

令和5年度厚生労働科学研究費補助金（地域医療基盤開発推進研究事業）

放射線診療の発展に対応する放射線防護の基準策定のための研究

(22IA1010)

(研究代表者：細野 眞)

総括研究報告書

研究代表者 細野 眞 近畿大学医学部放射線医学教室 教授
研究分担者 山口一郎 国立保健医療科学院生活環境研究部 上席主任研究官
高橋健夫 埼玉医科大学総合医療センター放射線腫瘍科 教授
赤羽正章 国際医療福祉大学医学部放射線医学 教授
奥山智緒 滋賀県立総合病院 臨床研究センター 上席専門研究員
東 達也 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構
量子医科学研究所
分子イメージング診断治療研究部 部長
松原孝祐 金沢大学医薬保健研究域保健学系 教授

研究要旨

【目的】本研究は令和5年度（2023年度）に、放射線診療が国民の生命と健康に大きな利益をもたらしながら発展して高度化・複雑化している現状において放射線診療を安全かつ有効に実施するための放射線防護の基準や指針を策定することを目的として実施した。【方法】医療における放射線防護について国内外の知見を収集・調査して解析し、アンケート調査や線量測定実験などを実施し、新しい放射線診療の導入、既存の放射線診療への対応に必要な基準や指針を検討した。取り組んだ課題は次の通りである。1-1) アスタチン標識 PSMA リガンド (^{211}At]PSMA-5) の医師主導治験での適正使用に関する検討、1-2) ルテチウム-177 標識 GRPR 特異的リガンド (Lu-177-NeoB) の治験適正使用に関する検討、2) 放射線管理での情報技術の活用のあり方に関する研究、3-1) RALS 室 CT の単独使用運用手順書案の整備、3-2) 規則第27条第3項及び規則第28条第2項に規定する12月20日までに翌年において使用を予定する放射性同位元素の数量の届出の必要性について、4) 放射線診断・IVRにおける放射線防護の基準策定、5) 放射線診

療の国際基準とのハーモナイゼーションに関する研究、6) アクチニウム 225 (^{225}Ac) およびイットリウム 90 (^{90}Y) 標識抗ポドプラニン抗体放射免疫療法：悪性中皮腫等に対する新規 RI 内用療法における安全管理に関する研究（退出基準の作成）およびアクチニウム 225 (^{225}Ac) 標識薬剤におけるトレーラーハウス型 RI 治療施設の医学利用に関する研究、7-1) 放射線診療従事者等に対する研修プログラムの作成、7-2) 医療被ばく管理の実態の把握。【結果および考察】核医学治療（RI 内用療法）の退出基準を示した。合理的な放射線防護及び医療機関への行政機関の関与のあり方に関して放射線管理での情報技術の活用のある方を示した。RALS 室 CT の単独使用運用手順書案を作成し各施設での運用規定に活用できるものとして日本放射線腫瘍学会の承認を得た。また、規則第 27 条第 3 項及び規則第 28 条第 2 項に規定する 12 月 20 日までに翌年において使用を予定する放射性同位元素の数量の届出の必要性について全国施設を対象にアンケートを行い今後に向けた資料を得た。国際的に示されている医療放射線の正当化や最適化に関連した国内実態調査を、がん診療連携拠点病院等を対象にして行った。IVR 従事者の被ばく低減における天吊り防護板による遮蔽効果を検討した。放射線診療従事者に対する研修プログラムとコンテンツの作成・改訂、全国の医療被ばく管理の実態の把握を行った。【結論】医療における放射線の利用が発展し多様化して国際的に質と安全の向上を目指した取り組みが活発になる中で、国際連携を図りつつ我が国の実態にあった放射線防護の基準や指針を示すことがますます重要であると再確認された。放射線防護の整備に向けて本研究班で放射線の多様な分野の専門家が連携して広い視点から取り組んだことが大きな成果に繋がったと考えられる。

A. 研究目的

令和 5 年度（2023 年度）に、本研究は、放射線診療が国民の生命と健康に大きな利益をもたらしつつ絶え間なく発展している現在において放射線診療を安全かつ有効に実施するための放射線防護の基準を策定することを目的として実施した。

放射線診療が国内外で発展・普及を続けており人の生命を守り健康を増進することに大きく貢献していることは論を待たない。それと歩調を合わせて、国際的に放射線診療の質と安全を高めようとの活動が近年ますます盛んに実施されるようになった。国際放射線防護委員会（ICRP）や国際原子力機関（IAEA）、世界保健機関（WHO）などの国際機関は従来から放射線診療自体を遍く世界に普及させる活動を行い、それとともに放射線

診療の質と安全にも取り組んで、基準や指針の策定、資材の提供に力を入れてきた。

2023年11月6-9日に第7回ICRP国際シンポジウム(ICRP 2023)が東京・台場で開催され59か国から700名以上の専門家が参加する盛況となった。この国際シンポジウムは2007年基本勧告の改訂に向けた論点が議論されるとともに、医療における放射線防護は議題の大きな柱のひとつであった。また国際放射線学会(ISR)は欧州放射線学会(ESR)のGuy Frija教授やImage GentlyのDonald Frush教授らが中心になって世界の地域(アジア、アフリカ、オセアニア、欧州、北米、南米、など)の医療放射線学協会および国際機関を巻き込んでQuality and Safety Alliance(ISRQSA)を組織し、放射線診療の質と安全に向けて取り組んでいる。

アジアに目を向けると、医療放射線の安全の課題に取り組むAsiaSafeが組織されてアジア地域の連携が深まっており、マレーシアのKwan Hoong Ng教授らがイニシアチブを取っている(<https://www.asiasafe.org>)。特に現在アジア各国において診断参考レベル(DRLs)の設定と運用の気運が高まり、情報の交換・共有に向けて数多くの活動が展開されている。2024年4月に横浜で開催された第83回日本医学放射線学会総会で6th Asian Radiology Summitが開催されてアジア各国の代表が一堂に会して各国の診断参考レベルの状況を報告した。既にDRLsを運用している国があれば、これからDRLsの設定を準備している国もあり、さまざまであったが、どの国も放射線診療の質と安全を高めようという真摯な熱意を持っていた。

このように国際的な潮流があるが、我が国が遅れているわけではなく、我が国はもとも長年に渡って放射線診療の質と安全に関する科学的知見を蓄積し基準・指針を確立してきた。そこで既に持っている知見や制度を、国際動向とのハーモナイゼーションを図りまた国内の最新の実態に合わせてアップデートしていくことが重要であると考えられる。

本研究では令和5年度(2023年度)において、核医学治療については、アスタチン標識PSMAリガンド(^{211}At PSMA-5)の医師主導治験での適正使用に関する検討、ルテチウム-177標識GRPR特異的リガンド(Lu-177-NeoB)の治験適正使用に関する検討に取り組む。またアクチニウム225(^{225}Ac)およびイットリウム90(^{90}Y)標識抗ポドプラニン抗体放射免疫療法における安全管理等に関する研究に取り組む。合理的な放射線防護及び医療機関への行政機関の関与の観点から、放射線管理での情報技術の活用のあるり方に関する研究に取り組む。放射線治療については、RALS室CTの単独使用運用手順書案の整備について検討する。また医療法規則第27条第3項及び第28条第2項に規定する12月20日までに翌年において使用を予定する放射性同位元素の数量の届出の必要性についても前年度から継続して取り組む。放射線診断・IVRについては、X線透視を用い

た治療手技の術者の水晶体被ばく線量を低減するための天吊り防護板の遮へい効果について検討する。放射線診療の国際基準とのハーモナイゼーションに関する研究については、放射線診療における防護の最適化に関する国際基準と日本の現状とを対照して検討し、また、IAEA の Radiation Protection of Patients (RPOP) のポスターが放射線診療の現場における患者や医療従事者への注意喚起にたいへん有用なものであるため IAEA の許可を得たうえで日本語訳を作成する。放射線診療従事者等に対する研修プログラムについては、既に日本医師会公式 YouTube チャンネルに公開している研修動画の改訂版の準備および公開を行い、また現在公開中の研修動画の内容に沿った配布用の研修資料を作成する。さらに医療施設において行われている患者の医療被ばく線量管理の実態を調査するとともに管理の好事例を取り上げて紹介することによって適正な管理・記録の手法の確立を目指す。

このように放射線診療の質と安全の確保において課題となっているさまざまな項目について、最新の国際基準に対応し国内の実態にも合った放射線防護のあり方を考察し、データに基づいて放射線診療の進歩や医療環境の変化に対応した基準と指針を策定するための検討を行う。

本研究では、多岐に渡る項目を含む研究目的を達成するため、以下のように分担して課題に取り組む。

細野 眞研究代表者

1-1 アスタチン標識 PSMA リガンド ($[^{211}\text{At}]$ PSMA-5) の医師主導治験での適正使用に関する検討

1-2 ルテチウム-177 標識 GRPR 特異的リガンド (Lu-177-NeoB) の治験適正使用に関する検討

山口一郎研究分担者

2 放射線管理での情報技術の活用のあり方に関する研究

高橋健夫研究分担者

3 放射線治療における放射線防護に関する研究

3-1 RALS 室 CT の単独使用運用手順書案の整備

3-2 規則第 27 条第 3 項及び規則第 28 条第 2 項に規定する 12 月 20 日までに翌年において使用を予定する放射性同位元素の数量の届出の必要性について

赤羽正章研究分担者

4 放射線診断・IVRにおける放射線防護の基準策定

奥山智緒研究分担者

5 放射線診療の国際基準とのハーモナイゼーションに関する研究

東 達也研究分担者

6 アクチニウム 225 (^{225}Ac) およびイットリウム 90 (^{90}Y) 標識抗ポドプラニン抗体放射免疫療法：悪性中皮腫等に対する新規 RI 内用療法における安全管理に関する研究（退出基準の作成）およびアクチニウム 225 (^{225}Ac) 標識薬剤におけるトレーラーハウス型 RI 治療施設の医学利用に関する研究

松原孝祐研究分担者

7-1 放射線診療従事者等に対する研修プログラムの作成

7-2 医療被ばく管理の実態の把握

分担課題ごとの研究目的を以下に示す。

A-1-1 アスタチン標識 PSMA リガンド (^{211}At]PSMA-5) の医師主導治験での適正使用に関する検討

進行性の前立腺がんに対する治療の中心は新規アンドロゲン受容体シグナル阻害剤を含むホルモン療法、化学療法であるが、多発転移を伴う去勢抵抗性前立腺がんは予後不良である。前立腺がんの細胞膜には高頻度で前立腺特異的膜抗原 (Prostate specific membrane antigen, PSMA) が発現している。PSMA は前立腺がんの原発巣及び転移巣のいずれにも発現し、特に転移巣で高発現する。PSMA を標的とした核医学治療薬としては、 β 線放出核種のルテチウム標識 PSMA リガンド (^{177}Lu]PSMA-617) が米国および欧州で既に承認されており、国内でも治験適正使用マニュアルに基づき治験が実施されている。今回、PSMA を標的とした新たな α 線治療薬として、アスタチン標識 PSMA リガンド (^{211}At]PSMA-5) が開発され、今後、難治性前立腺がんに対する医師主導治験が開始予定であるので、適正使用に関して検討した。

A-1-2 ルテチウム-177 標識 GRPR 特異的リガンド (Lu-177-NeoB) の治験適正使用に関する検討

種々の腫瘍で高発現が確認されている GRPR (gastrin releasing peptide receptor : ガストリン放出ペプチド受容体) を標的としたリガンドを β 線放出核種ルテチウム-177 で 標識したルテチウム-177 標識 GRPR 特異的リガンド (Lu-177-NeoB) (が開発され、転移性腫瘍の抗腫瘍治療薬として海外で臨床試験が実施中であり、国内治験も計画されている。本剤の国内治験に先立ち、国内治験での使用を想定した場合の第三者の放射線防護対策を検討した。

A-2 放射線管理での情報技術の活用のあり方に関する研究

医療法施行規則の定期測定等におけるデジタル技術の活用について、規制適用上の課題を明らかにする。また、放射線管理への情報技術の活用のあり方を明らかにする。

A-3-1 RALS 室 CT の単独使用運用手順書案の整備

令和 5 年 3 月 23 日に「「病院又は診療所における診療用放射線の取扱いについて」の一部改正について」(令和 5 年 3 月 23 日付け医政発 0323 第 21 号厚生労働省医政局長通知) が発出され、「病院又は診療所における診療用放射線の取扱いについて」(平成 31 年 3 月 15 日付け医政発 0315 第 4 号厚生労働省医政局長通知。以下「取扱通知」) が改正された。これにより、診療用放射線照射装置のうち、リモートアフターローディングシステム (以下「RALS」) の使用室 (以下「RALS 室」) に併設された CT エックス線撮影装置 (以下「RALS 室 CT」) の用途が拡大され、RALS 室 CT を、外部照射の治療計画など放射線治療に要する画像を取得する目的で使用できることとなった (以下「CT 単独撮影」)。CT 単独撮影では、密封小線源治療を受けない患者等が RALS 室に立ち入ることとなる。そのため、RALS や線源管理の不備によって、患者等に不要な被ばくが生じることは避けねばならない。RALS に収納された線源からの漏洩線量によっても、患者等が被ばくすることにも留意が必要である。

RALS 室は、放射性同位元素等の規制に関する法律 (以下「RI 法」) の放射線管理区域及び防護区域でもあるため、医療法と RI 法の両方の規制を受ける。よって、RI 法で定められる施設の放射線障害予防規程と特定放射性同位元素防護規程に則った上で、取扱通知に記載された「適切な防護措置」で掲げる事項も遵守できる、CT 単独撮影の手順書を作成することが望ましい。取扱通知では手順をまとめた運用規定を整備することを求められている。

A-3-2 規則第 27 条第 3 項及び規則第 28 条第 2 項に規定する 12 月 20 日までに翌年において使用を予定する放射性同位元素の数量の届出の必要性について

放射性同位元素の安全管理は非常に重要であり、各関係法令により複雑な手続き等が規定されている。その中で医療法では、施行規則第 27 条第 3 項及び同規則第 28 条第 2 項の規定により 12 月 20 日までに翌年の使用予定数量を届出なければならない。また地域によっては本年の使用数量の届出も求められている。しかしながら、この届出は何を目的に行われているのか、届出された数値はどのような用途に使用されるのか、医療法施行規則第 4 章の逐条開設のような役割を持っている平成 31 年 3 月 15 日付け医政発 0315 第 4 号通知において明確に記載されていない。この届出が持つ目的の明確化や届出の在り方について再考に資するため本研究を実施し、行政側と医療機関側の連携が密になるよう展開して更なる医療の発展と放射線の安全使用に寄与することを目的とした。

A-4 放射線診断・IVRにおける放射線防護の基準策定

2021 年 4 月から水晶体等価線量限度が引き下げられたことを受けて、X 線透視を用いた治療手技の術者については天吊り防護板や防護メガネなど防護デバイスの活用が推奨され、特に高い水晶体被ばくが懸念される術者の水晶体等価線量算定に眼近傍の線量計を用いる機会が増えている。天吊り防護板の物理的な遮蔽性能は高く、術者の水晶体被ばく線量の大幅な低減が期待される一方で、実質的な遮蔽効果、すなわち実際に天吊り防護板が使用される状況における水晶体被ばく線量の低減率については実験環境でも臨床でもバラツキが大きく、使用方法によって効果が変動するものと考えられている。しかし適切な使用方法に関する検討は十分とはいえず、このため各種ガイドラインにおける具体的な記述やその根拠となるエビデンスの記載は乏しい。こうした状況を勘案し、本研究ではファントムを用いて散乱線を発生させる実験系にて天吊り防護板の配置による遮蔽効果の違いを、ジャングルジム法を用いた空間線量分布測定によって検討し、今後のガイドライン改訂に資するエビデンスの蓄積を目的とする。

A-5 放射線診療の国際基準とのハーモナイゼーションに関する研究

がん診療連携拠点病院等を対象に、国際的にも示されている医療放射線の正当化や最適化に関する課題が国内でどのように取り組まれているか実態調査を行った。また国際原子力機関 (IAEA) のホームページ内の Radiation Protection of Patients (RPOP) のサイト (<https://www.iaea.org/resources/rpop>) に患者や医療従事者への注意喚起を促すために有効と考えるポスターも掲載されている。今回 IAEA の了承を得てポスター

の日本語版を作成した。

A-6 アクチニウム 225 (^{225}Ac) およびイットリウム 90 (^{90}Y) 標識抗ポドプラニン抗体放射免疫療法:悪性中皮腫等に対する新規 RI 内用療法における安全管理に関する研究(退出基準の作成) およびアクチニウム 225 (^{225}Ac) 標識薬剤におけるトレーラーハウス型 RI 治療施設の医学利用に関する研究

難治性悪性腫瘍である悪性中皮腫に対する新規の標的アイソトープ治療薬、アクチニウム 225 (^{225}Ac) およびイットリウム 90 (^{90}Y) 標識抗ポドプラニン抗体製剤 (^{225}Ac -PDPN-NZ-16 および ^{90}Y -PDPN-NZ-16) の適切な退出基準案の策定を目的とした。

また新規の標的アイソトープ治療薬として国内への導入が期待されている ^{225}Ac 標識薬剤の臨床利用を目的としてトレーラーハウス (移動型) 型管理区域:MCAT(Mobile Controlled Area for TRT)を検討した。

A-7-1 放射線診療従事者等に対する研修プログラムの作成

さまざまな規模の施設及び職種の放射線診療従事者等が医療法施行規則の改正に対応した研修実施の際に活用できるコンテンツを作成し公開するとともに効果的な研修プログラムの構築することを目的とした。

A-7-2 医療被ばく管理の実態の把握

医療施設において行われている放射線診療を受ける者の被ばく線量管理(以下、医療被ばく管理)の実態を調査するとともに、医療被ばく管理の好事例を取り上げて紹介することによって、医療被ばくの適正な管理・記録の手法の確立を目指すことを目的とした。

B. 研究方法

本研究では、公開資料の調査、アンケート調査実施、線量測定、学協会との情報共有等を通じて、放射線防護と放射線診療の質と安全の向上のための基準や指針を検討した。また国際的な指針や基準の動向を調査し、それらへの国内制度のハーモナイゼーションについても検討した。さらに医療法施行規則改正による診療用放射線の医療被ばくに関する安全管理に対応した医療従事者の研修プログラムについて過年度に作成していたものを改訂した。

本研究の研究組織として、全般的な統括は ICRP 第 3 専門委員会委員を務める細野研究代表者が担当した。放射性医薬品について東研究分担者と細野研究代表者が担当した。山口研究分担者は合理的な放射線防護及び医療機関への行政機関の関与のあり方に関する課題を担当した。放射線治療における放射線防護については高橋研究分担者が、放射線診断・IVR については赤羽研究分担者が専門家の立場から取り組んだ。国際的な基準や指針を奥山研究分担者が担当した。松原研究分担者は放射線診療従事者への研修プログラムを検討するとともに、国内の医療被ばく管理の実態を調査した。このように研究組織としては、細野研究代表者が医療被ばく研究情報ネットワーク (J-RIME) の代表、研究分担者も関連学会の役員等を務めており、関係学会、関係団体等の意見が反映されるように研究組織を構成した。

分担課題ごとの研究方法を以下に示す。

B-1-1 アスタチン標識 PSMA リガンド (^{211}At]PSMA-5) の医師主導治験での適正使用に関する検討

アスタチン (^{211}At) を用いた治療については、既にアスタチン化ナトリウム (^{211}At]NaAt) やアスタチン標識 MABG (^{211}At]MABG) を用いた医師主導治験が国内で実施されており、それぞれの治験適正使用マニュアルに従って、医療機関内で適切に取扱いが行われている。本治験適正使用マニュアルは、 ^{211}At]PSMA-5 注射液を用いるに当たり、関連する法令に係る安全指針の原則を遵守し、本剤の安全取扱いが確保されるように治験実施要綱として取りまとめた。退出基準の試算にあたっては、従前どおり「放射性医薬品を投与された患者の退出について」(平成 10 年 6 月 30 日厚生省医薬安全局安全対策課事務連絡) に沿った手法を用いた。

B-1-2 ルテチウム-177 標識 GRPR 特異的リガンド (Lu-177-NeoB) の治験適正使用に関する検討

海外で実施されている Lu-177-NeoB (本剤) の臨床試験結果を基に、今後の国内開発で想定される用法・用量から、本剤を用いた治験での患者の退出に係る基準の考え方と適切な放射線安全管理について、「放射性医薬品を投与された患者の退出について」(平成 10 年 6 月 30 日医薬安発第 70 号厚生省医薬安全局安全対策課長通知)、IAEA の BSS、ICRP 勧告の「医学における放射線の防護と安全」(Publication 73 (1996))、及び「密封されていない放射性同位元素により治療された患者の退出」(Publication 94 (2004))

等を参考として検討した。

B-2 放射線管理での情報技術の活用のあり方に関する研究

医療機関における放射線管理の DX（デジタルトランスフォーメーション）化に関して公開されている情報を収集すると共に医療機関の専門職を対象に DX 化に関して行政機関に期待する役割・機能を調査した。この調査は、一般社団法人 日本放射線治療専門放射線技師認定機構 (RTT) の協力を得て行った。

B-3-1 RALS 室 CT の単独使用運用手順書案の整備

手順書の項目としては次のものである。1 体制の整備、2 始業時、3 患者入室前、4 撮影時、5 患者退出時、6 終業時。それぞれの項目について実際の工程に沿って具体的に確認や注意をすべき事項をまとめた。

B-3-2 規則第 27 条第 3 項及び規則第 28 条第 2 項に規定する 12 月 20 日までに翌年において使用を予定する放射性同位元素の数量の届出の必要性について

医療機関を対象に、規則第 27 条第 3 項及び規則第 28 条第 2 項に規定する 12 月 20 日までに翌年において使用を予定する放射性同位元素の数量の届出の必要性に関するアンケート結果を実施した。アンケート実施期間は、2023 年 11 月 1 日（水）から 2024 年 1 月 15 日（月）であった。アンケートは、Google フォームの機能を利用して作成した。アンケートは、日本診療放射線技師会、日本医学物理士会、日本核医学技術学会等のメーリングリストを通じ周知を図りアンケートを実施した。

B-4 放射線診断・IVR における放射線防護の基準策定

右大腿動脈経由の腹部透視手技を想定し、散乱線発生源となる患者ファントムとして単純 X 線撮影用トレーニングモデルの全身ファントム（京都科学製 PBU-50）の体幹部～下肢を血管撮影装置の寝台に配置した。ジャングルジムは昭和丸筒製の 30cm 紙筒＋プラスチックジョイントを用いて作成し、血管撮影装置の寝台を跨いで患者下肢の上方へ配置した。術者から見て前方向かつ左右方向の平面の空間線量分布を測定するものとし、術者の水晶体の高さを想定して地上 110～176cm の高さで前方向 200cm、左右方向 100cm を測定範囲とした。天吊り防護板の配置は、(1)なし、(2) 検出器 (FPD) 直近、高さ（寝台から天吊り防護板下縁まで）25cm、(3) FPD 直近、高さ 15cm、(4) FPD 直近、高さ 5cm、下縁の防護シートを患者足側へ沿わせる、(5) FPD から 33cm 足側、高さ 25cm、(6) FPD から 33cm 足側、高さ 15cm、(7) FPD から 66cm 足側かつ術者から見て 33cm 手前、

高さ 25cm、の 7 条件で測定した。(7)は術者頭部のすぐ左に配置した状態を想定している。

B-5 放射線診療の国際基準とのハーモナイゼーションに関する研究

医療機関を対象に研究目的と回答依頼を記載した文書を郵送し(2023 年 8 月末)、アンケートは Google forms にて回答していただいた。(アンケート回答最終期日：10 月 20 日)。同依頼文書は各施設の病院長と放射線安全管理責任者宛に郵送したが、実際の回答は各施設で適切な役割の担当者にしていただくよう依頼した。Google forms による集計から CSV ファイルをエクセルに取り込み、各種分析を行った。回答内容では実情の線量管理方法が不明確、回答内容からの状況の把握が十分にできないと思われた一部の施設に対しては 2024 年 1 月に、上記アンケートの回答者あてに、メールでの追加調査を行った。

IAEA のポスター翻訳については、IAEA からスライドデータの提供を受け、翻訳作業を実施した。

B-6 アクチニウム 225 (^{225}Ac) およびイットリウム 90 (^{90}Y) 標識抗ポドプラニン抗体放射免疫療法：悪性中皮腫等に対する新規 RI 内用療法における安全管理に関する研究（退出基準の作成）およびアクチニウム 225 (^{225}Ac) 標識薬剤におけるトレーラーハウス型 RI 治療施設の医学利用に関する研究

α 線核種のアクチニウム (^{225}Ac) の子孫核種は短寿命であるので、親核種 ^{225}Ac のみ河川流出として一般公衆の内部被ばくを評価する。ここで患者に投与した放射能のすべてが河川に流出するという仮定をおき、評価モデルとして、浄化处理水の利用率の高い淀川水系を採用し検討する。また、 β 線のみを放出する β 線核種のイットリウム 90 (^{90}Y) に関しては、我が国ではすでに ^{90}Y 標識イブリツモマブ チウキセタン、 ^{90}Y 標識抗 CD20 抗体、 ^{90}Y 標識抗 P-カドヘリン抗体に対する適正使用の検討がなされており、今回も同様の検討を行った。

トレーラーハウス型管理区域については昨年度実施した、ヒトへ α 線放出核種を想定したコールド試験による TRT 模擬テストや、実臨床での TRT を想定した RI 投与量相当量の α 線放出核種 ^{225}Ac での実測試験等を踏まえて、漏洩線量の計測、排水・排気状況の検討結果を示して、千葉県保健所と行政相談を実施する。医療法での放射線防護上の管理区域としての規制適合、患者の TRT 診療における安全性の担保等について検証し、移動型管理区域 MCAT の改修や最適化を進めた。

B-7-1 放射線診療従事者等に対する研修プログラムの作成

研修動画は日本医師会の監修を受け日本医師会公式チャンネルに掲載されており誰でも無料で閲覧することができるようになっている。令和2年（2020年）10月に公開を開始した「診療用放射線の安全利用の研修」（2020年版A, B, C）（以下、「2020年版A, B, C」）の3種類の動画は、令和6年（2024年）2月現在、合計430,000回程度の再生回数となっており診療所をはじめとする多くの医療機関でご活用いただいていることが推察される。公開から3年が経過することから動画の改訂作業を行うこととした。

また小規模施設におけるニーズを把握するために、放射線科医が不在である診療所等の小規模施設に所属している診療放射線技師に、本分担研究で公開している研修動画の使用状況や研修の実施に際して各施設で困っていることについて意見聴取を行った。その結果、研修の実施について医療法第25条に基づく立入検査にて指摘を受けているという実態が明らかとなり、研修動画の副読本のような役割を果たす研修資料があると、より効果的な研修の実施に寄与しうるのではないかとご意見をいただいたため、現在公開中の研修動画の内容に沿った配布用の研修資料の作成を進めた。

B-7-2 医療被ばく管理の実態の把握

日本放射線技術学会および日本診療放射線技師会に協力いただき、日本全国の医療機関を対象とした「線量管理の実態に関するアンケート」を実施した。

C. 研究結果および考察

分担課題ごとの研究結果および考察を以下に示す。

C-1-1 アスタチン標識 PSMA リガンド ($[^{211}\text{At}]$ PSMA-5) の医師主導治験での適正使用に関する検討

これまで、公衆の内部被ばくを計算する際に、淀川水系の流量には4.1TL/年、成人の飲水量には2L/日を用いてきたが、この2つのパラメータは見直しを行ってこなかったことから、最新の知見に基づき更新することを検討した。

（公財）琵琶湖・淀川水質保全機構の「BYQ水環境レポート」から淀川水系の年間流量を計算すると、平成29年～令和2年の平均が約8.1TL/年であり、従来の平成3年～平成7年の年平均4.1TL/年は2倍程度の保守的な試算に寄与することがわかった。我が国は梅雨という雨期があることから、より保守的なケースとして最も流量が少ない月が12

ヶ月続いたと仮定したところ、平成29年～令和2年の平均が約3.7TL/年となった。従来の値に比べて10%程度少ない流量が試算されたが、前述のとおり4.1TL/年が十分に保守的な見積もりとなっていることから、従来どおり淀川水系の流量は4.1TL/年の使用を継続することとした。成人の飲水量については、WHOの「Guidelines for drinking-water quality, 2nd edition: Volume 1 - Recommendations (1993)」に従い2L/日を用いてきた。「外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針」（平成11年4月放射線審議会基本部会）によると、現行法令の排水濃度限度の算出にはICRP Publ.23における2.65L/日を採用しており、こちらの値が保守的になること及び法令との整合性の観点から、成人の飲水量は2.65L/日を採用することとした。

C-1-2 ルテチウム-177 標識 GRPR 特異的リガンド (Lu-177-NeoB) の治験適正使用に関する検討

Lu-177-NeoB（本剤）投与患者の放射線治療病室からの退出に係る基準について、本剤（9250 MBq）を投与した転移性腫瘍治療患者の放射線治療病室等からの退出・帰宅を可能とする基準としては「放射性医薬品を投与された患者の退出に関する指針 3. 退出基準（3）患者毎の積算線量計算に基づく退出基準」を適用し、次の条件が満たされる場合に公衆及び介護者に対する“抑制すべき線量の基準”が担保されるものと考えられる。退出時に放射線測定器を用いて患者の体表面から1 mの距離での1 cm線量当量率を測定し、9 μ Sv/hを超えない場合。また本剤の治験に係る適切な防護措置及び汚染防止措置等について、放射線安全の確保に資する検討を行った上で「治験適正使用マニュアル（第1版）（案）」を作成した。

C-2 放射線管理での情報技術の活用のあり方に関する研究

放射線管理に関して医療法施行規則は既に電子化に対応できていた。デジタル原則を踏まえた規制の横断的見直しにおいて措置すべき事項もないと考えられた。一方、デジタル化は放射線管理においても業務を大きく変えることが期待され、その推進のために行政機関が役割果たすことが期待される。

C-3-1 RALS 室 CT の単独使用運用手順書案の整備

CT単独撮影の工程に沿った、確認や注意すべき事項をまとめた手順書の一例を示し、施設の運用規定の整備を促した。1 体制の整備、2 始業時、3 患者入室前、4 撮影時、5 患者退出時、6 終業時、について具体的な内容を示し医療機関が自施設の運用規定を整備する際に準拠できるものとすることができた。

C-3-2 規則第 27 条第 3 項及び規則第 28 条第 2 項に規定する 12 月 20 日までに翌年において使用を予定する放射性同位元素の数量の届出の必要性について

アンケート総数は 222 件、同一氏名の回答者による重複回答が 1 件あったため、アンケート回答の解析総数は 221 件であった。予定使用数量の届出の必要性については、73.3%の回答が「必要がないと思う」と回答した。これは、予定使用数量の届出の必要性の意義・目的が明確化されていないことや、その意義・目的が医療機関に対して十分に周知されていない可能性が考えられた。現在の届出方法は、郵送 47.25%、持参 36.24%であり、Web 等を用いた電子的に届出は 8.72%であった。一方で今後の届出方法については、電子的に届出を希望する回答が 76.36%であった。これら届出の電子化は、その他行政に対する届出と同様に電子化を進める方向性が期待されている事が明らかになった。前年の届出様式の調査結果から様式が統一されていない状況を考慮すると、電子化に向けて様式(または届出項目)の統一についても検討が必要なことが明らかになった。次年度以降、本届出に関する地域行政機関向けの調査を実施し、上記内容地域行政機関の負担状況等を明らかにする必要性が考えられた。

C-4 放射線診断・IVRにおける放射線防護の基準策定

ジャングルジム法を用いて、腹部透視手技における散乱線の線量分布が、防護板の使用状況に応じて変化する様子を観察できた。防護板と照射野の距離、防護板の高さ、のいずれも、線量分布に変化を与えることが確かめられた。

C-5 放射線診療の国際基準とのハーモナイゼーションに関する研究

今回のアンケートでは、放射線診療において最適化のプロセスを考える上での体制、環境整備状況を調査するためある程度の放射線設備とスタッフ数がそろっていると考えられるがん診療拠点病院などを対象にした。その結果、多くの医療機関は、病床数、放射線科医師、診療放射線技師数が多い大規模施設となった。医療法施行規則によって被ばく線量の管理等が定められている CT、IVR 装置や核医学においては、各施設では線量管理ソフトや自施設において独自の表計算ソフトを用いて線量管理を行っていることが分かったが、これらのシステムが整っていない施設においては、PACS や RIS、あるいはカルテ上に個々の患者の画像の線量を記録されているようである。それらの PACS や RIS、カルテ上の管理の多くでは記録を主体としているが、一部の PACS においては複数患者の記録から線量管理のための一括管理を可能とするものを使用しているとの回答も得られた。管理のできないシステムを有している施設の標準的な線量計算や

DRLs2020 との比較を行うために、特定の期間を設定し一定数の患者の記録から、手作業でデータを抽出し線量管理を行っている施設もある。医療法施行規則による線量管理義務のない一般撮影や、診断用透視装置においては、線量管理ソフトによる一括管理ができない施設においては、管理できていないとする施設や、線量そのものの出力ができない装置であるとする施設も多い。

IAEA のポスターについては以下を日本語に翻訳して IAEA に連絡している。

- i. Pregnant? Or think you could be?
- ii. 10 Pearls: Radiation protection of patients in CT
- iii. 10 Pearls: Appropriate referral for CT examinations
- iv. 10 Pearls: Radiation protection for children in interventional procedures
- v. 10 Pearls: Radiation protection of patients in external beam radiotherapy

C-6 アクチニウム 225 (^{225}Ac) およびイットリウム 90 (^{90}Y) 標識抗ポドプラニン抗体放射免疫療法：悪性中皮腫等に対する新規 RI 内用療法における安全管理に関する研究（退出基準の作成）およびアクチニウム 225 (^{225}Ac) 標識薬剤におけるトレーラーハウス型 RI 治療施設の医学利用に関する研究

アクチニウム 225 (^{225}Ac) およびイットリウム 90 (^{90}Y) 標識抗ポドプラニン抗体放射免疫療法を年 1 回ずつ実施することを想定すると、一般公衆の内部被ばくについて ^{225}Ac による線量が $0.00401[\mu\text{Sv/年}]$ 、 ^{90}Y による線量は $0.139[\mu\text{Sv/年}]$ 、イメージングの ^{111}In による線量は $0.00164 \times 2 = 0.00328[\mu\text{Sv/年}]$ 、よって一般公衆の内部被ばく実効線量の合計値は約 $0.15[\mu\text{Sv/年}]$ となる。予想される投与量では一般公衆および介護者への被ばくは許容される線量となると考えた。

移動型管理区域 MCAT についてはこれまでの文献、報告書などを再評価しつつ、ヒトへ α 線放出核種を想定したコールド試験による TRT 模擬テストや実臨床での TRT を想定した RI 投与量相当量の ^{225}Ac での実測試験等を踏まえて、漏洩線量の計測、排水・排気状況の検討結果を示して、千葉県保健所と行政相談を実施している。

C-7-1 放射線診療従事者等に対する研修プログラムの作成

今年度は、研修動画「2023 年版 A, B, C」の公開に向けた準備を進め、日本医師会の監修を受けた上で、令和 5 年（2023 年）6 月より日本医師会公式チャンネルにて公開した。「2020 年版 A, B, C」で不足している内容を補うとともに「2020 年版 A, B, C」作成後に新たに公開されたデータを盛り込むなど、より充実した内容の研修動画に改訂することができたと考えている。閲覧回数も順調に伸びており診療所をはじめとする多く

の医療機関でご活用いただいていることが推察される。

また、現在公開中の研修動画の内容に沿った配布用の研修資料の作成を進めた。今年度作成した配布用の研修資料を今後、研修動画と併せて公開することで、より教育効果が高まることが期待される。

C-7-2 医療被ばく管理の実態の把握

回答期間中に 139 件の回答が寄せられ医療被ばく管理の実態について貴重な資料となった。回答者の施設の医療放射線安全管理者は 60.4%が放射線科医師であったが、病床数 500 床未満に絞ると 47.4%であり、放射線科以外の医師が 26.9%、診療放射線技師が 24.4%であった。線量管理・記録を実施しているかという設問に対しては、99.3%がしていると回答したが、0.7%がしていないと回答した。線量管理・記録を実施しない理由としては、「線量管理ソフトウェアを導入したいが導入できていないため」が 66.7%、「線量管理・記録を行う必要性が分からないため」が 33.3%であった。法令改正後である現在も線量管理・記録を実施していない施設が一定数存在している可能性が示された。この点は速やかな改善が必要である。線量管理・記録を実施しない理由の 1 つとして挙げられていた「線量管理ソフトウェアを導入したいが導入できていないため」については、線量管理ソフトウェアを導入していない施設でも線量管理・記録の実施は可能であることから、教育用資材の作成などを通じた啓蒙活動を行えるよう、引き続き検討したい。

D. 結論

令和 5 年度（2023 年度）の本研究を実施するうえで、医療放射線の質と安全の向上が重要な課題として全世界的に認識され、さまざまな国でそれぞれの状況を踏まえた相応しいアプローチによって取り組まれている状況に接したことは重要なことであった。従来は主として、国際機関によって提唱された国際的基準との国内制度のハーモナイゼーションとして捉えられていた事象であるが、新興の国々で急速な医療放射線の発展を受けて、よりダイナミックな多様性の中で我が国の医療放射線のあり方を考えることが実り多いことであるとの示唆を受けた。

本研究報告書に述べたように放射線診療の国際基準とのハーモナイゼーションに関する研究の中で IAEA の Radiation Protection of Patients (RPOP) のポスターの翻訳に取り組んだが、これは国際機関との連携が機能した好例である。また本研究報告書に

は詳細を述べていないが国際放射線学会（ISR）において欧州放射線学会（ESR）の Guy Frija 教授や Image Gently の Donald Frush 教授らが中心になって世界の地域（アジア、アフリカ、オセアニア、欧州、北米、南米、など）の医療放射線学協会および国際機関を巻き込んで Quality and Safety Alliance を組織し放射線診療の質と安全に向けて取り組んでいる（ISRQSA）活動状況は示唆に富むものであった。近隣のアジアの国々がネットワークを構築して AsiaSafe の活動を通じて医療放射線の質と安全を強化していることも新たな動向であった。

放射線診療が発展する中で国際的な連携の枠組が形成され拡大していくことは心強いことである。新しい医療技術や医薬品が臨床に導入されつつある状況で、それらを十分に活用するための基準や指針に多くの国々の研究者と情報を交換しながら取り組めることは大きな追い風である。

このように国際的な枠組を基盤とすれば、我が国の実態に合った基準や指針を従来以上に着実に策定できるであろう。本研究では最新の国際動向にも準拠した放射線防護のあり方を考察し、放射線診療の進歩や医療環境の変化に即した基準や指針の整備を提案した次第である。検討した以下の課題、すなわち、1-1 アスタチン標識 PSMA リガンド（ ^{211}At PSMA-5）の医師主導治験での適正使用に関する検討、1-2 ルテチウム-177 標識 GRPR 特異的リガンド（Lu-177-NeoB）の治験適正使用に関する検討、2 放射線管理での情報技術の活用のあるり方に関する研究、3-1 RALS 室 CT の単独使用運用手順書案の整備、3-2 規則第 27 条第 3 項及び規則第 28 条第 2 項に規定する 12 月 20 日までに翌年において使用を予定する放射性同位元素の数量の届出の必要性について、4 放射線診断・IVR における放射線防護の基準策定、5 放射線診療の国際基準とのハーモナイゼーションに関する研究、6 アクチニウム 225 (^{225}Ac) およびイットリウム 90 (^{90}Y) 標識抗ポドプラニン抗体放射免疫療法：悪性中皮腫等に対する新規 RI 内用療法における安全管理に関する研究（退出基準の作成）およびアクチニウム 225 (^{225}Ac) 標識薬剤におけるトレーラーハウス型 RI 治療施設の医学利用に関する研究、7-1 放射線診療従事者等に対する研修プログラムの作成、7-2 医療被ばく管理の実態の把握、それぞれにおいて具体的な提案を示すことができたと考える。

放射線診療のさまざまな場面において生じる放射線防護の課題について、本研究班で多くの分野の専門家が情報共有し連携して多種多様な視点から検討したことは貴重な機会であった。

末筆ながら、研究分担者・研究協力者の先生方、また多くのご関係の皆様のお力添えにより実り多い研究を実施することができたことに心から感謝申し上げます。

分担課題ごとの結論を以下に示す。

D-1-1 アスタチン標識 PSMA リガンド (^{211}At]PSMA-5) の医師主導治験での適正使用に関する検討

アスタチン標識 PSMA リガンド (^{211}At]PSMA-5) 注射液を用いる核医学治療の治験適正使用マニュアル (第 1 版) を作成した。これまで、公衆の内部被ばくを計算する際に、淀川水系の流量には 4.1TL/年、成人の飲水量には 2L/日を用いてきたが、この 2 つのパラメータは見直しを行ってこなかったことから、最新の知見に照らして検討し、淀川水系の流量は 4.1TL/年と据え置き、成人の飲水量は 2.65L/日を採用した。

D-1-2 ルテチウム-177 標識 GRPR 特異的リガンド (Lu-177-NeoB) の治験適正使用に関する検討

退出基準を $9 \mu\text{Sv/h}$ とし「治験適正使用マニュアル (第 1 版) (案)」を示した。今後国内治験で得られたデータ及び知見、本剤の国際的な退出の考え方等を参考としながら、見直しも検討することとした。

D-2 放射線管理での情報技術の活用のあり方に関する研究

医療放射線安全の確保に向けて、デジタル技術の活用が役立つと考えられる。さらなる活用に向けて、関係者間での情報共有を促進し、有用な手法に関して規制影響分析を試みるのがよいと考えられた。

D-3-1 RALS 室 CT の単独使用運用手順書案の整備

診療用放射線照射装置使用室 (RALS 室) に設置された CT エックス線装置の単独撮影における標準的な手順書を作成し公益社団法人日本放射線腫瘍学会の承認を得た。

D-3-2 規則第 27 条第 3 項及び規則第 28 条第 2 項に規定する 12 月 20 日までに翌年において使用を予定する放射性同位元素の数量の届出の必要性について

予定使用数量の届出の必要性についてその意義・目的が医療機関に対して十分に周知されていない可能性が考えられた。医療機関が届出の必要がないと思う理由に「何に活用されているか不明」という回答が最多であった。今後、地域行政機関向けアンケートを実施し、届出の意義・目的について調査する必要があると思われる。

D-4 放射線診断・IVRにおける放射線防護の基準策定

術者の身長や立ち位置に応じた適切な防護板の使用方の検討に資するデータが得られた。今後は、照射条件や防護板の位置を変更し、更なるデータの蓄積が望まれる。

D-5 放射線診療の国際基準とのハーモナイゼーションに関する研究

今回の調査については、がん拠点病院等を対象としたため、放射線科医師、診療放射線技師の人数が多い大規模施設が主体であった。そのため、医療法施行規則に基づいた対応を迅速に取りやすい施設が多かったと思われるが、我が国の放射線診療施設全体の状況を反映しているわけではない。実際には、法令で線量管理が定められていない一般撮影や診断用透視装置を備え患者の放射線診療を行っている施設の中には、診療放射線技師も不在で病床を持たない診療所なども多い。そのため、放射線診療における患者の線量管理については、それらの施設においても実行可能な最適化の方法、線量管理や、装置の品質管理の方法を国際基準とすり合わせ、構築する必要があるであろう。

IAEA のポスターの翻訳版については今後 IAEA の確認・承認を受け公式サイトに掲載いただく予定である。

D-6 アクチニウム 225 (^{225}Ac) およびイットリウム 90 (^{90}Y) 標識抗ポドプラニン抗体放射免疫療法：悪性中皮腫等に対する新規 RI 内用療法における安全管理に関する研究（退出基準の作成）およびアクチニウム 225 (^{225}Ac) 標識薬剤におけるトレーラーハウス型 RI 治療施設の医学利用に関する研究

アクチニウム 225 (^{225}Ac) およびイットリウム 90 (^{90}Y) 標識抗ポドプラニン抗体放射免疫療法における一般公衆および介護者の被ばくは ICRP の勧告および IAEA の安全基準を満たしており、かつ「放射性医薬品を投与された患者の退出に関する指針」（平成 10 年 6 月 30 日付け医薬安発第 70 号厚生省医薬安全局安全対策課長通知）における退出基準を満たしていると考えられるため、本剤投与直後の患者は、医療法施行規則第 30 条の 15 に規定されるような放射線治療病室への入院を必要としない、と現時点では考えられる。

移動型管理区域 MCAT はすでに原子力規制庁からは ^{225}Ac を対象とした管理区域・作業室として許可されており、医療法での使用が大いに期待されている。患者利用時の QOL や利便性などにつき、さらに検討を進め、 ^{223}Ra 標識製剤での使用も含めて、さらなる普及に向けて検討を進める予定である。

D-7-1 放射線診療従事者等に対する研修プログラムの作成

放射線診療従事者等に対する研修プログラムの作成の一環として、研修動画「2020年版 A, B, C」の改訂および公開に向けた作業を行い、新たに研修動画「2023年版 A, B, C」の公開を開始した。改訂作業として、含まれている内容の見直しおよび改訂、そして確認問題の入れ替えを行った。また、研修動画の内容に沿った配布用の研修資料(案)の作成を進めた。本分担研究の成果に基づき、引き続き効果的な研修プログラムの構築を進め、本邦における診療用放射線の安全利用を推進していきたい。

D-7-2 医療被ばく管理の実態の把握

令和5年度には日本放射線技術学会および日本診療放射線技師会に協力いただき、日本全国の医療機関を対象とした医療被ばく管理の実態調査を実施した。この実態調査の結果より、法令改正後である現在も線量管理・記録を実施していない施設が一定数存在している可能性があることや、線量管理・記録が義務化されていないモダリティに対する線量管理・記録の実施率は約50%であるとの結果が示された。また近年では線量管理ソフトウェアが広く普及しつつあり、線量管理・記録にも活用されていることが示された。さらに、この実態調査の結果を分析し、今後追加調査を実施するための準備を整えた。本分担研究の成果は、医療機関における医療被ばくの適正な管理・記録の手法のための手法の確立および教育用資材の作成等に寄与しうるものである。

E. 健康危険情報

特記事項はありません。

F. 研究発表

細野 眞研究代表者

Nishida T, Hayashi S, Takenaka M, Hosono M. Managing Radiation Safety and Protection in Gastroenterology in Japan: Insights from the REX-GI Study. J Gastroenterology 2024 May 4. Epub ahead of print.

Watabe T, Namba M, Yanagida S, Nakamura Y, Yamada T, Tatsuno S, Ri A, Yoshida S, Uyama K, Kinuya S, Tomiyama N, Hosono M. Manual on the proper use of the ²¹¹At-labeled PSMA ligand ([²¹¹At]PSMA-5) for clinical trials of targeted alpha

therapy (1st edition). Ann Nucl Med 2024;38:329-336.

Tokura J, Yoshio T, Hayashi S, Yamamoto M, Asai S, Yakushijin T, Ikezawa K, Nagaike K, Takagi T, Fujisawa T, Yamada T, Tsumura H, Maetani I, Hori Y, hara H, Matsunaga K, Kuwai T, Ito Y, Hasatani K, Komeda Y, Kurita A, Yamaguchi S, Maruyama H, Iwashita T, Takenaka M, Hosono M, Nishida T. Medical Radiation Exposure during Gastrointestinal Enteral Metallic Stent Placement: Post hoc analysis of the REX-GI study. JGH Open 2023;7(12):869-874.

Okuhata K, Monzen H, Nakamura Y, Takai G, Nagano K, Nakamura K, Kubo K, Hosono M. Effectiveness of shielding materials against ¹⁷⁷Lu gamma rays and the corresponding distance relationship. Ann Nucl Med 2023;37(11):629-634.

Kawabata K, Hosono M, Kanagaki M, Tsukamoto S, Ando S, Ito S. Steroids may be associated with extensive skeletal muscle uptake of F-18 FDG. Clin Nucl Med 2023;48:1015-1020.

Ikezawa K, Hayashi S, Takenaka M, Yakushijin T, Nagaike K, Takada R, Yamai T, Matsumoto K, Yamamoto M, Omoto S, Minaga K, Ishii S, Shimizu T, Nagai K, Hosono M, Nishida T. Occupational radiation exposure to the lens of the eyes and its protection during endoscopic retrograde cholangiopancreatography. Scientific Reports 2023;13(1):7824.

Nagaike K, Hayashi S, Yakushijin T, Yamamoto M, Sumiyoshi T, Yamaguchi S, Tamaru Y, Yamada T, Tsumura H, Nakai Y, Doyama H, Maetani I, Takagi T, Asai S, Matsubara K, Takenaka M, Hosono M, Nishida T. Radiation dose and factors related to exceeding the diagnostic reference level in 496 transnasal ileus tube placement procedures from the REX-GI study. Br J Radiol 2023;96(1146):20230086.

山口一郎研究分担者

Nakayama A, Yamaguchi I, Okamoto K, Shigefumi M. Public Health Centers' Training Session Programs to Develop Programs on Infection Control Practices for Multidrug-Resistant Organisms in Hospitals in Kawaguchi City, Japan. Cureus 2023;15(11): e48178.

Toyoda S, Inoue K, Yamaguchi I, Hoshi M, Hirota S, Oka T, Shimazaki T, Mizuno

H, Tani A, Yasuda H, Gonzales CAB, Okutsu K, Takahashi A, Tanaka N, Todaka A. Interlaboratory comparison of electron paramagnetic resonance tooth enamel dosimetry with investigations of the dose responses of the standard samples. Radiat Prot Dosimetry 2023;199(14):1557-1564.

Osanai M, Miura M, Tanaka C, Kudo K, Hosokawa S, Tsushima M, Noro T, Iwaoka K, Hosoda M, Yamaguchi I, Saito Y. Long-Term Analysis of Internal Exposure Dose-Reduction Effects by Food Regulation and Food Item Contribution to Dose after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. Foods 2023;12(6):1305.

永倉健司, 山口一郎. 放射線管理に関する現場の課題. 日本放射線治療専門放射線技師認定機構機関誌 2023;17(1):90-98.

高橋健夫研究分担者

Shirato H, Harada H, Iwasaki Y, Notsu A, Yamada K, Uezono H, Koide Y, Wada H, Kubota H, Shikama N, Yamazaki T, Ito K, Heianna J, Okada Y, Tonari A, Takahashi S, Kosugi T, Ejima Y, Katoh N, Yoshida K, Komiyama T, Uchida N, Miwa M, Watanabe M, Nagakura H, Saito T, Ikeda H, Asakawa I, Tateishi S, Takahashi T, Shigematsu N. Income and Employment of Patients at the Start of and During Follow-up After Palliative Radiation Therapy for Bone Metastasis. Adv Radiat Oncol 2023;8(4):101205.

Utsumi N, Takahashi T, Yamano T, Machida F, Kanamori S, Saito M, Soda R, Ueno S, Hayakawa T, Hatanaka S, Shimbo M. A Retrospective Study of Patients Undergoing Palliative Radiotherapy for Airway Obstruction due to Lung Cancer. Cancer Diagn Progn 2023;3(1):61-66.

赤羽正章研究分担者

Tajima T, Akai H, Yasaka K, Kunimatsu A, Yoshioka N, Akahane M, Ohtomo K, Abe O, Kiryu S. Comparison of 1.5 T and 3 T magnetic resonance angiography for detecting cerebral aneurysms using deep learning-based computer-assisted detection software. Neuroradiology. 2023;65(10):1473-1482.

Katayama K, Ishizuka K, Tawara J, Kaji Y, Komuta M, Hayashi Y, Gomi H, Akahane M, Ohira Y. Temporal Arteritis Caused by Tertiary Syphilis. Temporal Arteritis Caused by Tertiary Syphilis. Intern Med 2023;62(7):1095-1097.

Kiryu S, Akai H, Yasaka K, Tajima T, Kunimatsu A, Yoshioka N, Akahane M, Abe

O, Ohtomo K. Clinical Impact of Deep Learning Reconstruction in MRI. *Radiographics* 2023;43(6):e220133.

Akai H, Yasaka K, Sugawara H, Tajima T, Kamitani M, Furuta T, Akahane M, Yoshioka N, Ohtomo K, Abe O, Kiryu S. Acceleration of knee magnetic resonance imaging using a combination of compressed sensing and commercially available deep learning reconstruction: a preliminary study. *BMC Med Imaging*. 2023;23(1):5.

奥山智緒研究分担者

Okuyama C, Kusano K, Ito M, Takase A, Goda S, Kagawa S. Characteristic Muscular FDG Uptake Patterns Related to the Transportation Means Used by Patients to Visit the Hospital. *Clin Nucl Med* 2023;48(6):549-552.

Okuyama C, Higashi T, Ishizu K, Saga T. FDG-PET findings associated with various medical procedures and treatments. *Jpn J Radiol* 2023;41(5):459-476.

東 達也研究分担者

Bakalova R, Lazarova D, Sumiyoshi A, Shibata S, Zhelev Z, Nikolova B, Semkova S, Vlaykova T, Aoki I, Higashi T. Redox-Cycling "Mitocans" as Effective New Developments in Anticancer Therapy. *Int J Mol Sci* 2023;24(9):8435.

Shinada M, Suzuki H, Hanyu M, Igarashi C, Matsumoto H, Takahashi M, Hihara F, Tachibana T, Sogawa C, Zhang MR, Higashi T, Sato H, Kurihara H, Yoshii Y, Doi Y. Trace Metal Impurities Effects on the Formation of [64Cu]Cu-diacetyl-bis(N4-methylthiosemicarbazone) ([64Cu]Cu-ATSM). *Pharmaceuticals (Basel)* 2023;17(1):10.

Yoshii Y, Matsumoto H, Igarashi C, Tachibana T, Hihara F, Shinada M, Waki A, Yoshida S, Naito K, Ito K, Higashi T, Kurihara H, Ueno M. Process to Remove the Size Variants Contained in the Antibody-Chelator Complex PCTA-NCAB001 for Radiolabeling with Copper-64. *Pharmaceuticals (Basel)*. 2023;16(10):1341.

松原孝祐研究分担者

Urikura A, Yoshida T, Matsubara K, Nomura K, Hoshino T, Takagi T. Number of computed tomography scanners and regional disparities based on population and medical resources in Japan. *Radiol Phys Technol* 2023;16(3):355-365.

Ichikawa N, Matsubara K, Fukuda A, Hayashi T, Takamatsu K, Kuramoto T. Energy-based Hp(3) measurement using solid-state detector. Radiat Prot Dosimetry 2023;199(11):1166-1173.

Shibata H, Matsubara K, Asada Y, Takemura A, Kozawa I. Physical and visual evaluations of CT image quality of large low-contrast objects with visual model-based iterative reconstruction technique: a phantom study. Phys Eng Sci Med 2023;46(1):141-150.