

令和4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 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 滋賀県立総合病院研究所 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
量子生命・医学部門 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4年度（2022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つつ日進月歩に発展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データを収集・調査して解析し、アンケート調査や実験などを実施し、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)ルテチウム-177 標識 PSMA 特異的リガンド (Lu-177-PSMA-617) の治験適正使用に関する検討、2)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研究、3-1)診療用高エネルギー放射線発生装置使用室・診療用放射線照射装置使用室に併設されるエックス線装置及びCT エックス線装置 (IGRT 装置) の漏えい線量測定の実施の必要性について、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核医学治療における安全管理に関する研究（退出基準案の作成）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】アルファ核種の核医学治療（RI 内用療法）の退出基準、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研究、放射線治療における IGRT 装置の漏洩線量測定の実必要性、ICRP 勧告をはじめとする国際指針に示された医療における放射線防護の変遷や実効線量など線量の概念の整理、IVR 従事者の水晶体線量の低減、などの課題について基準・指針を示し、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する中で放射線防護の基準や指針はますます重要であることが再確認された。放射線防護の整備に向けて本研究班で放射線のさまざま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は意義が大きいと考えられた。

A. 研究目的

本研究は令和 4 年度（2022 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つつ日進月歩に発展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を策定することを目的として実施した。

国内外の放射線診療においては、新たな手法が研究・開発によって次々に導入され、これまでは診断・治療が困難であった患者にも適切な医療を提供することができるようになり、国民の健康と命に大きな利益をもたらしていることは言うまでもない。そのような新たな手法を安全かつ有効に使用するためには、医療としての診療においても放射線の安全取扱いにおいても、基準や指針を作成してそれらを遵守することが不可欠である。また新たに登場した手法だけでなく、既存の手法についても医療の変化に伴って新しい基準や指針が必要とされている分野がある。

従来から医療における放射線の適切な利用については重要性が認識され、医療者・関連学会・行政などが取り組んでいたが、2019 年 3 月に公布され 2020 年 4 月に施行された医療法施行規則の改正によって診療用放射線を用いるにあたっての医療被ばく、つまり患者の被ばくに関する安全管理が職業被ばくや公衆被ばくに関する安全管理と同様

に法令のうえで明示されるに至った。また時を同じくして 2020 年 7 月には「日本の診断参考レベル (2020 年版)」(Japan DRLs 2020)が医療被ばく研究情報ネットワーク (JRIME) と加盟学協会によって公表された。これは 2015 年 6 月に公表されたわが国初の診断参考レベル (Japan DRLs 2015)がを 5 年を経て改訂されたものである。診断参考レベルは診療用放射線の安全管理、とくに放射線診断 (核医学診断も含め) と IVR において重要な最適化のツールと考えられるものである。なお一連の医療被ばくの安全管理の推進の中で、放射線診断と IVR が強調されているように見えるが、当然、放射線治療の安全管理も同様に重要である。これは以前から放射線治療分野では線量管理が組み込まれていたため、ことさらに改めて強調する必要性が低かったためとも考えられる。

診療用放射線の医療被ばくに関する安全管理が取り組まれる中で、関連学会等が医療法施行規則の改正に対応して診療用放射線の安全利用のための院内指針のひな形を作成・提供している。さらに同様に放射線診療従事者に向けた研修プログラム・コンテンツの作成・提供もなされているが、それぞれの診療環境に即した研修プログラム・コンテンツを求める声もある。したがって、研修プログラム・コンテンツの充実に向けた取り組みを継続していくことは常に重要であると考えられる。

ところで放射線診療の基準や指針を示すにあたっては国際的な基準や指針とのハーモナイゼーションも重要である。それは国際的な基準や指針は、放射線診療における放射線防護のエキスパートの参画により作られており、過去における人類の知恵を集約し未来に向けて再構成し、かつ各国のコンセンサスでもあると考えられるからである。国際放射線防護委員会 (ICRP)、国際原子力機関 (IAEA)、世界保健機関 (WHO) 等の国際機関によって作成されている医療被ばく、職業被ばく、公衆被ばくの防護の基準や指針を調査検討することは不可欠である。そのうえで国際的な基準や指針を調査して国内制度においてどのようにハーモナイゼーションを図ることができるかをさまざまな課題に対応する際に考察することも重要である。

本研究では令和 4 年度 (2022 年度) において、核医学治療については、ルテチウム-177 標識 PSMA 特異的リガンド (Lu-177-PSMA-617) の治験適正使用マニュアルの改訂に取り組む。またアクチニウム 225 (^{225}Ac) およびイットリウム 90 (^{90}Y) 標識抗ポドプラン抗体放射免疫療法の治療適正使用マニュアルと退出基準案等に取り組む。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あり方については、放射線管理の課題に関して情報を収集し課題解決の方策を検討するとともに行政機関に期待する機能を調査する。放射線治療については、診療用高エネルギー放射線発生装置使用室・診療用放射線照射装置使用室に併設されるエックス線装置および CT エックス線装置 (IGRT 装置) の漏洩線量測定の必要性について検討する。放射線診断・IVR については、眼の水晶体

の等価線量限度引き下げを法令へ取り入れて令和3年(2021年)4月から施行されていることに対応して、従事者が装着する防護メガネの遮蔽効果に関して検討する。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、医療放射線と被ばく防護、防護線量についての関する定義の変遷をICRP勧告等から文献調査する。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、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に向けた検討を行う。特に今年度は2020年度より日本医師会公式チャンネルに公開している研修動画をフィードバックに基づいて改訂し公開する。

このように放射線診療の医療現場において課題となっている新しい手法・既存の手法にかかわる項目について、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、さまざまな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 ルテチウム-177 標識 PSMA 特異的リガンド (Lu-177-PSMA-617) の治験適正使用に関する検討

山口一郎研究分担者

2 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の基準作成

3-1 診療用高エネルギー放射線発生装置使用室・診療用放射線照射装置使用室に併設されるエックス線装置及びCTエックス線装置(IGRT装置)の漏洩線量測定の実必要性について

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実必要性について

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) 標識抗ポドプランニン抗体放射免疫療法：悪性中皮腫等に対する新規核医学治療における安全管理に関する研究（退出基準案の作成）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 ルテチウム-177 標識 PSMA 特異的リガンド (Lu-177-PSMA-617) の治験適正使用に関する検討

本剤の治験で患者が入院する病室として特別措置病室を利用することの妥当性を検討し、令和3年度の研究で提案し、日本核医学会に承認された、本剤の治験適正使用マニュアル（第1版）の改訂案を検討することが今年度の本研究の目的である。本剤の国内治験で収集された本剤投与患者の入院病室の空气中放射能濃度の測定結果より、特別措置病室の利用要件の該当性を評価し、特別措置病室の利用に係る治験適正使用マニュアル（第1版）の改訂案について検討した。

A-2 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研究

日本では医療で国民が受ける放射線量は米国とともに世界で最も高いレベルにある。このため医療放射線安全に関する取り組みを着実に実施する必要がある。医療現場において法令の適用が課題となっている放射線診療について、合理的な放射線防護及び医療機関への立入検査等行政機関の関与のあり方を明らかにすることを目的として研究を

実施した。

A-3-1 診療用高エネルギー放射線発生装置使用室・診療用放射線照射装置使用室に併設されるエックス線装置及びCTエックス線装置（IGRT装置）の漏洩線量測定の必要性について

現在、診療用高エネルギー放射線発生装置使用室・診療用放射線照射装置使用室（以下、放射線使用室という）に、画像誘導放射線治療（IGRT）を目的としたエックス線装置・CTエックス線装置（以下、IGRT装置）が、放射線治療における位置照合装置として併設されるようになった。診療用高エネルギー放射線発生装置、診療用放射線照射装置およびIGRT装置における漏洩線量測定については、医療法施行規則（第30条の22）、電離放射線障害防止規則（第54条）などの法令により、放射線の量の測定（診療を開始する前に1回、その後は6月を超えない期間ごと1回）を行い、その結果に関する記録を5年間保存することが放射線使用室に対して義務付けされている。この記録については、各装置における漏洩線量を合算して評価されている。しかし、放射線使用室においては、使用するエネルギーがIGRT装置よりも高い診療用高エネルギー放射線発生装置または診療用放射線照射装置に対する遮蔽が施されているため、放射線使用室においてIGRT装置の低いエネルギーの漏洩線量を測定しても、測定される漏洩線量は、Back Ground(B.G.)または検出されない(Not Detected: N.D.)となる現状である。放射線使用室に併設されたIGRT装置について、その設置の現状、漏洩線量の測定結果および遮蔽計算結果等の実態を調査し、放射線使用室に併設されたIGRT装置の漏洩線量測定の在り方について検討を行った。

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

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、平成31年3月15日付け医政発0315第4号通知をはじめ、通知等において明確に記載されていない。医療機関において年末の業務が多忙な中、この届出を実施することは負担である。よって、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するために本研究を実施し、行政側と医療機関側の連携が密になるよう展開できれば更なる医療の発展と放射線の安全使用に寄与できるものとする。

A-4 放射線診断・IVRにおける放射線防護の基準策定

国際動向を受けて我が国においても2021年4月から新たな水晶体等価線量限度への変更が実施された。X線透視を用いた治療手技の術者については防護メガネ着用が推奨され、特に高い水晶体等価線量が懸念される術者の水晶体等価線量の算定に眼の近傍に配した線量計を用いる機会が増えている。その結果を正しく解釈し、適切な管理に反映させるためには、防護メガネの種類や線量計の位置によるばらつきの程度を知る必要がある。昨年度までの検討で、X線防護メガネの種類により被ばく低減効果が異なること、頭部の方向が防護メガネの効果に影響を与えること、防護メガネ内面から水晶体にかけての線量分布が不均一となるため線量の実測値が線量計の位置に影響されること、実臨床における防護メガネの効果はばらつきが大きいこと、防護グラスと顔面の隙間が大きいと遮蔽効果が低下すること、防護グラスと顔面の隙間を減らすデザインは遮蔽効果を向上すること、サージカルマスクを着用すると防護メガネの遮蔽効果が損なわれる傾向にあること、小さな線量計を頭部ファントム周囲に配置することで防護メガネと顔面間の空間線量分布を実測できること、がわかった。今年度は、防護メガネと顔面間の空間線量分布のデータを更に蓄積～解析し取りまとめることとする。

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

本分担研究では、医療被ばくに関する近年のICRPやIAEAによる国際基準や指針の動向を整理し、国内の法令、規則、ガイドラインと照合し課題を抽出することを目的とする。

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核医学治療における安全管理に関する研究（退出基準案の作成）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

本研究は、新規の標的アイソトープ治療薬として臨床試験申請の準備を進めているアクチニウム 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) の線量評価を行い、適切な退出基準案の策定を行っていくことを目的とする。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 標識製剤の臨床利用を目的として量研機構千葉地区に導入したトレーラーハウス型管理区域 (Mobile Controlled Area for TRT、MCAT) の医療法における臨床使用を可能とするための放射線防護や患者の安全管理等の基準策定を行うことを目的とする。

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に向けた検討を行う。

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（以下単に「被ばく線量管理」という）の実態を調査するとともに、被ばく線量管理の好事例を取り上げて紹介することによって、被ばく線量の適正な管理・記録の手法の確立を目指す。

B. 研究方法

本研究では、公開資料調査、実験実施、アンケート調査実施、学協会との連携等を通じて、新たな放射線診療の手法を導入するにあたって必要な基準や指針を検討するとともに、既存の放射線診療の手法について問題となっている課題にも取り組んだ。また国際的な指針や基準の変遷を調査し、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を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。放射性医薬品及び放射線診療機器の国内法令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。国際的な指針や基準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 ルテチウム-177 標識 PSMA 特異的リガンド (Lu-177-PSMA-617) の治験適正使用に関する検討

治験における本剤投与患者の特別措置病室への入院を可能とするために必要な病室内の空气中放射能濃度の測定法を検討し、実測データを示した。実測データを基に特別措置病室の利用の妥当性を評価し、治験適正使用マニュアル（第2版）（案）について検討した。

B-2 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研究

医療機関における放射線管理の課題に関して公開されている情報を収集し、それらの課題解決の方策を検討すると共に医療機関の専門職を対象に行政機関に期待する機能を調査した。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)の協力を得て行い、現場での放射線管理上の課題として認識されている課題に関して事実関係を整理し、同機構の関係者と共有を試みた。

B-3-1 診療用高エネルギー放射線発生装置使用室・診療用放射線照射装置使用室に併設されるエックス線装置及びCTエックス線装置（IGRT装置）の漏洩線量測定の必要性について

国内の放射線治療施設に対し、日本放射線腫瘍学会、日本放射線技術学会、日本医学物理学会、日本医学物理士会、日本診療放射線技師会などを通じ、メールにて調査依頼を行った。調査方法は、Google フォームを通じてアンケートの回答を依頼した。調査期間は、2022年11月25日から2023年1月20日までの期間とし、回答は1施設1回答とした。ただし、診療用高エネルギー放射線発生装置と診療用放射線照射装置などの複数回答施設については、1施設2回答を得た。調査内容は、放射線使用室に併設されたIGRT装置の遮蔽計算および漏洩線量測定結果の調査ならびに使用者の負担、要望等であった。また現在本邦で使用されている主なIGRT装置について通常使用されている撮影条件を調査した。その調査結果より使用室面壁の遮蔽能力が少ない施設を想定した場合、最大エネルギーが低く、許可貯蔵数量、許可使用線量（時間）が少ない施設が該当すると考えられる。このような施設を選択し、遮蔽計算書提供の協力を頂きその内容を検討した。また、放射線使用室に併設されたIGRT装置の構成から、漏洩線量の多くなる評価点を検討し、必要な遮蔽能力とその結果を検証した。

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

以下の 4 つの調査を実施または計画した。

- 1) 現在、全国の保健所で使用されている届出書に関する記載事項の調査及び比較
- 2) 届出をする医療機関に、届出様式に記載する使用数量、予定数量の記載に関するアンケート調査
- 3) 届出に記載される放射性同位元素の数量の利用についての聞き取り調査
- 4) 地域の行政機関に、当該届出（翌年の使用予定数量の届出）数値の利用に関する実態をアンケート調査

B-4 放射線診断・IVRにおける放射線防護の基準策定

頭部人体ファントムに防護メガネを取り付け、右大腿動脈経由の体幹部透視手技を模して配置した。透視時の術者医師の立ち位置にアクリルの台を設置、身長 170cm 相当の位置に頭部人体ファントムを配置し、頸部プロテクタを装着した。患者を模したファントムとして、血管撮影装置の寝台に JIS 水ファントム (楕円) を置いた。防護メガネは、正面レンズに 0.75 mmPb のガラスを採用し側面と下方のシールドに 0.50 mmPb シールを貼付したプロテック アイウェア PT-COMET (PT-CMT, 株式会社マエダ)、および正面レンズに 0.73 mmPb のガラス採用し側面シールドに 0.11 mmPb のタングステンシートを貼付した Dr. VIEW X-RAY タイプ F0 (DRV-X31T, ユフ精器株式会社) を用いた。昨年度用いた防護メガネは、0.07 mmPb のガラスを用いたパノラマシールド HF-380 (東レ)、および 0.15 mmPb のガラスを用いたアイケアエックスレイ EC-10 XRAY (エリカオプチカル) で、これらのデータも合わせて集計した。防護メガネ装着状態の測定における線量計は、左眼の周囲 10 箇所、に 4 層の nanoDot を積み上げた。加えて右眼球表面、ガラス左下の内面、左頸部、に 1 個の nanoDot を貼付した。合計 43 個の配置となった。使用した血管撮影装置は シーメンス社 Artis Q TA、照射条件は透視 30 パルス/秒 × 60 秒 + 撮影 30 フレーム/秒 × 20 秒 × 8 回 (総装置表示空気カーマ 345.3 mGy)。

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

ICRP 勧告を対象の中心として医療放射線被ばくに対する考え方の変遷を整理した。また放射線防護に係る線量概念と用語の変遷を整理した。その中で ICRP Publication 147 “Use of dose quantities in radiological protection (放射線防護における線量の使用)” に記載された実効線量の医療被ばくにおける推奨される使用のしかたについてまとめた。

B-6 アクチニウム 225 (^{225}Ac) およびイットリウム 90 (^{90}Y) 標識抗ポドプランイン抗体放射免疫療法：悪性中皮腫等に対する新規核医学治療における安全管理に関する研究（退出基準案の作成） 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。本研究ではヒトへ α 線放出核種を想定したコールド試験による TRT 模擬テスト等を実施、さらに実臨床での TRT を想定した RI 投与量相当量の α 線核種 ^{225}Ac での実測試験を実施し、漏洩線量の計測、排水・排気状況を検討し、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する。

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

現在公開している研修動画は診療所等の小規模施設を対象としたものとなっており、特に大規模施設における研修の際に必要な内容を網羅できていない。そこで、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するという観点から、大規模施設向けの動画作成に向けた検討を行った。今年度は、大規模施設向けに作成する研修動画に含める項目案を検討した。

B-7-2 医療被ばく管理の実態の把握

被ばく線量管理の実態調査として、主に被ばく線量情報管理システムを活用して被ばく線量管理を先進的に行っている施設を対象とした被ばく線量管理の実態調査、日本血管撮影・インターベンション専門診療放射線技師認定機構（JAPIR）および全国循環器撮影研究会の協力による血管撮影検査の被ばく線量管理の実態調査、および小規模医療施設を対象とした被ばく線量管理の実態調査を実施した。

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 ルテチウム-177 標識 PSMA 特異的リガンド (Lu-177-PSMA-617) の治験適正使用に関する検討

本剤投与後の病室内の空気中放射能濃度はいずれの測定箇所においても空気中濃度限度の 10,000 分の 1 以下であり、本剤投与患者の呼気などから空気中への放射性同位元素の飛散はほとんどないことが確認された。さらに、一般病室の換気回数は 1 時間あたり 2 回と報告され、一般的な第 1 項放射線治療病室に比べて換気能力が低いものの、換気されないと仮定した場合でも病室内の空気中放射能濃度は限度濃度を大きく下回ることが確認された。以上より、本剤投与患者を特別措置病室に入院させる適用条件を満たしており、本剤の治験で当該病室を利用することが可能であると考察される。

C-2 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研究

医療現場での放射線管理に関する問題意識の共有に改善の余地があり、これまでの制度の見直しの過程の共有は放射線管理の課題解決に向けて自己効力感を高め得ると考えられた。それぞれの現場での課題を解決するには、医療現場での関係者間での課題の認知を高める必要があると考えられた。

C-3-1 診療用高エネルギー放射線発生装置使用室・診療用放射線照射装置使用室に併設されるエックス線装置及び CT エックス線装置 (IGRT 装置) の漏洩線量測定の必要性について

回答のあった全 246 施設において、リニアック室および RALS 室における IGRT 装置からの漏洩線量について、B. G. を超える線量を検出した施設はなかった。

施設の状況や環境により、放射線使用室の遮蔽厚が少ない施設がある可能性を想定して、調査結果において最も出力の大きい IGRT 装置を設置した場合の漏洩線量についてシミュレーションによる評価を行った。対象はリニアック室とし、高エネルギー放射線の利用線錐を遮蔽できる能力を持つ壁厚ではなく、遮蔽能力の低い漏洩線方向の壁厚を考えた。その結果、コンクリートの壁厚が 40 cm 以上であれば、調査対象とした IGRT 装置からの一次エックス線が漏洩線量として測定されることはない。RALS については、RALS で使用する IGRT 装置がリニアックで使用するものと同様であれば、リニアックと同様のシミュレーションが可能である。コンクリートの壁厚が 40 cm 以上であれば、

IGRT 装置からの漏洩線量が問題となることがないと言える。また、RALS の使用状況は年間でも平均 85 回と、リニアックに比べて非常に少ない。したがって、IGRT 装置の実効稼働負荷もさらに少なく設定されるため、漏洩線量は少なくなり、リニアックと同様に一次エックス線が漏洩線量として測定されることはないと考ええる。

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

当該届出書が医療機関における放射性同位元素の使用に関する将来計画に寄与しているのであれば、さらにきめ細かく届出することが必要である。また、現在は書面（郵送又は FAX）による届出が多く、デジタル（Web）化を利用した届出にすることも考えるべき時ではないか。しかしながら、もしこの届出がなにも使用されず単なるファイル化するだけに終わってしまうのであれば、非常に残念であり、届出するための時間と労力を患者の診療に向けたというのが医療現場の希望である。これらのことに鑑み、当該届出のありかた、その必要性を再考すれば、更なる放射線の安全使用へ繋がるものと考ええる。

C-4 放射線診断・IVR における放射線防護の基準策定

今回検討した 4 種類の防護メガネのなかでは、HF-380 と PT-COMET が比較的良好な遮蔽効果を示した。HF-380 については着用時にガラス下縁と顔面の隙間を減らす角度調節機構を用いたこと、PT-COMET についてはガラス下縁と顔面の隙間を減らすシールドが付与されていること、によりガラス下縁から入り込む散乱線を減らすことができたものと考えられる。防護メガネによる効果的な遮蔽には、ガラスと顔面の隙間を減らすための何らかの工夫が必要と考えられる。こめかみ付近で測定した線量について、線量計の位置の上下移動による変動が観察された。側面の遮蔽板は水晶体と概ね同じ高さにあるので、斜め下から入射する散乱線が最も効果的に遮蔽される領域は水晶体よりやや上方に位置する結果となり、線量計の上方偏位による線量低下を招いたものと考えられる。今回の 4 製品ではいずれもこめかみ上方で水晶体線量を過小評価する結果となったが、水晶体線量と比較して過小評価になるかどうかは正面と側面のバランスによるので、製品によって異なる可能性があり、側面の防護がより弱い製品では過小評価にまではならないかもしれない。ガラス内面での測定は防護メガネの遮蔽効果が低い状況で過小評価する傾向が、こめかみでの測定は防護メガネの遮蔽効果が高い状況で過大評価する傾向が、それぞれ観察された。しかし既存の線量計では真の水晶体線量を測定できないので、防護メガネの遮蔽効果が高いか低いかを知ることができないため、どちらの測定位置が適切な状況なのか判明しない。安全側で測定するという観点からはこめかみが有利だが、

過大評価による業務制限が医療に影響を与えかねない現状を勘案すると、安全側ならよいというものでもないだろう。グラスと顔面の隙間が十分に小さいことを毎回確認することを前提としてグラス内面で測定する、という運用も検討に値する。

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

これまで実効線量と等価線量が同一の単位である Sv を用いて表現されることで、概念の理解に混乱を生じることが指摘されてきた。2021年に発刊された ICRP Publication 147 では、2007年勧告 (Publ. 103) で示された実効線量や等価線量についての説明が強化、拡張され、健康リスクに関連した線量の使用法が明確化された。ICRP の防護量の目的と使用方法について詳細に説明がなされており、これまでに認識、指摘されてきた実効線量の課題、限界を踏まえたくて現実的な実効線量の使用方法を示している。

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核医学治療における安全管理に関する研究（退出基準案の作成）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

淀川水系モデルを使用し、患者数の推定、治療投与量の推定、投与回数の推定、公衆の摂取量の推定などを仮定した上で、 ^{225}Ac の経口摂取実効線量係数 $2.4 \times 10^{-5} [\text{mSv/Bq}]$ を用い、このモデルでの 1 年間の内部被ばく線量を計算すると、 $0.167 [\text{Bq/年}] \times 2.4 \times 10^{-5} [\text{mSv/Bq}] = 0.00401 [\mu\text{Sv/年}]$ 。この値は公衆の年間線量限度 1mSv を大きく下回る。 ^{90}Y -PDPN-NZ-16 についても同様に計算し、公衆の年間線量限度 1mSv を大きく下回ると推定した。またトレーラーハウス型 RI 治療施設の放射線防護は十分に臨床使用に利用可能な基準を有すると考えられており、実測研究でもそれが確認できた。

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

現在公開中の研修動画「2020年版 A, B, C」の改訂である「2023年版 A, B, C」の公開に向けた準備を進めた。「2020年版 A, B, C」は現在公開中だが不足している内容を適切に補うとともに、「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。さらに大規模施設向けに作成する研修動画に含めていく項目案を検討した。

C-7-2 医療被ばく管理の実態の把握

これらの実態調査の結果より、好事例と思われる事例についてさらに追加調査を実施し、具体的な管理方法をまとめた。また、放射線医学関連の商業誌より、令和2年（2020年）～令和4年（2022年）に掲載された線量管理の事例を紹介する記事を抽出した。

D. 結論

令和4年度（2022年度）に本研究の諸課題に取り組んでいるなかで、新しい医療放射線技術が次々に登場して国民の生命と健康に大きな利益をもたらしていることを再認識した。直接の課題としては取り上げなかったが、超高線量率放射線治療（FLASH）の話題が国内外で大きなインパクトを与えていることに接した。FLASHとは、非常に高い線量率（数十 Gy/秒）で腫瘍に照射される大量の放射線を用いた治療で、従来の低い線量率で照射される放射線と比較して抗腫瘍活性を維持しながら正常組織を温存するという予想もされなかった利点があることが最近発見されたものである。放射線の飛跡近傍の低酸素化による正常組織の放射線影響の軽減がメカニズムの一つと言われる。現在のところ陽子線を用いた基礎検討が多く、2022年10月の米国放射線腫瘍学会 ASTRO で米国シンシナティ大学から first-in-human の報告がなされ、今後の臨床応用に期待が集まっている。

FLASHは最近登場した革新的手法の一例であるが、このような放射線生物学的にもテクノロジーとしても極めて先進的な放射線医療が現れ日常診療に応用されていくことは人々を鼓舞するものである。このように絶え間なく放射線診療が発展し、さまざまな新しい医療技術や医薬品が臨床に導入されつつあることから、それらを十分に活用するための基準や指針の策定には深い理解を持つ関係者が真剣に注力する必要がある。

このように医療現場において基準や指針が必要となっている事象に関して速やかに対応を提示することは欠かせない。そのため本研究で最新の国際基準にも準拠した合理的な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。1)ルテチウム-177 標識 PSMA 特異的リガンド（Lu-177-PSMA-617）の治験適正使用に関する検討、2)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、3-1)放射線治療装置に搭載される IGRT 装置の漏洩線量測定の必要性、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、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) ^{225}Ac および ^{90}Y 標識抗体放射免疫療法の安全管理に関する研究（退出基準案）および ^{225}Ac 標識薬剤におけるトレーラーハウス型 RI 治療施設、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、について、それぞれ具体的な考察を示すことができたと考える。

特に診療用高エネルギー放射線発生装置使用室・診療用放射線照射装置使用室に併設されるエックス線装置及び CT エックス線装置（IGRT 装置）の漏洩線量測定の必要性の課題では漏洩線量は検出されないであろうとの重要な成果が得られ、今後の法令の整備に資するものとする。

また X 線透視下手技において術者が防護メガネを装着した際の水晶体等価線量の評価に向けた検討では、放射線診療従事者の線量低減に役立つ資料を提供することができたとともに、放射線診療従事者の職業被ばく全般について啓発につながると期待される。

放射線診療従事者等に対する研修動画は令和 2 年度から日本医師会・日本歯科医師会と連携し放射線診療従事者等の皆様にご視聴いただいているが、日本医師会の YouTube サイトで公開したものに令和 2-3 年度に続いて令和 4 年度も膨大なアクセス数があり、研修コンテンツに対するニーズの高さを実感するとともに、研究成果を直接に活用いただけたことはたいへんありがたいことであり、令和 4 年度は研修動画のブラッシュアップにより改訂を進めた。

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の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 ルテチウム-177 標識 PSMA 特異的リガンド（Lu-177-PSMA-617）の治験適正使用に関する検討

本剤投与患者の特別措置病室への入院の妥当性を検討し、利用可能と考えられたため「治験適正使用マニュアル（第 2 版）（案）」を作成した。今後、本剤の国内治験で得られた本剤及び放射線安全管理に係る、特別措置病室を利用した際の空气中放射能濃度の実測値を含むデータ及び知見、並びに本剤を用いた治療に係る国際的な退出の考え方等

を参考としながら、退出基準等の見直しを含めて、日本核医学会に承認された治験適正使用マニュアル（第2版）の改訂を考慮するべきと考える。また、Lu-177-DOTA-TATEの国内使用量が増えることで、入院病室や核医学治療のキャパシティがよりひっ迫することが予想されるため、適切な放射線安全管理の下、核医学治療の普及に資する検討を今後も継続する必要があると考える。

D-2 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研究

医療現場での関係者間での課題の認知を高めるために、課題の整理を試み、関係者間で共有できるようにした。来年度は、これらの課題の解決に向けて、さらに関係者間での議論を深める。

D-3-1 診療用高エネルギー放射線発生装置使用室・診療用放射線照射装置使用室に併設されるエックス線装置及びCTエックス線装置（IGRT装置）の漏洩線量測定の必要性について

放射線使用室におけるIGRT装置の漏洩線量測定について検討した。安全面を担保しつつ、現場の意見と合致し、時間的負担を軽減し臨床現場での患者サービスの向上に寄与するために、以下の要件をもって、診療用高エネルギー放射線発生装置使用室・診療用放射線照射装置使用室に併設されるエックス線装置およびCTエックス線装置（IGRT装置）の漏洩線量測定について、「使用前検査時の測定後、6月を超えないごとの測定は、高エネルギー放射線の測定結果に変化がなければ省略を可能とする。」という運用を提案する。

<要件>

①放射線施設の構造、遮蔽計算について

- ・放射線施設はコンクリートにして40 cm以上の壁厚が担保されていること。
- ・RI法の許可申請時にIGRT装置の漏洩線量も合算され評価されていること。
- ・IGRT装置の遮蔽計算は受像機を一次遮蔽体として考慮すること。
- ・IGRT装置の実効稼働負荷は使用可能な最大撮影条件で、放射線治療患者数および撮影の回数を考慮して算出すること。また、その結果、有意な漏洩線量を検出しない結果であること。
- ・IGRT装置が移動式、もしくはIGRT装置の使用位置が診療用高エネルギー放射線発生装置・診療用放射線照射装置の位置と異なる場合は、迷路の配置も考慮し、最も漏洩線量が高くなる位置での評価を行うこと。

②運用について

- ・使用前検査において、安全性が確認されていること。
- ・診療用高エネルギー放射線発生装置・診療用放射線照射装置の漏洩線量測定において、放射線施設の安全性を確認できること。
- ・IGRT 装置の受像機を取り外した状態で使用しないこと。
- ・測定を省略した場合、管理者はその旨を記録した書面を作成すること。

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

管轄する保健所が管内での放射性医薬品の使用の実態を把握するのであれば、適切な行政管理として医療機関も率先して正確な使用実態の届出に協力する。そのためにも、デジタル（Web）での届出を取り入れて、今までの FAX・郵送での届出からの切り替えと、集計と統計処理等が管轄保健所から公開されることを望むものである。より安全な放射性同位元素の使用に努めることで、管理の徹底（啓蒙）が図れるものとする。本研究課題は、調査・研究途中である。細かな調査により方向が明らかになるものと思われる。

D-4 放射線診断・IVRにおける放射線防護の基準策定

防護メガネ着用時の空間線量分布を測定し、眼近傍に線量計を配置して測定する際の留意点を、防護メガネの種類を増やして検討した。こめかみでの測定結果は上方への位置ズレで過小評価となる傾向や、ガラス内面での測定結果は防護メガネの遮蔽効果が低い場合に過小評価となる傾向が観察された。過小評価を避けるためには、防護メガネのガラスと顔面の隙間を減らすこと、こめかみの線量計では目の高さと同揃えること、が役立つかもしれない。

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

ICRP Publication 147によると、実効線量の不確実性を認めたとうえで、医療被ばくにおいて個人のリスク推定に使用するものではないが、放射線診断における放射線防護、医療被ばくの低減のために使うことのできる有用なツールであり、医療被ばくにおいて実効線量の使用が推奨されるのは以下のような目的の場合としている。

- 1)放射線診療の正当化、2)画像診断技術の選択、3)診断技術の最適化、4)生物医学研究志願者の線量評価、5)予期しない過剰な被ばくの報告：数 10mSv を超える場合、詳細な情報が必要となる可能性があるとき、6)健康診断あるいは、医療目的以外で適用する場

合の効果の評価、7)患者の介護者の線量、8)臨床医や他の医療専門家の教育訓練。

一方で、患者の線量調査や記録については測定可能な線量を用いることが適切であり、不確実性の多い実効線量は用いるべきでなく、また限られた臓器の被ばくに対する組織反応の評価には吸収線量を用いることが望ましい。

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核医学治療における安全管理に関する研究（退出基準案の作成）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

当該の放射免疫療法は ICRP の勧告および IAEA の国際基本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）における退出基準の考え方を満たすことができ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考えられた。トレーラーハウス型 RI 治療施設は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

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

医療施設において行われている被ばく線量管理の実態を調査するとともに、被ばく線量管理の好事例を取り上げて紹介した。被ばく線量管理の実態調査として、主に被ばく線量管理システムを活用して被ばく線量管理を先進的に行っている施設を対象とした被ばく線量管理の実態調査、JAPIR および全国循環器撮影研究会の協力による血管撮影検査の被ばく線量管理の実態調査、および小規模医療施設を対象とした被ばく線量管理の実態調査を実施し、これらの実態調査の結果より、好事例と思われる事例について更なる聴取を行い、具体的な被ばく線量の管理方法をまとめた。また、放射線医学関連の商業誌より、被ばく線量管理の事例を紹介する記事を抽出して紹介した。本分担研究の成果は、医療機関における被ばく線量の適正な管理・記録の手法の確立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

Hayashi S, Takenaka M, Kogure H, Yakushijin T, Nakai Y, Ikezawa K, Yamaguchi S, Fujisawa T, Tamaru Y, Maetani I, Maruyama H, Asai S, Takagi T, Nagaike K, Hori Y, Sumiyoshi T, Tsumura H, Doyama H, Yoshio T, Hara K, Abe S, Oda I, Kato M, Nebiki H, Mikami T, Miyazaki M, Matsunaga K, Hosono M, Nishida T, Egawa S, Nishihara A, Ohnita K, Minami R, Tada N, Kobayashi K, Kato M. A follow-up questionnaire survey 2022 on radiation protection among 464 medical staff from 34 endoscopy-fluoroscopy departments in Japan. DEN Open. 2023;3(1):e227.

Ukon N, Higashi T, Hosono M, Kinuya S, Yamada T, Yanagida S, Namba M, Nakamura Y. Manual on the proper use of meta-^[211At]astato-benzylguanidine (^[211At]MABG) injections in clinical trials for targeted alpha therapy (1st edition). Ann Nucl Med 2022;36(8):695-709.

Takenaka M, Rehani MM, Hosono M, Yamazaki T, Omoto S, Minaga K, Kamata K, Yamao K, Hayashi S, Nishida T, Kudo M. Comparison of Radiation Exposure between Endoscopic Ultrasound-Guided Hepaticogastrostomy and Hepaticogastrostomy with Antegrade Stenting. J Clin Med 2022;11(6):1705:1-10.

Hayashi S, Takenaka M, Hosono M, Kogure H, Hasatani K, Suda T, Maruyama H, Matsunaga K, Ihara H, Yoshio T, Nagaike K, Yamada T, Yakushijin T, Takagi T, Tsumura H, Kurita A, Asai S, Ito Y, Kuwai T, Hori Y, Maetani I, Ikezawa K, Iwashita T, Matsumoto K, Fujisawa T, Nishida T. Diagnostic Reference Levels for Fluoroscopy-guided gastrointestinal procedures in Japan from the REX-GI Study: a nationwide multicentre prospective observational study. Lancet Reg Health West Pac 2022;20:100376:1-8.

Takenaka M, Hosono M, Hayashi S, Nishida T, Kudo M. How should radiation exposure be handled in fluoroscopy-guided endoscopic procedures in the field of gastroenterology? Digestive Endoscopy 2022;34(5):890-900.

Takenaka M, Rehani MM, Hosono M, Yamazaki T, Omoto S, Minaga K, Kamata K, Yamao K, Hayashi S, Nishida T, Kudo M. Comparison of Radiation Exposure between Endoscopic Ultrasound-Guided Hepaticogastrostomy and Hepaticogastrostomy with Antegrade Stenting. J Clin Med 2022;11(6):1705.

Takenaka M, Hosono M, Rehani MM, Chiba Y, Ishikawa R, Okamoto A, Yamazaki T, Nakai A, Omoto S, Minaga K, Kamata K, Yamao K, Hayashi S, Nishida T, Kudo M. Comparison of radiation exposure between endoscopic ultrasound-guided drainage and transpapillary drainage by endoscopic retrograde cholangiopancreatography for pancreatobiliary diseases. Digestive Endoscopy 2022;34(3):579-586.

山口一郎研究分担者

永倉健司, 山口一郎. 核医学治療における退出基準 . 日本放射線治療専門放射線技師認定機構機関誌 2022 ; 16(1) :83-93.

Yamaguchi I, Ozawa S. Irradiator issues: Source, dose, and waste management. Transfusion and Apheresis Science 2022;61(2):103407.

山口一郎. 日本医学放射線学会の診療用放射線の安全利用のための研修ビデオー医療放射線安全研修 2021 各論 02_正当化と最適化. 医療放射線防護 2022; (86) :97-98.

新井知大、小野孝二、若松和行、山口一郎、櫻田尚樹. 循環器内科医師における眼の水晶体の職業被ばくの評価ー法規制と運用に係る課題の抽出ー. 日本診療放射線技師会誌 2022 ; 69(834) :393-398

高橋健夫研究分担者

Kusunoki T, Hatanaka S, Hariu M, Kusano Y, Yoshida D, Katoh H, Shimbo M, Takahashi T. Evaluation of prediction and classification performances in different machine learning models for patient-specific quality assurance of head-and-neck VMAT plans. Med Phys 2022;49(1):727-741.

Mizuno N, Yamauchi R, Kawamori J, Itazawa T, Shimbo M, Nishimura K, Yamano T, Hatanaka S, Hariu M, Takahashi T. Evaluation of robustness in hybrid intensity-modulated radiation therapy plans generated by commercial software for automated breast planning. Sci Rep 2022;12(1):1418.

赤羽正章研究分担者

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

Akahane M, Yoshioka N, Kiryu S, Radiation Protection of the Eye Lens in Fluoroscopy-guided Interventional Procedures, Interventional Radiology 2022;7(2):44-48.

奥山智緒研究分担者

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.

Yamauchi H, Kagawa S, Kusano K, Ito M, Okuyama C. Visit-to-Visit Blood Pressure Variations and Hemodynamic Deterioration in Atherosclerotic Major Cerebral Artery Disease. J Stroke Cerebrovasc Dis 2022;31(1):106206.

東 達也研究分担者

Zhelev Z, Sumiyoshi A, Aoki I, Lazarova D, Vlaykova T, Higashi T, Bakalova R. Over-Reduced State of Mitochondria as a Trigger of " β -Oxidation Shuttle" in Cancer Cells. Cancers (Basel) 2022;14(4):871.

松原孝祐研究分担者

Kozuma K, Chikamori T, Hashimoto J, Honye J, Ikeda T, Ishiwata S, Kato M, Kondo H, Matsubara K, Matsumoto K, Matsumoto N, Motoyama S, Obunai K, Sakamoto H, Soejima K, Suzuki S, Abe K, Amano H, Hioki H, Iimori T, Kawai H, Kosuge H, Nakama T, Suzuki Y, Takeda K, Ueda A, Yamashita T, Hirao K, Kimura T, Nagai R, Nakamura M, Shimizu W, Tamaki N; Japanese Circulation Society Joint Working Group. JCS 2021 Guideline on Radiation Safety in Cardiology. Circ J 2022;86(7):1148-1203.