18.6-24.8]	550.0 [275.0-900.0]	3200.0 [1825.0-4150.0]	900.0 [375.0-1275.0]	70.8 [64.6-85.4]	140.4 [102.7-195.4]	

Median [range]: 中央値 [第1四分位-第3四分位]

Table 4-13 C 病院の高線量率群と低線量率群における各条件 (因子比)の差

		Hospital C (n=8)				χ ² -test p-value
		High dose rate group (n=4)		Low dose rate group (n=4)		
		n	Adjusted res	n	Adjusted res	
Urgency	High	22	-	14	-	0.764
	Low	97	-	81	-	
	total	119	-	95	-	
Purpose	Diagnostic	62	-	45	-	0.613
	Treatment	57	-	50	-	
	total	119	-	95	-	

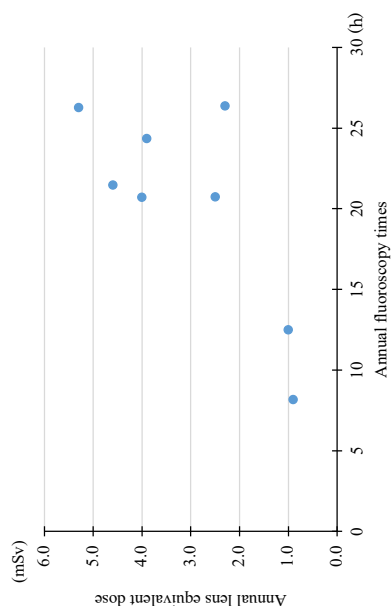


Fig.4-18 C 病院の総透視時間と水晶体等価線量との関連性

5) 高線量率群、低線量率群間の比較

水晶体被ばくを認めた C 病院の対象者 a から h の水晶体等価線量率の範囲は、Table 4-12 に示すように最小 79.7 μSv/h から最大 214.4 μSv/h であり 2.7 倍の差が見られた。中央値 140.4 μSv/h を基準に a から d (n=4) を高線量率群、e から h (n=4) を低線量率群として以下の解析を行った。

C 病院では、「緊急性」と「目的」の 2 つのカテゴリで解析を行った結果、いずれも二群間の有意差は認めず、症例数の比が異なっていないとは言えない結果であった (Table 4-13)。

7. 病院間の比較

1) 看護師の年間水晶体等価線量の差

看護師の水晶体等価線量の中央値は、A 病院は 0.0 μSv [range: 0.0-550.0], B 病院は 100 μSv [range: 0.0-2100.0], C 病院は 3200.0 μSv [range: 1825.0-4150.0]であり、Kruskal-Wallis 検定を行った結果、3 群間に有意差 (p<0.05)を認め、A 病院と C 病院の間、B 病院と C 病院の間に、それぞれ有意差 (p<0.05)を認めた (Table 4-14, and Fig. 4-19).

Table 4-14 病院間の看護師 1 人あたりの年間水晶体線量 (μSv) の差

	Hospital A	Hospital B	Hospital C	p-value	Bonferroni
Median	0.0	100.0	3200.0	0.000	A<C (p<0.05)
[range]	[0.0-550.0]	[0.0-2100.0]	[1825.0-4150.0]	0.000	B<C (p<0.05)

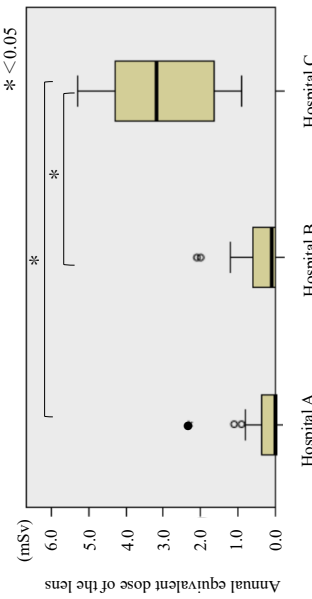


Fig. 4-19 病院ごとの年間水晶体等価線量

また、Fig. 4-20 に各病院の看護師数と年間水晶体等価線量 (一人当たりの中央値) を示す。年間水晶体等価線量が比較的高い C 病院は、A および B 病院と比べ、明らかに看護師数が少なかった。

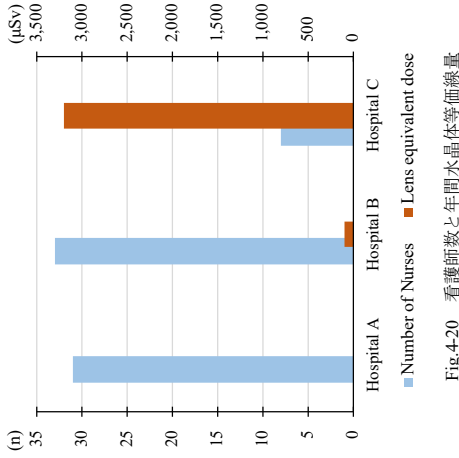


Fig. 4-20 看護師数と年間水晶体等価線量

2) 看護師の立ち位置と年間水晶体線量率との関係

水晶体被ばくを認めた看護師の水晶体等価線量率と基本的立ち位置 (距離) との関係において Fig. 4-21 に表した通り、両者は二次関数的な曲線を示し (R=0.993), 次のような累乗近似式を得た。

$$y = IE + 0.8x^{-2.67}$$

基本的立ち位置は Table 4-15 に示した通り、前述の聞き取り調査の結果 (Table 4-3) から A 病院は 500 cm, C 病院は 180 cm とした。B 病院の基本的立ち位置は各室によって一律ではなく、血管造影室 1 および血管造影室 2 は 220 m, 心臓カテーテル室は 400 cm であったことから、各室での症例数を加味して全体としての平均的な基本的立ち位置を計算し 330 cm* とした。

Table 4-15 各病院の基本的立ち位置と水晶体等価線量率 (μSv/h) の平均

	Hospital A	Hospital B	Hospital C
Distance (cm)	500	220-400	180
Mean±SD	14.9±15.0	15.5±9.3	146.0±53.4

*B 病院の平均的な基本的立ち位置 (cm) = {ア×220 + イ×220 + ウ×400} / (ア + イ + ウ)
ア: 血管造影室 2 での症例数, イ: 血管造影室 1 での症例数, ウ: 心臓カテーテル室での症例数
手術室については、立ち位置の明確なデータが得られず算定に含めていない。

実際に「1年未満で50 mSvを超えた場合、または5年未満で100 mSv」という基準を超えた場合の就制限の内容としては、それ以上、放射線業務に従事することができない「業務停止」という措置が取られることになる。この基準を超えることは、法律違反に該当し、事業者は6ヶ月以下の懲役または50万円以下の罰金が科されることとなる。そうした法律違反を犯さないよう20 mSv/年という数値を目安として、従事者の個人線量を評価、管理し、上記の被ばく線量限度を超えないよう徹底される。

すなわち被ばく線量を正確に把握されることによってその限度を超えた場合、従事者には業務制限の可能性があり、患者の診療や治療計画が滞ることにもなりかねない。このようなことから、従事者自身に個人線量計の管理を任せることには限界があると考えられる。また、水晶体線量限度の引き下げを受けて、被ばく線量の低減を図ることが課題となっているが、それ以前に、今回調査対象とした病院だけでも、法律で定められた線量測定がいまだ徹底されていない現状が判明した。こうした個人線量計の未装着は、日本に限った問題ではなく、他国においても、50%の医師が個人線量計を装着していないことが2012年に報告されており[35]、ICRP publication139でも問題提起がなされている[36]。このような被ばく線量管理を是正するには、線量測定機器の装着なしには管理区域内に立ち入ることができないよう体制を整備するなど、医療現場においても線量管理が徹底されるような環境づくりが求められる。

次に防護具については、C病院は、看護師、医師ともにほぼ全員が全ての防護具（エプロン、ネックガード、メガネ、防護板）を使用していることが確認された。その一方で、AおよびB病院では、防護具によって装着率が異なっており、とくにメガネやネックガードは、医師、看護師ともに装着率が低かった。エプロンは3病院ともに全員が使用しており、防護板も線源から立ち位置までの距離が大幅に離れているA病院の看護師を除き、全ての従事者の使用が確認された。

放射線業務従事者のなかでも、術者である医師の場合は、患者の傍で継続的に手技を行うことから、遮蔽以外の防護行動が取りにくいことが想定される。したがって、線量管理とともに防護具を適切かつ確実に使用することは、とくに重要であると言える。

管理区域に立ち入る者に対する教育訓練は、RI規制法、電離則、医療法でそれぞれ規定されているが、血管造影室業務に従事する者が被ばく防護教育として受けるものは、電離則の「透過写真撮影業務に係る特別的教育」として定められている。今回、対象とした各病院でも被ばく防護教育は、放射線業務従事者に対する全体的な集団教育として定期的に行われていた。そうした法定的教育機会に加えて、C病院では、毎週、血管造影室のスタッフが集まる会議で比較的高線量だった従事者を提示し、その要因となった場面を振り返るなどして、その業務状況に応じた効果的な防護策を都度検討するという取り組みが行われていた。今回の調査で、C病院は個人線量計

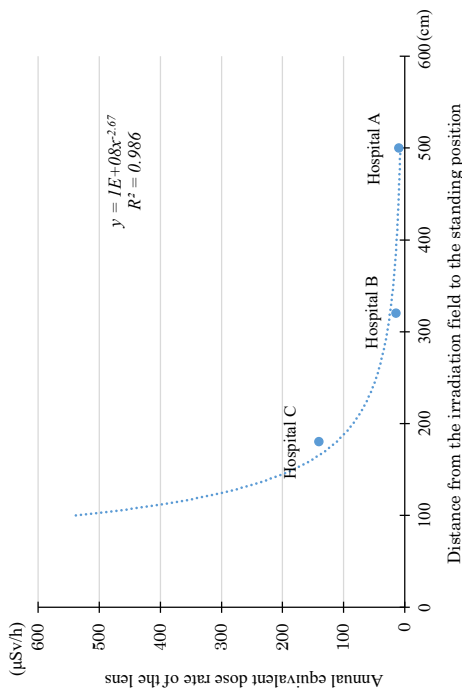


Fig. 4-21 各病院の基本的立ち位置から照射野までの距離と水晶体等価線量率

第5章 考察

1. 個人線量計と放射線防護具の使用状況、および放射線防護教育

個人線量計について、AおよびB病院の看護師はほとんどの者が装着していた。一方、医師はA病院では過半数、B病院は一部の診療科のみ全員が装着していたが他は不明であった。電離放射線障害防止規則（以下、電離則）では、管理区域に一時的に立ち入る場合も含め、全ての者が放射線測定器を装着しなければならぬと定めているが、実態は個人線量計を装着せずに放射線業務に従事している者も少なからずいた。これは、たとえ線量管理が不十分であっても、医療現場では誰からの啓めも無く業務に従事できるということを意味している。

AおよびB病院に共通するのは、医師は看護師より個人線量計の装着率が低いことである。未装着の理由までは確認できていないが、個人線量計の装着は、被ばく線量を正確に把握されることを意味する。

労働者の放射線障害防止対策における「被ばく限度等」は、電離放射線障害防止規則に定められている。事業者は、同法の義務主体として定められており、病院の場合、事業の実施を総括管理する者として、病院または診療所の院長が該当する[34]。管理者の医師（院長）とは別に開設者（理事長や事業主）が存在する大学病院や企業立病院では、最終的な責任を負うのは開設者である。

や放射線防護具の装着率が100%であったが、こうした取り組みを継続的に行う過程で、徐々に改善した経緯があるようであった。放射線防護の基本となる線量管理などを従事者個人に任せざる傾向がある医療現場では、従事者の問題認識を高める働きかけにより管理のレベルが向上することが分かる結果であったとも言える。

中上ら[37]は「放射線被ばくから医療従事者の健康を守り、継続的に改善する組織を作る仕組み」として「放射線防護マネジメント」を提案しているが、その中で「個人線量計の装着状況の確認、個人被ばく状況をチームで共有すること、被ばくの多い従事者への対応」ということもポイントとして挙げている[37]。これは、C病院が行っているように、従事者個人の被ばく線量等をチーム内で定期的かつ意識的に共有する場をもち、その中で被ばくの多い従事者への対策を具体的に図っていくことが、その職場全体の意識の向上につながるということである。

医療法施行規則第一章の三 医療の安全の確保、第1条の11 第2項第3号2に、「診療用放射線に係る安全管理」として、医療被ばくを受けける患者の被ばく線量を管理することが新たに規定され、2020年4月から施行されている。これは、管理者が安全管理体制の一つとして、患者の無駄な被ばくを防ぐということを求めている。第1章「研究の背景」で述べたように、医療従事者の被ばくは、患者への医療行為に伴い生じるものであり、患者と医療従事者の被ばくは、完全に切り離して考えることはできない。患者の被ばく防護を最適化し、患者の無駄な被ばくを防ぐことは医療従事者の被ばくを低減することにも繋がるものと言える。

2. 年間の症例数および総透視時間と水晶体等価線量

年間の担当症例数と水晶体等価線量においては、A病院およびC病院で強い正の相関が認められ、B病院ではかなり相関が認められた。また、総透視時間と水晶体等価線量においては、A病院で強い相関があり、またB病院およびC病院でもかなり相関があることがわかった。年間担当症例数と水晶体等価線量、総透視時間と水晶体等価線量との関係においては、同じ立ち位置、同じ照射線量であれば、相関関係を認めるのは当然のことである。しかしB病院やC病院の総透視時間と水晶体等価線量との間は、強い相関とまでは言えない結果であったことから、担当症例数や透視時間以外にも、看護師の被ばく線量を決定する因子が他にある可能性がある。B病院の看護師らは、手術室所属として診療科、手技ともに最も幅広く担当しており、それらの手技に応じた散乱線の発生源からの距離などさまざまな条件が影響した可能性がある。

3. 医師と看護師における年間担当症例数および年間水晶体線量

A病院とC病院の看護師については、個人差はあるものの、循環器内科医と比べると年間担当

症例数が多い傾向が認められ、Chida *et al* [25]の報告と同様、看護師一人当たりの従事頻度は医師よりも高いことが確認できた。これは、ある診療科で特定の手技を行う医師に対し、研究対象とした3病院のように、看護師は所属部署単位で血管造影室の業務に献くケースが多く、そこで行われる全ての手技に関与することになるため、医師よりも従事頻度が多くなるものと考えられる。

一方で、A病院のみの年間水晶体等価線量率の中央値の比較では、看護師 0.0 μ Sv/h [range: 0.0-9.3] に対し、循環器内科医は 5.3 μ Sv/h [range: 5.3-38.6] と医師の線量の方が大幅に高い結果であった。同じ環境下において、概ね医師より看護師の被ばく線量が低いということは、散乱線源からの距離に差があり、患者から離れている時間が長いことが考えられる。しかしA病院の医師は、個人線量計の装着率が50%程度であり、本結果の値がA病院医師の正確な被ばく線量を反映しているとは言いがたい。また前述したように、看護師はあらゆる診療科の手技で業務を行うもの、通常の線量管理では月単位の被ばく線量しか把握できないことから、診療科や手技ごとの被ばく線量を明らかにすることはできず、特定の診療科医の線量との比較には限界がある。

放射線業務への従事頻度が多いということは、当然ながら総従事時間も長くなる。血管造影室等では基本的に立位作業であるが、被ばく線量の程度に関わらず、現状では看護師も医師と同等の防護具を装着している。Andrew *et al* [38]の報告では、鉛エプロンを定期的(毎週2日以上)使用していたスタッフの83%が鉛エプロンの着用によって腰痛が悪化または引き起こした、としており、従事頻度時間が長いことによる身体的負担、とくに腰痛など筋骨格系への負担にも考慮する必要がある。

また「放射線教育経験の有無に関わらず、60%の看護師が職業被ばくに対する不安を感じながら患者の介助を行っていた」とする報告[39]もあり、放射線に対する不安を持つ看護師の場合は、従事の頻度や時間の長さから、当該業務に従事することをためらう可能性もある。IVR分野の看護師は、専門的な知識・技術に基づいた多職種連携が求められるが、看護師の被ばく管理を考える上では被ばく線量のみならず身体的、また心理的負担も含めて検討する必要がある。

4. 高線量率群、低線量率群間の比較

病院ごとに高線量率群と低線量率群について各カテゴリー内の因子比についての差を分析した結果を元に考察した内容を述べる。

1) A 病院

A病院では、高線量率群と低線量率群の二群間で、7つのカテゴリーにおける因子の比に有意差が認められたのは「医師数」のみであった。当初は、医師が少ない場合、つまり「医師数」のカ

テゴリーのうち因子が「1人」である場合に看護師が医師の介助等で患者に近づく頻度が増える可能性があることを予測していた。しかし実際には、低線量率群で「1人」の症例が有意に多いという結果であった。この結果から示唆されることは、術者が単独で対応したものは、重症度や緊急性が低い症例、もしくは簡易な手技であるという可能性が考えられる。ここで、高線量率群と低線量率群では K_{ar} 値に有意差は見られていない。また防護具の使用条件も同じであったことをふまえると、前述したような症例・手技であったことで、看護師が処置の介助や看護ケアで患者に近づく頻度が減少し、それに伴い被ばく線量の差が生じた可能性がある。

2) B 病院

B 病院では、高線量率群と低線量率群の二群間で因子の比に有意差を認めなかったのは「緊急性」のみであった。手技の「目的」に関しては、A 病院では有意差は見られなかったが、B 病院では高線量率群に「治療」を目的とした手技の比率が高い結果であった。一般に「治療」目的の手技は、「診断」目的の手技よりも搬影や透視が多用され、透視時間も長い傾向がある。しかし B 病院の透視時間においては、「診断」と「治療」の中央値に大差はなかった。一方、 K_{ar} 値に関しては、循環器内科症例にとると CoAG など診断目的で行われる症例の K_{ar} (中央値) が 571.3 mGy [range: 134.0-967.2] であるのに対し、PCI など治療目的の症例では、1595.0 mGy [range: 981.1-2396.7] と 2.5 倍ほどの違いが見られる。DRL 値でも、成人心臓領域の K_{ar} は診断カテーテル検査で 700 mGy、治療に該当する PCI で 1800~3900 mGy と一般的に高いことが報告されている [40]。さらに B 病院では「治療」として行われている手技に、照射線量の高い心臓血管外科手術の TEVAR・EVAR や、脳神経外科領域のステント手術等が含まれていることで、高線量率群で治療目的の手技の比率が高くなった可能性がある。

「診療科」に関しては、高線量率群で「整形外科」が有意に多く、「循環器内科」では有意に低かった。また「手技」でも、高線量率群で「脊椎手術」および「ORIF」が有意に多く、「CoAG」、「PCI」が有意に低いという結果であった。B 病院では、整形外科の K_{ar} 値が把屋できなかったことから、循環器内科 K_{ar} の中央値 850.4 mGy [384.0-1564.2] との比較は出来ていない。ただ整形外科手術では、循環器内科において透視下で行われる手技の CoAG、PCI と比べ、手術での機械出しなど医師の直接介助が必要な場面も発生する。そうした介助などにより、整形外科手術では、循環器内科症例よりも散乱線源との距離が近くなり、被ばく線量が増えたことが有意差に反映された可能性がある。

部屋の違いでは、高線量率群において「手術室」、「血管造影室 2」での症例が有意に多かった。「血管造影室 2」では、その症例の半数以上を頭頸部領域の IVR 手技が占めており、透視時間は、

心臓血管外科・腎臓内科の症例が多く扱われる「血管造影室 1」とほぼ同じであったものの、 K_{ar} 値は、「血管造影室 1」の 5.8 倍高かった。頭頸部領域の IVR は、一般的に線量が高く [40]、両方の血管造影室ともに防護具着立までの距離は 220cm とほぼ同じであったことを考慮すると、「血管造影室 2」で実施されている手技の違いが被ばく線量の違いをもたらしたと考えられる。また、「手術室」で行われる手技は、そのほとんどが整形外科疾患であり、これは高線量率群において、整形外科手技 (脊椎手術および ORIF) が多かったことと矛盾しない結果であった。

看護師数の違いにおいては、高線量率群では 3 人で担当する症例数が多く、低線量率群では 1 人で担当する症例が多い結果であった。これは、A 病院の医師数の有意差と同様、より重症度や緊急性が高い、もしくは困難事例や医師の介助を要する手技において看護師が 1 人ではなく 3 名配置された可能性が考えられる。

3) C 病院

C 病院は、「緊急性」や「目的」の 2 つのカテゴリのみの解析結果であったが、どちらも 2 群間で差を認めなかった。したがって、看護師の線量の差にはそれ以外の要因が影響していることが考えられる。しかし、今回得られたデータからは、これ以上の解析、判断が出来ないためより詳細な条件を確認した上で解析する必要がある。

4) まとめ

A 病院の高線量率群には、3 名以上の医師が関与した症例が寄与した可能性があった。B 病院の高線量率群には、治療目的の手技と整形外科手術に携わり、整形外科手術が行われる手術室や頭頸部領域の IVR が多く行われる血管造影室 2 で放射線業務に従事したことが寄与した可能性がある。これらの結果からは、幅広い診療科の手技を担当する看護師は、患者に近づく必要がある診療介助や、照射線量の高い手技、重症もしくは困難症例の可能性がある手技への従事の頻度が高くなることで、高線量率群となりうる可能性が示唆された。しかしながら、A および C 病院の結果を見ると、今回の条件だけで線量間差を説明するには限界がある。それ以外にも検討すべき要素としては、透視装置や患者の状態、直接介助か間接介助かといった看護師の役割、被ばく防護への認識度、防護具の使用状況、術者の手技の習熟度、手技中の医療スタッフ間のコミュニケーションの円滑さなどがある。

看護師は、医師に比べ行動の自由度が高く、医師よりもさまざまな要因が被ばく線量の違いに関与している可能性があると考えられる。今回、透視室業務を担当する診療放射線技師から聞き取りを行うなかで、注射や点滴、物品の受け渡しといった診療介助以外の行動については、「看護師

によっては、患者に近づく頻度や時間に差があるように見受けられる」ということも聞かれた。熱心に患者に寄り添うなど、それぞれの看護師の透視室内での行動特性が、個人間の被ばく線量に影響することも示唆された。

先行研究では、日本の医療従事者に関する最近の報告で、新たな水晶体等価線量限度である 20 mSv/年を超える可能性が高い診療科として、循環器内科、消化器内科が挙げられている[6]。一方、本調査では B 病院における「診療科」をカテゴリーとした解析で、「循環器内科」因子とした時、低線量率群で有意に高く、一方、「整形外科」が高線量率群で有意に高かった。さらに手技内容についても同様の結果がみられた。

先行研究との違いに関し、考えられる背景としては、調査対象者の違いと、B 病院における循環器内科と整形外科の立ち位置の差、の 2 つが考えられる。今回の調査と同様、先行研究では月毎の被ばく線量をデータに用いている。医師の場合は、概ね循環器内科、整形外科など各自が専門とする一診療科のデータを表すことになる。一方、本調査で対象者とした看護師は、外来、手術室といった部署単位で血管造影室業務を担うため、複数の診療科のデータであり、かつその割合も個人で異なっている。したがって、月毎の線量データをもつて診療科ごとの線量比較は困難である。つまり、先行研究で「水晶体透過線量限度である 20 mSv/年を超える可能性が高い診療科」として判断したデータは、各診療科の医師のデータである。医師と看護師とは透視室内での役割や動き、室内における位置（線源からの距離）も異なるために、本調査結果とは一致しなかった可能性が考えられる。

次に B 病院では、看護師の基本的立ち位置が部屋によって異なっていたため、病院ごとの立ち位置を算出するために看護師が担当した症例数で均したが、心カテ室は、400 cm と血管造影室 220 cm より距離がとられていた。これらの理由から「循環器内科で被ばくが高い」という先行研究結果とは異なる傾向を呈した可能性がある。

Nagamoto *et al* [4]は、整形外科分野の 3 mm 線量当量（水晶体等価線量）は、職業上の眼の水晶体被ばく線量が高いことが知られている消化器病専門医の中央値より高く、線量率は心臓病専門医のそれと同様だった、と報告している。このような調査からも、整形外科の水晶体等価線量は比較的高い水準にあることが窺える。

5. 病院間での年間水晶体線量レベルの比較

1) 年間水晶体等価線量

本調査の対象看護師の年間水晶体等価線量は、いずれの病院においても、5 年平均 20 mSv/年未満という新たな線量限度を超えたものは確認されなかった。看護師の個人線量計の装着状況を確

認した結果、A および B 病院は、全員装着した状態を 5 とした時「4」であり、100%ではなかった。その状況下で、最も被ばく線量が高かった者の水晶体等価線量は、A 病院、B 病院それぞれ 2.3 mSv/年、2.1 mSv/年、実効線量は 0.5 mSv/年、0.3 mSv/年であった。したがって、看護師に関しては、被ばく低減を積極的に図るための特別な措置は必要ないと言える。C 病院については、看護師、医師ともに全員が個人線量計を装着しているため、その被ばく線量は、実際の値を概ね反映しているものと考えられる。その上で、看護師については、最大年間実効線量 1.7 mSv、最大年間水晶体等価線量 5.3 mSv であり、線量限度の 1/4 程度であったことから、法的に措置が必要とは言えない。また防護眼鏡等についても全員が装着しており、水晶体に対する実際の被ばく線量は測定値の 40～50%程度に低減されていると考えられる。

そのうえで看護師の水晶体等価線量は、3 病院間および、群間比較においては A 病院と C 病院の間、B 病院と C 病院の間にそれぞれの有意差を認め、看護師の水晶体被ばく線量レベルに病院単位での傾向があり、各施設内の状況に左右される面があることが同えた。C 病院では A および B 病院に比べ、病院単位での看護師の水晶体等価線量が相対的に高く、その要因のひとつとして推察されることは、C 病院の血管造影室業務を担当する看護師数である。C 病院では、8 名と限られた人数で全ての症例を担当しており、A および B 病院のように検出限界値未満の者はいなかった。C 病院は中規模の総合病院であり、大学病院である A および B 病院よりも担当看護師の数は少なく、ローテーションで IVR を担当するような勤務体制は取りにくいことが推測される。今回は、3 病院のみの分析であるため推測の域を出ないが、血管造影室業務にあたる看護師全体の被ばく線量レベルには、その病院規模も影響する可能性を考慮する必要がある。

各病院の看護師数と年間水晶体等価線量（一人当たりの中央値）でも、年間水晶体等価線量が比較的高かった C 病院は明らかに看護師数が少ないことが見て取れる。症例ごとの看護師数も A 病院 1～5 名/件、B 病院 1～3 名/件、C 病院は 1～2 人/件と病院で差があり、血管造影室を担当する部署の看護師の母数によって左右されている可能性が高い。本調査では、看護師の動きの違いまでは把握できていないが、同じような症例を 3 名で対応する場合と、1 人で対応する場合とでは、室内における看護師の役割や動きが異なることが推測される。具体的には、複数よりも 1 人で対応するケースの方が、患者ケアや、術者の介助で線源に近づく頻度が上がることが考えられ、常に少人数で対応する C 病院が相対的に高線量となった可能性がある。

C 病院は血管造影室が 2 室であったが、1 室しかない病院は、より少ない看護師が IVR 業務を担当していることも考えられる。診療放射線技師によると、実際にそうした病院はあり、少人数の看護師が専任的に血管造影室業務を担っているケースもあるようである。

本調査では年間被ばく線量限度を超える者は確認されなかったが、もし少人数で緊急症例や困

必要がある」としている。本調査では、血管造影室の看護師が部署単位で業務を担うなかで、実にさまざまな放射線診療に従事しており、その被ばくの背景には担当する診療科や手技など複雑な条件が絡んでいる実態も一部明らかとなった。したがって、看護師に対しては、一律の放射線防護対策では不十分であり、各施設の実態や傾向に応じた具体的な方策を検討する必要があると考える。

2) 各施設の立ち位置と年間水晶体線量率

看護師の被ばくには、前項の4) で述べたように医師以上に複雑な要因が関係していることが推察されるが、ここで、病院ごとに基本的立ち位置の違いから、水晶体被ばくを認めた看護師の水晶体等価線量率を検証してみると、基本的立ち位置と水晶体等価線量率は二次関数的な曲線を示した。看護師が記録を行う基本的立ち位置は、病院や部屋ごとに独自に決められている。A 病院は、患者の足元方向におよそ 500 cm 離れた位置であり、B 病院は症例により異なるものの患者の足元もしくは頭側方向に血管造影室は 220 cm、心臓カテーテル室は 400 cm の位置である。C 病院は術者の背後 180 cm ほどの距離に位置している。担当する看護師はその術中、殆どの時間をこれらの位置で過ごしていると考えられる。したがって、基本的立ち位置と水晶体等価線量率の相関が二次関数的な曲線を示したことは、被ばく線量が放射線源からの距離の逆二乗に反比例するという性質を反映した結果であるといえる。すなわち室内での看護師の基本的立ち位置が、各病院の看護師の被ばく線量レベルを決定する要因の一つとして関係している可能性が高い。

今回の C 病院が A、B 病院との比較で被ばく線量が高かった背景には、この室内の基本的立ち位置も影響した可能性もある。立ち位置は、各病院では室内の広さ等に応じて必然的に決められている状況があった。血管造影室は手術室に該当するが、手術室の面積について規定される明確な基準はない[43]。病院の規模等によって血管造影室の広さが異なる可能性もあり、さらに少人数で業務を担う施設では、やはり個人線量管理を確実に行うとともに、必要に応じた防護具の適正使用が重要となる。

水晶体等価線量率が最も低かった A 病院の立ち位置は、患者の足元方向におよそ 500 cm 離れた点であった。この位置では、距離があることに加え、患者の右側に立つ医師や吊り防護板の存在で、ほとんど患者の顔を見ることができない可能性が高い (Fig.5-1)。

本調査では、どのような基準で看護師の立ち位置を決めているのかということまで確認できなかったが、その室内の広さや物品配置などによって、看護師の立ち位置が決められている可能性もある。距離を最大限確保することは被ばく防護の点では有用である一方、患者のケアと看護師自身の被ばく線量は、いわばトレードオフの関係にあると見え、看護という業務の特性上、距離、

難症例を続けて担当するような場合は、さらに被ばく線量が増える可能性も十分考えられる。また、元のスタッフ数が少ないために休業者が発生した場合など、他の従事者の被ばく量が増加しやすい。C 病院も本来血管造影室の定員は 12 名であるが、妊娠、出産等で調査当時は 8 名の看護師で業務を担っているという状況であった。

血管造影室は、周手術術の看護ケアだけでなく、そこで用いられるステント等の様々なデバイスの特徴や使い方も十分把握しておかなければならない。よって、ある程度経験のある看護師でなければ務まらない特殊な現場であると言え、限られた人員で対応する際には、単に業務量が増えるだけでなく、職業被ばくも高まる可能性がある。管理監督者は、こうした特性も認識しておくべきであろう。そうした意味で、本調査結果の一部を提示することなども有用と考えられる。

一方、規模病院による利点も考慮したい。岩田[42]は、「(中規模病院は) 診療科に属する医師数も少なく、細かな専門性に分化してしまっていることもほとんどないため、治療方針決定等が迅速でぶれにくく、各利間の距離が近く診療科の壁を越えて治療に当たりやすい」としている。これは主に医師に関して述べられているものだが、ともに業務を行う看護師にも当てはまる点がある。つまり、A および B 病院のような大規模病院で、部署単位で血管造影室を担う場合は、何人もスタッフがいる中で、幅広く診療科や手技を担当する。一方、限られたスタッフに限られた診療科の医師や診療放射線技師とともに従事する施設では、コミュニケーションや、互いの傾向把握や連携が取りやすくなる。実際に C 病院では担当者会議で個人被ばく線量を提示するなど情報共有がなされており、それが被ばく防護意識を向上させた(個人線量計や防護具の装着状況が改善した) 事例と言える。

したがって少人数のスタッフ間で連携を取りやすい利点を生かし、コミュニケーションを意識した被ばく防護の取り組みも非常に有用であろう。Komemushi *et al* [26]は、「実効線量は、声かけグループでは手技ごとに $0.018 \mu\text{Sv} \pm 0.04$ 、声かけなしグループでは手技ごとに $0.056 \mu\text{Sv} \pm 0.129$ で、声かけグループの放射線量は有意に低かった」としている。

血管造影室内での具体的な声かけとしては、X 線スライツを押す術者が、透視や撮影をする、つまり散乱線による被ばくをする可能性がある際に、事前に周囲に声をかけたり、看護師側も患者に近づいたりしたい時には、術者にタイミングを確認するなどが挙げられる。

今回対象とした各病院では、看護師は所属する部署単位で業務を担っており、従事する回数に個人差はあるものの、所属部署で行われる手術は全て担当している状況であった。こうした看護師の業務内容について、藤瀬ら[6]は「ローテーションの中で、さまざまなモダリティによる放射線診療の介助等で被ばくする可能性があるため、基本的な放射線防護に加え、各モダリティに特徴的な立ち位置や防護器材の使用などの防護方策についても看護師自身が把握して対処していく

遮蔽、時間という放射線防護の三原則を以てすると、患者のケアの質が低下する可能性も孕んでいる。

血管造影室内で7割以上の患者が看護師に期待する看護ケアとしては、「励ましの声かけ」や「苦痛の確認」、「近くにいてくれた」などが挙げられている[44]。IVRの検査・治療は、教時間にあたって行われることもあり、患者は様々な機器に囲まれた環境下で身動きが制限される。そのような特殊な状況下にある患者のニーズを的確に捉え、判断し、

時にはアドボケートとしての役割を果たすことは看護師の責任である。しかしながら、看護師が自身の被ばくに不安をもっている場合、患者へ近づくと頻度や時間が短くなることも予測される。患者に接する距離でケアを行う時、X線管に近く、防護板も設置されていない場所に立つ場合は被ばく線量が高くなるため、短時間にとどめ、基本的な立ち位置となる場所は線源から離れ、かつ患者の状態を常に観察できる位置で線源からの距離を可能な限りとる、防護メガネを装着するといった対策が求められる。それに加え、行動に自由度があるという特性を踏まえ、どのような行動が被ばく線量に影響するかということを、開与する手技に応じて提示できるようになるのではないかと考える。看護師は主体的な防護行動を取りつつ、効果的な看護実践ができるようになるのではないかと考える。

6. 産業衛生学的な意義

放射線業務従事者が放射線による眼の障害の可能性があると医師が認めた場合、放射線業務が制限される。ただ、放射線障害として起こりうる白内障は特異的なものではなく、加齢など他にも複数の要因が関係する。また、放射線による影響を考慮しても、被ばく後長期間を経た後に発症するため、診断を受けた時点で要因を鑑別することは難しい。

今後新たな放射線診断手法の開発や普及に伴い、放射線診療の機会が増加するなか、従事者が将来の健康障害リスクに不安を抱えることなく日々業務に従事できるよう、また専門性を高められるよう、安全な環境や体制を整えることが求められる。

本調査において各病院では、IVRやその他の画像下治療を行うスタッフの体制や荷式、透視時間などは患者の状態等に合わせた対応がとられることが分かった。これは、看護師を含む医療従事者の被ばくは、患者の状態によって左右されることを意味している。こうしたことから、医療従事者に対しては他の産業分野と同じような一律の防護対策や教育では実態に合わないこと

が考えられる。よって、医療従事者の被ばく防護を目的とした作業環境管理、作業管理を行う上では、各従事者の被ばくの実態や防護行動をより詳細に把握し、どのような行動のもとでどの程度の被ばくをするのか、またそれがどの程度のリスクにつながるのかということ個人線量計によって正しく測ることが重要となる。

また、これまで医療現場では従事者被ばくに対する管理や対策が疎らとなってきたが、この背景には、患者の生命が優先的に守られるべき現場であること、それと関連して従事者自身の意識に被ばく防護を任せてきたことがあると考えられている。本調査の対象には、個人線量計や個人防護具の装着状況が、他より明らかに高かった病院がある。そこでは通常、患者について話し合わせる定例カンファレンスで、従事者自身の被ばくも同時に取り上げ、従事者同士で定期的に被ばく線量等を評価していた。これは、患者の状態等に合わせた柔軟な防護対策が求められる医療現場では、従事者自身の意識が線量管理や防護対策状況を左右し得る重要な要素になることを反映していると言える。

加えて、本調査では比較的規模の小さい病院で全体としての個人線量レベルが相対的に高くなるなど、病院規模が看護師の被ばく線量の傾向に影響を及ぼしていることが示された。

その問題点としては、被ばく低減が可能な範囲に限界が生じる可能性がある。さらに全体として高いレベルにある場合などは、施設のなかでより被ばく防護の最適化を図る必要性に気づきにくい点があると考ええる。

放射線業務従事者への被ばく防護教育では、防護具の使用や退避行動など、各個人の意識や努力に働きかけることが主体となるが、人員やスペース（定められる立ち位置）、限られた防護具の分配など、管理や資源に係る側面については、従事者教育では解決されない。したがって、解決策につながる点としては、まずは、より多くの施設で被ばくの実態を明らかにすること、またそれを病院の管理者にフィードバックし、意識される形で提示することが求められると考えている。

法律上は、いわば最低限のことしか決められていない。また、医療分野では患者の治療や命を守ることを優先し、医療従事者を労働安全衛生の観点で管理することが後回しとされてきた[39]実情がある。こうしたことから、医療従事者が健康で安心して放射線業務に従事出来る環境をつくるためには、被ばく線量限度を超える者を出さないというだけでは、やはり不十分である。

医療従事者の被ばく管理のガイドラインとして、導入が始まっている「放射線マネジメントシステム」[37]は、人員や資源、風土が異なる各医療機関において、まさに被ばく防護の最適化を図ることを目的とした仕組み作りとして有用であると考えられる。



Fig. 5-1 500cm離れた看護師の立ち位置から患者を見た状態

7. 本研究の限界

今回、調査対象とした3施設で血管造影室内の環境やそこで扱われる手技などが異なったため線量率群比較を各施設の看護士ごとに行った。これによりサンプルサイズが小さくなった点がある。また、本調査で扱ったデータは1ヶ月の積算値であり、対象者らがいづ、どこで、どのような状況で被ばくしたかが不明であった。これでは、効果的な被ばく低減策を講じることが困難であるため、今後はリアルタイム線量測定を用い、症例毎の被ばく線量を明らかにする必要がある。水晶体等価線量は、1 cm 線量当量または 70 μ m 線量当量の高値をもって間接的に管理されるため、今回水晶体等価線量とした結果は、襟の高さの個人線量計による値を用いているが、この装着位置は実際の眼の高さよりも低いため、散乱線源である検査台の患者との位置関係から考えると、本来の水晶体等価線量値よりも過大評価となっている可能性がある。したがって、より正確な水晶体等価線量を求めるための個人線量計の工夫や、手技を邪魔しない装着方法を考える必要がある。

第6章 結論

本研究から、術者が単独で対応する症例は重症度や緊急性が低いもしくは簡易な手技であるため、看護士が処置の介助や看護ケアで患者に近づく頻度が減少しうる。一方、幅広い診療科の手技を担当する病院では、看護士は患者に近づく必要がある診療介助や、照射線量の高い手技、重症もしくは困難症例の可能性のある手技への従事の頻度が高くなり、高線量率群となりうる可能性が示唆された。

また中規模の総合病院では、大学病院のように多くの看護士がローテーションでIVRを担当する体制は取れない可能性があり、その場合、全体としての個人線量レベルが相対的に高くなるなど、病院規模が看護士の被ばく線量の傾向に影響を及ぼしうる可能性が示唆された。さらに、術室内における立ち位置も、看護士の被ばく線量レベルを決定する要因の一つになることが示唆された。

利益相反と倫理的配慮

本研究には開示すべき利益相反はない。

謝辞

本論文の作成にあたり、データ提供等にご協力下さった茂呂田孝一氏、人見剛氏、中上晃一氏、永元啓介氏およびご指導いただきました樺田尚樹氏、盛武敏氏に深く感謝いたします。

参考文献

1. JMC-CT JP (2014): 医療用 CT と産業用 CT の違い。JMC Corporation, 大阪 <https://www.jmc-ct.jp/study/study09/> (Accessed November 9, 2021).
2. 株式会社千代田テクノル (2021): 放射線安全管理総合情報雑誌 FB news 第 539 号, 令和 2 年個人線量の実態. Retrieved from https://www.c-technol.co.jp/cms/wp-content/uploads/2021/10/FBN539_202111web.pdf
3. 原子力規制庁 (2021): IAEA 技術文書 No.1731(2013)日本語翻訳版, 眼の水晶体の新しい線量限度の職業上の放射線防護の意味合いについて. Retrieved from <https://www.nsr.go.jp/data/000354309.pdf>
4. 原子力規制庁 (2017): 第 3 回放射線防護検討部会 眼の水晶体の放射線防護検討部会 医療における水晶体被ばくの現状. Retrieved from <https://www.nsr.go.jp/data/000205422.pdf>
5. 株式会社千代田テクノル (2021): 放射線安全管理総合情報雑誌 FB news 第 537 号, 令和 2 年個人線量の実態. Retrieved from https://www.c-technol.co.jp/cms/wp-content/uploads/2021/08/FBN537_202109web.pdf
6. 藤淵俊玉, 藤田克出, 五十嵐隆元, 西丸英治, 堀田昇吾, 桜井礼子, 小野孝二 (2021): 放射線診療従事者の不均等被ばく管理の実態に基づく水晶体被ばく低減対策の提案. 日本放射線技術学会雑誌 77: 160-171
7. 社団法人日本アイソトープ協会(1997), ICRP Publication 41 電離放射線の非確率的影響. Retrieved from https://www.icrp.org/docs/P41_Japanese.pdf
8. 日本アイソトープ協会 (2017): 組織反応に関する ICRP 声明. 正帯な組織・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一. ICRP Publication118. 初版. Retrieved from https://www.icrp.org/docs/P118_Japanese.pdf
9. Kikuchi Y, Yokoyama T, Takamatsu M *et al* (2013): Glaucoma in atomic bomb survivors. *Radiat Res* 180: 422-430
10. Minamoto A, Taniguchi H, Yoshitani N *et al* (2004): Cataract in atomic bomb survivors. *Int J Radiat Biol* 80: 339-345
11. 浜田信行, 吉永信治(2018), 医療放射線被ばくの疫学とリスク推定に関する最近のトピックス. *Jpn J Health Phys S3(3): 136-145*
12. 岩史子, 榑原友珠, 佐藤英津子, 寺田聡夫, 大岩伊知郎(2011): 重粒子線治療により発症した放射線網膜症の1例. *臨床眼科: 65(13)*
13. Nakashima E, Neriishi K & Minamoto A (2006): A reanalysis of atomic-bomb cataract data, 2000-2002: a threshold analysis. *Health Phys* 90: 154-160
14. Nerishi K, Nakashima E, Minamoto A, Fujiwara S, Akahoshi M, Mishima H, Kitaoka T, Shore R. E. (2007): Postoperative cataract cases among atomic bomb survivors: radiation dose response and threshold. *Radiat Res* 168: 404-408
15. Chodick G, Bekiroglu N, Hauptmann M *et al* (2008): Risk of Cataract after Exposure to Low Doses of Ionizing Radiation: A 20-Year Prospective Cohort Study among US Radiologic Technologists. *American Journal of Epidemiology* 168: 620-631
16. Junk A K, Haskal Z & Worgul B V (2004): Cataract in interventional radiology—an occupational hazard? *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 45: 388-388
17. Vano E, Kleiman N J, Duran A, Rehani M M, Echeverri D & Cabrera M (2010): Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat Res* 174: 490-495
18. 東京大学放射線取扱者再教育資料 No. 32-2(2014), 1. 眼の水晶体の放射線影響評価と線量限度に関する最近の動向. Retrieved from <https://www.rite.u-tokyo.ac.jp/reeducation/reeducation32-2.pdf>
19. 藤通有希, 小佐古敏庄, 吉田和生, 浜田信行 (2013): 新たな水晶体等価線量限度に関する放射線防護の課題. *保健物理* 48: 86-96
20. Abe T, Fumii S, Sasaki G *et al* (2013). Quantitative evaluation of light scattering intensities of the crystalline lens for radiation related minimal change in interventional radiologists: a cross-sectional pilot study. *J Radiat Res* 54(2): 315-321
21. 独立行政法人労働者健康福祉機構 (2013): 産業保健 21, 1.放射線業務および除染作業等の安全衛生管理. Retrieved from <https://www.johas.go.jp/Portals/0/data0/sampo/sampo21/pdf/71-2.pdf>
22. Ekstathopoulos E P, Pantos I, Andreou M, Gkatzis A, Carinou E, Koukorava C, Kelekis N L & Brountzos E (2011): Occupational radiation doses to the extremities and the eyes in interventional radiology and cardiology procedures. *Br J Radiol*. 84: 70-77
23. Domienik J, Brodecki M & Rusicka D (2012): A study of the dose distribution in the region of the eye lens and extremities for staff working in interventional cardiology. *Radiat Meas* 47: 130-138

付録

A. 医療従事者の被ばく規制に関する国際的な事項

放射線防護に係るさまざまな規制や実際の取り組みには、根本とすべき原則がある。本項では、それを提示している組織や原則の具体的な内容について述べる。

A.1 国際放射線防護委員会 (ICRP)

ICRP とは、放射線防護の基本的な枠組みと防護基準を勧告することを目的とした国際学術組織である。1895 年の X 線発見後、身体への被ばく影響の報告を受け、1928 年に設立された国際 X 線ラジウム防護委員会が前身であるが、民間の独立機関が運営し、組織は主委員会と専門委員会とで構成される。専門委員会には、放射線影響、線量概念、医療被ばくに対する防護、勧告の適用、環境の放射線防護の 5 つがあり、主な活動は、放射線防護に関する勧告と集約した放射線影響に関する科学的知見やデータを刊行物として発刊することである。ICRP 勧告は、權威あるものとして世界各国で放射線防護の基準に取り入れられており、日本での関連した法令改正も ICRP 勧告に基づいている。

A.2 被ばくの区分とその内容

ICRP では、放射線被ばくを職業、医療、公衆被ばくの 3 つに区分している。これらを規制に用いる際には、個人に対して複数の区分を当てはめることは必要ないとされている。

A.2.1 職業被ばく

職業被ばくについては、ICRP は「作業者がその自らの仕事の結果として被るすべての放射線被ばく」と定義している。このとき同時に受ける可能性のある自然放射線による被ばく等は含まれず、業務の管理者の責任のもとで行われる行為によるもののみが該当する。医療現場では、放射線照射を受ける患者のそばで手技や補助を行う行為の間接的に受けるものが、職業被ばくには該当する。患者への放射線照射時間が長いほど、また放射線のエネルギーが高いほど、散乱線が多く発生することから、医療現場の職業被ばくは、概ね患者に照射される線量に比例して増加する。

A.2.2 医療被ばく

患者が利益を目的として医療行為を受けることに伴い被ばくするものを、医療被ばくという。患者の介助を担う家族や、研究の被験者も対象に含まれる。世界的には、自然放射線 2.4 mSv に対し医療被ばくは増加傾向にあり、0.6 mSv と全体の 20%程度を占める。さらに日本を含め一部

24. Antic V, Ciraj-Bjelac O, Rehmani M, Aleksandric S, Arandjic D & Ostojic M (2013): Eye lens dosimetry in interventional cardiology: results of staff dose measurements and link to patient dose levels. *Radiat Protect Dosimetry* 154 (3): 276-284

25. Chida K, Kaga Y, Haga Y, Kataoka N, Kumasaka E, Meguro T & Zuguchi M (2013): Occupational dose in interventional radiology procedures. *Ann J Roentgenol* 200: 138-141

26. Komemushi A, Suzuki S, Sano A, Kanno S, Kariya S, Nakatani M, Yoshida R, Kono Y, Ikeda K & Utsunomiya K (2014) Radiation dose of nurses during IR procedures: a controlled trial evaluating operator alerts before nursing tasks. *J Vasc Interv Radiol* 25 (8): 1195-1199

27. Sandblom V, Mai T, Almén A, Rystedt H, Cederblad A, Bath M & Lundh C (2013): Evaluation of the impact of a system for real-time visualisation of occupational radiation dose rate during fluoroscopically guided procedures. *J Radiol Prot* 33 (3): 693-702

28. Principi S, Delgado SC, Ginjaume M, Beltran VM, Rovira Escutia JJ & Duch MA (2015): Eye lens dose in interventional cardiology. *Radiat Prot Dosimetry* 165 (1-4): 289-293

29. Saiter AM, Schunick GWH, Böhm ME, de Haan MW, van Zwam WH, Wildberger JE & Jenkens CKLPN (2015): Occupational Radiation Exposure During Endovascular Aortic Repair. *Cardiovasc Interv Radiol* 38(4):827-832

30. Gilligan P, Lynch J, Eder H, Maguire S, Fox E, Doyle B, Casserly I, McCann H & Foley D (2015): Assessment of clinical occupational dose reduction effect of a new interventional cardiology shield for radial access combined with a scatter reducing drape. *Catheter Cardiovasc Interv* 86(5): 935-940

31. McLean D, Hadaya D & Tse J (2016): Eye dose to staff involved in interventional and procedural fluoroscopy. *J Phys Conf Ser* 694 (1): 1-6

32. Haga Y, Chida K, Kaga Y, Sota M, Meguro T & Zuguchi M (2017): Occupational eye dose in interventional cardiology procedures. *Scient Rep (Nature publisher Group)*: 1-7

33. Omar A, Kadesjö N, Palmgren C, Martensdotter M, Segerdahl T & Fransson A (2017): Assessment of the occupational eye lens dose for clinical staff in interventional radiology, cardiology and neuroradiology. *J Radiol Prot* 37(1): 145-179

34. 厚生労働省労働基準局:「産業医の選任の改善について」基安委 1030 第 4 号、都道府県労働局長あて厚生労働省労働基準局安全衛生部長通知(平成 27 年 10 月 30 日)

35. Sanchez R M, Vano E, Fernández J M, Rosales F, *et al.* (2012): Staff doses in interventional radiology: anational survey. *J Vasc and Interv radiol* 23 (11):1496-1501

36. Padovani, G, Massera, C, Yoder, *et al.* (2018): ICRP Publication 139 Occupational Radiological Protection. *Ann. Icrp* 47(2): 1-118

37. 中上晃一, 酒井流典, 末吉尚純, 樺田尚樹, 森晃爾 (2021): 放射線防護マネジメントシステムについて. *Rad Fan* 19 (10): 69-72

38. Andrew S, Abdelmonem M R, Kohli S and Dabke H (2021): Evaluation of Back Pain and Lead Apron Use Among Staff at a District General Hospital. *Cureus Oct* 13(10): e18859

39. 松田尚樹, 吉田正博, 高尾秀明他 (2004): 医療施設と教育研究用放射線施設の協力による看護師を対象とした放射線講習の教育効果. *日本放射線安全管理学会* 3 (2): 79-84

40. 独立行政法人放射線医学総合研究所 (May, 1, 2021): 日本の診断参考レベル 2020 年版. Retrieved from http://www.radther.jp/J-RIME/report/JapanDR12020_jp.pdf

41. Naagamoto K, Moritake T, Nakagami K, Morota K, Matsuzaki S, Kunugiya N (2021): A multicenter study of radiation doses to the eye lenses of clinical physicians performing radiology procedures in Japan. *J Occup Health* 63 (1): e12305

42. 岩田幸代, 都市型中規模病院における共生戦略～循環器領域を例に～ Retrieved from <https://www.u-hyogo.ac.jp/mha/pdf/SBR/3-1/167.pdf>

43. 平田哲, 旭川医科大学病院手術部, 「手術医療の実践ガイドライン」改訂, 2018 年版, 第 13 章 手術部建築・設備. Retrieved from <http://jaom.kenkyukai.jp/images/sys/55Cmformation%5C20181005141824E4C70A57A1474FC1EFB70FE0707C7B22404DEB8D366192F32FD16509A9016B68.pdf>

44. 長沼みづき, 高雄知子, 穴水美和, 山主清江, 金丸明美, 小林ひとみ, 山崎洋子 (2007): 血管造影室の看護師に患者がもめているもの. *Yamanashi Nursing Journal* 6 (1): 23-26

45. 日本学術会議臨床医学委員会放射線・臨床検査分科会 (2017): CT 検査による医療被ばくの低減に関する提言 Retrieved from <http://www.sej.go.jp/ise/info/kohyo/pdf/kohyo-23-248-1.pdf>

46. ICRP (1991): Publication 60: The 1990 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP* 21

の先進国は、自然放射線量を医療被ばくが上回っており、日本は米国とともに最も医療被ばく線量が低い。こうした日本の医療被ばくの背景には、人口 1,000 人あたりの X 線検査の実施件数が世界で最多であることや、CT 撮影や IVR が広く普及していることなどが挙げられる [45]。

A. 2.3 公衆被ばく

職業被ばく、医療被ばくおよび局地的な自然放射線を除いたものが公衆被ばくである。ICRP の 1990 年勧告 (Publication 60) [46]では、公衆の年間線量限度を 1 mSv とし、5 年間平均で 1 mSv/年を超えなければ良いとされている。妊娠した放射線業務従事者の体内の胚 (分裂した受精卵) や胎児の被ばくは、公衆被ばくに該当する。

A. 3 放射線防護体系の三原則、および被ばく区分への適応

放射線防護においては、被ばくの区分に則った防護が必要であり、放射線防護体系の三原則として、行為の正当化、防護の最適化、線量限度の適用が挙げられている。

A. 3.1 行為の正当化

放射線を取り扱う行為において便益がリスクを上回る場合のみ認められる、という原則を行為の正当化という。ICRP は、医療における患者自身の被ばくだけでなく、職業被ばくや公衆被ばくに対しても考慮、確認すべきとしている。たとえば患者の診療を行う医師が、被ばくによって健康を害する場合は、正当化すべきではないことになる。

A. 3.2 防護の最適化

放射線の取り扱いが正当化できる場合でも、個人の被ばく線量や、被ばくする人数を合理的にできる限り低く抑える(As Low As Reasonably Achievable: ALARA)という原則が防護の最適化になる。ICRP はこの最適化について、医療施設数 施設数
診断参考レベル
75%
25%
線量
医療被ばくにおける防護の最適化を評価するために近年用いられているのが、診断参考レベル (Diagnostic reference level: Fig. A-1 用いられる線量と医療施設数、および診断参考レベル [48])

DRL)である。これは、国内の放射線診断等における線量を調査した線量分布の 75% タイル値を標準線量として提示したものであり (Fig. A-1)、医療機関は、それを目安に診断や治療目的を担保しながら線量等を見直す際の目安として用いる。

ICRP は、2017 年に Publication135 で DRL を包括的に論じており [47]、その設定・運用は放射線診断や IVR でも最適化の重要なツールとして国際的にも広がりつつある。

A. 3.3 線量限度

線量限度は、管理対象である放射線による被ばくの合計値を法令によって定めたものだが、できる限りの低減を求めめるもので、許容値という意味合いではない。ただ一律の線量限度を設けると、医療を受ける患者にとつては不利益が生じる場合もあるため医療被ばくには適応されず、職業被ばく、公衆被ばくにおいて適用される。

A. 4 外部被ばく防護の三原則

放射線被ばくには、放射線源を体内に取り込む「内部被ばく」と、体外にある放射線源から受ける「外部被ばく」があるが、外部被ばくを低減するための方法を示すのが、ICRP が提案している外部被ばく防護の三原則である (Fig. A-2)。

A. 4.1 距離

被ばく線量は、放射線源からの距離の二乗に反比例する。つまり線源からの距離が 2 倍になれば、被ばく線量は 4 分の 1 になる。放射線源から距離をとることにより被ばく線量の低減を図るものであるが、具体的に放射線源から距離を取る方法としては、放射線源を扱う際にトンクを用いることや、遠隔操作を行うことなどが挙げられる。

A. 4.2 遮蔽

被ばく線量は、遮蔽物の厚みに応じて指数関数的に減少する。したがって、放射線源と作業者の間に物理的な障壁を置くことで被ばく線量の低減を図るものである。X 線や γ 線には鉛や鉄の厚い板を用いるなど、線質に応じた材質の遮蔽物が必要である。

A. 4.3 時間

被ばく線量は放射線に晒された時間に比例するため、放射線源を取り扱う時間を少なくすることで、放射線源を取り扱う時間を半分にすれば、被ばく線量も半分にできる。取り扱いの時

間を減少させるには、作業手順書の整備や見直しが有用である。

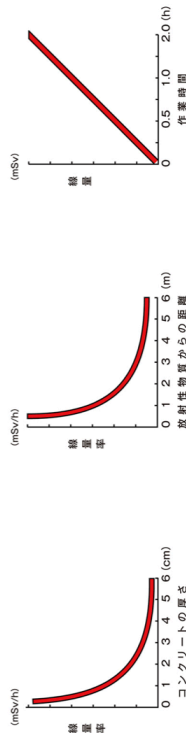


Fig. A-2 放射線防護の3原則 [49]

B. 放射線の性質と人体への影響

B.1 放射線の種類と基本的な性質

放射線は、物質を透過したり散乱したりする性質があり、またその過程でエネルギーを物質に与え、励起や電離作用によって物質の原子の電子配列を変化させる。医療で用いられる X 線は、金属元素の標的に電子を当てた時に放出される電磁波であり、放射線発生装置を使用して人工的に作られるもので、X線撮影は、透過・散乱の特性を利用してしている。γ線は、放射性同位元素から放出される電磁波であり、その透過力はより強いものになる[50]。

B.2 散乱線の機序と職業被ばくへの影響

通常使用される X線装置のエネルギー範囲での物質との相互作用では、コンプトン効果による散乱線が空気カーマ率に大きな影響を及ぼす。コンプトン効果とは X線(光子)と自由電子の衝突である。Fig. B-1 に示すように、入射光子はコンプトン散乱によって最初の方角から角度 θ の方向へ曲げられる。このとき、光子はそのエネルギーの一部を静止していた電子(反跳電子)へ伝達して減速するもの、消滅はせずに進行方向を変えながら進む形をとる。コンプトン散乱によるエネルギー伝達と散乱角の関係は、エネルギーおよび運動量保存則から得られる方程式で、次式の通りである。ここで、 E_γ は入射した光子のエネルギー、 E_γ' は散乱後の光子エネルギー、 mc^2 は電子の静止質量エネルギーを表す。

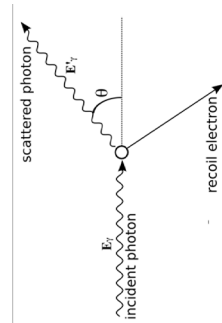


Fig. B-1 コンプトン散乱の概念図

$$E_\gamma' = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{mc^2} (1 - \cos\theta)}$$

すなわち、物体を透過した X線の直進方向を 0 度、X線入射方向を 180 度とすると、入る光子のエネルギーが大きいほど散乱線は前方に放出される。診療で用いられる X線装置は、管電圧が 120 kV 以下で、実効エネルギーは 20-50 kV のものが多く、このエネルギー帯における散乱線は、前方 (0-90 度) への放出が多いが、側面や後方 (90-180 度) への放出も起こりうる。管電圧が高くなると入射エネルギーが高くなるとともに、入射する X線量も大幅に増加するため、散乱角が大きくなることで X線装置の影になるような位置を除き、後方散乱線は増加することでも被ばく医療従事者は、装置から照射されて患者の身体に到達するまでの直接線が当たることでも被ばくするが、散乱線と比べて直接線は届く範囲が限られ、それによる被ばくは術者の手などに限定される。散乱線は、直接線と比べるとエネルギーは減弱しているものの、及ぶ範囲は広く、患者の傍らで業務にあたる医療従事者は、主に散乱線により被ばくし続けることになる。散乱線から身を守るためには、患者から可能な限り距離をとる必要がある (外部被ばくの防護における 3原則の距離の逆二乗則) が、それが困難な場合は、防護具による遮蔽が不可欠である。線源が透視装置の場合、透視時間や撮影回数、拡大撮影、流体計測などの最新技術の利用によっても直接線や散乱線は変化するため、どのような条件で放射線機器を使用するかといった医師や診療放射線技師の判断も、職業被ばくのレベルに影響を及ぼさう。

B.3 放射線が人体の健康状態に及ぼす影響

放射線が体の中を通る際に引き起こされる化学反応により、通り道の細胞がダメージを受け DNA に傷がつく。医療現場で主に用いる X線やγ線は、狭い範囲に集中的なダメージを与えるα線と比べ、広い範囲での密度の低いダメージとなり、X線の場合 1Gy の吸収線量で 1つの細胞あたり、塩基損傷は約 2500 箇所、1本鎖切断は約 1000 箇所生じるとされている[52]。放射線障害により細胞死や変性が多い細胞に及んだ場合、一時的、永久的な機能障害も生じうる。被ばく集団の 1%に臨床症状が現れる線量をしきい値と呼ぶが、それ

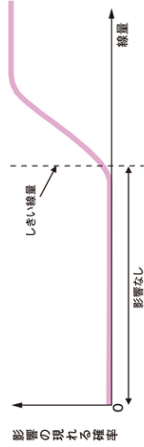


Fig. B-2 組織反応(確定的影響)の線量依存

以下の場合にはほぼ影響がないと言ってよい、同じ程度の被ばくを受けても臓器・組織によって放射線の影響の受けやすさは異なり、骨髄やリンパ組織、小腸、皮膚、眼の水晶体のように細胞分裂の頻度が高い、もしくは形態・機能が未分化の臓器・組織はしきい値が低くなる。また、全ての健康障害にしきい値があるのではなく、がんや遺伝的影響を引き起こしうる最低線量というものは定められていない、このように放射線による健康障害は、しきい値のある組織反応（確定的影響）と、しきい値のない確率的影響とに区別されている（Table B-1）。

組織反応は、線量の増加に伴い症状の重篤度も上昇し、発症頻度はS字型をとる（Fig. B-2）。一方、確率的影響では、線量に伴い発生率は上昇するが、重篤度には関連がないとされている（Fig. B-3）。確率的影響のうち、遺伝子の突然変異や染色体異常によって引き起こされる遺伝的影響が確認されているのは動物実験のみである。

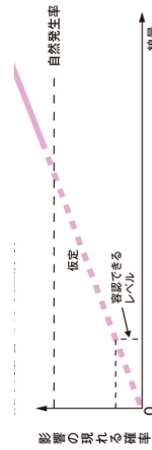


Fig. B-3 確率的影響の線量依存[49]

C. IVR およびその他 X 線画像を用いた手術

放射線の透視作用を用いながら診断や治療を行う代表的な IVR は、X 線や CT などの画像診断装置で体内を透視しながらカテーテルや針を入れ、病気の診断や治療を行うものである。ここでは主に血管系と非血管系 IVR、X 線撮影や透視を用いた手術・手技について具体的に述べる。

C.1 血管系 IVR

血管病変の治療を目的として行われるものであり、脳動脈瘤コイル塞栓術、頸動脈ステント留置、末梢血管血栓溶解、経皮的血管形成・拡張術（percutaneous transluminal angioplasty: PTA）、ステント留置、肺動脈血栓塞栓症、深部静脈血栓塞栓症の血管内治療、肺動脈静脈瘤に対する血管内治療、下大静脈フィルター留置、大動脈瘤の血管内治療、大動脈解離の血管内治療、腎動脈 PTA やステント留置等が含まれる。また、動脈塞栓術を目的として行われるものには、頭頸部出血に対する塞栓術、胸部出血に対する塞栓術、消化管出血に対する塞栓術、内臓動脈瘤・出血等の塞栓術、子宮筋腫や産科出血の塞栓術、肝動脈化学塞栓療法を含む腫瘍の塞栓術、前立腺肥大症の動脈塞栓術、門脈圧亢進症に対する治療、大動脈ステント留置、CV ポート留置、透析ブラッドアクセストラブールへの対処等が含まれる[54]。

C.2 非血管系 IVR

血管以外の臓器にアクセスするものとして、経皮的生検（肺、肝、骨など）、腫瘍に対する経皮的凍結治療やラジオ頻固療法、胆嚢ドレナージ、経皮的胃腸増設術、腹腔神経叢ブロック、気管ステント留置、経皮的椎体形成術等がある[54]。

C.3 その他 X 線を用いた手技

整形外科領域には、髄内釘や骨接合術などの骨折部の整復と固定、経皮的椎体形成術、内視鏡下椎間板摘出術、大腿骨転子部骨折接合術、側方椎体間固定術、人工関節置換術、前・後方椎体間固定、整復、創外固定などがあり、消化器科領域には、内視鏡的逆行性胆管腔管造影等がある。

D. 医療従事者の外部被ばくを低減する防護具

医療法施行規則第 30 条では、「放射線診療従事者等の被ばく防止」として、実効線量限度および「等価線量限度を超えないよう放射線の遮へいを行うこと」を定めている。また、労働安全衛生規則第 596 条では、防護具は同時に作業をする従業員の人数と同数以上を備え、常時有効かつ清

Table B-1 被ばく影響の分類（文献[53]を一部改変）

しきい値の有無による分類	障害分類	具体的な健康障害
組織反応（確定的影響）	急性障害	急性放射線症（骨髄・胃腸管・中枢神経障害）
	胎児発生障害	皮膚紅斑、脱毛、不妊など
		胚・胎児の障害、精神遅滞など
確率的影響	晩発障害	白内障、緑内障
	遺伝的障害	白血病、がん
		（ヒトでは確認されていない）

被ばく時点から症状が出るまでを潜伏期といい、それが数週間以内のものを急性障害、数ヶ月から数年以上のもものを晩発障害と呼び、白内障やがんなどは後者に該当する。IVR を受ける患者にも皮膚紅斑や脱毛といった急性障害が認められるケースがある。

放射線によって生じる人体への健康影響の度合いは、放射線の種類や線量の高さ、被ばく部位、被ばく期間などさまざまな条件により左右されるが、低線量の場合はすぐに健康障害が明らかにならないこともあり、リスク評価には被ばく状況や線量などを把握・管理しておくことが非常に重要であると言える。

潔に保持することを事業者が求めている。放射線はその種類により透過力が異なり、防護具はその性質を利用して作られている。X線やγ線に対しては、そのエネルギー吸収に適した鉛がよく用いられ、遮蔽力は鉛の厚みとともに増すが、作業の機能性も考慮されている。医療現場の放射線防護具には、防護板、防護衣や防護眼鏡、ネックガードなどがあり、IVR術者のように距離の確保や時間の短縮が困難な作業を行う際は、防護具を用いて遮蔽を徹底することが肝要となる。鉛の厚さと遮蔽能力の関係は、管電圧100kVのX線装置における散乱X線に対しては、0.25mm鉛当量で93.8%以上、0.35mmで97.1%、0.5mmで98.9%とされている[55]。

D.1 防護板

防護板には天吊り型と衝立型がある (Fig. D-1)。

天吊り型は、可変式アームの先に防護板が取り付けられている。一般的に0.5mmPb厚相当があり、主に患者のそばで作業を行う術者などの被ばくを大幅に低減できる。不必要な際は上げるなどしてスペースの確保がしやすいため、使い方によっては被ばく低減効果は減少する。

衝立型は、散乱体に向かって床に設置するもので、幅100cm、高さ193cm程あり、従事者の全身防護が可能である。術者ほど患者に接近しないまでもX線透視室などで継続的に作業を行う看護師や診療放射線技師が用いることが多い。衝立型防護板は0.5～3.0mmPb厚相当と遮蔽能力が高いが、幅が広く重いので、室内環境によっては使用が制限される。

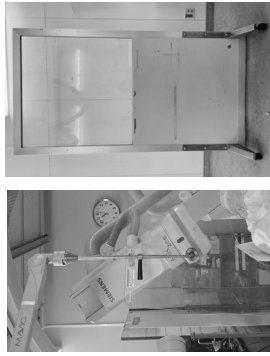


Fig. D-1 防護板
(左: 天吊り型, 右: 衝立型)

D.2 防護衣

防護衣は着用型で、主に体全体を覆うコートタイプ、体前面のみを覆うエプロンタイプ (Fig. D-2)、上半身分かれたセパレートタイプがある。遮蔽率が高いものほど作業者の荷重も大きく、エプロンタイプの鉛当量0.25mmPbで重量1.7～2.5kg、0.35mmPbで2.3～3.6kgある[56]。



Fig. D-2 防護エプロン

D.3 防護メガネ

防護メガネ (Fig. D-3)は、放射線から眼を防護する器具であり、防護衣同様、遮蔽能力や重量が鉛量で異なる。形状も一般的な眼鏡と同じ型や側面まで覆われる型などがある。理論上の防護効果は線源に対し正面を向いた条件下のもの、顔との隙間ができる形状では、顔の向きによっても低減効果が変わる。実際の冠動脈治療時の防護メガネ (0.07mmPb) の被ばく低減効果は60%程度だとした報告がある [32]。また、防護メガネを着用していないIVR医師は、水晶体等価線量限度を超える恐れがあり、処置中は防護メガネが必要である[32]とされている。しかし、繊細な作業を行う場合、視界や見え方が変わるために装着を敬遠する術者もいる。



Fig. D-3 防護メガネ

D.4 ネットガード

ネックガードは、防護衣では十分遮蔽されない甲状腺を防護する目的で首回りに着用するもので、鉛当量が0.25mmPb以上のものと規格化されている。硬質、軟質の種類があり、衛生的な使い捨てカバーもある (Fig. D-4)。



Fig. D-4 ネットガード

E. 個人線量計

外部被ばく線量を把握する個人線量計には、その場で被ばく線量が確認できるものと、一定期間の装着後に積算量を出すものがある。医療従事者の被ばく線量管理には、小型で携帯しやすい後者が多く用いられる。エネルギーを蓄積する素子が異なる代表的な線量計を以下に3つ挙げる。これら線量計には、方向依存性があり正しく装着する必要がある[51]。

E.1 蛍光ガラス線量計

蛍光ガラス線量計 (Radio-photoluminescence Glass Dosimeter: RPLD) は、銀リン酸塩ガラスを素子としている (Fig. E-1)。この素子に紫外線を当てるとオレング色の蛍光を発生し、それに事前照射された放射線量に比例する。繰り返し線量読み取りが可能で、時間とともに情報が消

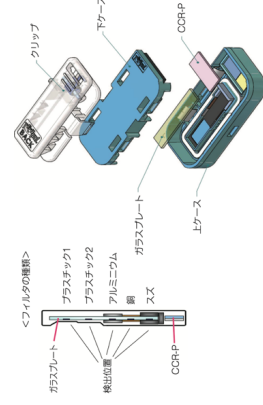


Fig. E-1 RPLDの構造 [57]

失するフェーディング現象も年に数%以下と小さく、積算線量計としての使用に適している。また、再利用も可能である。素子を複数組み合わせることによって X 線・ γ 、 β 線などによる 1 cm 線量当量、3 mm 線量当量、70 μ m 線量当量一つのバジで測定できる。線量範囲は X 線・ γ 、 β 線は 1 μ Sv \sim 10 Sv である[57]。

E.2 光刺激ルミネセンス線量計

光刺激ルミネセンス線量計 (Optically Stimulated Luminescence Dosimeter: OSLD) は、炭素添加酸化アルミニウムを素子とする (Fig. E-2)。この

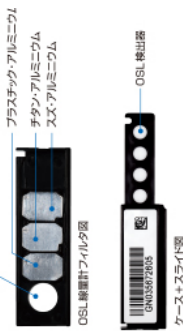


Fig. E-2 OSLD の構造 [59]

素子に緑色のレーザー光を当てると、照射された放射線の量に比例した蛍光を発生する現象を利用している。RPLD 同様フェーディング現象は小さく、繰り返しの読み取りや再利用ができる。材質が異なるフィルタを組み合わせ、放射線透過率の違いを利用し、放射線の種類やエネルギーを分別している。測定範囲は X 線、 γ 線、 β 線に対し 10 μ Sv \sim 10 Sv である[58]。

E.3 熱ルミネセンス線量計

熱ルミネセンス線量計 (Thermoluminescence Dosimeter: TLD) は、硫酸カルシウム結晶などを素子とし、高熱を加えると照射された放射線量に比例して光を出すことを利用した線量計である。読み取りを繰り返すことは出来ず、RPLD や OSLD よりフェーディング現象が大きい[57]。

F. 放射線防護に係る放射線の単位とその概念

放射線が人体に与える影響を測り、また管理するために、物理量やそれによって定義された近似式、臓器ごとの感受性の違いで重みづけした値などが用いられている。本項では、そうした線量概念とそれらの関係性について説明する。

F.1 線量概念

F.1.1 カーマ

電荷をもたない放射線である X 線や γ 線、中性子線に対して定義された物質量で、注目する領

域内で発生する二次荷電粒子がもつ運動エネルギーに着目している。 dE_r を着目する微小な質量 dm の中で発生する運動エネルギーの合計としてカーマ K は次式で表される。単位は Gy である。X 線や γ 線による線量として、空気カーマはよく使われている[50]。

$$K = dE_r/dm$$

なお、診療に用いられる血管造影装置には、その回転中心から 10 cm X 線管端子の点の空気カーマ値 (air kerma at the patient entrance reference point: K_{air}) を装置にリアルタイムに表示し、線量記録に残す機能を搭載することが義務づけられている[59]。

F.1.2 照射線量

カーマがどの物質に対しても使うことができるのに対し、照射線量は X 線や γ 線が空気と相互作用する場合に限る。相互作用で二次的な荷電粒子が発生し、空気に与えられたエネルギーを照射線量 $X [C \cdot kg^{-1}]$ と表す。照射線量は、放射線が質量 $dm [kg]$ の空气中を通過する際、荷電粒子の動きが完全に停止するまでに発生する、イオン対電荷の絶対値 $dQ [C]$ で計算される[50]。

$$X = dQ/dm$$

F.1.3 吸収線量

照射線量が空気を対象とした定義であるのに対し、吸収線量は物質を問わず単位質量(重さ)あたりに吸収されるエネルギーを表す。このエネルギー量は直接測定器で測定することが可能である。単位は Gy で、1kg に 1J のエネルギーを与える放射線の量が 1Gy になる ($Gy = J/kg$)。 K_{air} と異なる点は、 K_{air} はある領域内で発生する二次荷電粒子のエネルギーにだけ着目するのに対し、吸収線量は、外で発生してその領域に与えるエネルギーと、領域内で発生したものが外に移動して失うエネルギー量の双方、つまり収支に着目している[60]。

F.1.4 等価線量

放射線防護を目的とする場合、同じ吸収線量でも放射線の種類やそのエネルギーによって細胞レベルの影響が異なる。そこで特定の組織・臓器の組織反応を評価する目的で用いられるのが、吸収線量を放射線加重係数 (Table F-1) で重み付けた等価線量である。等価線量 H_T は、放射線 R が各組織・臓器 T に均等に照射された前提での吸収線量を D_T 、放射線 R の種類に応じた放射線加重係数 W_R とする場合、次式に示す通りで、 H_T の単位は Sv である。

$$H_T = D_T W_R$$

F.1.6 線量当量

実効線量は、放射線がそれぞれの組織や臓器に与える影響度を考慮し、計算上出された数値だが、現実的には測定が困難である。その代わりとして、日本の放射線障害防止関連法令で、個人の外部被ばくの算定に用いているのが線量当量である。単位は Sv である。

線量当量には、個人モニタリングを目的とした個人線量当量と、環境モニタリングを目的とした周辺線量当量等がある。個人線量当量は、作業者が測定器を身につけて測定するもので、ICRU スラブファントム上で校正された測定器を用い、人体の表面から指定の深さの線量を表す (Fig. F-1)。次に周辺線量当量は、サーベイメータで測定する空間線量になる。直径 30 cm の ICRU 球に対し、一方向からの照射条件下で、その表面から深さ d cm での線量である (Fig. F-2) [62]。

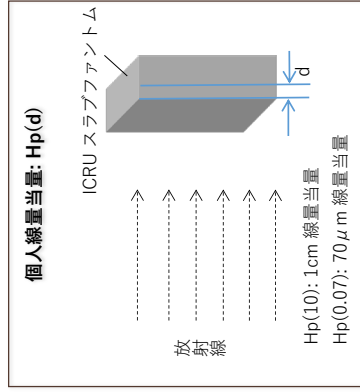


Fig. F-1 個人線量当量の測定

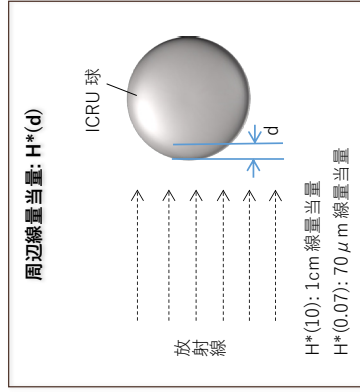


Fig. F-2 周辺線量当量の測定

個人線量当量には、1 cm 線量当量、3 mm 線量当量、70 μ m 線量当量があり、それぞれ人体の表面から 1 cm、3 mm、70 μ m の深さの線量を表す。1 cm 線量当量は実効線量を、3 mm 線量当量は眼の水晶体の等価線量を、また 70 μ m 線量当量は皮膚の等価線量に相当する。これまで水晶体の等価線量に相当する 3 mm 線量当量は、放射性同位元素規制法上の測定義務はないため、その代わりに 1 cm 線量当量または 70 μ m 線量当量のいずれか高い方を採用して良いとされていたが [63]、2021 年 4 月の電離放射線障害防止規則の改正では、水晶体等価線量の算定には 3 mm 線量当量を含めた適切なものの取り扱いが明記された。

Table F-1 放射線加重係数 (W_R) [61]

放射線 R の種類	W_R
X線, γ 線	1
電子, ミュー電子	1
陽子, 荷電パイ粒子	2
α 粒子, 核分裂片, 重い原子核	20
中性子	2.5~20 (エネルギーの連続関数)

F.1.5 実効線量

各組織が同じ等価線量の被ばくを受けたとしても、臓器によってがん発生率は異なる。それは人体の各組織に、放射線に対する感受性の違いがあるからである。人体への影響を総合的に評価するために、放射線のエネルギー量や種類だけでなく、各臓器や組織のがん発生率を考慮する必要がある。このとき用いられるのが組織加重係数であり、全身に均一な被ばくした場合を想定し、全体を 1 として各組織・臓器のがん発生率で重み付けした相対値である (Table F-2)。

Table F-2 臓器・組織の組織加重係数 (W_T) [61]

臓器・組織	W_T	$\Sigma_T W_T$
骨髄 (赤色), 大腸, 肺, 胃, 乳房, 残りの組織	0.12	0.72
生殖腺	0.08	0.08
膀胱, 肝臓, 食道, 甲状腺	0.04	0.16
皮膚, 骨表面, 唾液腺, 脳	0.01	0.04
合計	-	1.00

つまり実効線量は、各組織・臓器の吸収線量に放射線加重係数を乗じ (等価線量), さらにそれに組織加重係数を乗じたものを足し合わせることで計算される。放射線 R に起因する組織・臓器 T の等価線量を H_T , 組織・臓器 T の組織加重係数を W_T とした場合, 実効線量 E は下式の通りである。E の単位は Sv である。

$$E = \sum (H_T W_T)$$

実効線量は、個人線量管理において放射線被ばくによる個人の総合的なリスク、とくに低線量被ばくのリスクを見積もる目的で用いられる。

F.1.7 個人線量当量を元にした実効線量、等価線量の求め方

個人線量計の装着部位は、体幹部を「頭頸部」、「胸部および上腕部」、「腹部および大腿部」と3つに分けた場合、全身に均等に被ばくする場合、男性は胸部の1箇所、女性は腹部の1箇所となる。体幹部が不均等に被ばくする場合、上記に加えて「頭頸部」、「胸部および上腕部」、「腹部および大腿部」のうち最も線量が多くなる部分に1箇所装着するが、末端部の被ばくが最も高い場合は末端部にも使用しなければならぬ。通常、医療現場では、放射線業務従事者は防護エプロンを着用していることが多いが、「体幹部均等被ばく」をすることは考えにくく、「体幹部不均等被ばく」を前提にモニタリングを行うことが適切とされている。この場合、個人線量計は通常、防護衣の内側と、防護衣の外側に位置する頭頸部の2箇所に装着することになる。

F.2 防護量と実用量

空気カーマや吸収線量といった物理量に対し、放射線防護の限度・基準として用いられる線量概念が実効線量と等価線量であるが、これらは実測できないため、職業被ばく管理の際には、個人線量当量や周辺線量当量などを代用する。

ここで実効線量と等価線量を「防護量」、個人線量当量や周辺線量当量を「実用量」として区

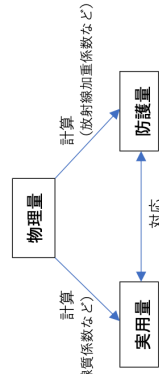


Fig. F-3 実用量と防護量の関係 (文獻[65]を一部改変)

別している。電離放射線障害防止規則においても、実用量を等価線量および実効線量の値とみなし、リスク評価が行われるよう定められている(Fig.F-3)。つまり、管理区域内で測定や測定結果の保存が義務づけられているのは、1cm線量当量等の実用量である。1cm線量当量については、多くの臓器は、人体表面より1cm以上深い位置にあることから、実効線量よりも高めの値をとることになり、実用量が防護量を安全側に評価することにつながる[53]。

6. 医療従事者に対する日本の被ばく規制

放射線業務従事者の被ばく防護に係る規制の根拠となる法令ならびに、具体的な項目として被ばく線量限度、被ばく線量管理、放射線障害防止に関する教育訓練の3つを挙げる。

6.1 医療従事者に適用される法令

放射線管理に関する法令のなかで医療従事者に適用される電離放射線障害防止規則、医療法施

行規則、放射性同位元素等の規制に関する法律について述べる。

6.1.2 電離放射線障害防止規則（電離則）

労働安全衛生法では、職場における労働者の安全と健康を確保する目的で、放射線による健康障害防止に向けて事業者が行うべき対策を定めており、電離則で管理区域への立入り基準や被ばく線量限度、被ばく線量測定、保護具の使用、健康診断等について定めている。

6.1.3 医療法施行規則

医療機関での診療用放射線に関わる安全管理体制を規定しており、医療放射線安全管理責任者の配置や医療従事者の被ばく線量の測定・算定方法、実効線量限度、等価線量限度、安全利用のための従事者研修、医療機器の線量管理・記録等について定めている。

6.1.4 放射性同位元素等の規制に関する法律（RI規制法）

放射線障害を防止し、公共の安全を確保することを目的とした法律である。放射線障害のおそれのある場の線量測定や、管理区域内に立入る者の外部被ばく線量測定部位と測定頻度、実効線量・等価線量の測定記録、放射線業務従事者等に対する教育訓練、放射線業務者としての健康診断等について定めている。2018年9月より旧来の「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」から名称が変更された。

6.2 被ばく線量限度

医療法施行規則および電離則では、放射線業務従事者等の実効線量および等価線量限度を定めている (Table G-1)。2021年4月に法令改正が行われ、眼の水晶体等価線量限度は年間150mSvから大幅に引き下げられたが、この背景には、近年の研究で水晶体ダメージの蓄積や微小混濁が白内障へ移行することが明らかとなり、2011年のICRP声明で年間しきい値が修正されたことがある。これにより、事業者はこれまでに従事者の放射線防護に取り組みことが求められている。ICRPでは妊娠を雇用主に届け出た場合、一般公衆と同じレベル（胚、胎児の追加線量を1mSv以内にするなど）に配慮すべきだが、性別自体で区別する理由はないとしている。一方、日本では、自覚がないもしくは申告しない妊婦は50mSvまで被ばくする可能性があることを考慮し、妊婦希望や申告の有無に関わらず3月間につき5mSvという独自の基準を電離則で設けている。つまり、妊娠の可能性がないと診断された女性に限り、男性と同じ線量限度を適用することになる[66]。

Table G-1 被ばく線量限度 [51]

線量限度	
実効線量	100 mSv/5年 (4月1日以降5年ごとに区分した各期間) 50 mSv/年 (4月1日以降を始期とする1年間)
等価線量	女子 5 mSv/3月 妊娠中の女子 内部被ばくについて1 mSv 眼の水晶体 100 mSv/5年かつ1年50 mSv以下 皮膚 500 mSv/年 妊娠中の女子の腹部表面 2 mSv (妊娠中)

6.3 被ばく線量測定

線量測定は、電離則および医療法施行規則で定められており、管理区域に立ち入る医療従事者はすべて線量測定の対象となる。被ばくの仕方により体幹部均等、体幹部不均等、末端部に分けられ、体幹部が均等に被ばくする場合は均等被ばく管理、体幹部より頭頸部や末端部が多く被ばくする場合は不均等被ばく管理、また体幹部より末端部の被ばく線量が高い場合は末端部被ばく管理となる。装着部位を Fig. G-1 に示す。従来、医療従事者は広く均等被ばく管理がなされてきたが、水晶体等価線量限度の引き下げを機に、防護エプロンを着用して作業を行う者の不均等被ばく管理の必要性が再確認されている。水晶体等価線量は頭頸部の測定で評価されるが、不均等被ばく管理の1 cm 線量当量、3 mm 線量当量、70 μ m 線量当量のうち適切なもので算定される。もし防護メガネの着用で頭頸部の線量計の値を水晶体等価線量の算定に用いると過大評価になりうる[67]。

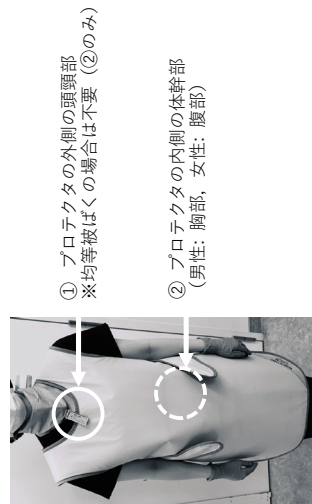


Fig. G-1 個人線量計の装着部位

付録の参考文献

- ICRP (2017) : Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. Ann. ICRP 46(1)
- 厚生労働省(2021): 医療被ばくの適正管理のあり方 Retrieved from <https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10801000-Iseikyoku-Soumuka/000205020.pdf>
- 日本原子力文化財団 (2018): 原子力エネルギー図面集. 日本原子力文化財団 <https://www.ene100.jp/zumen/6-1-6> (Accessed November 23, 2021)
- 量子科学技術研究開発機構: 放射線の基本的な性質 <https://www.qst.go.jp/site/taka/2337.html>
- 鶴田隆雄編 (2019): 初級放射線 第11版. 通商産業研究所
- Moegam (2009). 米国放射線防護委員会 (NCRP) 第44回年次総会
- 環境省 (2015): 放射線による健康影響等に関する統合的な基礎資料 (平成26年度版), 第1章放射線の基礎知識と健康影響 Retrieved from <https://www.env.go.jp/chemi/hhm/kisoshiryo/attach/201510mat1s-01-72.pdf>
- 日本インターベンションナラジオロジー学会 (2021): IVRって、何? https://www.jsir.or.jp/shimin/about_ivr/what_ivr (Accessed November 23, 2021)
- 放射線診療技術研修支援システム: 鉛当量とX線の遮へい能力 <http://www.020329.com/x-ray/bougo/contents/chapter2/2-2.html> (Accessed November 23, 2021)
- 検料製作所: X線防護衣 https://hoshina.co.jp/xray_protection/apron.html (Accessed November 23, 2021)
- 株式会社千代田テクノル (2020): ガラスバッチ取扱説明書 <https://www.ctechmol.co.jp/monitoring/> (Accessed November 23, 2021)
- 奥田真史 (2019): エックス線作業主任者合格教本, 技術評論社
- 長瀬ランダムウェア株式会社 (2021): ルミネスバッチ等ご利用の手引き Retrieved from <https://www.nagase-landauer.co.jp/download/pdf/LuminesBadgeInstructionManual.pdf>
- 日本規格協会グループ (2019): IEC 60601-2-43 Medical electrical equipment - Part 2-43: Particular requirements for the basic safety and essential performance of X-ray equipment for interventional procedures.
- 国立保健医療科学院生活環境研究所 (2010): 医療での放射線安全の疑問にお答えします https://ndrecovery.niph.go.jp/trustad/kerma_absorbed_dose.html (Accessed November 23, 2021)
- ICRP (2007): The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 103: 64-66
- 環境省「放射線による健康影響等に関する統合的な基礎資料」第1章放射線の基礎知識と健康影響 Retrieved from <https://www.env.go.jp/chemi/hhm/kisoshiryo/attach/201510mat1-01-40.pdf>
- 医療法施行規則第30条の18第2項. 電離放射線障害防止規則第8条第2項
- 株式会社千代田テクノル (2017): 放射線安全管理総合情報雑誌 FBNews No.483, 図1「外部被ばく」に対して用いられる量と標準供給の体制」 Retrieved from <https://www.technol.co.jp/cms/wp-content/uploads/2014/04/FBN483web.pdf>
- 原子力規制委員会 (2019): 第144回放射線審議会 女性の線量限度に関する現場の整理について Retrieved from <https://www.nsr.go.jp/data/000264576.pdf>
- 放射線審議会 (2019): 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「眼の水晶体にかかわる放射線防護の在り方について(意見具申)」 Retrieved from <https://www.nsr.go.jp/data/000295234.pdf>

博 士 論 文

医療機関で透視手技に携わる労働者の水晶体被ばく低減を目的とした丈の短い放射線防護カーテンの開発とその導入による集団線量低減効果の検証

産業医科大学大学院医学研究科
産業衛生学専攻産業疫学・医学概論領域

中上 晃一

5-9. Short curtain もしくは Long curtain を使用した場合の術者の集団水晶体等価線量	- 29 -
5-10. Short curtain と Long curtain による術者の集団水晶体等価線量低減率	- 30 -
第6章 考察	- 31 -
6-1. 空間線量率	- 31 -
6-2. 術者の時間水晶体存在率	- 31 -
6-3. Short curtain による術者の水晶体線量低減率	- 32 -
6-4. 集団水晶体等価線量低減率	- 33 -
6-5. Short curtain の放射線白内障予防効果	- 33 -
6-6. Short curtain の使用とリスク低減処置の優先順位	- 35 -
6-7. 術者集団水晶体等価線量を低減する為の保護具	- 36 -
6-8. Short curtain の形状	- 37 -
6-9. 本研究の産業衛生学的な意義	- 37 -
6-10. 本研究の限界	- 37 -
第7章 今後の展望	- 38 -
7-1. 水晶体線量低減率の実態調査	- 38 -
7-2. 放射線防護マネジメントシステムと集団水晶体等価線量低減	- 38 -
7-2-1. 電離放射線障害防止規則施行と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	- 38 -
7-2-2. 放射線防護マネジメントシステム	- 39 -
7-2-3. 放射線防護マネジメントシステムの組織	- 39 -
7-2-4. 放射線防護マネジメントシステムの運用	- 40 -
7-2-5. 放射線防護マネジメントシステムと集団水晶体等価線量	- 41 -
7-3. 放射線防護リスクアセスメント	- 42 -
7-4. Short curtain がもたらす放射線防護リスクアセスメントへの影響	- 45 -
7-5. 本研究の公開	- 45 -

第8章 総括	- 46 -
第9章 参考文献	- 48 -

量計が適切に装着されていない状況など様々な放射線管理の問題が指摘され[24]、放射線審議会答申においても課題改善に向けた意見が附帯され[22]、水晶体防護とともに医療機関における放射線管理体制の改善も重要であることが示された。

1-2-2. 医療従事者の職業被ばく

国内の線量測定メーカーが発行するガラスバッジを用いた個人モニタリングサービスの報告によると、国内における年間平均水晶体等価線量は、業種別に分析すると医療分野が最も高く、続いて工業、研究教育、獣医療の順であり[25]、医療分野の被ばく低減対策は重要な課題である。

この報告では、医療従事者の職種別の年間平均水晶体等価線量は、医師が0.79 mSv、診療放射線技師が1.19 mSv、看護師が0.46 mSvであった。また年間平均実効線量と年間平均水晶体等価線量ともに最も多かったのは診療放射線技師であった。医療従事者の年間水晶体等価線量は、2021年からの線量限度を単年度で超える者が72名で、対策無く5年間経過した場合に超える者が779名であり早急な対策が必要となる。これらは1社のみの結果であるため、全国ではこれ以上の人数が見込まれる。さらに、近年個人被ばく線量計を医師の半数近くが未装着との報告があり[23]、医療従事者の被ばく人数と線量は考える以上に多い可能性があるが、推測の域をでない。

1-2-3. 透視装置と術者の被ばく

透視手技は、造影剤や空気を注入し画像を動態的に診断する事、チューブ、ガイドワイヤー、ステント等の道具を挿入し病気の治療を行う事であり、医療において必須の手技となっている。透視手技を行うために使用する透視装置は、オーバーテーブル透視装置とアンダーテーブル透視装置に分けられ、それぞれに長所短所がある。国内における納入台数では、オーバーテーブル透視装置がアンダーテーブル透視装置(C-アーム)の約4倍であり、オーバーテーブル透視装置が圧倒的に普及している[26]。しかし、術者の水晶体被ばくについては、オーバーテーブル透視装置の方がアンダーテーブル透視装置より多くなるという研究結果がでており[8, 27, 28]オーバーテーブル透視装置の被ばく低減対策は重要である。

1-2-4. オーバーテーブル透視装置に用いる保護具

現在、我が国で販売されているオーバーテーブル透視装置に装着することができる保護具は、保科製作所株式会社の Long curtain [20]と株式会社マエダの Long curtain [19]である。水晶体線量低減率は、どちらの保護具も X 線管から患者までを覆う構造であるため約 90%となるが、構造の特徴が理由で使用できない透視手技が多数存在する。Long curtain は、X 線管から患部までを覆う

構造で素材が透明でないため、術者が患部の様子を目視することができず、術者が患部直上の皮膚を軽くたたいたり押し押したりする手技 (patting 法) を行う事や、患者の腰を持ち細かく揺すりながら撮影する事 (shaking 法) ができない[19]といたった問題点も指摘されている。加えて、寝台を傾けるとカーテンが自重で X 線束に垂れ込み透視画像に写り込み事で透視手技の妨げとなることも問題である。

1-3. 研究の目的

本研究では Long curtain の問題点を解決するために、まず患部の様子を目視することができ、寝台を傾けてもカーテンが透視画像に入り込むことのない Short curtain を開発し、Short curtain の放射線防護効果を、術者の水晶体線量低減率と、医療機関の透視手技に携わる術者全体の集団水晶体等価線量低減率の 2 つの視点から検証する。また、既に販売されている Long curtain と開発した Short curtain の集団水晶体等価線量限度を比較し、透視手技における集団水晶体等価線量低減法について、最適な Short curtain と Long curtain の使用方法を提案する事を目的とする。

第2章 関連研究

2-1. 日本の医療施設で行われた透視手技における水晶体等価線量

我が国の医療施設において保護具無しでERCPを行った術者の水晶体等価線量は、Minamiらが0.340 mSv/手技 (1 cm 線量当量：Hp (10)) [9]，Moriらが0.196 mSv/手技 (70 μ m 線量当量：Hp (0.07)) [15]，Morishimaらが0.087 mSv/手技(Hp (0.07))と報告している[20]。

また、Matsubaraらは、透視手技 (ERCP, カテーテル交換, CV挿入, 気管支鏡手技等で手技は様々)における術者水晶体等価線量の多施設共同研究を発表した[14]。この研究によって、術者の水晶体等価線量が 28.8 ± 34.4 mSv/y (範囲：0.4-135.0 mSv/y) (3 mm 線量当量：Hp (3))という事が示され、透視手技での水晶体被ばくが明らかに became と言えらる。

2-2. 国外の医療施設で行われた透視手技における水晶体等価線量

海外における ERCP の術者の水晶体等価線量は、O'Connorらが0.090 mSv/手技 (3mm 線量当量：Hp (3)) [30]，Munirajらが0.210 mSv/1手技 (Hp (0.07)) [11]，Zagorskaらが0.016 mSv/手技 (Hp (0.07)) [9]，Gargらが0.030 mSv/手技 (線量当量不明) [31]と報告している。また、Menonらは、メタ分析によって ERCP を行う術者の水晶体線量が0.018-0.139 mSv/手技 (線量当量不明)と結論づけている[28]。

2-3. ICRP Publication 117の透視手技を行う術者の水晶体被ばくに関する報告

2010年にICRPは「画像診断部門以外で行われるX線透視ガイド下手技における放射線防護」を出版した[8]。これには、心臓カテーテル以外の透視手技を対象に調査した結果が記載されており、泌尿器科、整形外科、消化外科について、透視手技における医療従事者の被ばくがまとめられている。

泌尿器分野では、腎臓と尿路の病気を診断する為にX線が用いられており、経皮的腎結石摘出術、腎臓造設術、尿管ステント留置、結石除去、腫瘍アブレーション等の手技において、透視装置を頻繁に使用している。術者の水晶体被ばくは、0.02-0.32 mSv/手技との報告があり[32, 33]、泌尿器科医の標準的美施件数を年間250手技とした場合、防護なしでは20 mSv/年を超える可能性があるが、放射線障害や長期的なリスクがあると述べている[34]。また、泌尿器医はオーバーテール透視装置の使用が多いため、眼の保護具の使用を推奨している[35, 36]。

整形外科分野では、様々な手技時における技術的な補助としてX線を広く使用し、侵襲性を最小限に抑える事が整形外科医の目標となっている。低侵襲の手技を行う際、骨等組織の解剖学的な位置を確認するため、X線透視を多用している。整形外科医の水晶体被ばくは、大腿骨や脛骨

の髄内釘固定の治療を行う場合では0.05 mSv/手技[37]、外傷治療に携わる場合では3.75 mSv/月[38]、脊椎の低侵襲手術を行う場合では0.32 mSv/手技[39]等の報告がある。整形外科医は、Cアーム透視装置の使用が多く、患者の体位を保持するためや、整備を維持するため、インプラント留置を確保するため等の理由でX線ビームの近くに立ち、X線源から距離を取る事ができない状況で手技を行っている[34]。

消化器科分野では、ERCPの他に胃腸や肝・胆道系手技、小腸生検用チューブの留置、食道拡張術、大腸鏡手技の補助など、X線透視を伴う様々な手技を行っている。この中でもERCPや内視鏡スコープ、拡張術等の手技でX線透視が多く使用され、特にERCPは治療技術の進歩と共に診断に比べ治療時の被ばく線量が増加している。ERCP診断時では被ばくの約70%が、ERCP治療時では被ばくの約90%が透視によるものであることから、X線透視線量の低減が線量管理に有効な方法である[40]。

消化器科医の水晶体被ばくは、ERCPを行う場合の標準的線量が0.094-0.340 mGy/手技[41]、経皮的経肝胆管造影を行う場合が0.300-0.360 mGy/手技[42]、経肝胆汁ドレナージ等を行う場合が0.007-0.027 mSv/手技[43]等の報告がある。ERCP実施者の標準的な年間ERCP実施件数は、100件未満(3.4%)、100-200件未満(38%)、200件超過(28%)であり[44]、オーバーテール透視装置が一般的に使用されている事から、術者の水晶体は保護されるべきである[34]。

2-4. 水晶体被ばくを低減する保護具

水晶体被ばくを低減するには、工学的対策に分類される放射線防護カーテン、天吊り防護板、移動型防護衝立の使用と、個人保護具による対策に分類される放射線防護眼鏡の使用があるとIAEAやICRPが情報発信を行っている[45, 18]。

放射線防護カーテンは、装置に取り付けた含鉛カーテンによって散乱線を遮蔽し術者の上半身の被ばくを低減する保護具であり、オーバーテール透視装置用でX線管装着型[19, 20]とアンダーテール透視装置用で受像機装着型[11, 15]に分類される。放射線防護カーテンのX線管装着型では、術者の水晶体線量低減率はファントム実験で88.9%、臨床研究で62.3%との報告がある[20]。放射線防護カーテンの受像機装着型では、受像機全体に放射線防護カーテンを取り付けると、術者の水晶体線量低減率が臨床研究で90.5%[11]、受像機半周に放射線防護カーテンを取り付けると、術者の水晶体線量低減率が臨床研究で65.2%との報告がある[15]。

天吊り防護板は、透視検査室の天井から吊り下げられた可動式アームの先に含鉛有アクリルの防護板が取り付けられており、術者の上半身の被ばくを低減する保護具である。Chenらは、オーバーテール透視装置を使ったERCPにおいて天吊り防護板を使用し、放射線防護衣の外側で胸

部に取り付けられた線量計で測定したところ、天吊り防護板による低減率は 83.3-91.1%であったと報告している[46]。

移動型防護衝立は、含鉛有クリルまたは含鉛有ガラスを使用した衝立で、散乱体と医療従事者との間に設置することにより、全身の被ばくを低減させるための保護具である。移動型防護具は、100 cm×190 cm×5 cm (幅×高さ×厚み)で 47-100 kg といった大きくて重い保護具であり、透視手技を行う術者の保護具としては不向きである。

放射線防護眼鏡は、含鉛有クリルまたは含鉛有ガラスをレンズに使用しており、術者の水晶体被ばくを低減する個人保護具である。放射線診療時に発生する散乱線は、顔の正面、正面下方、正面上方、側面から眼の水晶体に入射するため、様々な形状が販売されている。放射線防護眼鏡の低減率は 51%との報告がある[14]。

術者の水晶体線量を低減するこのような保護具は、2018 年の ICRP の報告によると充分使用されておらず[18]、特に 2019 年の米国の内視鏡医に対するアンケート結果では、防護眼鏡をいつも、もしくは殆ど使用すると答えた割合が 30%で、天井吊り下げ防護板や移動型防護衝立の使用率も 10%であったことから、術者の水晶体防護が充分に行われていない事が明らかとなっている[6]。

2-5. 関連研究のまとめ

透視手技は泌尿器科、整形外科、消化器科等の様々な診療科の医師が行い、その時の水晶体線量は、0.016-0.340 mSv/手技と様々であった。水晶体線量低減の為に使用する保護具は、工学的対策に分類される放射線防護カーテン、天吊り防護板と、個人保護に分類される放射線防護眼鏡があり、使用状況は充分でないことが明らかとなった。

第3章 研究に関連する基礎的事項

3-1. 国際放射線防護委員会 (ICRP)

ICRP とは、放射線防護の基本的な枠組みと防護基準を専門家の立場から勧告する民間の国際組織である。ICRP の勧告の骨格は、原爆被爆者の疫学調査を始めとする広範な科学的知見を基にしており、近年では 1990 年に実効線量限度の引き下げ、2007 年に遺伝性影響の比重軽減について勧告を出している。また、2012 年の publication 118 で水晶体線量限度を引き下げた事により[7]、本邦の水晶体等価線量限度が変更された。

組織の成り立ちには、1895 年に X 線が発見され 1928 年に医療従事者を放射線障害から防ぐ目的で「国際 X 線ラジウム防護委員会」が設立され、1954 年に「国際 X 線ラジウム防護委員会」から「国際放射線防護委員会」に改組された。

ICRP の勧告、声明および出版物等は、各国の法令やガイドラインに大きく影響を与えており、本邦でも、ICRP の国際的に合意された放射線防護の考え方を尊重し、放射線障害防止の技術的基準として法規制に取り入れている。

3-2. 透視手技と術者の水晶体被ばく

透視手技とは、X 線透視装置を使用し、X 線撮影や X 線透視を行いながら、病気の診断や治療を行う手技である。透視手技を行う診療科は多く、様々な目的で行われる。本論文の透視手技は、非血管系の手技を対象としているため、血管内に造影剤を注入し病気の診断や治療を行う手技を含まない。透視時の術者の水晶体被ばくは、オーバーテーブル透視装置を使用した場合がアンダーテーブル透視装置を用いた場合より高く[28]、外部放射線被ばく低減の 3 原則に従い散乱体と術者の間の遮蔽をする事、散乱体から距離を取る事、手技時間を短くする事で低減できる。

3-3. オーバーテーブル型透視装置

オーバーテーブル型透視装置とは、X 線管が寝台の上に搭載された透視装置である (図 3-1)。C アーム透視装置 (図 3-2) と比較し寝台が広く、X 線管と手技台とのスペースが大きい事で患部や術野が見やすい為、手技がしやすい利点がある。また、設置スペースが狭く、低コストであり国内で透視装置における導入台数が最も多い。オーバーテーブル型透視装置を使用した時の術者の被ばくは、上半身に高くなる。



図 3-1 オーバーテーブル型透視装置

3-4. Cアーム型透視装置

Cアーム型透視装置とは、X線管と受像機Cアームで一体となっており、X線管を寝台の上もしくはX線管の下に配置することが可能である(図3-2)。



図 3-2 Cアーム型透視装置

すなわち、オーバーテーブル透視装置とアンダーテーブル透視装置のどちらにもなりえる。本論文の中では、透視装置の寝台の上部にX線管がある場合をオーバーテーブル透視装置、透視装置の寝台の下部にX線管がある場合をアンダーテーブル透視装置として定義した。

Cアーム型透視装置は、患者の体位を変化させさせる事無く様々な角度から透視画像を観察できる。オーバーテーブル透視装置と比較して寝台が狭く、設置スペースが広く高コストであり、国内では導入台数が少ない。術者の被ばくは、オーバーテーブルにすると上半身に高くなり、アンダーテーブルにすると下半身に高くなる。

3-5. アンダーテーブル型透視装置

アンダーテーブル型透視装置とは、X線管が寝台の下に搭載された透視装置である(図3-3)。Cアーム透視装置(図3-3)と比較し寝台が広いが、受像機を患者に近づけて使用する為オーバーテーブル透視装置と比較し患部や術野の観察が困難である。国内での販売は無い、術者の被ばくは、下半身で高くなる。



図 3-3 アンダーテーブル型透視装置[45]

3-6. 蛍光ガラス線量計 (Radiophoto luminescence Glass Dosimeter: RPLGD)

蛍光ガラス線量計には小型素子システムがあり[47]、ガラス素子(φ1.5×8.5 mm)を素子ホルダー(GD-302M: φ2.0×9.5 mm, 千代田テクノル, 東京, 日本)やSnフィルタ付き素子ホルダー(GD-352M: Sn フィルタ; 0.75 mm 厚, φ2.8×12.0 mm, 千代田テクノル, 東京, 日本)に入れて、空間線量や局所的な被ばく線量を測定することが可能である(図3-4)。

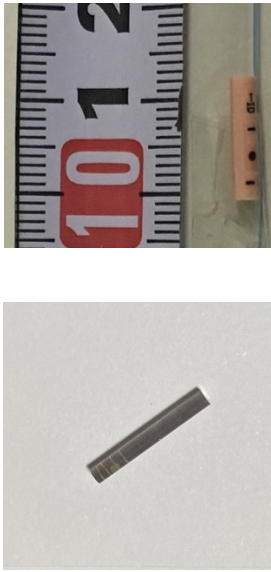


図 3-4 ガラス素子の外観 (左) と鉛子ホルダーの外観 (右)

3-7. 吸収線量

吸収線量は、放射線防護における基本的な線量測定量で、単位質量当たり吸収されたエネルギーであり、単位は Gy として表される。本研究では、空気吸収線量を空間線量としている。

3-8. 等価線量

等価線量 (単位: Sv) は、線量概念の中の防護量と実用量の意味を持つ。防護量は臓器や組織が個々に受ける影響を表しており直接計測できない。しかし実用量は測定可能であり、防護量に対して保守的な (安全側の) 評価を与えられるように、防護量より少し大きな数値が出るよう定義されている。

実用量における外部からの放射線被ばく線量は、1 cm 線量当量 (単位: Sv) や 70 μm 線量当量 (単位: Sv) で表される[48]。本研究で扱う等価線量は、防護量であり、特定組織 (水晶体等) の吸収線量 (単位: Gy) を、受けた放射線の種類のエネルギーとの相対効果であり加重して得られる。透視手技で用いられる X 線は放射線加重係数が 1 である。

3-9. 集団等価線量

等価線量は個人の被ばくに関するものであり、被ばくしたグループや集団に関しては集団等価線量を用いる。ある線源に被ばくした集団の平均線量に集団の人数を乗ずる事によって求められ、特定の組織や臓器と関連づけることも可能である。もし、いくつかのグループが含まれている場合には、全体の集団線量は各グループの集団線量の合計になる。

3-10. 高リスクアプローチと集団アプローチ

心疾患や脳卒中、生活習慣病等の病気は、疾病リスクとリスク因子への曝露との間に 4 種類の関係が成り立ち、関係毎に介入方法が異なる。この介入方法には、個人へ介入する高リスクアプローチと集団へ介入する集団アプローチがあり、予防医学や公衆衛生学で多用されている。

高リスクアプローチとは、特定の疾患に対するリスク因子に着目し、任意のレベルのカットオフ値を設定して、その値を超える人々に対してリスク因子を除去改善する為の対策を行うものである。疾患リスクの高い人々に重点的に対策を行うという点で個人レベルでは効果的だが、集団として患者数が多く発生する中程度以下のリスクを持つ多くの人々に対しては、特に対策を行わないため、集団全体の疾病発生数の減少という面での効果は限定的となる。

集団アプローチとは、高リスクの人々を特定せずに、集団全体のリスク因子のレベルの低下を目指す事が大きな特徴である。集団アプローチで介入する時の前提となるのは、集団の中で中程度のリスクを持つ多くの人々から発生する患者数は、大きなリスクを持った少数の人々から発生する患者数より多いということである。短所として、対象集団の中でもともと疾病リスクの低い多数の人々にとっては、その対策から得られる利益が殆ど無い事である。

3-11. 外部被ばく低減の 3 原則

外部被ばく低減の 3 原則とは、外部からの被ばくを低減する為に、線源と人体の間に距離をおく事、被ばくする時間を短くする事、線源と人体の間に遮蔽物を置く事が必要となることを指す。

「距離をおく事」とは、労働者と散乱体の距離を遠ざける事で被ばくを低減することであり、被ばく量と距離の関係では距離の逆二乗則が成り立つ。

「時間を短くする事」とは、放射線照射時間を最小限にとどめる事で被ばくを低減することであり、具体的には撮影や透視のスイッチを細かくオンオフする事や、透視パルスレートや撮影フレームレートを低減する事である。

「遮蔽する事」とは、工学的対策用防護具や個人用防護具を用いる事で被ばくを低減することであり、被ばく低減効果が高い。しかし、防護具の使用方法が不十分であれば効果が得られない事や、防護具が作業の足枷となる事があるため、使用には教育訓練が必要となる。

これらの原則を言い換えると、線源に人体を近づけて作業する事、放射線を使う作業時間を長くする事、線源と人体との間に遮蔽物を置かない事が、外部からの被ばくの増加に繋がる。

3-1-2. 労働安全衛生マネジメントシステム

労働安全衛生マネジメントシステムは、労働者の健康を守り継続的に改善する組織を作る仕組みである。労働安全衛生マネジメントシステムを導入する事によって、危険性又は有害性を除去・減少させ、経営と安全管理を一体化させ、安全管理のノウハウを適切に継承し効果的で継続的な安全管理の実施が可能となる。

労働安全衛生マネジメントシステムの運用やリスク評価を実施している事業場は、取り組みが行っていない事業場に比べ、災害発生率が3割以上低いという結果が出ている[49]。

労働安全衛生マネジメントシステムは、品質マネジメントシステムや環境マネジメントシステムに続くマネジメントシステムであり、国際規格はISO 45001である。本邦では、1999年労働省によって「労働安全衛生マネジメントシステムに関する指針」が制定され、2019年に指針の一部改正が行われているが、労働安全衛生マネジメントシステムが導入されている医療機関はかざられている。

3-1-3. リスクアセスメント

リスクアセスメントの定義は、「存在する危険性の体系的な事前評価及び評価に基づく対策の優先度の合理的な裏付け」である。リスクアセスメントを実施する手順の中心は、「危険源を特定すること」、「リスクを推定し、評価すること」、「対策の優先度を決定すること」である。

医療施設におけるリスクアセスメントは、看護部門の医療や看護の安全性を高めるための方法として知られているが[50]、それほど普及していない。また、放射線部門におけるリスクアセスメントの取り組み事例の報告や研究報告は、殆ど無い状況である。

第4章 保護具の開発と研究方法

4-1. Short curtain の開発

Short curtain の開発の為に必要なことは、放射線を遮蔽する能力を有することと全ての透視手技で使用できることである。Short curtain は、オーバーテザーブル透視装置に装着し、安全性の観点から患者と接触せず使用でき、X線管や寝台を傾けても傾かず、患部が見える保護具である必要がある。

4-1-1. 素材

開発する Short curtain が多くの施設で使用できるよう、特殊な素材は使用せず、既存の放射線防護衣に用いられる素材を利用し製作した。素材には、コリメータ前面の面積線量計や患者からの散乱線を防護するための0.1 cm厚無鉛放射線防護シート(0.13 mm 鉛厚相当)、X線管を傾けても形が崩れない形状とするための0.2 cm厚アクリル板、および放射線防護シートとアクリル板を保護するために0.1 cm厚ウレタンシートを使用した(図4-1-1)。また、Short curtain とX線コリメータを接続した際に Short curtain を筒型形状に保つために、接続部には面ファスナーを使用した。

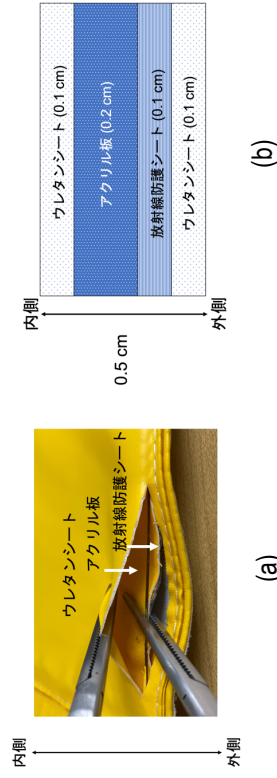
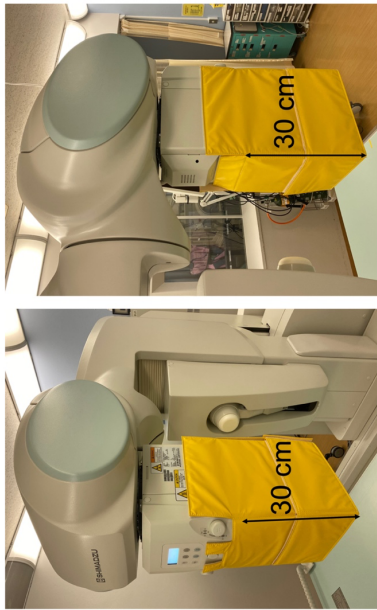


図4-1-1 Short curtainの素材
(a) Short curtain 内部の実際の写真, (b) Short curtain 内部の模式図

4-1-2. 形状

Short curtain は、X 線管コリメータに巻き付ける形で装着させるように設計した。そのため、筒型の構造となり (図 4-1-2)、重量は 1.6 kg となった。これにより、X 線管を傾けた時に自重で形状が変化しなくなった。



(a)

(b)

図 4-1-2 Short curtain を X 線コリメータに装着した実際の写真

(a) 前斜め方向 (b) 後斜め方向の Short curtain の、輻台に 30 cm の筒長である。

4-1-3. 構造

開発した Short curtain は、100 cm × 30 cm × 0.5 cm のカーテン部分と、X 線管コリメータとの接続部分で構成されている (図 4-1-3)。カーテン部分と接続部分ともに放射線防護シートが使用され、カーテン部分によって患者とコリメータ前面からの散乱線を低減し、さらに接続部からも散乱線が漏れ出ない構造とした (図 4-1-4)。Short curtain の X 線画像では、X 線が漏れず均一な画像コントラストになったことが確認された (図 4-1-4)。また、カーテン部分と接続部分のどちらにもアクリル板を使用したため、筒型形状にした場合にはどの方向に X 線管が傾いても型崩れしない強固な構造となった (図 4-1-5)。X 線管との接続部分には面ファスナーのフック部分を縫い付け、面ファスナーのループ部分は強力な両面テープによって X 線管コリメータに取り付けた。

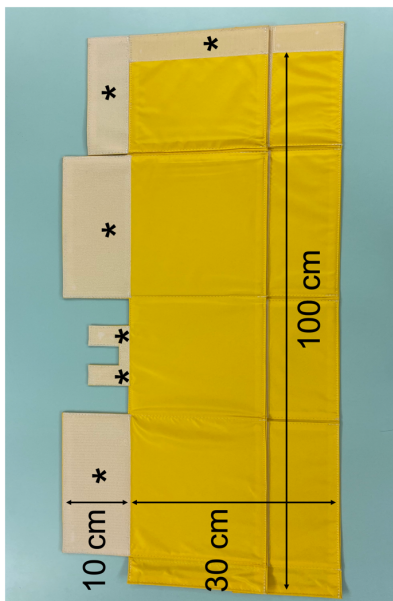


図 4-1-3 Short curtain 筒型を展開した際の写真 * は、面ファスナー部。

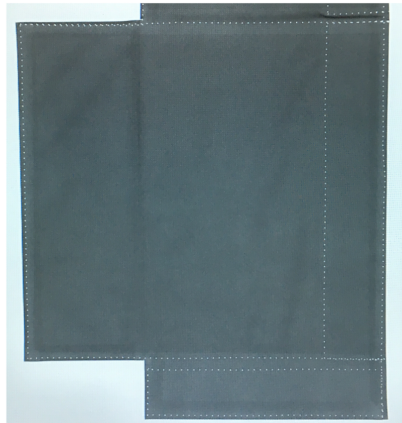


図 4-1-4 Short curtain に X 線を照射した時の X 線画像

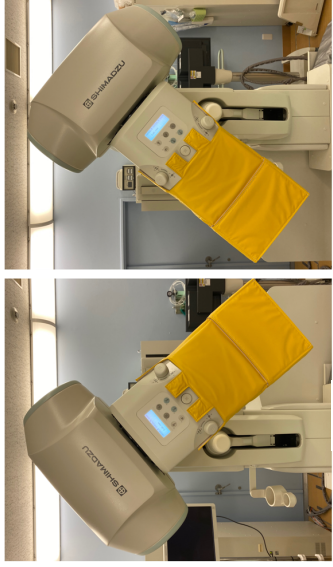


図 4-1-5 X線管を傾けた時の Short curtain の形状
(a) 頭尾方向への傾斜 (b) 尾頭方向への傾斜

4-2. 空間線量率の測定と解析

術者の頭部近傍の 50 cm×60 cm 四方の領域を 10 cm 間隔のグリッドで分画し、各格子点の空間線量を 42 個の RPLGD(GD-302M) を用いて測定した(図 4-2-1)．各 RPLGD は、0.5 mm のナイロン糸にセロハンテープで接着し、木材で組み上げた構の上から吊した(図 4-2-2)．

X線透視はオーバーテーブル透視装置 (SHIMADZU SONIALVISION G4, 島津製作所, 東京, 日本) を用いて行い、寝台には散乱線発生源として水ファントム (高さ 45 cm, 横幅 30 cm, 奥行 20 cm, 医研エンジニアリング, 墨田, 東京, 日本) を置き、管電圧 85 kVp, 管電流 2.3 mA, 焦点受像器間距離は 120 cm, 照射野は一边 30 cm の正方形で 10 分間 X線を照射した．Short curtain を使用しない場合および使用した場合で本実験を 3 回行い、それぞれの実験結果の平均値を使用した．空間線量率は、Short curtain を使用しない場合と使用した場合それぞれで解析した．図 4-2-1 に示すグリッドで囲まれた 10 cm 四方の各領域 (行, 列) 毎に解析し、各領域の空間線量率はグリッド四隅の格子点の測定値を算術平均して求めた．この結果をもとに、空間線量率のカラマップを作成した．

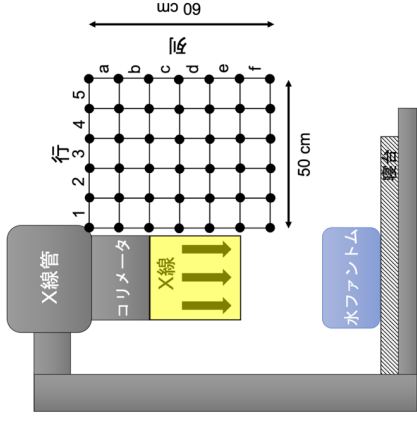


図 4-2-1 空間線量率の測定の実験配置図
●は、RPLGD の配置位置

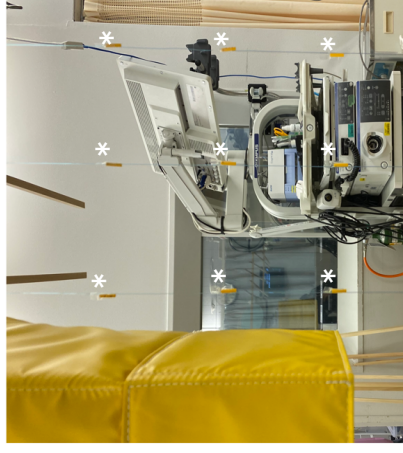


図 4-2-2 RPLGD の配置写真 (*: RPLGD)

4-3. 術者の時間水晶体存在率の測定と解析

水晶体存在位置、水晶体存在回数、時間水晶体存在率を定義する。まず、水晶体存在位置とは術者の水晶体が位置する領域(行, 列)であり、透視中に各水晶体存在位置に水晶体が存在した回数(行, 列)と定めた(図 4-3-1)。図 4-3-1において(a)は、造影剤の流れやチューブの位置を確認しながら術者が透視画像を観察する図であり、(b)は、患部を処置しながら術者が透視画像を観察する図である。(a)の場合水晶体存在位置は領域(5, c)となり、(b)の場合水晶体存在位置は領域(4, d)となる。

術者の時間水晶体存在率を算出するため、医療機関で2021年1月1日から2月末までに実施された透視手技20例(脊髄腔造影5例, 神経根ブロック5例, ERCPS例, 上部消化管造影5例)において、術者の水晶体存在位置を透視時間15秒毎に目視で記録した。

術者の各水晶体存在位置における時間水晶体存在率は、15秒毎に記録した透視手技20例の水晶体存在回数を総水晶体存在回数で除し算出した。

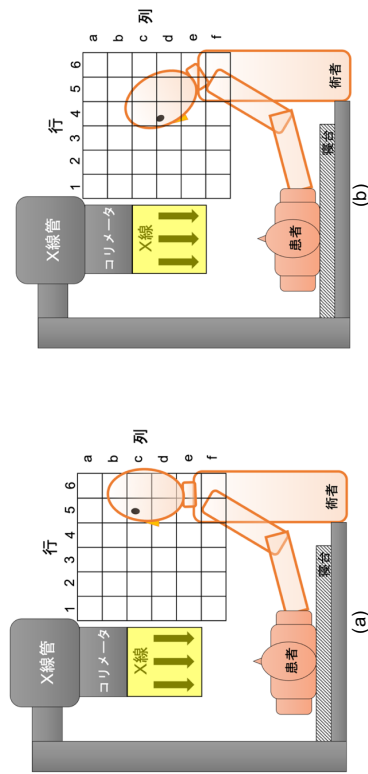


図 4-3-1 透視手技での術者の水晶体存在位置の模式図

4-4. Short curtain による術者の水晶体線量低減率の解析

Short curtain を使用しない場合の術者の各水晶体存在位置(行, 列)における空間線量率を「Short curtain を使用しない場合の術者の水晶体線量率(A)」とした。同様に Short curtain を使用した場合の術者の各水晶体存在位置(行, 列)における空間線量率を「Short curtain を使用した場合の術者の水晶体線量率(B)」とした。

Short curtain を使用した場合の水晶体線量低減率は、各水晶体存在位置における水晶体線量率(A, B)を使用し、次の式に従って決定した。

$$\text{水晶体線量低減率(行, 列)} = 1 - B(\text{行, 列})/A(\text{行, 列}), \dots \dots (1)$$

ここで、各水晶体存在位置における水晶体線量低減率に時間水晶体存在率を加重平均したものを総水晶体線量低減率と定義し、Short curtain による術者の総水晶体線量低減率は、以下の式で導いた：

$$\text{総水晶体線量低減率} = \sum \text{時間水晶体存在率(行, 列)} \times \text{水晶体線量低減率(行, 列)}, \dots \dots (2)$$

4-5. Long curtain による術者の水晶体線量低減率の解析

過去の報告により、Long curtain による総水晶体線量低減率は88.9%であったことから[20]、本研究では ERCP, 内視鏡的静脈瘤硬化療法(Endoscopic injection sclerotherapy: EIS)、内視鏡的乳頭括約筋切開術(Endoscopic sphincter papillotomy: EST)、内視鏡的逆行性胆管ドレナージ(Endoscopic retrograde biliary drainage: ERBD)の4つの透視手技に対して、過去の報告にある総水晶体線量低減率を採用し0.889として解析に用いた。

4-6. 集団水晶体等価線量低減率の解析

術者の集団水晶体等価線量の解析に先立ち、医療施設における2017年1月1日から2017年12月31日の間の透視手技を、放射線情報システムから抽出し、透視手技毎に面積空気カーマ積算値を積算した集団面積空気カーマ積算値を算出した。なお、本研究では、可搬型の透視装置を用いる手術室の透視手技と、患者を立位にするなどして術者とX線管の位置関係が他の手技と大きく異なる嚥下造影手技と食道造影手技を除外した。

4-6-1. 術者の集団水晶体等価線量の解析方法

術者の水晶体等価線量は、散乱体からの距離や遮蔽が一定の条件下で、装置からのX線量で決まることから、面積空気カーマ積算値は術者の水晶体等価線量に比例すると仮定し、面積空気カーマ積算値の値から術者の水晶体等価線量に変換するための係数tを以下の様に定義した。

$$t(\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1} \cdot \text{m}^2) = \text{水晶体等価線量(Sv)} / \text{面積空気カーマ積算値}(\text{Gy} \cdot \text{m}^2), \dots \dots (3)$$

第5章 結果

5-1. 空間線量率

Short curtain を使用しない場合と使用する場合の空間線量率並びに空間線量率カラーマップを
 図 5-1-1 と図 5-1-2 それぞれ示す。Short curtain の使用の有無にかかわらず空間線量率は、領域 (1, f) が最も高く水ファントムから遠ざかる程低くなっていった。また、Short curtain の使用によって空間線量率が高い 500 μGy/min 以上の領域が縮小していた。

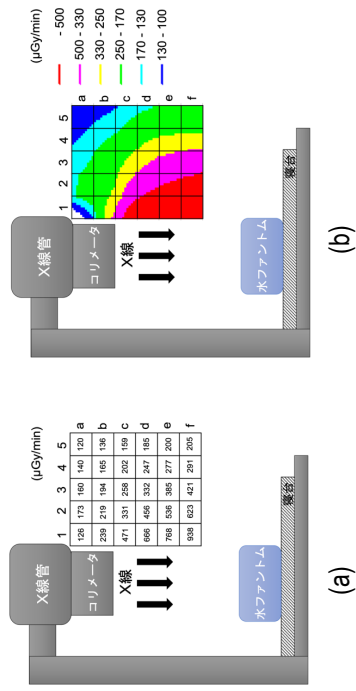


図 5-1-1 Short curtain を使用しない場合の空間線量率
 (a) 領域毎の空間線量率
 (b) 空間線量率のカラーマップ

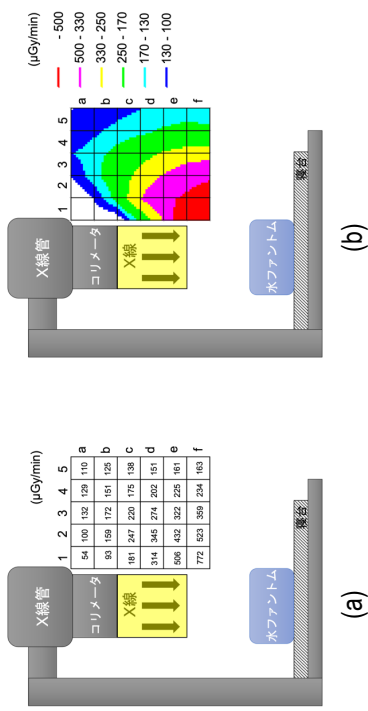


図 5-1-2 Short curtain を使用した場合の空間線量率
 (a) 領域毎の空間線量率
 (b) 空間線量率のカラーマップ

この係数 t を用いて、術者の集団水晶体等価線量を以下の様に推定した。

$$\text{集団水晶体等価線量 (Sv)} = \text{集団面積空気カーマ積算値 (Gy} \cdot \text{m}^2) \times t (\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}), \dots(4)$$

curtain を使用した場合の集団水晶体等価線量については、以下の式に従って算出した。

$$\text{curtain を使用した場合の集団水晶体等価線量} = \text{curtain を使用しない場合の集団水晶体等価線量} \times (1 - \text{水晶体線量低減率}), \dots(5)$$

Short curtain を使用した場合の術者の集団水晶体等価線量は、Short curtain が全ての透視手技で使用できるため、全ての透視手技の集団水晶体等価線量に Short curtain の総水晶体線量低減率を用いて算出した。

また、Long curtain を使用した場合の術者の集団水晶体等価線量は、集団水晶体等価線量に Long curtain の総水晶体線量低減率である 0.889 (88.9%)を用いて算出した。Long curtain は、4 つの透視手技 (ERCP, EST, EIS, ERBD)に使用できることから、ERCP, EST, EIS, ERBD の集団水晶体等価線量には 0.889 (88.9%)を用いた。一方、Long curtain が使用できない ERCP, EST, EIS, ERBD 以外の集団水晶体等価線量は、そのままの値を用いた。

どちらか一方の curtain を使用した場合の術者の集団水晶体等価線量については、最も集団水晶体等価線量が低くなる組み合わせとして、4 つの透視手技 (ERCP, EST, EIS, ERBD) では、X 線管や寝台を傾けずに行う Long curtain を使用し、上記 4 つ以外の透視手技で Short curtain を使用する事を想定し算出した。

集団水晶体等価線量低減率については、curtain を使用しない場合の集団水晶体等価線量 (C) と curtain を使用した場合の集団水晶体等価線量 (D) (Short curtain を用いる場合、Long curtain を用いる場合、Long curtain もしくは Short curtain を用いる場合) を用いて術者の集団水晶体等価線量低減率を以下の式に従って算出した。

$$\text{集団水晶体等価線量低減率} = 1 - D/C, \dots(6)$$

5-2. 術者の時間水晶体存在率

術者が寝台の直ぐ脇に直立して手技を行う時は、図 5-2-1 に示すように水晶体は領域 (5, c)・領域 (5, d)・領域 (5, e) に存在していた。また、術者がドレナージチューブの抜き刺しなど、手元を注視するときは前屈みの姿勢となり、水晶体は領域 (4, d)・領域 (4, e)・領域 (4, f) に存在していた。術者の手技にかかわらず最も水時間水晶体存在率が高かったのは、領域 (5, d) の 58.2% であった。

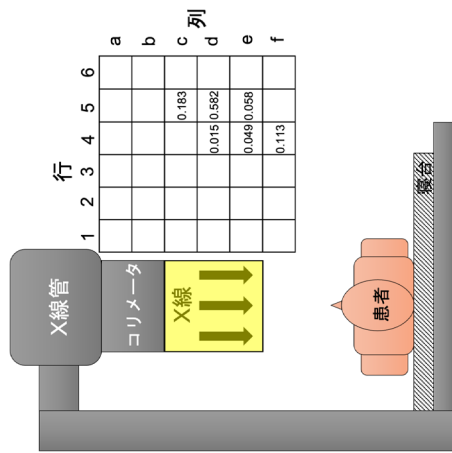


図 5-2-1 術者の時間水晶体存在率

5-3. 術者の水晶体線量率

術者の水晶体線量率は、水晶体存在位置 (行, 列) における空間線量率であり、最も線量が高かったのは領域 (4, f) であり、最も線量が低かったのは領域 (5, e) であった (表 5-3-1)。

表 5-3-1 術者の水晶体線量率

術者の水晶体位置, 領域 (行, 列)	領域 (4, d)	領域 (4, e)	領域 (4, f)	領域 (5, c)	領域 (5, d)	領域 (5, e)
Short curtain を使用しない場合の水晶体線量率 (μGy/min)	247	277	291	159	185	200
Short curtain を使用した場合の水晶体線量率 (μGy/min)	202	225	234	138	151	161

5-4. Short curtain による術者の総水晶体線量低減率

Short curtain による術者の水晶体線量低減率が最も高かったのは、領域 (4, f) における 19.6% であった。各領域における水晶体低減率に時間水晶体存在率を乗じた時間加重平均によって Short curtain による総水晶体線量低減率は、17.7% となった (表 5-4-1)。

表 5-4-1 Short curtain による術者の総水晶体線量低減率

術者の水晶体位置, 領域 (行, 列)	領域 (4, d)	領域 (4, e)	領域 (4, f)	領域 (5, c)	領域 (5, d)	領域 (5, e)	総水晶体線量低減率 (%)
時間水晶体存在率 (%)	1.5	4.9	13.3	18.3	58.2	5.8	
Short curtain による水晶体線量低減率 (%)	18.2	18.8	19.6	13.2	18.4	19.5	17.7

Note: 式(1)より: Short curtain による水晶体線量低減率 (%) = (1 - Short curtain を使用した場合の水晶体線量率 / Short curtain を使用しない場合の水晶体線量率) × 100
 式(2)より: 総水晶体線量低減率 (%) = Σ 各領域の時間水晶体存在率 × Short curtain による水晶体線量低減率

5-5. 透視手技の年間件数と集団面積空気カーマ積算値

本研究で得た医療施設における透視手技の年間件数は、ERCP が最も多く 188 件であったが、集団面積空気カーマ積算値が高いのは注腸造影であった。解析した医療施設が多くの診療科で構成される約 600 床の特定機能病院であるため、透視手技は多岐となり、年間件数が 15 件未満の透視手技は、その他としてまとめた (表 5-5-1)。

表 5-5-1 医療施設における透視手技の年間件数と集団面積空気カーマ積算値

透視手技名	年間件数	集団面積空気カーマ積算値 (Gy・m ²)
ERCP	188	0.483
EIS	37	0.079
EST	32	0.096
ERDB	17	0.033
上部消化管造影	171	0.776
注腸造影	143	1.210
腰部神経根ブロック	138	0.095
ドレーンチューブ交換	111	0.203
腰椎椎間腔造影	106	0.494
イレウスチューブ造影	76	0.462
イレウスチューブ挿入	71	0.807
経皮経肝胆管ドレナージ	37	0.104
静脈内栄養カテーテル挿入	33	0.015
中心静脈カテーテル留置	32	0.030
経皮経肝胆嚢ドレナージ	14	0.015
小腸造影	15	0.112
その他	613	1.224
合計	1834	6.239

Note: ERCP: 内視鏡的逆行性胆道膵管造影, EIS: 内視鏡的静脈瘤硬化療法, EST: 内視鏡的乳頭括約筋切開術, ERDB: 内視鏡的逆行性胆管ドレナージ。

5-6. Short curtain を使用しない場合の術者の集団水晶体等価線量

表 5-6-1 に示すように集団面積空気カーマ積算値は、注腸造影が 1.210 Gy・m² と最も高かったが、これは手技数の多さと 1 手技当たりの面積空気カーマ積算値が高い事が理由であった。注腸造影は ERCP や上部消化管造影と比較し、下腹部から骨盤にかけての撮影や透視を行うため照射線量が多く、集団面積空気カーマ積算値が高いため、術者の集団水晶体等価線量も高くなった。

表 5-6-1 Short curtain を使用しない場合の術者の集団水晶体等価線量

透視手技名	集団面積空気カーマ積算値 (Gy・m ²)	術者の集団水晶体等価線量 (Sv)
ERCP	0.483	0.483 t
EIS	0.079	0.079 t
EST	0.096	0.096 t
ERDB	0.033	0.033 t
上部消化管造影	0.776	0.776 t
注腸造影	1.210	1.210 t
腰部神経根ブロック	0.095	0.095 t
ドレーンチューブ交換	0.203	0.203 t
腰椎椎間腔造影	0.494	0.494 t
イレウスチューブ造影	0.462	0.462 t
イレウスチューブ挿入	0.807	0.807 t
経皮経肝胆管ドレナージ	0.104	0.104 t
静脈内栄養カテーテル挿入	0.015	0.015 t
中心静脈カテーテル留置	0.030	0.030 t
経皮経肝胆嚢ドレナージ	0.015	0.015 t
小腸造影	0.112	0.112 t
その他	1.224	1.224 t
合計	6.239	6.239 t

Note: ERCP: 内視鏡的逆行性胆道膵管造影, EIS: 内視鏡的静脈瘤硬化療法, EST: 内視鏡的乳頭括約筋切開術, ERDB: 内視鏡的逆行性胆管ドレナージ。

5-7- Short curtain を使用した場合の術者の集団水晶体等価線量

Short curtain は、Long curtain の問題を解決し、医療機関の全ての透視手技で使用できるように開発したため、全ての透視手技における術者の集団水晶体等価線量に Short curtain の総水晶体線量低減率 17.7% を適応すると、全ての透視手技における術者の集団水晶体等価線量は、表 5-6-1 に示した 6.239t Sv から 5.135t Sv となった (表 5-7-1)。

表 5-7-1 Short curtain を使用した場合の術者の集団水晶体等価線量

透視手技名	集団		術者	
	面積空気カーマ積算値 (Gy・m ²)	水晶体線量 低減率	集団水晶体等価線量	(Sv)
ERCP	0.483	0.177	0.398 t	
EIS	0.079	0.177	0.065 t	
EST	0.096	0.177	0.079 t	
ERDB	0.033	0.177	0.027 t	
上部消化管造影	0.776	0.177	0.639 t	
注腸造影	1.210	0.177	0.996 t	
腰部神経根ブロック	0.095	0.177	0.078 t	
ドレーンチューブ交換	0.203	0.177	0.167 t	
腰椎脊髄造影	0.494	0.177	0.406 t	
イレウスチューブ造影	0.462	0.177	0.380 t	
イレウスチューブ挿入	0.807	0.177	0.664 t	
経皮経肝胆管ドレナージ	0.104	0.177	0.086 t	
静脈内栄養カテーテル挿入	0.015	0.177	0.013 t	
中心静脈カテーテル留置	0.030	0.177	0.025 t	
経皮経肝胆嚢ドレナージ	0.015	0.177	0.012 t	
小腸造影	0.112	0.177	0.092 t	
その他	1.224	0.177	1.007 t	
合計	6.239	-	5.135 t	

Note: ERCP: 内視鏡的逆行性胆道膵管造影, EIS: 内視鏡的静脈瘤硬化療法, EST: 内視鏡的乳頭括約筋切開術, ERDB: 内視鏡的逆行性胆管ドレナージ。

5-8- Long curtain を使用した場合の術者の集団水晶体等価線量

Long curtain は、医療機関の透視手技の中で限られた手技 (ERCP, EIS, EST, ERDB) で使用できるため、ERCP, EIS, EST, ERDB の集団水晶体等価線量のみに Long curtain の水晶体線量低減率 88.9% を適応した。これにより全ての透視手技における術者の集団水晶体等価線量は、5.625t Sv となった (表 5-8-1)。

表 5-8-1 Long curtain を使用した場合の術者の集団水晶体等価線量

透視手技名	集団		術者	
	面積空気カーマ積算値 (Gy・m ²)	水晶体線量 低減率	集団水晶体等価線量	(Sv)
ERCP	0.483	0.889	0.054 t	
EIS	0.079	0.889	0.009 t	
EST	0.096	0.889	0.011 t	
ERDB	0.033	0.889	0.004 t	
上部消化管造影	0.776	N.A.	0.776 t	
注腸造影	1.210	N.A.	1.210 t	
腰部神経根ブロック	0.095	N.A.	0.095 t	
ドレーンチューブ交換	0.203	N.A.	0.203 t	
腰椎脊髄造影	0.494	N.A.	0.494 t	
イレウスチューブ造影	0.462	N.A.	0.462 t	
イレウスチューブ挿入	0.807	N.A.	0.807 t	
経皮経肝胆管ドレナージ	0.104	N.A.	0.104 t	
静脈内栄養カテーテル挿入	0.015	N.A.	0.015 t	
中心静脈カテーテル留置	0.030	N.A.	0.030 t	
経皮経肝胆嚢ドレナージ	0.015	N.A.	0.015 t	
小腸造影	0.112	N.A.	0.112 t	
その他	1.224	N.A.	1.224 t	
合計	6.239	-	5.625 t	

Note: ERCP: 内視鏡的逆行性胆道膵管造影, EIS: 内視鏡的静脈瘤硬化療法, EST: 内視鏡的乳頭括約筋切開術, ERDB: 内視鏡的逆行性胆管ドレナージ, N.A.: Not Available; 利用不可。

5-9. Short curtain もしくは Long curtain を使用した場合の術者の集団水晶体等価線量

Long curtain は、限られた手技(ERCP, EIS, EST, ERDB)で使用し、Short curtain は、(ERCP, EIS, EST, ERDB) 以外で使用する事で最大の結果が得られ、全ての透視手技における術者の集団水晶体等価線量は、4.649t Sv となった(表 5-9-1)。

表 5-9-1 Short curtain もしくは Long curtain を使用した場合の術者の集団水晶体等価線量

透視手技名	集団		術者	
	面積空気カーマ積算値 (Gy·m ²)	水晶体線量 低減率	集団水晶体等価線量 (Sv)	低減率
ERCP	0.483	0.889	0.054 t	
EIS	0.079	0.889	0.009 t	
EST	0.096	0.889	0.011 t	
ERDB	0.033	0.889	0.004 t	
上部消化管造影	0.776	0.176	0.640 t	
注腸造影	1.210	0.176	0.997 t	
腰部神経根ブロック	0.095	0.176	0.078 t	
ドレーンチューブ交換	0.203	0.176	0.167 t	
腰椎椎間腔造影	0.494	0.176	0.407 t	
イレウスチューブ造影	0.462	0.176	0.381 t	
イレウスチューブ挿入	0.807	0.176	0.665 t	
経皮経肝胆管ドレナージ	0.104	0.176	0.086 t	
静脈内栄養カテーテル挿入	0.015	0.176	0.013 t	
中心静脈カテーテル留置	0.030	0.176	0.025 t	
経皮経肝胆嚢ドレナージ	0.015	0.176	0.012 t	
小腸造影	0.112	0.176	0.092 t	
その他	1.224	0.176	1.009 t	
合計	6.239	-	4.649 t	

Note: ERCP: 内視鏡的逆行性胆道膵管造影, EIS: 内視鏡的静脈嚢硬化療法, EST: 内視鏡的乳頭括約筋切開術, ERDB: 内視鏡的逆行性胆管ドレナージ。

5-10. Short curtain と Long curtain による術者の集団水晶体等価線量低減率

全手技に対して Long curtain 又は Short curtain のいずれかを適用した場合、集団水晶体等価線量低減率は 25.6% となった(表 5-10-1)。

表 5-10-1 Short curtain と Long curtain による術者の集団水晶体等価線量低減率

curtain	集団水晶体等価線量 (Sv)	集団水晶体等価線量低減率 (%)
無し	6.239 t	-
Long curtain	5.625 t	9.8
Short curtain	5.135 t	17.7
Short curtain もしくは Long curtain	4.643 t	25.6

第6章 考察

6-1. 空間線量率

透視手技を行う術者は、患者に近づき作業する為、術者水晶体も散乱体に近くなっていった。これまででの空間線量率の測定は、X線管から水平方向に50 cm以上離れた空間線量が測定されることが多かった[20]。この理由として、線量計の問題が考えられる。従来の空間線量測定は、電離箱式サーベイメータを使用する。この線量計は、使用方法や保管方法が簡便で扱いやすい利点があるが、大きさが幅10 cm×長さ19 cm×高さ12 cmであるため、本研究のような10 cm間隔での測定は不可能である。加えて、線量計の質量が700 gでカメラ用三脚に設置し測定するためコリメータやフロントム近くの測定は不可能であった。本研究では、小型で軽量のRPLGDを使用する事で従来の空間線量測定の問題点を解消し詳細な空間線量率測定ができた。また、測定精度を向上させるため、蛍光ガラス線量計に1 mGy以上となる10分間の照射を行い、線量読み値の変動係数を3%以下にする事ができた[51]。

今回の測定では、三次元評価を行わず二次元評価をおこなった。その理由として、患者と術者と透視装置の位置関係は透視手技を行う前に決まっておき、透視手技中の術者の三次元移動は少ないため、術者の水晶体線量を評価する場合に三次元評価はそれほど必要ない。また、Short curtainはコリメータ全周に貼付され円筒構造になっており、コリメータ前面やフロントムからの散乱線を全方向で遮蔽する能力があるため、二次元評価と三次元評価には大きな低減率の変化は無いと考えた。

6-2. 術者の時間水晶体存在率

これまで、術者の時間水晶体存在率を求めた研究は殆ど無く、術者の立ち位置から想定される水晶体の位置は150 cmという設定がなされていた[15, 20]。これは、医療施設や原子力施設で放射線業務に従事する者は男性が多く、日本の成人男性の平均身長が約170 cmである事から水晶体位置を150 cmと予測していると考えられるが、実際の医療現場では術者の水晶体位置は透視手技毎に変化していることから、水晶体位置の詳細な調査を行った。本研究では、手技数の多いERCPと上部消化管造影と神経根ブロックを選び、手技中に透視装置の寝台が高くなる春髄腔造影で水晶体位置を計測し、術者体位が直立体位、会釈体位に分類されること、その体位に合わせて水晶体位置が変化することが明確になった[52]。

今回の研究で調査した術者の水晶体位置においては、第6列目に水晶体は存在していなかった。術者は患者に近づくため、寝台に術者の腹部が接した状態で手技を行い、この状態で直立すると第5列目に水晶体が存在していた。今回の調査は、春髄腔造影、神経根ブロック、ERCP、上部消

化管造影の透視手技で行った。春髄腔造影は、患者を側臥位にして術者が体位を保持したまま春髄腔内の造影剤の動きを観察する。神経根ブロックは、患者を腹臥位にした後に透視画像を見ながら患者の腰椎に穿刺を行う。ERCPは、患者を腹臥位にした後に患者の口腔から内視鏡を挿入し透視画像と内視鏡画像を確認しながら手技を行う。上部消化管造影は、患者を押し叩いたり患者の体幹を揺すったりしながら透視手技を行う。以上調査した透視手技では、術者は患者に処置を行うため患者のそばに位置し、寝台に接していたことから、水晶体は第5列目まで存在する結果となった。

また、本研究では身長による補正を行っていない。透視装置の寝台の高さは調整可能で、術者の指示で医師又は診療放射線技師が高さを変更する。術者の水晶体の位置は術者の身長によって変化するが、水晶体被ばくの発生源であるコリメータと患者との術者の水晶体の位置関係は変わらない。よって、身長による補正は必要ないと考えた。

6-3. Short curtain による術者の水晶体線量低減率

従来の空間線量測定は、被ばく組織である水晶体と散乱線が発生させるフロントムやコリメータ前面との位置関係が明確で無い[15, 20]。そのため電離箱サーベイメータを用いた床面からの150 cmの高さで測定した従来法では、本研究の領域(5, c)における低減率13.2%、領域(5, d)における低減率18.4%、領域(5, e)における低減率19.5%のいずれかの結果になることが予測される。従来法の結果は本研究結果と比較すると、従来法の水晶体位置が領域(5, c)の場合Short curtainの水晶体低減率を4.5ポイント(17.7%-13.2%)の過小評価となり、領域(5, d)の場合0.7ポイント(18.4%-17.7%)、領域(5, e)の場合1.8ポイント(19.5%-17.7%)の過大評価となる。

そこで本研究では、透視手技中の時間水晶体存在率を明らかにし、水晶体線量低減率を時間加重平均する事で透視手技の実態に則した水晶体線量低減率を推定できたと考える。

透視手技で使用できる保護具の研究において、オーバーテーブル透視装置で使用する保護具はMorishimaらやMinamiらの研究で約90%の低減率であり[19, 20]、アンダーテーブル透視装置で使用する保護具はMujirajらの研究から約90%の低減率[11]、Moriらの研究から約65%の低減率[15]と示されており、Short curtainの17.7%の低減率は大幅に少なく一見すると効果が殆ど無いように捉えられる。

一方、オーバーテーブル透視装置で使用する保護具は、MorishimaらやMinamiらの研究で紹介された物のみの販売であり、保護具としての選択肢はこれまでは1つしか無かった[19, 20]。しかし、今回Short curtainを開発したことで、保護具の選択肢が増えた事による臨床的意義は大きいと考える。

6-4. 集団水晶体等価線量低減率

Long curtain による水晶体線量低減率は、Short curtain に比べて圧倒的に高いもの (Long: 88.9%, Short: 17.7%)。術者の集団水晶体等価線量低減率では、Short curtain の方が Long curtain よりも高かった (Long: 9.8%, Short: 17.7%)。これは、Long curtain では、術者が患部を皮膚の上から直接叩いたり押ししたりする手技、透視を見ながら経皮ドレナージュチューブの抜き刺しを行う手技、ベッドを傾ける手技ができないため、ERCP, EIS, EST, ERBD のような内視鏡を使った手技に使用が限定されてしまい、病院全体の透視手技の 12.4% ($(188+37+32+17)/2216=0.124$, 表 5-5-1) にしか適用できないことが原因であると考えられる。本研究の結果から Short curtain 単体では水晶体線量低減率が低くとも、適用範囲が広ければ、術者の集団水晶体等価線量の低減では Long curtain に勝るといふ結果が示された(図 6-4-1)。

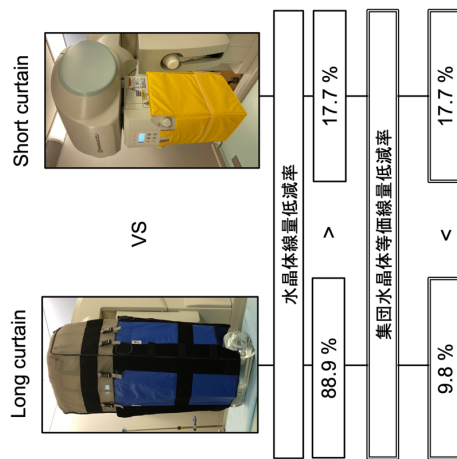


図 6-4-1 Long curtain と Short curtain の水晶体線量低減率と集団水晶体等価線量低減率の比較

6-5. Short curtain の放射線白内障予防効果

これまでの保護具の開発は透視手技において限定的使用となるものであり[19, 20]。保護具の研究は線量限度を超える可能性がある高リスク術者の被ばくを低減するための研究であった。一方、ICRP は、防護の最適化のための防護方法の評価を行うには個人線量と集団線量の視点からの比較が重要であるということをお述べていたが、本邦の医療分野においてはほとんど研究されてこなか

った[53, 54]。そこで本研究では、公衆衛生活動におけるヘルスプロモーションの考え方を参考に集団線量の評価を行った。

1985年 Geoffrey Rose が提唱した集団アプローチと高リスクアプローチは[55]。ある集団に対する健康増進と疾病予防を推進するための戦略的介入方法であり、予防医学における重要な公衆衛生学上の概念である[56-59]。集団アプローチと高リスクアプローチの適応は、関連要因への曝露と疾病リスク関係に関する以下の4パターン (図 6-5-1) から選択することができる[55]。(a) は、曝露量の全範囲で疾病リスクが直線的な量・反応関係を示す。(b) は、曝露量が少ない範囲では疾病リスクが小さく、曝露量が多い範囲では疾病リスクが急激に上昇する。(c) は、曝露量がある基準に達して初めて疾病が発症する。(d) は、曝露量と疾病リスクがU字型を示す。

集団アプローチは、曝露量に関係なく集団全体を介入対象とすることで集団に大きな効果をもたらす為、図 6-5-1 に示す曝露量の全範囲で疾病リスクが直線的な量・反応関係の (a) と曝露量が少ない範囲では疾病リスクが小さく、曝露量が多い範囲では疾病リスクが急激に上昇する (b) で有効である。一方、高リスクアプローチは、疾病リスクのない集団が存在するため、高リスク群への介入のみが必要である (c) と、集団全体に介入すると疾病リスクを上げてしまう (d) に有効であるとされている。

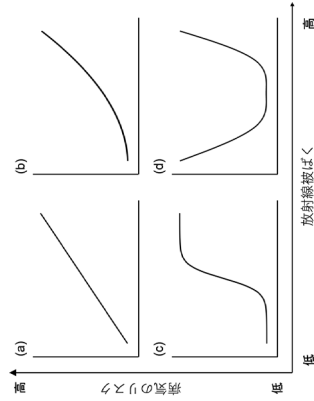


図 6-5-1 放射線被ばくと病気のリスクとの関係

放射線白内障は組織反応 (確定的影響) に分類され、閾線量を有する (c) に該当するため、高リスクアプローチの選択が適切である。つまり、被ばく線量が高い ERCP 等の透視手技に対しては、Long curtain による確実な防護対策を施すことが効果的である。しかしながら、放射線白内障の閾線量は未だ議論の余地が有り[60, 61]。さらなる研究が必要とされている[62]。また、放射線白内障は閾線量の無い確率的影響である可能性についても指摘されている[7]。従って、放射線白内障の

発症リスクは、前述の (a) 若しくは (b) である可能性についても考慮すべきであり、集団アプロ
 ーチによる介入、すなわち防護効果が小さくとも汎用性の高い Short curtain による防護対策が必
 要であると考えられる。

6-6. Short curtain の使用とリスク低減処置の優先順位

術者の水晶体線量低減のために Short curtain の使用を考えると、個人保護具である放射線防
 護眼鏡による水晶体線量低減率が 51% である[14]、Short curtain の使用より先に放射線防護眼鏡
 の使用という考え方がある。しかし、「労働衛生の 3 管理」に基づくリスク低減措置の優先順位の
 理論からすると、作業環境管理手法の工学的対策である Short curtain の使用をまず考えるべきで
 あり、工学的対策よりも先に個人保護具である放射線防護眼鏡で対策する事は誤りである。

まずは作業環境中の危険性又は有害性の除去や低減を行い、その次に工学的対策である Long
 curtain もしくは Short curtain を使用して水晶体線量の低減を図る。それでもさらなる低減の必要
 性がある場合には、個人保護具として放射線防護眼鏡の使用を検討する(表 6-6-1)[63]。

この考えは、ICRP publication 75 で「危険の除去とリスクの低減について優先順位を定めるべき
 である」[工学的管理の使用は他の防護措置に先立って考慮すべきである]と明言されており、
 保護具による工学的対策を実施した被ばく低減の優先順位の高さを示している[64]。また、労働安
 全衛生マネジメントシステムの運用によるリスクアセスメントのリスク低減措置も同様に工学的
 対策が個人保護具による対策よりも優先順位が高い[65]。

表 6-6-1 放射線防護対策におけるリスク低減措置の優先順位

優先順位	リスク低減措置	具体的な対策
1	危険性又は有害性の除去・低減	線量の低い機器の使用 撮影・透視条件の見直し
2	工学的対策	防護板や防護カーテンの使用
3	管理的対策	教育・マニュアル整備・配置転換
4	個人用保護具の使用	防護眼鏡等の使用

6-7. 術者集団水晶体等価線量を低減する為の保護具

医療現場で使用されている透視装置は、オーバードーズ透視装置とアンダードーズ透視装
 置に大きく分類できる。アンダードーズ透視装置では、オーバードーズ透視装置と比較し透
 視手法での水晶体線量が 40%ほどであり (0.30.75 = 0.4) [27, 30]、術者の被ばくを低減するにはア
 ンダードーズ透視装置の使用が推奨されている [18]。

アンダードーズ透視装置に使用する保護具は、1 手技あたりの水晶体線量を約 90%低減させ
 ることが可能な受像機全周に巻き付ける形状の短いカーテン [11] と、水晶体線量を約 65%低
 減させることが可能な受像機半周に巻き付ける形状の短いカーテン [15] がある。この 2 種類
 の保護具は、寝台を傾けたときにカーテンが視野に入る可能性が有る為使用できない透視手法が
 有るものの、焦点受像器間距離を調整する事で視野の確保や無菌処置を行う手技でも使用する事
 が可能であり、そのため多くの透視手技で使用でき、水晶体線量低減率が 65-100%と高い。

一方、日本ではアンダードーズ透視装置よりオーバードーズ透視装置の方が医療機関で使
 用されている為 [14, 26]、オーバードーズ透視装置に使用する保護具は、1 手技あたりの水晶体
 線量を約 90%低減させることが可能な Long curtain が使用されている [19, 20]。しかし、この防護
 具は、内視鏡を用いる限られた透視手技にしか使用できないため集団水晶体等価線量低減率が
 9.8%と低い。

今回開発した Short curtain は、1 手技あたりの水晶体線量を 17.7%低減させることが可能であ
 る。また、Short curtain は寝台と curtain の間に距離を確保しているため視野も充分であり、患部を
 観察可能で、寝台が傾いても視野にカーテンが入らない構造である。したがって、全ての透視手技
 で使用可能であるため集団水晶体等価線量を 17.7%低減でき、低減率は Long curtain よりも高く
 なった。

術者集団水晶体等価線量を低減する為の戦略として、まずアンダードーズ透視装置を使用す
 る事である。加えて、使用可能な透視手技全てにアンダードーズ透視装置用の短いカーテ
 ンを使用することで透視手技での術者集団水晶体等価線量を大きく低減できる。

しかし、アンダードーズ透視装置がなくオーバードーズ透視装置を使用する場合、本研究
 対象のような様々な種類の透視手技を行う医療機関における術者集団水晶体等価線量を低減する
 為の戦略は、本研究結果で示したように、まず使用できる透視手技全てに Long curtain を使用し、
 その他の手技では Short curtain を使用することで、Short curtain 単体を使用するよりも術者集団水
 晶体等価線量を低減できる。本研究で開発した Short curtain は、オーバードーズ透視装置の保
 護具として、術者集団水晶体等価線量を低減する為の新たな選択肢と考える [52]。

6-8. Short curtain の形状

Short curtain の長さが長いほど水晶体線量低減率は高くなる。Short curtain の長さを 30 cm に設定した理由は、様々な透視手技で患者と Short curtain が接触すること無く水晶体線量低減率を最も高くするためである。

透視装置のコリメータ前部から寝台までの距離が 80 cm であり、患者の体幹の幅は成人男性で約 40 cm である。成人男性の患者が側臥位になった場合、患者とコリメータ前部までの距離は 40 cm で、Short curtain が 40 cm の場合、患者と Short curtain が接触する可能性があり、安全性に懸念が生じる。また、成人男性に使用できる Short curtain を想定すれば成人女性や小児にも使用でき利便性が向上する。利便性と安全性を考慮し Short curtain の長さを 30 cm とした。

今後の更に水晶体線量低減率を向上させるため、実際に透視手技で使用する場合、Short curtain の長さを 40 cm に延長または 20 cm に短縮できる機能を有する Short curtain の開発を検討している。

6-9. 本研究の産業衛生学的な意義

本研究では、医療施設の透視手技(有業務)を行う術者(労働者)の放射線(物理的要因)によって引き起こされる放射線白内障を予防する為、新しい工学的対策用の保護具を開発し、保護具の効果と個人の水晶体線量低減率と集団の水晶体等価線量低減率から導き出すことができた。新しい工学的対策用の保護具によって、放射線白内障の予防を目指して職場に所属する個人・集団を対象に科学的根拠に基づいた効果的な支援を行う事が可能となったと考える。

6-10. 本研究の限界

本研究の限界として、面積空気カメラ積算値が水晶体等価線量に比例すると仮定し、面積空気カメラ積算値から水晶体等価線量への変換係数を t としているため、術者の立ち位置、透視装置、透視条件設定、併用する他の防護装備などが異なると、 t が手技ごとに大きく変化し、術者集団水晶体等価線量を正しく評価できない可能性がある[66, 67]。また、Long curtain を適用することが可能である透視手技の比率が高い医療機関においては、Short curtain による術者集団水晶体等価線量の低減がさほど期待できない可能性もある。

第7章 今後の展望

7-1. 水晶体線量低減率の実態調査

今後の展望は、開発した Short curtain を臨床使用した場合の水晶体線量測定を行う事と、Short curtain と放射線防護眼鏡を併用した場合の多重防護効果の検証である。

まず、Short curtain を実際に使用しその水晶体線量測定を行う為には、透視手技毎に Short curtain を使用しない場合と使用した場合の水晶体線量測定を行う事が必要となる。本研究では、術者の水晶体位置を調査し実態に即した水晶体線量低減率を用いているが、推定より実測の方が水晶体線量低減率を臨床使用に即した値を導き出す事ができる。

次に、Short curtain と放射線防護眼鏡を併用した場合の多重防護効果の検証であるが、Short curtain と放射線防護眼鏡を同時使用による水晶体線量低減率を導き出す事が重要である。Long curtain を使用できない透視手技を行う術者のうち、Short curtain を使用しても年間の水晶体等価線量が線量限度を超える場合は、放射線防護眼鏡の装着が必要となる為、多重防護効果を予め検証する事が重要であると考える。

これらの測定は、Nagamoto らが開発した水晶体線量計を用いることで実現できると考える[63]。この水晶体線量計は、放射線防護眼鏡の内側と外側に蛍光ガラス線量計を配置する構造であり、内側の測定値が放射線防護眼鏡によって低減された水晶体等価線量を示し、外側の測定値が防護無しの際の水晶体等価線量を示すため、一度の測定で二つの線量を測定できる一挙両得な線量計である。また、10 μSv から測定可能であるため、1 手技毎に測定可能な点もこの水晶体線量計の利点である。この水晶体線量計を使用する事によって、1 つの研究デザインで上記の 2 つの問いに対する結果を導き出す事が可能となる。

今回の研究では、特定機能病院の透視手技を集計し集団線量低減率を推定した。今後、特定機能病院や特定機能病院とは病院規模が異なる医療施設や、内視鏡を重点的に行う医療施設で実態調査を行うことによって、Short curtain の集団水晶体等価線量低減率を病院規模毎に評価できると考えている。

7-2. 放射線防護マネジメントシステムと集団水晶体等価線量低減

7-2-1. 電離放射線障害防止規則施行と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

令和 3 年 4 月に電離放射線障害防止規則が施行されたが、電離放射線障害防止規則改正の過程において、医療施設は放射線障害防止のための労働衛生対策として安全衛生管理体制を確立することが望ましいとされ、その実行のための労働安全衛生マネジメントシステムの導入などが検討

会によって提言された[24]。また、基発 1027 第 4 号において「事業者は労働者の被ばく低減を図るために衛生委員会又は安全衛生委員会で必要な事項を調査審議させること」と記載し、安全衛生管理体制の確立を行うよう示している。

厚生労働省は、医療機関の安全衛生管理体制を確立させるため放射線被ばく管理に関する労働安全衛生マネジメントシステムの導入支援を行っており[68]。この事業では、労災疾病臨床研究事業費補助金研究(以下、労災疾病研究機田班)で開発された「放射線防護マネジメントシステム(Radiation Protection Management System: RPMS)」を教材として採用しており、法令遵守と被ばく低減が両立できるよう Plan-Do-Check-Act (PDCA)サイクルを回す仕組みが示された[24]。著者は、この RPMS の開発と普及に携わった。

7-2-2. 放射線防護マネジメントシステム

これまで、労働者の被ばく管理に関する指針やガイドライン等が殆ど無かったため、医療機関での労働者の被ばく管理が杜撰になっていくことが明らかとなっている[23]。特に、個人線量計の未配布や未装着等の法令違反が多く、このような状況を正すため厚生労働省は医療機関に対して自主点検を促し、労働者の被ばく線量限度の遵守や被ばく線量の未測定などの問題を自主的に改善するよう求めている[69]。また、厚生労働省は、労働者の被ばく管理が事業者に義務付けられているため、事業者が RPMS の導入や運用を行う事が労働者の被ばく管理に繋がると示している[24]。

RPMS は、労働者の被ばく管理だけでなく、放射線被ばくから医療従事者の健康を守り、職業的な放射線被ばく状況を継続的に改善する組織を作る仕組みである。RPMS の骨格は「基本方針、体制、目標、計画、評価、監視、改善、マネジメントレビュー、改善」で構成されており、これらを実行すると PDCA サイクルが回る仕組みとなっている。

RPMS を運用するには、1 つの文書体系だけでは難しく、全体の骨格を定めた上位文書と運用方法など具体的な実行方法を定めた下位文書からなる文書体系が必要である。上位文書であるマニュアルで管理の方向性を定めれば、運用方法の見直しの際には、下位文書のみを変更すればよいということになる[70, 71]。

7-2-3. 放射線防護マネジメントシステムの組織

RPMS の組織は、リーダーシップを発揮するシステム責任者(病院長)、関係法令を理解し保健所の立入検査等に対応できるシステム実施管理者(放射線科医、診療放射線技師長)、RPMS の計画を確実に実行するシステム運用担当者(衛生工学衛生管理者、安全衛生推進者)、放射線診

療に関わる看護師長等のコマディカルの責任者、被ばく低減の為に予算執行に関わり放射線業務従事者の就職退職を把握している人事・総務・経理等の責任者によって構成される。

これまでの認識では放射線業務に関わる被ばく管理の担当は、放射線取扱主任者が適任との考えがあったが、放射線取扱主任者は RI 法に基づき作られた資格であり、安全衛生管理体制には必ずしも必要ない。RPMS のキーパーソンは、放射線被ばくの知識があり安全衛生管理体制を理解している衛生管理者や衛生工学衛生管理者の資格を持った者である。

7-2-4. 放射線防護マネジメントシステムの運用

RPMS の運用でポイントとなる点は、放射線業務従事者の「リスクアセスメント」、個人線量計装着状況確認、個人被ばく情報をチームで共有、被ばくの多い放射線業務従事者への対応である。

まず放射線業務従事者の「リスクアセスメント」については、放射線業務従事者一人一人にリスクアセスメントを行い、リスクが高い人や低い人に層別化し、防護衣や防護眼鏡の使用について優先順位を決めていく。次に、個人線量計で個人曝露量のモニタリングを行うが、個人線量計の装着率向上の為に、個人線量計装着状況確認の取り組みを行う。そして、放射線業務従事者は個人線量計の測定結果から、介入が必要か不必要に分けられる。この基準は、個人線量計の値(被ばくの状態)が年間 20 mSv を超える場合と超えない場合で決定する。この時、1 ヶ月間の値で判断せず 3 ヶ月間の合計値で判断する事がポイントであり、5 mSv/3 ヶ月以上である場合は介入する事になる。介入は、5 mSv/3 ヶ月以上の高線量被ばく放射線業務従事者に行う。介入対象である放射線業務従事者以外のマネジメント組織のスタッフが、高線量被ばく放射線業務従事者の個人線量計の値(被ばくの状態)を把握し、被ばくの原因を様々な視点で確認する。この 3 ヶ月間の被ばくが突発的なものであると判断されれば、引き続きの曝露量のモニタリングとなる。継続的な被ばくと判断すれば、高線量被ばく放射線業務従事者に本格的な介入を行う。介入時のポイントは、RPMS 組織のスタッフと高線量被ばく放射線業務従事者で協議し対応する事である。スタッフとは、医師・放射線技師・看護師、院内で労働衛生工学や放射線防護の知識がある者、放射線技師の管理者などで、高線量被ばく放射線業務従事者の意見を聞きながら実現可能な被ばく防護策を実行していく事が重要であり、押しつけの防護策は禁忌である。年間 20 mSv を超えない状況になると、高線量被ばく放射線業務従事者は個人線量計を用いた引き続きの曝露量のモニタリングとなる。

RPMS 組織の業務は、年間目標や活動時期を計画する事、計画に則った教育や訓練を行う事、年間目標を達成する為やコミュニケーションの為に他部門と協議する事、年間目標や活動内容を

これらの3つの視点以外の見逃しを防ぐ目的で、前年の被ばく実績を考慮した視点から導いた点数を加算する事でリスクを見積もることができる。リスクAは「遮蔽」、リスクBは「距離」、リスクCは「時間」、リスクDは「被ばく実績」である。これら4つの視点から導いたリスクを総合リスクと定義し、表7-3-5に示すように加算点数によって3群に分類する。総合リスクを求める式は、以下の通りである。

$$\text{総合リスクレベル} = \text{リスクA分類} + \text{リスクB分類} + \text{リスクC分類} + \text{リスクD分類 (点数)}$$

(リスクA：遮蔽の視点, リスクB：距離の視点, リスクC：時間の視点,

リスクD：前年の被ばく実績)

総合リスク結果から被ばく線量の推定が可能なため、判定レベルに応じたリスク低減対策である「個人保護具の装着」の基準が設けられている(表7-3-5)。

今後、リスクアセスメント点数と被ばく線量の関係を示す事が重要になることが予想される。リスクを見積もるために必要な情報は、各医療施設にある放射線情報システムに記録されている。また、被ばく線量は、透視手技を行う術者全員に個人被ばく線量計の装着が法律で定められているため、各医療機関に個人被ばく情報が保管されている。よって、これらの情報を用いて総合リスクレベルI, II, IIIの場合の年間被ばく線量を事前に推定できると考えている。

表 7-3-1 リスク A における分類

リスク A (遮蔽の視点)	
分類 1 (1点)	X線装置 (移動型を含む)、骨密度装置、歯科用 X線装置、乳房用 X線装置
分類 2 (2点)	移動型透視装置、SPECT装置、PET-CT装置、SPECT-CT装置
分類 3 (3点)	設置型透視装置、血管造影装置
分類 4 (4点)	CT装置、放射線治療装置

注) 放射線防護板や放射線防護クロスを使用した場合は、1点減算。

表 7-3-2 リスク B における分類

リスク B (距離の視点)	
分類 1 (1点)	200 cm 以上で作業 (診療放射線技師、看護記録を行う看護師 等)
分類 2 (2点)	100 - 200 cm で作業 (IVR を行う第 2 術者 等)
分類 3 (3点)	50 - 100 cm で作業 (IVR を行う第 1 術者 等)
分類 4 (4点)	50 cm 未満での作業 (透視手技を行う術者 等)

表 7-3-3 リスク C における分類

リスク C (時間の視点)	
分類 1 (1点)	検査数が月 0 件、又は 1 件あたりの透視時間 0 分になる事がある
分類 2 (2点)	検査数が月 20 件未満、かつ 1 件あたりの平均透視時間 10 分未満である
分類 3 (3点)	検査数が月 20 件以上で、1 件あたりの平均透視時間 10 分未満である。又は検査数が月 20 件未満で、1 件あたりの平均透視時間 10 分以上である。
分類 4 (4点)	検査数が月 20 件以上、かつ 1 件あたりの平均透視時間 10 分以上である

表 7-3-4 リスク D における分類

リスク D (前年の被ばく実績)	
分類 1 (1点)	前年の被ばく無し (0 mSv 又は、検出下限値以下の場合)
分類 2 (2点)	前年の被ばく有り

表 7-3-5 総合リスクレベルと個人保護具の装着基準

総合リスクレベル	加算点数	個人保護具の装着
総合リスクI	4点	防護衣をつけない
総合リスクII	5-10点	防護衣をつける
総合リスクIII	11点以上	防護衣と防護眼鏡をつける

7-4. Short curtain がもたらす放射線防護リスクアセスメントへの影響

Short curtain を使用することによって、RPRA のリスク A においてリスク点数を 1 点減算となる。

例えば、前年被ばくがあり透視手技を月に 20 件行う術者のリスクアセスメントが、Short curtain もしくは Long curtain を使用せずに放射線業務を行った場合、リスク A では 3 点、リスク B では 4 点、リスク C では 3 点、リスク D では 3 点となり、総合リスク点数は 11 点で総合リスク III となる。しかし Short curtain もしくは Long curtain を使用して放射線業務を行うと、リスク A の分類 3 の設置型透視装置において、リスクアセスメント点数が 1 点下がりがり、2 点となる。これにより、総合リスク点数は 10 点となるため、総合リスク点数が 10 点となり総合リスク II となつて、総合リスクレベルは一つ下がると予想される。

7-5. 本研究の公開

Short curtain を使用したときの術者の集団水晶体線量の低減に関して、『diagnostics』に投稿を行い、2021 年 8 月 2 日にアクセプトされた。

第 8 章 総括

本研究は、透視手技を行う術者の水晶体線量低減に焦点を当てた研究である。透視手技における工学的対策として普及している既存の Long curtain は、大幅な水晶体線量低減効果が見込めるが、透明でないため術者が患部の様子を目視することができず、術者が患部直上の皮膚を外から触れたくや押す手技を行うことができず、術者が透視画像を見ながら経皮ドレナージを抜き刺すことができず [14]、といった問題点が指摘されている。さらに、使用できる術式が限られるという問題点もある。

本研究では、これらの問題を解決する Short curtain を開発し、Short curtain の水晶体線量低減率と、医療施設の透視手技に携わる術者の集団水晶体等価線量低減率の 2 つの観点から放射線防護効果を検証し Long curtain と比較した。検証に際し留意した点は、Short curtain の水晶体線量低減率を実際の透視手技に即した値とするため、ERCP、上部消化管造影、脊髄腔造影、神経根ブロックにおいて術者の水晶体位置を調査し、その結果を水晶体線量低減率に反映させた点である。

結果は、水晶体線量低減率は Long curtain と Short curtain でそれぞれ 88.9% と 17.7% となり、Short curtain の方が低かった。一方、医療施設における Long curtain と Short curtain を使用できる手技数の手技全体との比率は 12.4% と 100% であり、Short curtain は手技を選ばないという利点があった。それにより集団水晶体等価線量低減率は Long curtain と Short curtain でそれぞれ 9.8% と 17.7% となり、Short curtain の方が高くなった。さらに、Long curtain を使用できる手技 (12.4%) には Long curtain を使用し、その他の手技 (87.6%) には Short curtain を使用するという組み合わせで被ばく防護を行うと、集団水晶体等価線量低減率は 25.6% になると推定された。

Short curtain は、単体で観ると水晶体線量低減率が低い。しかし、医療施設の透視手技における集団水晶体等価線量低減率で観ると Long curtain を上回る結果となった。したがって、工学的対策用の保護具として Short curtain を使用する事は、術者の白内障予防効果が期待できる。

利益相反

本研究に関する利益相反はありません。

研究倫理

本研究は、この研究は、当大学の倫理委員会（承認番号：RI-054）によって承認され、ヘルシンキ宣言の信条に従って実施されました。

研究費の資金源

本研究の一部は、科学研究費助成事業 (19K10498 研究代表:蒲地正幸) および、平成 30 年度から令和 2 年度労災疾病臨床研究事業費補助金 (研究代表: 樺田尚樹) の助成を受けて実施しました。

謝辞

本稿を終えるにあたり、このような研究の機会を与えて下さった指導教官の産業医科大学産業保健学部 樺田尚樹教授に深く感謝申し上げます。また、本研究に関わる学会活動や論文作成に際し多大なご指導、ご助言をいただきました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所上席研究員 盛武敏先生に深く感謝申し上げます。また、研究全般に適切なご助言をいただきました産業医科大学病院 永元啓介様、新小文字病院 茂呂孝一様と松崎賢様、産業医科大学アイントゥープセンター 阿部利明様、産業医科大学産業保健学部 栗山和子様、川崎医科大学付属病院 人見剛様に深く感謝申し上げます。また、様々なご配慮頂きました産業医科大学産業保健学部の児成智美氏、川越富美子氏、木原貴美氏、産業医科大学アイントゥープセンターの糸長美穂氏に心より感謝申し上げます。

皆様のご支援およびご理解があったからこそ、このような研究ができましたこと、心より重ねて感謝申し上げます。

第 9 章 参考文献

1. Kędzióra B, Guertler A, Ständer L, Frey S, French LE, Wollenberg A & Reinholz M (2020): Evaluation of hand hygiene and onset of hand eczema after the outbreak of SARS-CoV-2 in Munich. *Eur J Dermatol* 30: 668-673
2. 藤村宜史, 武田正則, 浅田史成, 川瀬真史, 高野賢一郎, 澤田小夜子 & 廣滋恵一 (2012): 施設共同研究による病棟勤務看護師の腰痛実態調査. *日本職業・災害医学学会誌* 60: 91-96
3. 渡部節子, 大釜恵 & 塚越みどり (2021): 医療従事者のつなぎ式感染防護服のヒートストレス改善に関する研究—体幹部局所冷却が人体に及ぼす影響—. *日本環境感染学会誌* 36: 35-43
4. Kato M, Chida K, Munehisa M, Sato T, Inaba Y, Suzuki M & Zuguchi M (2021): Non-Lead Protective Aprons for the Protection of Interventional Radiology Physicians from Radiation Exposure in Clinical Settings: An Initial Study. *Diagnostics* 11: 1613
5. Andrew S, Abdelmonem MR, Kohli S & Dabke H (2021): Evaluation of Back Pain and Lead Apron Use Among Staff at a District General Hospital. *Curcus* 13
6. Sethi S, Barakat MT, Friedland S & Banerjee S (2019): Radiation training, radiation protection, and fluoroscopy utilization practices among US therapeutic endoscopists. *Dig Dis Sci* 64: 2455-2466
7. ICRP (2012): ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs—threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP publication 118. *Ann ICRP* 41: 1-322
8. ICRP (2010): Radiological protection in fluoroscopically guided procedures performed outside the imaging department. ICRP Publication 117. *Ann ICRP* 40
9. Zagorska A, Romanova K, Hristova-Popova J, Vassileva J & Katarov K (2015): Eye lens exposure to medical staff during endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Phys Med* 31: 781-784
10. O'Connor U, Gallagher A, Malone L & O'Reilly G (2013): Occupational radiation dose to eyes from endoscopic retrograde cholangiopancreatography procedures in light of the revised eye lens dose limit from the International Commission on Radiological Protection. *Br J Radiol* 86: 20120289
11. Muniraj T, Aslanian HR, Laine L, Farrell J, Ciarleglio MM, Deng Y, Ho H & Jamidar PA (2015): A double-blind, randomized, sham-controlled trial of the effect of a radiation-attenuating drape on radiation exposure to endoscopy staff during ERCP. *Am J Gastroenterol* 110: 690-696
12. Oztas E, Parlak E, Kucukay F, Arhan M, Daglı U, Etik DO, Onder FO, Oler T & Sasmaz N (2012): The impact of endoscopic retrograde cholangiopancreatography education on radiation exposure to experienced endoscopist: "trainee effect". *Dig Dis Sci* 57: 1134-1143

13. Medici S, Pitzschke A, Cherbuin N, Boldini M, Sans-Merce M & Damet J (2017): Eye lens radiation exposure of the medical staff performing interventional urology procedures with an over-couch X-ray tube. *Phys Med* 43: 140-147
14. Matsubara K, Takei Y, Mori H, Kobayashi I, Noto K, Igarashi T, Suzuki S & Akahane K (2020): A multicenter study of radiation doses to the eye lenses of medical staff performing non-vascular imaging and interventional radiology procedures in Japan. *Phys Med* 74: 83-91
15. Mori H, Koshida K, Ishigamori O & Matsubara K (2014): A novel removable shield attached to C-arm units against scattered X-rays from a patient's side. *Eur Radiol* 24: 1794-1799
16. Uradomo L, Cohen H, Fried M, Petrimi J & Rehani M (2010): Radiation protection in the endoscopy suite minimizing radiation exposure for patients and staff in endoscopy: a joint ASGE/IAEA/WGO guideline. *Arab J Gastroenterol* 11: 116-119
17. IAEA: 10 Pearls Radiation protection of staff in fluoroscopy. <https://www.iaea.org/sites/default/files/documents/rpop/poster-staff-radiation-protectionpdf> (Accessed December 27, 2021)
18. ICRP (2018): occupational radiological protection in interventional procedures. ICRP Publication 139. *Ann ICRP* 47: 1-118
19. Minami T, Sasaki T, Serikawa M, Kamigaki M, Yukitake M, Ishigaki T, Ishii Y, Mouri T, Yoshimi S & Shimizu A (2014): Occupational radiation exposure during endoscopic retrograde cholangiopancreatography and usefulness of radiation protective curtains. *Gastroenterol Res Pract* 2014
20. Morishima Y, Chida K & Meguro T (2018): Effectiveness of additional lead shielding to protect staff from scattering radiation during endoscopic retrograde cholangiopancreatography procedures. *J Radiat Res (Tokyo)* 59: 225-232
21. IAEA (2011): Radiation protection and safety of radiation sources : International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standard
22. 放射線審議会 (2018): 眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について、眼の水晶体の放射線防護検討部会 <https://www.nsr.go.jp/data/000221800.pdf> (Accessed December 27, 2021)
23. 厚生労働省 (2019): 第 5 回 眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会、資料 2 <https://www.mhlw.go.jp/content/11201000/000519683.pdf> (Accessed December 27, 2021)
24. 厚生労働省 (2019): 眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会の報告書、東京 <https://www.nsr.go.jp/data/000221800.pdf> (Accessed December 27, 2021)
25. 株式会社千代田テクノル (2021): 令和 2 年度年個人線量の実態、放射線安全管理総合情報雑誌
- FB news 537
- 株式会社エム・イー振興協会 (2022): 月刊新医療データブック・シリーズ 医療機器システム 白書、東京: p144-165
26. Dave JK (2016): Why Is the X-Ray Tube Usually Located Underneath the Patient Instead of Above the Patient for Interventional Fluoroscopic Procedures? *American Journal of Roentgenology* 207: W24-W25
27. Menon S, Mathew R & Kumar M (2019): Ocular radiation exposure during endoscopic retrograde cholangiopancreatography: a meta-analysis of studies. *Eur J Gastroenterol Hepatol* 31: 463-470
28. 海老根精二 & 功江 (1991 年): 上部消化管造影検査術式全国施設別検査術式集、株式会社エム医療
29. O'Connor U, Gallagher A, Malone L & O'Reilly G (2013): Occupational radiation dose to eyes from endoscopic retrograde cholangiopancreatography procedures in light of the revised eye lens dose limit from the International Commission on Radiological Protection. *The British journal of radiology* 86: 20120289
30. Giang MS, Patel P, Blackwood M, Munigala S, Thakkar P, Field J, Wallace D, Agarwal S, Aoun E & Kulkarni A (2017): Ocular radiation threshold projection based off of fluoroscopy time during ERCP. *Am J Gastroenterol* 112: 716-721
31. Bush WH, Jones D & Brannen GE (1985): Radiation dose to personnel during percutaneous renal calculus removal. *American Journal of Roentgenology* 145: 1261-1264
32. Safak M, Olgar T, Bor D, Berkmen G & Gogus C (2009): Radiation doses of patients and urologists during percutaneous nephrolithotomy. *J Radiol Prot* 29: 409
33. ICRP (2010): Radiological protection in fluoroscopically guided procedures performed outside the imaging department. ICRP Publication 117. *Ann ICRP* 40: 1-102
34. Giblin JG, Rubenstein J, Taylor A & Pahira J (1996): Radiation risk to the urologist during endourologic procedures, and a new shield that reduces exposure. *Urology* 48: 624-627
35. Yang RM, Morgan T & Bellman GC (2002): Radiation protection during percutaneous nephrolithotomy: a new urologic surgery radiation shield. *J Endourol* 16: 727-731
36. Sanders R, Koval KJ, DiPasquale T, Schmelling G, Stenzler S & Ross E (1993): Exposure of the orthopaedic surgeon to radiation. *The Journal of Bone and Joint Surgery* 75: 326-330
37. Noorden M, Shergill N, Twyman R, Cobb J & Briggs T (1993): Hazard of ionizing radiation to trauma surgeons: reducing the risk. *Injury* 24: 562-564
38. Theocharopoulos N, Perisnakis K, Damilakis J, Papadokostakis G, Hadjipavlou A & Courtsoyannis N

- (2003): Occupational exposure from common fluoroscopic projections used in orthopaedic surgery. *The Journal of Bone & Joint Surgery* 85: 1698-1703
40. Larkin CJ, Workman A, Wright RE & Tham TC (2001): Radiation doses to patients during ERCP. *Gastrointest Endosc* 53: 161-164
41. Buis N, Pages J, Mana F & Osteaux M (2002): Patient and staff exposure during endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *The British Journal of Radiology* 75: 435-443
42. Olgar T, Bor D, Berkmen G & Yazar T (2009): Patient and staff doses for some complex x-ray examinations. *J Radiol Prot* 29: 393
43. Benea G, Galeotti R, Tartari S & Mammella P (1988): Personnel exposure in intraoperative biliary radiology. *Radiol Med* 76: 541-544
44. Jorgensen JE, Rubenstein JH, Goodstitt MM & Eila GH (2010): Radiation doses to ERCP patients are significantly lower with experienced endoscopists. *Gastrointest Endosc* 72: 58-65
45. キャノンメディカルシステムズ US: アンダーテーブル型透視装置. <https://usmedicalcanon/products/x-ray/kalare/> (Accessed December 20, 2021)
46. Chen MY, Van Swearingen FL, Mitchell R & Ott DJ (1996): Radiation exposure during ERCP: effect of a protective shield. *Gastrointest Endosc* 43: 1-5
47. Nishizawa K, Moriatake T, Matsumaru Y, Tsuboi K & Iwai K (2003): Dose measurement for patients and physicians using a glass dosimeter during endovascular treatment for brain disease. *Radiation protection dosimetry* 107: 247-252
48. ICRP (2007): The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *ICRP publication* 103. *Ann ICRP* 37: 1-332
49. 中央労働災害防止協会 (2019): 厚生労働省指針に対応した労働安全衛生マネジメントシステム システム担当者の実務. 中央労働災害防止協会 第6版: pp 15
50. 日本看護協会 (2013): 医療安全推進のための標準テキスト. 日本看護協会 東京: p16
51. 白川謙士, 南一幸, 横山須美, 浅田恭生, 鈴木昇一 & 片田和宏 (2011): 蛍光ガラス線量計の基本特性の検討. *医学と生物学* 155: 293-298
52. Nakagami K, Moriatake T, Nagamoto K, Morota K, Matsuzaki S, Kuriyama T & Kumugita N (2021): Occupational radiation dose to the lens of the eye of medical staff who assist in diagnostic CT scans. *Health Phys* 114: 328-343
53. ICRP (2006): The Optimisation of Radiological Protection Broadening the Process. *ICRP Publication* 101b. *Ann ICRP* 36
54. ICRP (1991): 1990 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *ICRP publication* 60. *Ann ICRP* pp 1-201
55. ROSE G (1985): Sick Individuals and Sick Populations. *Int J Epidemiol* 14: 32-38
56. Feigin VL, Brainin M, Norrving B, Gorelick PB, Dichgans M, Wang W, Pandian JD, Martins SCO, Owolabi MO & Wood DA (2020): What Is the Best Mix of Population-Wide and High-Risk Targeted Strategies of Primary Stroke and Cardiovascular Disease Prevention? *Journal of the American Heart Association* 9: e014494
57. Rose GA, Khaw K-T & Marmot M (2008): Rose's strategy of preventive medicine: the complete original text. Oxford University Press, USA
58. Organization WH (2006): Gaining health: the European strategy for the prevention and control of noncommunicable diseases. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe
59. Organization WH (2012): Action plan for implementation of the European strategy for the prevention and control of noncommunicable diseases 2012-2016. Copenhagen, Denmark: World Health Organization, Regional Office for Europe
60. Vano E, Kleiman NJ, Duran A, Rehani MM, Echeverri D & Cabrera M (2010): Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat Res* 174: 490-495
61. Chodick G, Bekiroglu N, Hauptmann M, Alexander BH, Freedman DM, Doody MM, Cheung LC, Simon SL, Weinstein RM & Bouville A (2008): Risk of cataract after exposure to low doses of ionizing radiation: a 20-year prospective cohort study among US radiologic technologists. *Am J Epidemiol* 168: 620-631
62. Thome C, Chambers DB, Hooker AM, Thompson JW & Boreham DR (2018): Deterministic effects to the lens of the eye following ionizing radiation exposure: Is there evidence to support a reduction in threshold dose? *Health Phys* 114: 328-343
63. Nagamoto K, Moriatake T, Nakagami K, Morota K, Matsuzaki S, Nihei S, Kamochi M & Kumugita N (2021): Occupational radiation dose to the lens of the eye of medical staff who assist in diagnostic CT scans. *Health Phys* 114: 328-343
64. ICRP (1997): General Principles for the Radiation Protection of Workers. *ICRP publication* 75. *Ann ICRP* 27: 1-63
65. 厚生労働省 (2013): 3 ステップでやさしく導入労働安全衛生マネジメントシステム. <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11300000-Roudoukijunkyoukuzenseiseibu/0000067599.pdf> (Accessed Desember 27, 2021)

66. Salinas P, Sanchez-Casaneva RM, Gonzalo N, A Gil J, Salazar CH, Jimenez-Quevedo P, Nombela-Franco L, J Nuñez-Gil I, Mejia-Renteria H & Fernandez-Soto JM (2021): Dose-reducing fluoroscopic system decreases patient but not occupational radiation exposure in chronic total occlusion intervention. *Catheter Cardiovasc Interv* 98: 895-902
67. Sanchez RM, Vano E, Salinas P, Gonzalo N, Escaned J & Fernández JM (2020): High filtration in interventional practices reduces patient radiation doses but not always scatter radiation doses. *The British Journal of Radiology* 94: 20200774
68. 令和 3 年度厚生労働省委託事業放射線被ばく管理に関する労働安全衛生マネジメントシステム導入支援事業. <https://ms.nustec.org/> (Accessed Desember 27, 2021)
69. 厚生労働省：電離健診対象医療機関に対する自主点検等事業. https://www.hlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/roudoukijun/anzen/0000186714_00003.html (Accessed Desember 27, 2021)
70. 森晃爾 (2019): ISO45001 における産業保健活動の実践 (特集 ISO45001 と産業保健). 一般社団法人日本労働安全衛生コンサルタント会機関誌 39: 7-12
71. 森晃爾 (2018): 産業保健専門職に必要な労働安全衛生マネジメントシステムの理解 (特集 労働安全衛生マネジメントシステムと産業保健活動). 産業医学ジャーナル 41: 4-7
72. 中上晃一 & 樺田尚樹 (2021): 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. 一般社団法人日本労働安全衛生コンサルタント会機関誌 41: 44-51

Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表

令和3年度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

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
櫻田尚樹	急性放射線障害	福井次矢, 高木 誠, 小室一成	今日の治療指 針	医学書院	東京	2021	1107- 1108

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Nagamoto K, Moritake T, Nakagami K, Morota K, Matsuzaki S, Kunugita N	A multicenter study of radiation doses to the eye lenses of clinical physicians performing radiology procedures in Japan.	J Occup Health.	63	e12305.	2021
Kowatari M, Nagamoto K, Nakagami K, Yoshitomi H, Moritake T, Kunugita N	Practical determination of the calibration factors of a glass dosimeter for the eye lens monitoring.	Radiation Protection Dosimetry	accepted		2022
Kowatari M, Nagamoto K, Nakagami K, Yoshitomi H, Moritake T, Kunugita N	Experimental evaluation of scattered X-ray spectra due to X-ray therapeutic and diagnosis equipment for eye lens dosimetry of medical staff	J Radiat Prot Res	accepted		2022
Matsuzaki S, Moritake T, Morota K, Nagamoto K, Nakagami K, Kuriyama T, 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	Eur J Radiol	143	109925. doi: 10.1016/j.e jrad.2021.1 09925	2021
Nakagami K, Moritake T, Nagamoto K, Morota K, Matsuzaki S, Kuriyama T, Kunugita N	Strategy to Reduce the Collective Equivalent Dose for the Lens of the Physician's Eye Using Short Radiation Protection Curtains to Prevent Cataracts.	Diagnostics	11(8)	1415. doi: 10.3390/di agnostics1 1081415.	2021

Mori K, Nagata T, Nagata M, Okahara S, Odagami K, Takahashi H, Mori T	Development, success factors, and challenges of government-led health and productivity management initiatives in Japan.	J Occup Environ Med.	63(1)	19-26	2021
Kowatari M, Zutz H, Hupe O.	Applicability of a commercially available active extremity dose-rate meter to eye lens dose monitoring.	Radiation Protection Dosimetry	192(4)	460 - 472	2021
Kowatari M, Tanimura Y, Kessler P, Neumaier S, Rottger A	Study on Method for Simultaneous Determination of Ambient Dose Equivalent Rates and Activity Concentration in Air for Environmental Radiation Monitoring	RADIOISOTOPES	70	1-18	2021
藤淵俊王, 藤田克也, 五十嵐隆元, 西丸栄治, 堀田昇吾, 桜井礼子, 小野孝二	放射線診療従事者の不均等被ばく管理の実態に基づく水晶体被ばく低減対策の提案	日本放射線技術学会雑誌	77(2)	160-171	2021
櫻田尚樹	電離則の遵守状況に関する調査報告 *医療従事者の実態*	医療放射線防護	86	印刷中	2022
上田克彦, 坂井寛毅, 櫻田尚樹	スペシャル対談:医療放射線管理について考える	日本診療放射線技師会誌	69 (833)	262-270	2022
中上晃一, 酒井泷典, 末吉尚純, 櫻田尚樹, 森晃爾	放射線防護マネジメントシステムについて	RadFun	19(19)	69-72	2021
盛武 敬	医療従事者の水晶体被ばく防護	RadFun	19(19)	53-57	2021
中上晃一, 櫻田尚樹	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	安全衛生コンサルタント会誌	41(139)	48-53	2021
櫻田尚樹	水晶体の線量限度改正と放射線防護マネジメントシステム	医療放射線防護	85	8-13	2021