



Photo Wakana Fujisaki

Index

医療被ばくの最適化の重要性……………	北村 秀秋	1
医療現場における 放射線業務従事者の被ばく管理に思うこと ……………	佐藤 兼也・前田 紀子・田邊ともみ	6
[コラム] 65th Column 【小腸がん】……………	中川 恵一	11
[学生応援企画] 薬物動態解析によるホウ素中性子捕捉療法の高度化……	今野 皓太	12
[放射能・放射線単位の由来] 第6回 クーロンcoulomb : C ……………	高橋 正	17
<編集委員会からのお知らせ> 掲載希望記事募集のご案内……………		18
[サービス部門からのお願い] 払込取扱票がATMで使用できなかったら…ご確認ください！ ……		19



医療被ばくの最適化の重要性



北村 秀秋*



1. 医療法における診療用放射線に係る安全管理

(1) 法規制の背景

医療法において診療用放射線に係る安全管理は、患者さんの医療被ばくを防護することとなり、医療安全の体制を確保するために必要とされている。

厚生労働省の「医療放射線の適正管理に関する検討会」によって、医療被ばくの適正管理のあり方について議論された。議論の内容では、IVR (Interventional Radiology：画像下治療) やCT (Computed Tomography：コンピュータ断層撮影) などの一部の検査では、皮膚障害等の組織反応が発生する事例があること (図1)、CTや核医学検査では、複数回の検査で発がん等の確率的影響を懸念する線量を超える

放射線診療における被ばく線量 (確定的影響)

○ CT灌流画像検査、血管造影等の放射線を用いた手技によっては、皮膚の確定的影響が懸念されるしきい値を超えるおそれがある。

放射線診療における手技	吸収線量 (mGy)
	皮膚
脳血管塞栓術	160~6,600
肝動脈塞栓術	500
心臓IVR (PTCA)	100~35,000
経頸静脈肝内門脈静脈短絡術	400~1,700
胆道ステント	110
腎嚢形成術	110

(ICRP Publ.85改変)

確定的影響 (例)



3日間で冠動脈造影と2回の冠動脈形成術を受けた患者の21か月後の背部の写真。推定の蓄積線量は15,000~20,000mGy。(ICRP Publ. 85)



CT検査及び血管造影検査により、照射部位の一時的脱毛を生じた例。(Y Imanishi et al. Eur Radiol (2005) 15:41-46)

(第5回医療放射線の適正管理に関する検討会 資料)

図1 放射線診療における組織反応の事例

厚生労働省の当該検討会で示された事例である。

なお、本資料は第5回医療放射線の適正管理に関する検討会で示されたものである。

* Hideaki KITAMURA 国立国際医療研究センター病院 放射線診療部門 副診療放射線技師長

医療法施行規則第1条の11

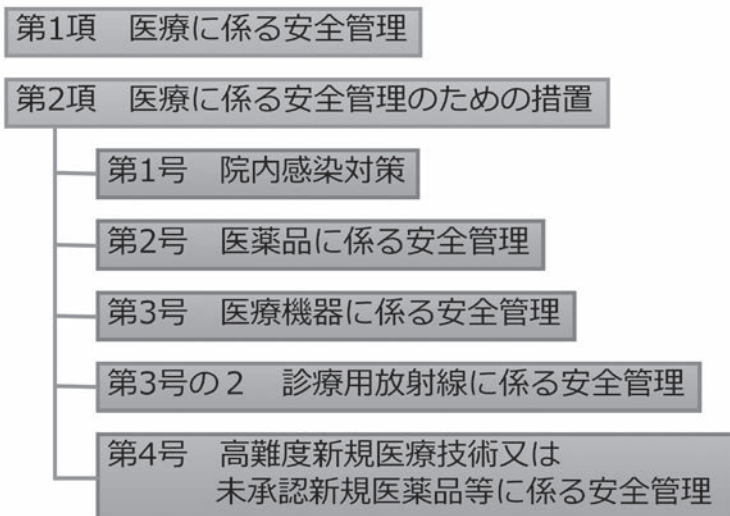


図2 法令における診療用放射線に係る安全管理の規定

医療法施行規則第1条の11第1項では医療安全のための体制の確保を規定しており、第2項では、医療安全の体制を確保するための措置として、院内感染対策、医薬品に係る安全管理、医療機器に係る安全管理、診療用放射線に係る安全管理等が規定されている。第3号の2の診療用放射線に係る安全管理の規定は、エックス線装置等^{※1}を備えている病院又は診療所が対象となる。

※1：エックス線装置、診療用高エネルギー放射線発生装置、診療用粒子線照射装置、診療用放射線照射装置、診療用放射線照射器具、放射性同位元素装備診療機器、診療用放射性同位元素、陽電子断層撮影診療用放射性同位元素

可能性があることが示された。これらの議論をうけて、患者さんの医療被ばくを適切に管理すべきではないかとなり、医療法施行規則において医療安全のための措置の1つとして規定され、2020年4月1日より施行されている（図2）。この規定では、放射線診療を有する医療機関が、院内の医療安全と同様に、患者さんの放射線の防護を病院全体で取り組んでいくことがよいと考える。

(2) 医療放射線安全管理責任者の設置

患者さんの医療被ばくを適切に管理するために、医療放射線安全管理責任者の設置が求められる。医療放射線安全管理責任者は、診療用放射線の安全利用のための指針の策定、放射線診療に従事する者に対する診療用放射線の安全利用のための研修の実施、放射線診療

を受ける者の当該放射線による被ばく線量の管理及び記録等を担う。さらに、策定された指針に基づき、医療機関で放射線診療による医療被ばくの防護が実施できていることを管理する。

(3) 診療用放射線の安全利用のための指針の策定

医療機関は、厚生労働省から発出された通知やガイドラインを基に以下の項目を含めた当該指針を策定し、患者さんの医療被ばくの防護を実施する。

- 診療用放射線の安全管理に関する基本的考え方
- 放射線診療に従事する者に対する診療用放射線の利用に係る安全な管理のための研修に関する基本方針
- 診療用放射線の安全利用を目的とした改善

のための方策に関する基本方針

- 放射線の過剰被ばくその他の放射線診療に関する有害事例等の事例発生時の対応に関する基本方針
- 医療従事者と放射線診療を受ける者との間の情報の共有に関する基本方針（患者等に対する当該方針の閲覧に関する事項を含む。）
また、各関係学会から当該指針のモデルなどが示されているため、参考にされると良いと考える。

(4) 放射線診療に従事する者に対する診療用放射線の安全利用のための研修の実施

放射線診療に従事する者に対し、以下の項目を含めて当該研修を1年度あたり1回以上実施する。

- 医療被ばくの基本的な考え方に関する事項
- 放射線診療の正当化に関する事項
- 医療被ばくの防護の最適化に関する事項
- 放射線の過剰被ばくその他の放射線診療に関する事例発生時の対応等に関する事項
- 放射線診療を受ける者への情報提供に関する事項

(5) 放射線診療を受ける者の当該放射線による被ばく線量の管理及び記録等

対象となる放射線診療は、CT検査、血管撮影検査、核医学検査であり、その他の放射線診療についても実施することがよい。

被ばく線量の管理は、関係学会の診断参考レベルを活用し、診療で使用している線量を検討することが求められる。被ばく線量の記録は、被ばく線量を後から適正に検証できるように記録しておく必要があり、診療録や照射録等で放射線診療を受けた患者さんが特定できる形で記録されている場合は、当該記録を線量記録として扱うことができる。



2. 線量管理及び線量記録



(1) 線量管理における診断参考レベルの活用

各放射線診療で使用している典型的な線量を調査し、診断参考レベルの値と比較する。診断参考レベルの値を超えている場合には、放射線診療で使用している線量の見直しを行う必要がある。

使用する線量を減少させると画質は低下す

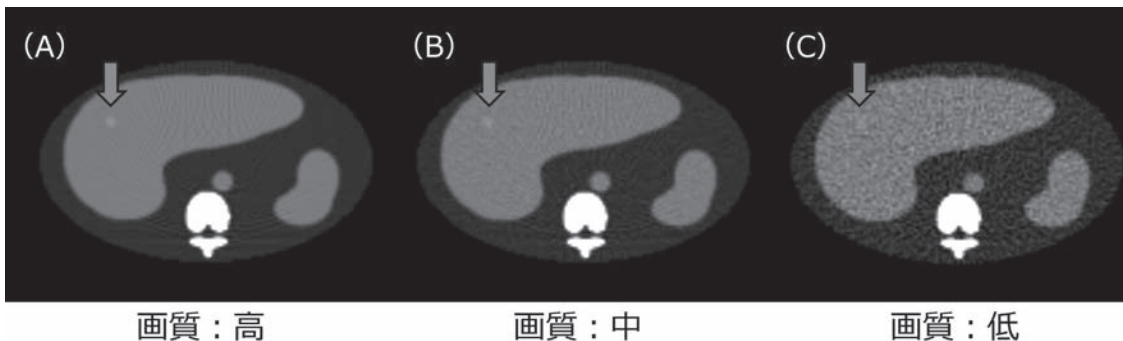


図3 画質と模擬腫瘍の描出能

(A)、(B)及び(C)の画像は、腹部のCT画像をシミュレーションしたものである。画質が高い画像(A)では模擬腫瘍(矢印)を認識しやすいが、画質が低い画像(C)では画像のザラツキが多くなり模擬腫瘍(矢印)を認識しにくくなっている。また、画質が高い画像(A)ではなくても、画質が中程度の画像(B)においても模擬腫瘍が認識できる。

る傾向にあり、線量を見直す際には最高の画質ではなく、また線量を減少しすぎるのではなく、放射線診療の診断に必要な十分な画質となることも重要である（図3）。放射線診療の画質は線量の他にスキャンの方法、画像処理等の要因も関係しているため、線量の見直しの際にはこれらの要因の調整により画質を可能な限り低下させずに診断に必要な画質を担保する工夫も検討することが良いと考える。

このように典型的な線量の評価や放射線診療の画質の評価には専門的な知識も必要となり、放射線診療の医療機器を取扱う診療放射線技師や画像診断を担う放射線科医師等の専門家の関与が重要であると考えられる。

線量又は画質の評価には線量計やファントムなどの機器等が必要になる放射線診療の装置もあるが、線量計やファントムなどの機器等が医療機関にない場合にも、放射線診療で使用している線量を評価することが求められるため、既存のソフト等による計算値に

より線量を求め、最適化を図ることが良いと考える。

(2) 線量管理システム

放射線診療を実施した際に患者さんの被ばく線量を記録し、後で検証するためにデータの解析や表示を行うことができる線量管理システムもある。

医療機器で患者さんを検査した場合に、検査で使用した線量等の情報が出力される装置も多くあり、線量等に関する情報が線量管理システム等へネットワークを通じて送信され、そのシステムで典型的な線量の算出、線量の解析、線量の検証等を簡単に実施することが可能となる（図4）。このような線量管理システムでは、医療機器や線量管理システムの設定により自動的に線量等に関する情報を取得することも可能となり、医療従事者の線量管理に関する負担を軽減することが可能となる。特に放射線診療を多く実施している医療機関では、線量管理システムにより線量管理等に

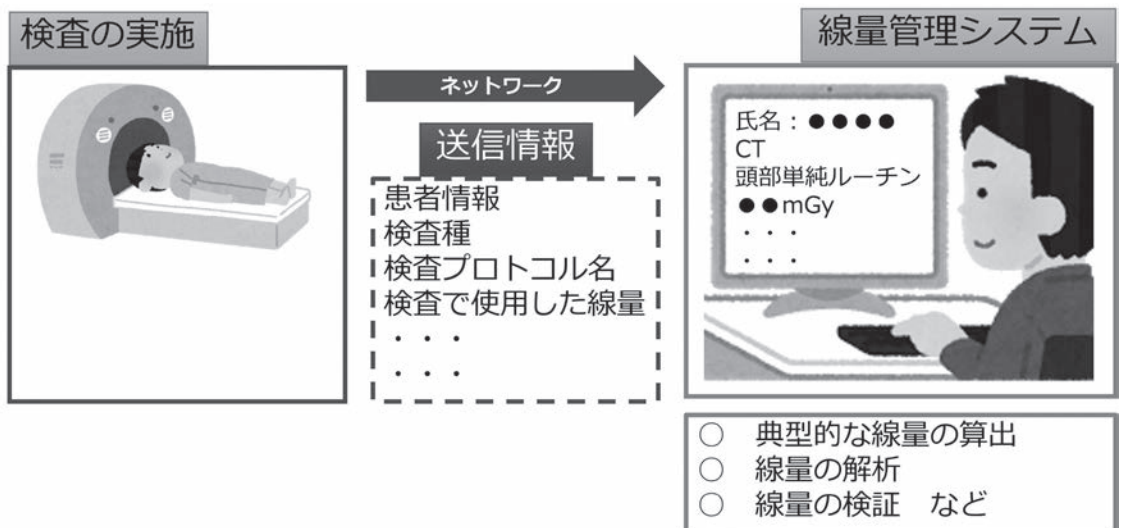


図4 線量管理システムにおける役割

線量管理システムでは、各検査の典型的な線量を算出し、日本の診断参考レベルとの比較も行えるものもある。また、使用している線量の分布を医療従事者に分かりやすくグラフ化するシステムもあり、線量の検証等に役に立つものと考えられる。

関する業務の効率化の観点において、システム導入が有効ではないかと考える。

(3) 線量の記録

CT検査、血管撮影検査、核医学検査では、線量の記録も求められているが、特に血管撮影装置を用いたIVRでは、皮膚障害等の組織反応の事例も報告されており、関係学会よりIVRに伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドラインが発出されている。IVRでの医療被ばくでは、皮膚障害を発生しうる線量を超える可能性もあり、当該ガイドラインで示された線量であった場合には、記録された線量を医療従事者間で共有し、患者さんへの説明、放射線の照射部位の観察、必要に応じて皮膚科への相談等の適切な対応が求められる。

(4) 患者への情報提供に関する事項

患者さんに医療被ばくに関する情報提供について、各医療機関で検討し指針に含めることが求められている。このため、各医療機関では患者さんに医療被ばくに関する情報を伝えることになるが、すべての放射線診療について一律に説明するのではなく、放射線診療に応じて説明する内容等を変えることが良いと考える。

また、患者さんから求めがあった場合には、医療被ばくについて心配されているものと考えられるため、しっかりと傾聴し求めに応じた説明を行うことが良いと考える。この時に被ばく線量の管理や記録をしっかりと実施していることは、患者さんにとって安心する要因の1つとなると考える。患者さんへの医療被ばくの情報共有において重要なことは、患者さんが納得し、安心して放射線診療を受けてもらうことであると考えている。



3. まとめ



線量の管理は、放射線による皮膚障害等の有害な組織反応を防止すること、診断に必要な画質を確保し発がん等の確率的影響のリスクを低減することを目的とすると考えられるが、放射線の被ばくは、患者さんにとって不安の1つになり得る。

放射線診療に係る安全管理をしっかりと行なっていくことで、これらの取り組みを患者さんにも理解してもらい、患者さんに安心して放射線診療を受けてもらうことも重要ではないかと考える。

参考資料

- 厚生労働省 第5回医療放射線の適正管理に関する検討会資料
- 医療法施行規則の一部を改正する省令の施行等について（厚生労働省医政局長通知 医政発0312第7号 平成31年3月12日）
- 診療用放射線の安全利用のための指針策定に関するガイドラインについて（厚生労働省医政局地域医療計画課長通知 医政地発1003第5号 令和元年10月3日）
- IVRに伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン、IVR等に伴う放射線皮膚障害とその防護対策検討会

著者プロフィール

1998年鈴鹿医療科学技術大学卒業。2007年首都大学東京大学院放射線学専攻修士課程修了。2009年同大学院放射線学専攻博士課程修了。1998年国立横浜東病院診療放射線技師。1999年国立栃木病院診療放射線技師。2002年国立がんセンター東病院診療放射線技師。2009年国立がん研究センター中央病院第二画像主任。2014年同病院核医学管理主任。2017年厚生労働省医政局地域医療計画課長補佐（併）医療放射線管理専門官。2019年独立行政法人国立病院機構横浜医療センター副診療放射線技師長。2021年国立研究開発法人国立国際医療研究センター病院副診療放射線技師長。

医療現場における 放射線業務従事者の被ばく管理に思うこと

佐藤 兼也*1・前田 紀子*2・田邊ともみ*3



【はじめに】

2018年（平成30年）に当院放射線部の技師長を拝命し、慣例として当院における放射線業務従事者のガラスバッジの管理を請け負うこととなりました。当時までの管理体制は、放射線部核医学検査担当の診療放射線技師や技師長がガラスバッジの配布や回収、さらには法令に基づいた健康診断等の準備を担っており、従事者へガラスバッジの適正な装着などを周知することまでは及んでいなかった印象がありました。

一方、我が国の方針として2020年（令和2年）4月1日から医療法施行規則一部改正により診療用放射線に係る安全管理体制に係る規制、および2021年（令和3年）4月1日から電離放射線障害防止規則改正により眼の水晶体を受ける等価線量限度の引き下げなど予定されていました。この時期は、ちょうど新型コロナウイルスのパンデミックと重なり、院内は感染対策一色となっていました。そのような風潮の中での法改正によるガラスバッジの適正管理体制作りは、院内コンセンサスを進めるうえで相当アウェイな状況でありましたが、当院での対応状況を振り返るとともに、今後について思うことを述べさせていただきます。

【従来の管理と法的管理】

当院でのガラスバッジ配布状況（不均等被ばく）は365人、そのうちリング配布者は64人、

ガラスバッジ配布者の基準	
【ガラスバッジ配布者】 365人 医師 全員 腫瘍放射線科医師の胸・腹部は中性子線用 NS 研修医 全員 放射線技師 全員 腫瘍放射線科技師の胸・腹部は中性子線用 NS 臨床工学士 全員 看護師 外来 放射線部・内視鏡部・手術部・救命センター 看護師 外来 腫瘍放射線科 胸・腹部は中性子線用 NS 看護師 外来 整形外科・外科・泌尿器 看護師 病棟 ICU・EICU 【リング配布者】 64人 医師 整形外科・循環器・放射線部・呼吸器・外科・消化器内科 技師 R1担当技師 看護師 放射線部	【水晶体線量計対象者】 26人 医師 循環器 医師 放射線 部長を除く 医師 消化器 部長・副部長を除く 医師 外科 部長を除く 前年度の水晶体の等価線量が10mSvを超えた方 年度中明らかに10mSvを超えると予想される方 放射線部配属の事務員 -配布・回収作業 -回収にはガラスバッジのQRコード使用 -未返却者にメールでお知らせ -装着率を上げるために 配布場所検封 ↓ 医局配布ではなく 透視室やカテナへ

図1 ガラスバッジ配布基準（当院）

水晶体線量計配布者は26人となっております（図1）。従来のガラスバッジの運用管理は、多くの医療施設で見受けられることですが、発注や配布なども放射線部内の特定の者が行っていました。これは病院という特性上、（特に医師の）年度内人事異動など秘匿性のある情報を取り扱うことがある、専門性・特殊性が求められる等の理由からであると考えられます。また、放射線業務従事者線量管理専用アプリケーション（ACEGEAR NEO）を種々の理由から十分に利用しきれておらず、業務量（時間）が費やされており、個人被ばく線量管理票（紙）の管理（配布等）も放射線部で行われていました。上記の観点からしても、病院経営上専任の診療放射線技師に人員を配するのは現実的ではないのが一般的と考えられます。

そのような状態に医療法改正や電離放射線障害防止規則改正に係る対応は、もはや放射線部のみで対応することが不可能なのは火を見るより明らかでありました。

*1 Kenya SATO 青森県立中央病院 放射線部 放射線診断指導監
 *2 Noriko MAEDA 〃 副技師長
 *3 Tomomi TABE 〃 診療放射線技師

【一時立ち入り者管理と実情】

一方で、放射線管理区域への立ち入り管理については、各施設とも様々な工夫（表計算ソフトの利用など）を行っているものと推察されます。一般的にはポケット線量計により計測して、その都度台帳記録や表計算ソフト入力等を行っています。これにもそれなりの作業時間を要します。

【管理業務のあり方とDX推進】

昨今の状況から、これらもいわゆるDigital Transformation（以下DX）を推進して、業務効率の向上を行うことが必要と考えています。そこで当院の事例を紹介させていただきます。

X線透視室や血管撮影室、手術場の外科用Imageなどに一時的に立ち入る者は院内各所で存在することから、それぞれの管理区域付近に、不均等被ばくも考慮して合計48本のポケット線量計を配備しました。ここまでは従来通りと思います。当院での新規性は立入者自らが読取りしてその値を院内のどこからでも電子カルテ端末を介して入力を可能としたことです。システム概要は図2のとおりです。

放射線管理区域一時立入者の線量管理をDX化した方法については、放射線部門システム上に「従事者線量管理」用Data Base（以下DB）を作成しました。立入日時、場所、2個分の線量計読み取り値、立入目的等必要項目の入力欄を設け、院内ポータルからWeb画面に対応した入力画面を起動できることとし、職員コードに連携して起動時の入力画面には立入者（入力者）、読み取り値を入力します。ポケット線量計（ALOKA社製MYDOSE mini）を2個装着して、不均等被ばく測定にも対応させました。また繁忙時に自部署でも入力可能なように、専用のメモ用紙もポケット線量計保管場所に整備しました（図3）。

これにより、従来転記作業を行っていたものが省略されることから、1ページあたり約20分の時間短縮につながりました。また、転記ミスもなくなり、ポケット線量計の配置管理運用も効率化されました。さらに、一時立ち入り者の線量情報の管理作業が場所を選ばず可能となり、管理の精度向上と省力化が促進されました（図4）。

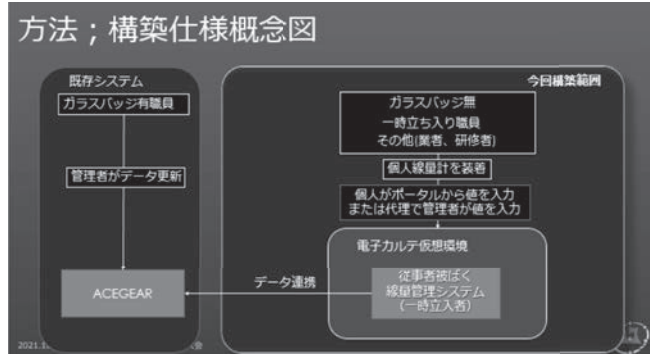


図2 一時立ち入り者線量管理システム概念図

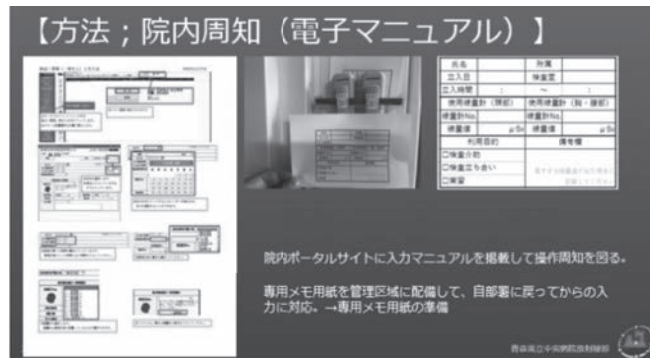


図3 院内周知用マニュアルと立入者用メモ用紙様式



図4 立入者リストとその線量情報一覧

【医療法改正と放射線業務従事者管理】

令和2年の医療法改正は、院内での放射線業務従事者の管理においてもインパクトがありました。この法改正においては、院内に医療被ばく安全管理体制として、「医療放射線安全管理責任者の指定」「指針の策定」「研修の実施」「被ばく線量の管理と記録」が求められるようになり、さらに医療機関では放射線診療において安全な環境を提供し、患者と医療従事者の被ばくを防護するための体制を整備することが求められるようになりました。

【当院での取り組み】

令和2年の医療法施行規則一部改正や令和3年の電離放射線障害防止規則改正（以下電離規則改正）への対応は、放射線部のみで一朝一夕に体制づくりを行うことは非常に困難であることから 令和元年7月から「医療被ばく安全管理体制に係る作業部会」を設置・開催し令和4年の電離規則改正に向けて組織づくりを進めてきました（図5）。

さらに当該部会の実務組織として、放射線部内に「被ばく防護班」を設置し、毎月課題の共有と解決に向けた活動を繰り返してきました。この被ばく防護班では、医療被ばく管理活動やプロテクター管理など、単一モダリティ、専門担当者みの活動では到底管理困難な課題について、医療被ばく安全管理責任者を含めた診療放射線技師のメンバーで活動を行ってきました。

結果的に院内体制としては、医療放射線安全管理委員会の構築・設置をすることができました。この安全管理委員会のメンバーには、

事務部門の人事を担当する総務課、職員健康支援課、機器整備を担当する管理課の課長級の職員や、衛生委員会の委員も加わりました。そして当該委員会を通して、院内での「医療被ばく」と「職業被ばく」の認識の整理および一貫した認識の共通化と意思決定の推進を図りました。

実務レベルでは、医療法施行規則の一部を改正する省令の施行等について「医政発0312第7号」に基づいた指針の策定等から始まり、眼の水晶体に受ける等価線量限度の改正に係る具体的事項等について「医政発1027第4号」に基づいた管理の方法などは、実に新型コロナ感染対策業務と並行した期間となりました。このように、「医療被ばく」と「職業被ばく」の管理がほぼ同時期に求められることが想定されていました。いずれも院内でのコンセンサスを得る必要があることから、医療法における医療放射線安全管理組織の立ち上げ時に設置した「医療被ばく安全管理委員会」を令和2年5月に発足し、この委員会が職業被ばく管理も管轄することとしました。これにより、医療放射線を取り扱う医療従事者（特に医師）と放射線管理区域の放射線業務従事者の両面に対して、状況と情報がリンクすることが可能となりました。この活動により、令和3年の眼の水晶体に受ける等価線量引き下げに対応するための活動に功を奏していると考えます。

具体的な実務レベルの活動内容としては、職業被ばく管理業務の役割分担として整理することができたと思います（図6）。具体的には、

- ・【総務課】 対象職種の入職者・退職者リストの共有、個人線量算定値管理票の発送・収受・共有。

- ・【職員健康支援課】 ガラスバッジの発注と停止・変更、個人線量算定値・測定値管理票保管、健康診断表と問診票の作成と配布、ハイリスク者の衛生委員会への報告、ハイリスク者にポータルメールでお知らせなど。

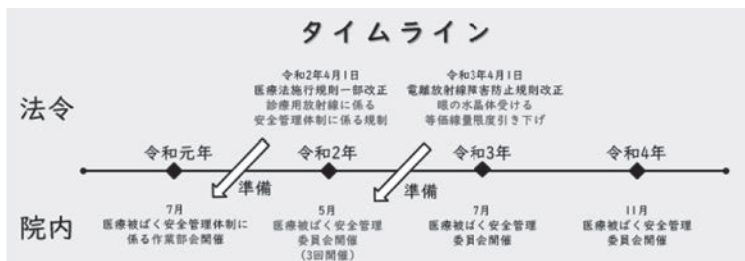


図5 法改正と当院体制づくりの変遷

従事者被ばく管理の役割分担		
作業内容	対応者	時期
対象職種の新入職員リスト	総務課	都度
対象職種の退職者リスト	総務課	都度
ガラスバッジ発注・停止変更	職員健康支援課	都度
個人線量算定値・測定値管理票保管	総務課・職員健康支援課	4か月おき
退職者依頼の個人線量算定値管理票出力	放射線部	依頼時
退職者依頼の個人線量算定値管理票発送(5年)	総務課	
新入職員個人線量算定値管理票提出依頼	総務課	都度
健康診断表とともに問診票作成配付	放射線部・職員健康支援課	5月・11月
電離放射線健康診断結果報告書作成	放射線部・職員健康支援課	10月・3月
健康診断結果取り込み	放射線部	
電離放射線健康診断個人票の作成	放射線部	3月
ガラスバッジ仕分け・配布・個人用報告書の配布	放射線部事務員	毎月
ガラスバッジ回収・発送	放射線部事務員	毎月
速報レポートチェック&リスト作成	放射線部	毎月
over doseリスト 衛生委員会報告	職員健康支援課	毎月
over dose者にメール(当院基準値)	職員健康支援課	毎月
測定結果の取り込み	放射線部	毎月
個人用報告書の確認	放射線部	毎月

図6 放射線業務従事者管理の役割分担と作業時期

- ・【放射線部】個人線量算定値管理票出力、(放射線関係)健康診断結果取込み、電離放射線健康診断個人票の作成、速報レポートのチェックとハイリスク者のピックアップ、測定結果の取込み、個人用報告書の確認など。

活動効果として、線量評価や対策の方向性を院内で共有することが可能となりました。このことは、病院全体の課題として捉えられるようになり、防護板の設置など速やかな被ばく低減対策が進むようになりました。

【組織を超えた連携】

繰り返しになりますが、医療施設における放射線業務従事者被ばく線量管理は単独セッションでは運用することが困難であるとの考えのもとから、施設内で連携した活動が必須となると考えます。当院の場合ですと、実務レベルの「医療被ばく防護班」の思い(課題)を施設全体の意思決定(解決につながる活動)につなげるには、各担当課や担当委員会がタイムリーに情報共有(課題共有)し、最高意思決定機関である「管理会議」に提示する必要があります(図7)。

このような体系を構築することにより、担当者の交代などがあっても持続可能な管理が達成できるものと考えます。

毎月の測定結果(個人用報告書)より、その値を評価するとともに、当院基準値を超え

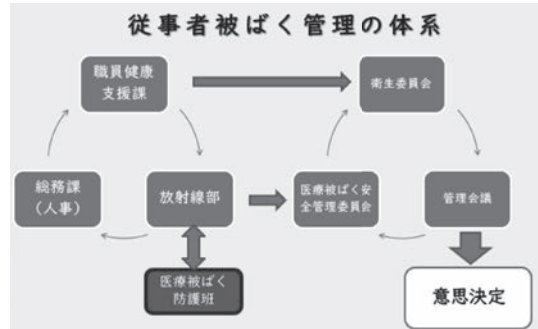


図7 放射線業務従事者被ばく管理の体系

ている従事者に対して、院内のポータルメールを活用して、本人および上職者(特に診療科部長)へメール送信を行っています。この際に、医療被ばく安全管理責任者、医療被ばく安全管理委員長、衛生委員長(病院長)にCCを入れてお知らせするとともに、病院組織としてリアルタイムに共有化するように努めています。この評価の際には、装着の不適正疑いの指摘や、眼の水晶体用線量計(DOSIRIS)を配布する必要性の評価および追加装着の決定、放射線防護具の適正使用支援活動も行っています。これら活動の結果、透視室への天吊り型放射線防護板の追加設置などが行われました。

また、眼の水晶体被ばく低減には防護メガネにも依存することが知られており、DOSIRISの装着方法について各個人へ直接説明するとともに、動画を作成して視聴可能な環境の整備も行いました。このような活動の結果、着実にガラスバッジの測定値よりDOSIRISの測定値が低下しており、眼の水晶体被ばくが低減されていることも確認できました。

ACEGEAR NEO等を活用して、毎月実効線量および眼の水晶体等価線量の当院基準値を上回る従事者をピックアップし、リスク管理を行っています。これらも体系的にヒアリングや防護支援に展開して、防護班で積極的に活動を進めて委員会報告などを体系化していければと思います。

これら全体の活動を通してPDCAサイクルを回せるようになることで、継続的な管理体制と放射線業務従事者の健康維持につながることを期待しております(図8)。

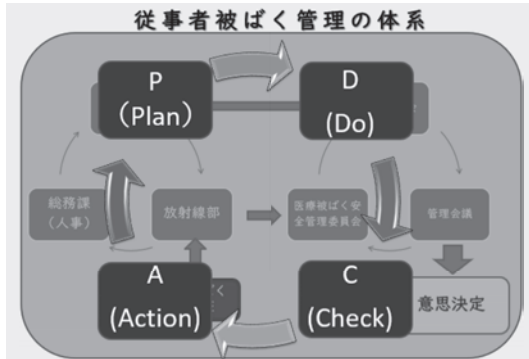


図8 意思決定後の運用を通して生じる課題など常にPDCAサイクルを回して発展させていく

【これまでの活動と課題】

令和4年～令和5年にかけて、厚生労働省委託事業の「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(RPMS)」においても、その活動と方向性は当院の活動と一致するものでした。

ガラスバッジの適正装着については、RPMSでも言われていたように、「診療放射線技師が配置されている管理区域では装着率が向上」しているようです。当院においても、診療放射線技師が配置されていない透視室の従事者は検出限界値(X)を示すことが知られており、(これは装着してないな?)と評価されることもあります。

このように医療現場における放射線業務従事者の被ばく管理は、ガラスバッジの適正装着から始まり、回収、測定結果の評価と配布、そして規定期間の積算評価とアクションまで、単独業務は物理的に不可能であり施設内全体での協力が不可欠であります。

また管理区域への一時立ち入り者の線量管理は、放射線部門システム(RIS)のデータベースに保管されています。施設内人事異動では、一時立ち入り者から放射線業務従事者に変更になることも想定されることなどから、これらのデータもACEGEAR NEOで一元的に管理できるようになることが望まれます。また、複数の医療施設で従事している者の統合管理(現状では当院での測定データのみの管理)ができる方法を構築し、従事者個人の積算値

として把握することが真の健康管理に必要と考えます(個人被ばく線量の測定機関が異なることも障壁)。

今後の課題としては、各現場の活動(測定・評価・結果)情報が的確にかつ効率的に共有され、従事者自身の被ばく低減意識の改善につなげることが必要と考えます。

【今後に期待すること】

令和2年の医療法施行規則一部改正から令和3年の電離則改正は、診療用放射線管理から放射線作業従事者の眼の水晶体等価線量限度の見直しまで、大幅な改正が進められてきている中で、医療現場の環境も大きく変容しております(IT化、AI普及など)。個人線量管理票(紙媒体)などは放射性同位元素等の規制に関する法律での規定では永久保存、電離放射線障害防止規則では原則30年間保存するように規定されています。これらを遵守するためには、保管のスペースや環境と人員が必要となります。昨今の国内災害状況や医療情報の進歩の観点(電子カルテやフィルムレス)からすると、医療環境における保管のあり方(電子保管等)も積極的に検討して異動やガラスバッジペンダーに依存しないデータ管理のあり方などを検討するべきと考えます。

【まとめ】

今回「医療現場における放射線業務従事者の被ばく管理に」について、当院の現状や私的に思うこと等を記載させていただきました。我が国が抱える課題として、人口減少や業務の効率化など、生産性を上げるための様々な工夫は避けて通ることはできないと考えます。今一度、職業被ばくの管理のあり方などを、一担当者、一部門で扱うのではなく、組織全体の課題として(管理者が確保すべき安全管理の体制(規則第1条の11)にもあるように)捉え、放射線業務従事者の健康管理と働き方改革の一環として従前主義にとらわれず推進していただけますことを期待して本稿を終えたいと思います。



中川 恵一

東京大学医学部附属病院

小腸がん

かつて、日本人のがんと言えば胃がんという時代がありました。たとえば、私が生まれた昭和35年、男性のがん死亡の6割近くが胃がんによるものでした。

しかし今、胃がんは減っています。胃がんの原因のほとんどを占める幼少期のピロリ菌感染が、冷蔵庫や上水道の普及などにより、大きく減っているからです。

もっとも、冷蔵庫が普及する前に生まれた世代の感染率は高く、80歳代の感染率は7割近くに上ります。昭和35年生まれで63歳の私の世代の感染率は約50%（私は陰性）。50歳では3割、40歳で2割、30歳で1割と低下し、20歳以下では5%程度にすぎません。

ピロリ菌の感染の有無は簡単な検査でわかりますので、一度確認するとよいと思います。陽性的場合、飲み薬で「除菌」が可能で、胃がんの発症リスクを下げることができます。

ただ、除菌したからといって、ピロリ菌による胃粘膜のダメージの履歴はリセットできません。胃がんのリスクはピロリ菌陰性の人より高くなりますから、胃がん検診は欠かせません。

今、胃がんにかわって、日本で患者数が最も多いのが大腸がんです。感染型・アジア型の胃がんと違って、大腸がんは肥満、運動不足、肉食、座りすぎなどがリスクを高める「欧米型」のがんの代表です。ちなみに、身長が高くなると大腸がんのリスクは高まります。大腸を構成する細胞の数が増えますから、がんになる「候補者」が増えるからでしょう。

胃がんから大腸がんへのトップ交代は、がんが社会と共に姿を変える病気であること

を示しています。

さて、胃と大腸にはさまれた小腸にはめったにがんはできません。胃がんの罹患率は日本人10万人あたり100名弱、大腸がんでは120名程度です。一方、米国のデータですが、小腸がんの罹患率は10万人あたり2名余りにすぎません。

小腸にがんが少ない理由を考えてみます。小腸の主な働きは栄養の吸収ですが、小腸は人体最大の「免疫器官」でもあり、免疫細胞のおよそ半分が小腸に集まっています。

小腸の内腔は口の中につながる、いわば「外界」です。食物と共に口から侵入したウイルスや病原菌を排除しながら栄養分だけを吸収するためには、免疫細胞による監視が欠かせません。この高い免疫機能が、がん細胞も未然に攻撃していると考えてよいと思います。

また、小腸の粘膜は新陳代謝が激しいことも、がんが少ない理由の一つでしょう。大腸では細胞の入れ替わりに1ヶ月を要しますが、小腸では24時間程度で新しい細胞に入れ替わります。がんが発生する前に細胞が死んでしまうこととなります。

なお、同じ大腸がんについても、左側と右側のがんでは治癒率に差があります。右側の腸がんは左側より治りにくいことが確認されています。

そもそも、発生学的にみても、大腸の右側と左側では臓器の作られ方が違っています。原始的な腸管は前腸、中腸、後腸の3つに分化します。このうち、前腸からは耳や喉、食道、胃などが作られます。中腸からは小腸や大腸の右側が、後腸からは大腸の左側が形成されます。

一言で「胃腸」と呼びますが、発がんという点では、十把一絡げにはできません。

薬物動態解析による ホウ素中性子捕捉療法の高度化

今野 皓太*

要 旨

ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) はホウ素原子が中性子線と反応した際に発生する二次粒子を用いた特殊な放射線治療である。治療に用いられる粒子は高い生物効果を持っており、その飛程は一般的な細胞の直径に満たないほど短い。これらの特徴から腫瘍に選択的に取り込まれるホウ素薬剤と組み合わせることで、正常組織への影響を抑えた粒子線治療が可能となる。この治療法は2020年6月に「切除不能な局所進行又は局所再発の頭頸部癌」に対して保険診療が開始されており、新たながん治療としてその関心が高まっている。

現在BNCTで用いられているホウ素薬剤BPA (Boronophenylalanine) はがん細胞に多く発現するL型アミノ酸トランスポーター1 (以下LAT1) を通して腫瘍に積極的に取り込まれるとされているが、その集積の程度は患者や腫瘍の種類によって様々である。そこで、BPAの腫瘍への蓄積を評価する方法としてBPAをPET核種である ^{18}F で放射化標識したFBPA-PET検査が行われており、事前にFBPAの生体内分布を調べることで正確な線量計算および治療計画の実施に役立てられている。

ところが、BNCTでは大量のBPAを持続投与する一方で、FBPA PET検査では少量のFBPAを急速に投与する。つまり、検査時と治療時では「化学形」「投与量」「投与速度」の3つの観点で異なる条件の投与が行われて

いることになる。そこで本研究では、この課題における「投与速度」の違いに着目し、薬物動態解析を通して正確なホウ素分布の推定に取り組んだ。

背 景

BNCTは、腫瘍内で中性子捕獲反応 $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ を発生させ、生成された二次粒子によってがん細胞を破壊する放射線治療である。治療の鍵となる ^{10}B は熱中性子を非常に効率よく吸収し、生体を構成する元素の中で最も反応性の高いとされる ^{14}N の約2,000倍の反応性を持っている。また、この反応によって発生する α 粒子およびリチウム原子核は高LET放射線に属しており、その飛程はそれぞれ9~10 μm 、4~5 μm と、一般的な細胞の直径に満たないほど小さい。したがって、腫瘍細胞に取り込まれた ^{10}B は中性子線を照射されることによって、周りの正常細胞へ影響を与えることなく線量を付与することができる。このようにBNCTは ^{10}B の腫瘍への局在を利用して被ばく低減を行っているため、投与するホウ素薬剤の生体内での振る舞いが重要となっている。今回は、BNCTで最も使用されているホウ素薬剤BPAを用いて動物実験を行った。

BPAは必須アミノ酸の一つであるフェニルアラニンの前駆体としたホウ素薬剤である。この薬剤は多くのがん細胞に発現するとされているLAT1を介して積極的に細胞内へと取

* Kota KONNO 東北大学 大学院 医工学研究科 渡部浩司教授研究室

り込まれることが知られているが^{1)、2)}、その集積の程度は患者や腫瘍の種類によって様々である。そこで、臨床現場ではBPAの腫瘍への蓄積を評価する方法として¹⁸F-FBPA PET検査が行われており、事前にFBPAの生体内分布を調べることで正確な線量計算および治療計画の実施に取り組んでいる。また、PET検査は他のモダリティと比較して定量性に優れており、検査で得られた各臓器のカウントを腫瘍や血液と比較することによって治療適応の判断材料としても扱われている。

しかし、¹⁸F-FBPA PET検査とBNCTで実施されるホウ素薬剤の投与条件は3つの観点で異なっており、正確なホウ素の分布を示すには至っていない。1つ目は「化学形」の違いである。PET検査では薬剤の分布を画像化するためにBPAに陽電子放出核種の¹⁸Fが標識されており、融点、水への溶解度などに違いがあると報告されている³⁾。2つ目は「投与量」の違いである。実際のBNCTでは照射2時間前からBPAが投与されており、総投与量は体重1kg当たり500mgとされている。一方でPET検査では放射性薬剤を取り扱う都合上、数μgしか投与することができない。3つ目は「投与速度」の違いである。BNCTではBPAの濃度を安定させるためにゆっくりとした持続投与を行っているが、PET検査では少量のFBPAを急速投与（ボーナス投与）している。本研究では薬物動態解析の技術を応用することで「投与速度」の違いを補正したホウ素分布の推定を行い、BNCTの課題の一つである線量計算の高精度化に取り組む。

方 法

◇PET検査

研究データの取得にあたって、医学、薬学、生物学で広く使用されるラット系統であるWisterラット12匹にPET検査を行った。はじめのラット6匹には検査時FBPAを急速投与し、残りの6匹には持続投与を行った。また、PET画像上で2匹のラットに投与不良

と思われる所見が見受けられたため、本研究ではそれら2匹のデータを除いたものを評価対象とした。

PET検査では麻酔で眠らせたラットに対して尾静脈にルートを確保し、Siemens社の小動物用PET/CT装置Inveonを用いて60分間のダイナミック撮像およびCTスキャンを行った。急速投与群には注射器を用いて手押しで投与を行い、持続投与群ではシリンジポンプを用いてホウ素薬剤を投与した。また、持続投与群ではチューブの内腔による投与タイミングのずれを考慮し、投与開始と同時に撮像が行われるよう調整をした。その後、得られたPET/CT画像上に、各臓器に対して楕円形状の関心領域 (ROI) を配置した。ROI, Region of Interestは腎臓、肝臓などの実質臓器に加えて骨や軟部組織に設けた。

◇推定画像の生成

急速投与群のPET画像を使用して持続投与群を模した推定画像を生成する。薬剤の投与速度の違いを考察するには薬物動態学の速度論的な考え方が有効であり、本研究ではSpectral解析法と呼ばれる手法を用いて推定を行うこととする。Spectral解析法は事前にコンパートメント数を決定することなく、動態解析を行う方法である。ここでは薬剤の投与方法を示す入力関数と得られたPET画像情報を使用して解析を行い、求められたパラメータを用いて他の入力関数で投与を行った場合の薬物動態を推定した。本研究ではPET解析支援ソフトウェアQTKを使用してSpectral解析法を適用した⁴⁾。

◇生成した画像の評価

得られた推定画像群を急速投与群や持続投与群と比較することによって推定効果を検証した。なお、評価対象は投与後1時間経過時の正常組織血液比 (NBR) を用いるものとし、以下の統計評価で用いられる各ROIの値はNBRを示すものとする。

まずは推定により意図しない影響が含まれていることを考慮し、Bland-Altman分析を行った。この分析法は同一被験者に対する2

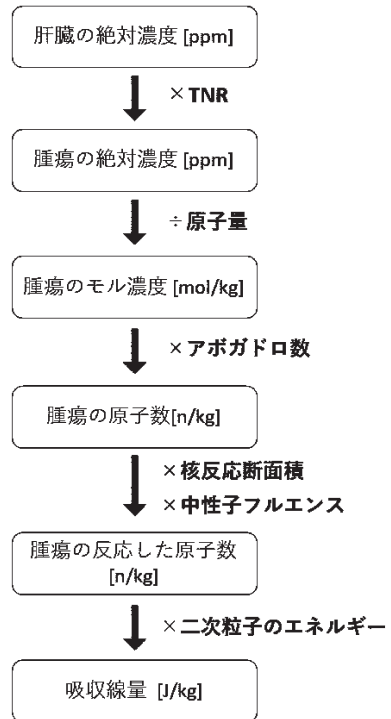
つの測定方法の一致性の評価に用いられ、臨床や研究上重大とされる系統誤差の存在を視覚的に確認することが可能となる。さらに系統誤差を構成している加算誤差と比例誤差に対してそれぞれ95%信頼区間推定、相関の有意性検定を行い、系統誤差の有無についてさらなる検証を行った。また、上記の分析では異なるROIを混在して評価しているため、各臓器のカウントに対して母平均の同等性の検定を実施した。なお、本検定では両側に対して有意水準5%の境界値を採用した。

◇追加実験

追加実験として、神経膠腫の一種であるC6ラットグリオーマを移植したマウスに対してラット同様の検査および推定を行い、腫瘍に付与される線量の変化を計算した。実際の線量計算では医療画像から3次元モデルを定義し、膨大な量の計算を行うことで結果を出力しているが、本実験では2つの条件を仮定することで簡易的にホウ素線量を導出する(図表1)。

1つ目の条件として、「肝臓の絶対ホウ素濃度が25ppmである」と仮定した。現在、治療直前に患者のホウ素濃度を測定する方法は採血のみであり、血液の絶対ホウ素濃度と腫瘍対血液カウント比(TBR, Tumor versus Blood count Ratio)を利用したホウ素分布が最も望ましいと考えられる。ただし、本実験で使ったマウスの血液ROIは小さく、計算するにあたって部分容積効果の影響が大きくなってしまふことが予想される。そこで、本計算では比較的大きなROIを持つ肝臓を対象に腫瘍対正常組織カウント比(TNR, Tumor versus Normal tissue count Ratio)を利用することで間接的に腫瘍のホウ素濃度を定義した。

次に2つ目の条件として「ROI内の中性子フルエンスを 1.0×10^{12} [n/cm²]である」と仮定した。本来の線量評価および治療計画では3次元モデルの情報を用いて深部ほど中性子フルエンスが低下するように定義して計算がなされているが、本計算では単純化するため中性子の透過性を考慮せず全てのROIに対し



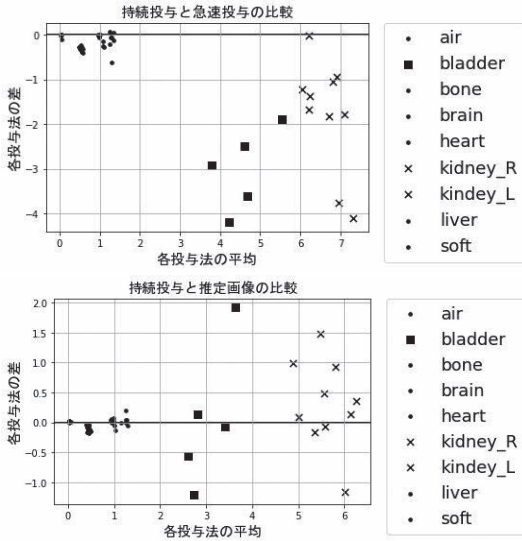
図表1 線量計算の手順を示した図。本文で述べた2つの仮定条件以外の値は実測値または一般的な定数を用いている。原子量: 10 [g/mol]、アボガドロ数: 6.02×10^{23} [n/mol]、核反応断面積: 3,830 [barn]、 α 線のエネルギー: 1.47 [MeV]、⁷Liのエネルギー: 0.84 [MeV]

て一定の中性子フルエンスで照射が行われたと仮定して計算を行った。

結果

◇系統誤差の視覚評価

Bland-Altman分析の結果を示す(図表2、図表3)。Bland-Altman分析の縦軸は2つの測定値の差を示していることから、縦軸の値が0に近いほど測定結果が一致していることを示す。また、横軸は2つの測定値の平均を示しており、横軸の値が大きいほど集積の多いROIであると言える。これらを踏まえると急速投与群と持続投与群の比較において集積の多い腎臓や膀胱は縦軸の値が0以下に偏在していることから、急速投与群には加算誤差が発生していると考えられる。また、推定画



図表 2 & 3 Bland-Altman 分析の結果を示したグラフ(図表 2：推定前、図表 3：推定後)。実質臓器でない骨や軟部組織、血液はそれぞれ左大腿骨、左大腿直筋、左心室内部を想定して ROI を配置している。

像群と持続投与群の組み合わせでは腎臓、膀胱ともに横軸対称な分布へと改善していることから、加算誤差の低減が示唆された。なお、両者の組み合わせにおいて扇状の分布が観察できることから、比例誤差は補正前後共に含まれていると予想される。さらに95%信頼区間推定の結果から、推定前の組み合わせで検出された加算誤差が推定後の組み合わせにお

いて検出できなかったため、加算誤差の低減は統計的に有意であることが確認できた。

◇母平均の同等性の検討

続いて各ROIにおける母平均の同等性の検定結果を示す(図表 4)。臓器ごとの評価においても推定による良好な改善が観察されており、補正前は膀胱、脳、右腎、左腎、骨、軟部組織の6つのROIにおいて母平均に差があったものの、補正後は膀胱、左腎、右腎、骨の4つのROIにおいて有意な改善が見られた。依然として母平均に差が見られる脳、軟部組織のROIにおいても補正前後で統計量が0に近づいていることから有意ではないものの一定の改善効果があると言える。

◇追加実験：ハウ素線量の試算

最後に担癌マウスにおけるハウ素線量の試算の結果を示す(図表 5)。持続投与群を基準とした場合、急速投与群は最大73%の過大評価が発生している。一方で推定画像群は全ての個体において±30%以内の範囲内に収まっており、推定結果が良好であることを示している。また、急速投与群と推定画像群の差は最小で0.4 [Gy]であり、CBE (Compound Biological Effectiveness, 化合物生物学的効果)として3.8を乗算することで等価線量は1.52 [Gy-Eq]に相当することが分かった。ここでCBEとはX線とそれ以外の放射線の生物効果の違いを補正するための係数であり、BNCTの原理を踏

		膀胱	脳	右腎	左腎	肝臓	骨	心臓	軟部組織
持続投与群-急速投与群	統計量	-6.01	-9.93	-3.19	-3.91	-0.67	-3.49	-0.81	-10.91
	境界値	2.45	2.45	2.45	2.45	2.37	2.57	2.31	2.37
持続投与群-推定画像群	統計量	0.09	-5.62	1.11	0.52	1.3	-0.42	1.31	-4.17
	境界値	2.57	2.37	2.31	2.37	2.31	2.31	2.37	2.31

図表 4 各ROIにおける母平均の同等性の検定の結果を示す表。得られた統計量の絶対値が境界値より大きい場合は「母平均に差がある」と言えるため、推定後の組み合わせにおいて統計量が境界値の範囲内に収まっていることが重要な点である。

物理線量 [Gy]	持続投与	急速投与	推定画像
マウス 1	1.66	2.87	173%
マウス 2	1.74	2.38	137%
マウス 3	1.28	2	156%
マウス 4	0.97	1.35	139%
マウス 5	1.33	1.58	119%

ハウ素線量の計算結果を示す。推定によるハウ素線量の変化は0.4~0.7Gy程度であった。また、急速投与群と推定画像群には持続投与群と比較した際の割合も併記しており、その平均値はそれぞれ145%と108.8%となっている。

図表 5

またRBE (Relative Biological Effectiveness, 生物学的効果比) 値である。なお、本計算で利用したCBE値は神経膠肉腫9L-gliosarcomaを移植されたラットを対象とした先行研究で得られた値を利用している⁵⁾。

考 察

◇推定結果について

Bland-Altman分析と各ROIの母平均の同等性の検定で得られた結果は加算誤差の低減を示す良好なものであり、実験に使用したPET解析支援ソフトQTKによる薬物動態解析は治療時の投与方法を模したホウ素分布を推定することが可能であることが分かった。

◇線量評価について

BNCTにおける線量評価は治療に用いられる二次粒子だけでなく照射される中性子線や混入する γ 線による影響も考慮する必要がある。そのためBNCTでは複数の放射線の影響を加味した総合的な線量評価が求められており、これによって線量計算の複雑化や計算量の増加につながっている。

今回導出したホウ素線量はBNCTの腫瘍選択性を担う線量であり、それ以外の線量は全て腫瘍と正常組織に対して一様に付与されると考えられている。試算で得られた等価線量の差1.52 [Gy-Eq] は通常の放射線治療1回分に相当することからその影響は無視することができず、急速投与群の測定値をそのまま使用することによる処方線量の過大評価は腫瘍細胞の残存、および再発のリスクになり得ると考えられる。

結 論

BNCTとFBPA PET検査における投与速度の違いについてPET解析支援ソフトQTKを用いてホウ素分布推定を行い、その推定能力を評価した。ラットを用いた統計評価では加算誤差の有意な低減に基づく良好な推定結果を得ることができた。また、担癌マウスを

用いた線量評価では腫瘍に与える線量が過大評価されていることを具体的な数値を持って指摘した。FBPA-PET検査を利用したBNCTの線量評価は治療効果および副作用の予測に重要であることから、今後もさらなる検討が必要であると考えられる。

謝 辞

本研究にご協力いただいた大阪医科薬科大学 薬学部 金井泰和先生、大阪大学 大学院医学系研究科 渡部直史先生、大阪公立大学 研究推進機構 切畑光統先生、韓国原子力委学院 Kim kyeong Min先生、および直接ご指導をいただいた東北大学 サイクロトロンラジオアイソトープセンター 渡部浩司先生に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) L-Amino acid transporter-1 and boronophenylalanine-based boron neutron capture therapy of human brain tumors. Allah Detta, Garth S Cruickshank (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19244126/>)
- 2) Boronophenylalanine, a boron delivery agent for boron neutron capture therapy, is transported by ATB0+, LAT1 and LAT2 Printip Wongthai, Kohei Hagiwara, Yurika Miyoshi, Pattama Wiriyasermkul, Ling Wei, Ryuichi Ohgaki, Itsuro Kato, Kenji Hamase, Shushi Nagamori, Yoshikatsu Kanai (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25580517/>)
- 3) Comparison of the pharmacokinetics between L-BPA and L-FBPA using the same administration dose and protocol: a validation study for the theranostic approach using [^{18}F] - L-FBPA positron emission tomography in boron neutron capture therapy. Tsubasa Watanabe, Yoshihide Hattori, Youichiro Ohta, Miki Ishimura, Yosuke Nakagawa, Yu Sanada, Hiroki Tanaka, Satoshi Fukutani, Shin-ichiro Masunaga, Masahiro Hiraoka, Koji Ono, Minoru Suzuki and Mitsunori Kirihata (<https://bmccancer.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12885-016-2913-x>)
- 4) PET解析支援ソフトQTK のダウンロードページ (<http://www.rim.cyric.tohoku.ac.jp/software/qtq/qtq.html>)
- 5) Response of Normal Tissues to Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) with ^{10}B Borocaptate Sodium (BSH) and ^{10}B -Paraboronophenylalanine (BPA) Hiroshi Fukuda (<https://www.mdpi.com/2073-4409/10/11/2883>)

**放射能・放射線
単位の由来**

高橋 正

第 6 回

クーロン coulomb : C

★放射線に関する分野の大きな功績を称え、その名前が単位等に用いられている科学者の人物像や功績を紹介するシリーズ企画★

照射線量の単位 Ckg^{-1} に含まれるクーロン (C) は電荷のSI単位である。2018年の第26回国際度量衡総会 (CGPM) で、新しいSI単位系では七つの定義定数に基づいて、七つの基本単位を定義することが決まった。電荷の量の最小単位である電気素量(素電荷) e はこの定義定数の一つで、 $1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}C$ と定められた。電磁気学において電気素量は最も重要な物理量なので、単位の基準にこれを定義値とすることは理に適っている。基本単位のアンペア (A) や秒 (s) とは $1C = 1A \cdot s$ の関係がある。

単位の名称のクーロンは、シャルル・オーギュスタン・クーロン (Charles Augustin Coulomb : 1736-1806) のエポニムであり、その名はクーロンの法則でもなじみ深い。クーロンの業績は応用力学および電気・磁気分野にわたっている。

クーロンはフランス南西部のアングレームで生まれた。父母ともに裕福な家系で、少年時代に家族はパリに移り住んだ。1760年2月にベルギーに近い町メジエールにある工兵学校に入学、軍事工学を学び1761年11月に卒業した。工兵団の技師官として20年間城塞の構造設計や土壌力学に携わった。最初の赴任地はブレストだったが、1764年2月に西インド諸島のマルティニークに転属し、城塞の建設に従事した。滞在中に罹った風土病のため、生涯にわたって健康はすぐれなかったという。

1772年にフランスに戻り、このころから本務の傍ら応用力学に関する研究を始め、1773年には工学的な問題に数学(変分法)を応用した論文を科学アカデミーに提出した。1777年方位磁針に関する研究で科学アカデミーの懸賞論文賞を受賞、1781年には摩擦に関する論文で再び受賞し、科学アカデミーの会員となった。この後パリに住むようになり、研究も物理学へと変っていった。1789年にフランス革命が始まると、科学アカデミーが廃止されるなどしばらくの間混乱が続いた。1791年に陸軍中佐の階級で退役し、ロワール川沿いの町ブロワ近郊に移り、研究を続けた。混乱が収まってくるとパリに戻り、国立アカデミーの会長(1801年)や教育長官(1802年)としてリセ制度(フランスの後期中等教育制度)の

構築に貢献した。

クーロンの仕事は土木関係だったので摩擦に興味を持っていた。摩擦に関する研究はクーロンの業績の一つとして有名で、動摩擦力と垂直抗力の間に比例関係があることを見つけた(アンモントン=クーロンの法則)。クーロンは、荷重、材料、潤滑など複雑な影響についてまで、研究を広げた。

1777年の受賞論文の研究の際にクーロンはねじれ応力に興味をもつようになり、1784年には精密なねじれ秤を完成させた。ねじれ秤は絹糸や毛髪を支点とし、糸を中心とするねじれの角度が力に比例することをを使う斬新な天秤で、微小な力を測定できた。これを生かしてクーロンは静電気力と距離の関係を調べた。二つの球の間にはたらく同符号の電荷による斥力の大きさが距離の二乗に反比例することを、1785年に発表した。異符号の電荷の間にはたらく引力についてはねじれ振り子を使って測定し、逆二乗則を明らかにした(クーロンの法則)。クーロンは磁荷についても逆二乗則が成りたつことを見つけている。電流から磁場を求める法則で有名なビオ (J. P. Biot : 1774-1862) は、フランスにおける真の物理学のルネッサンスは、クーロンとボルダ (J. C. Borda : 1733-1799、精度が高い計測器を開発した技術者・物理学者、軍人で、彼の経緯儀を使って子午線測量が行なわれた)のおかげであると、賛辞を贈っている。

SI単位系の源流は1875年のメートル条約にあり、メートル法の制定はフランス革命の産物ともいえる事業である。1789年の三部会で度量衡の統一が提案され、翌年の国民議会の承認を経て科学アカデミーに作業が委任された。クーロンは科学アカデミーの委員として長さの単位の候補だった1秒振子の測定に関わった。委員会の混乱や困難な測定を経て、1799年メートル法が発効した。電磁気学の単位系は多様化が進んだが、SI単位系につながることになる実用単位系が1881年の第1回国際電気学会で制定された。このとき電荷の単位としてクーロンが定められた。更にメートル法発効から161年後の第11回CGPMにおいて、クーロンの名は電荷のSI単位となった。クーロンの名はまた、フランスの科学の功績者としてエッフェル塔に刻まれている。

<編集委員会からのお知らせ>

掲載希望記事募集のご案内



- ▶いつもFBNewsをご愛読いただきありがとうございます。
- ▶小誌は、放射線作業や管理に携わる皆さまへの連絡や情報を提供する「放射線安全管理総合情報誌」として毎月1回発行しています。時には大きく幅を広げて記事を取り上げるなどしながら、少しでも皆さま方の「お役に立つ情報」「ご興味を持っていただける話題」「好奇心を満たせるような記事」を取り上げるよう努めているところです。今後も引き続きご愛読をよろしくお願いいたします。
- ▶さてこの度、一層のご愛顧を頂戴したく、皆さま方から掲載希望記事について広く募集をすることといたしました。専用のメール受付窓口を設置いたしましたので是非ご利用ください。また、できれば希望理由も添えていただければ幸いです。ご送信をお待ち申し上げます。

- ▶<掲載希望記事専用メール受付窓口>

ctc-fbnews@c-technol.co.jp (-はハイフンです。)



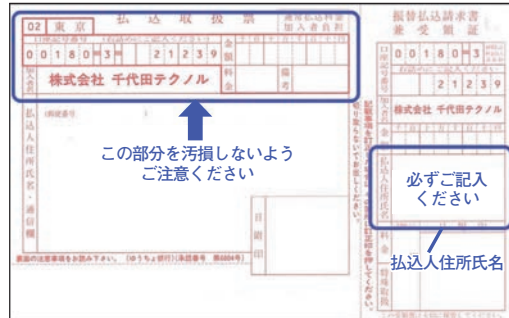
(件名) 記事掲載希望
 (本文) (掲載希望記事 (必須)) :
 (掲載希望理由) :
 (お 名 前) :
 (所 属) :
 (役 職) :
 (電 話 番 号) :
 (Eメールアドレス) :

サービス部門からのお願い

払込取扱票がATMで使用できなかつたら…ご確認ください！

平素より弊社のガラスバッジサービスをご利用くださりまして誠にありがとうございます。郵便局のATMで払込取扱票が受け付けられないときは、次のような原因が考えられます。

- ・払込取扱票の赤太枠に汚損、破損、折り曲げなどがある
(ATMは赤太枠の情報を読み取ります)
- ・払込取扱票を裏返し、または斜めに投入した
- ・振替払込請求書兼受領書に払込人住所氏名の記入がない
- ・静電気など、ATM自体の一時的な問題が発生している



折り曲げはまっすぐに伸ばし、再度ATMに投入してください。

汚損や破損につきましては、窓口での振込を行うか、[ガラスバッジ専用フリーダイヤル 0120-506-997](https://www.c-technol.co.jp/)にて払込取扱票の再発行をご依頼ください。

編集後記

- 今月号の巻頭は、国立国際医療研究センターの北村秀秋様に「医療被ばくの最適化の重要性」と題してご執筆いただきました。2020年4月1日より改正施行された医療法施行規則において診療用放射線に係る安全管理が規定されました。必要となる対応について項目別にご説明をいただきました。医療機関では既にご対応されていることは存じますが、改めてご確認いただくと再認識出来るのではないのでしょうか。
- 青森県立中央病院の佐藤様・前田様・田邊様に「医療現場における放射線業務従事者の被ばく管理に思うこと」と題してご執筆いただきました。院内で実施されてきた一時立ち入り者の管理方法のDX化、医療法施行規則の改正に伴う安全管理体制の構築等、院内の取り組みと今後、期待されていることをご紹介します。他の事業所のご参考になる内容と思えました。
- 中川先生のコラムは65回目を迎えました。過去の男性のがん死亡率の6割を占めていた胃がんが現在少なくなっている。その理由を知り「なるほど!」と思えました。毎回、勉強させていただいております。
- 放射線・放射能関連の研究をされている学生の皆様に応援したいという想いから開始した学生応援企画の第2弾、東北大学の今野様より研究内容をご紹介します。様々な業種・職種の方々にご覧いただけましたら幸いです。
- 高橋正先生コラム、単位に使用されている人物紹介はクーロンです。クーロンが果たしてきた功績を改めて確認することが出来、勉強になりました。
- 私は長年スギ・ヒノキの花粉症で苦しんでいる一人です。本号が発行された頃には症状が軽くなっていることを期待しております。(H.T)

FBNews No.569

発行日/2024年5月1日

発行人/井上任

編集委員/小山重成 小口靖弘 中村尚司 野村貴美 古田悦子 青山伸 福田達也 藤森昭彦
篠崎和佳子 高橋英典 東元周平 廣田盛一 丸山百合子 山口義樹

発行所/株式会社千代田テクノル

所在地/〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル

電話/03-3252-2390 FAX/03-5297-3887

<https://www.c-technol.co.jp/>

印刷/株式会社テクノサポートシステム

—禁無断転載— 定価400円(本体364円)