



## シリーズ：医療現場での放射線管理

# 第1回 医用X線CT装置使用に対する作業環境管理と医療被ばく・職業被ばくの管理



松浦 龍太郎

内閣府（原子力委員会）が2015年度に実施した放射線利用の経済規模に関する調査によると、工業利用（51%）が最も多いものの2005年から若干減少しているのに対し、医療・医学利用（44%）は2005年から大幅に増加していることが報告されている。

医療では、放射線は一般撮影、CT、核医学検査、放射線治療等の利用が拡大しており、医療機器等の安全管理や診断・治療にともなう医療被ばく低減等の面でより一層の放射線の安全利用が求められている。

RI施設と大学病院の両方を持つ大学も多いが、医療資格を持たない者が病院で放射線管理に携わることはなく、病院での放射線管理の実際を知る機会はあまりない。

そのため、病院での放射線管理の現状を知ることは放射線取扱主任者にとって新たな知見となりうる。

そこで今回、医療での放射線管理の実際について知るべく、3名の専門家の先生にCTでの安全管理（第1回）、内用療法での安全管理（第2回）、PETでの安全管理（第3回）について解説いただく予定である。

（放射線安全取扱部会 広報専門委員会）

## 1. 医療におけるX線CT装置の利用

日本国内における病院・診療所に設置されているX線CT装置の設置台数は、平成29年に厚生労働省が実施した医療施設（静態・動態）調査・病院報告の概況にある医療施設調査、診療等の状況における報告にまとめられている。X線CT装置に関連がある項目を抜粋したものが表1である。現在主流とされているマルチスライスCTの保有台数は11,107台にもものぼり、平成20年報告から約2倍の台数となり、急速に普及が広まっていることを示している<sup>1)</sup>。またOECD Health Statistics 2015によれば、人口100万人あたりのCT保有台数が日本は101.3台で、2位以下のオーストラリア53.7台、米国43.5台と世界的にみても飛び抜けて多い。

本邦でCTが広く普及したのは、撮影時間の短縮や画質の向上といった技術面、診療報酬を含めた経済面といった理由が挙げられるが、最も大きな理由として疾患の診断においてCT検査が重要な役割を果たしていることが大きい。CT検査の役割は、画

像診断による病気の早期発見、CT装置を使用した透視下での治療、CT画像を用いた放射線治療における治療計画、PETやSPECTといった他の装置の画像との重ね合わせ等多岐にわたる。ただし、その結果として医療行為による患者のX線被ばく（医療被ばく）が増加し、健康被害について懸念されている。そのため、近年では医療被ばくに関する放射線管理が重要な課題となっている。

X線CT装置の放射線管理は、医療法施行規則において、①X線装置等を備える際の届出の義務、②X線装置等の防護基準・X線装置使用室等の構造基準、③管理者の義務、④濃度限度・線量限度等の項目について規定されている。それに加え、実際の臨床における運用管理では、ガントリーや寝台といったハード面、撮影された画像の画質について行う必要がある。今回は、主に放射線に関連する事項について解説する。

表1 一般病院及び診療所のX線CT装置保有数

年	施設	検査等 (台)			放射線治療 (台)
		マルチスライス CT	その他の CT	PETCT	位置決め装置 CTシミュレーター
2008年	一般病院	4,450	2,671	194	記載なし
	一般診療所	1,510	3,369	73	
2017年	一般病院	7,099	678	391	778
	一般診療所	4,008	1,774	107	

平成20年(2008),平成29年(2017)医療施設(静態・動態)調査・病院報告の概況,診療等の状況中の表より改変して作成

## 2. 作業環境測定

X線CT装置が設置されている検査室はX線診療室と見なされる。医療施設におけるX線診療室では、医療法施行規則、電離放射線障害防止規則等により、管理区域境界等の放射線に対する線量限度が規定されている。図1にX線診療室に対する線量限度を示す。線量限度を満たしているか確認、判断する手段として、検査室画壁外側への漏洩線量測定を行っている。漏洩線量は管理区域等境界における空間線量のことであるが、後述する検査室内における空間線量分布の測定と混同してしまうため、取って名称を使用しているものである。

また、Interventional Radiology (IVR) のようにX線CT装置を用いて透視しながら治療する診療室や患者の保持、固定等で医療従事者が検査室に頻りに立ち入る施設においては、散乱線による被ばくを考慮するために、漏洩線量と合わせて診療室内の空間線量分布について測定を行った方が良い。

### 2.1 漏洩線量の測定

漏洩線量の測定法は、日本画像医療システム工業会規格におけるX線診療室の管理区域漏洩線量測定マニュアルに準拠して説明する。漏洩線量の測定は、①X線診療室に新しくX線装置を設置したとき、②X線診療室のX線装置を入れ替えたとき、③X線装置及びX線診療室の構造設備を変更したとき、及び④6月を超えない期間ごとに行い、記録を5年間保持しなければならない。

次に、測定方法について解説する。測定に使用するサーベイメータは、エネルギー特性が良好な電離

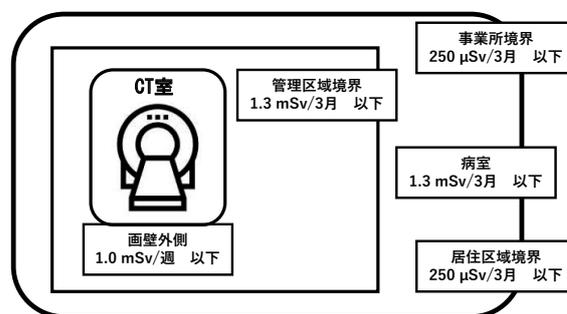


図1 管理区域等の線量限度

箱式サーベイメータが最も適している。また、線量測定ではX線の使用方式によって線量率で測定するのか積算線量で測定するのかに分かれる。X線CT装置等のように撮影時間が短い場合は積算線量測定を行うことが推奨されている。散乱線を発生させるために、キャリブレーションで使用するファントム(性能評価等で使用する円柱状のもの)を寝台の上に設置し、ファントムの中心が視野の中心となるように寝台の高さを調整する。X線の照射条件は管電圧120 kV、100~600 mAs、撮影スライス厚は使用装置の最大スライス厚が推奨されている。ただし、照射条件については、設置している施設により機種や使用条件が異なるため、各施設が使用しているプロトコルのうち最大の線量が照射されるものを選択する。

漏洩線量の測定場所については、管理区域境界外側の画壁等にサーベイメータを向けて測定する。画壁測定の際、サーベイメータは床から1mの高さとする。防護扉周囲及び召し合わせ部分、観察窓の取付部分、ケーブルピット、換気扇、その他開口部等は床からの高さを問わず、入念に測定しなければな

$$H_{EE} = 0.08H_a + 0.44H_b + 0.45H_c + 0.03H_m$$

$H_{EE}$  : 外部被ばくによる実効線量

$H_a$  : 頭・頸部における1cm線量当量

$H_b$  : 胸・上腕部における1cm線量当量

$H_c$  : 腹・大腿部における1cm線量当量

$H_m$  : 上記のうち外部被ばくによる実効線量が最大となるおそれのある部位における1cm線量当量

\* 胸・上腕部及び腹・大腿部を覆う防護衣を着用した場合

$$H_{EE} = 0.11H_a + 0.89H_b$$

図2 不均等被ばくの算出方法

らない。積算線量測定であるため測定回数は測定箇所ごとに3回程照射し、積算値を記録する。積算値に対する線量限度の評価は、測定値をX線管回転数で割り最大漏洩線量を求める。そして、3か月における検査数とX線管回転数の平均値を算出する。最終的に、最大漏洩線量と平均したX線管回転数と検査数のすべてを乗算した値と線量限度を比較して線量超過がないか確認するものである。

## 2.2 空間線量の測定

空間線量分布の測定は、介助者の外部被ばくやIVR-CT等の透視下で治療を行う際の医療従事者の外部被ばく防護の一助となる。

測定方法については、被写体は散乱線測定用水ファントム(JIS-Z4915)あるいは厚さ20cmのアクリルファントムをガントリー中心に配置する。線量計は電離箱(面積線量計)あるいは電離箱式サーベイメータを使用し、連続照射を行うことから線量率を測定することとなる。幾何学的な測定箇所はガントリーを中心に同心円状に30~50cm間隔、あるいは格子状に30~50cm間隔にて、床面から高さ100cmと150cmの位置にて測定を行う。

実際に測定した施設からの報告によれば、ガントリー近傍が最も線量率が高く、距離が離れるにつれ減少している<sup>2)</sup>。また、ガントリー側面は装置自体によってX線が遮蔽されているために低値となっている。よって、診療室内において散乱線からの外部被ばくを防止するためには、距離をとり、適切に遮蔽物を配置し、やむを得ない場合にはガントリー側面に退避することも1つの方策である。

## 3. 放射線被ばく

放射線被ばくは、診療行為によって被ばくを受ける患者、診療室において医療行為に従事する医療従事者や患者の介助者について発生する。前者が医療被ばくであり直接線の影響が多く、後者は職業被ばくであり散乱線の影響が主となる。

### 3.1 医療被ばくの評価

CT装置はX線の照射方法が特異的で、360度方向から連続的にX線を照射しながらテーブルが移動することによって断層撮影を行っている。CT装置の被ばく線量の評価は多くの指標があるので、後述にまとめる。基本的にはシングルスキャン時の線量プロファイルを基本として、それを撮影範囲やX線のビーム幅を加味して積分するイメージとなる。

まず、CTDI(CT Dose Index)であるが、線積分線量をシングルスキャン1回で再構成される断層数と単位長さ1cm当たりに換算した値として定義されている。しかし、臨床においてはスキンスピードやX線ビーム幅、頭部と体幹部といった部位に対応させる指標として、 $CTDI_{vol}$ が主として用いられている。DLP(Dose Length Product)はスキャン範囲全体の目安となる線量であり、マルチスライス撮影時の線量プロファイル下の面積となる。MSAD(Multiple Scan Average Dose)は臨床のCT撮影に即したものであり、設定スライス厚に対し、任意のテーブル移動間隔で複数回のスキャンを行った際の線量表示である。SSDE(Size-Specific Dose Estimates)は被検者の体格を考慮したCTの線量指標である<sup>3)</sup>。

表2 X線CT検査における診断参考レベル（成人）

検査部位	CTDI <sub>vol</sub> (mGy)	DLP (mGy・cm)
頭部単純撮影	85	1350
胸部単純撮影	15	550
胸部～骨盤単純撮影	18	1300
上腹部～骨盤単純撮影	20	1000
肝臓造影ダイナミック	15	1800
冠動脈造影撮影	90	1400

最新の国内実態調査結果に基づく診断参考レベルの設定（平成27年6月7日）の表より抜粋，改変して作成

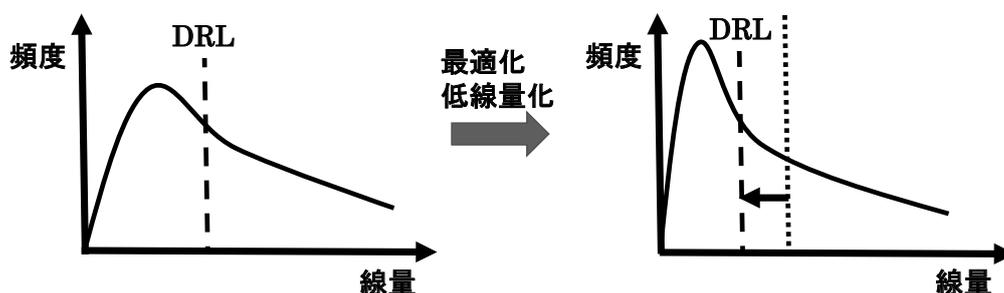


図3 DRLの概念図

### 3.2 医療従事者における職業被ばくの評価

医療従事者の職業被ばくにおいては、X線CT装置の設置・使用状況によって測定法が異なる。通常のX線診療室において業務を行っている場合は、均等被ばくによる評価となる。均等被ばくは、個人被ばく線量計を胸部又は腹部に装着して測定する。

X線CT装置を使用した透視下での業務に従事する場合は、不均等被ばくによる評価となる。個人被ばく線量計は防護衣の内側と防護衣外側の頸部付近、必要に応じてリングバッジ等を装着して測定する。不均等被ばくの計算法を図2に示す。なお、各項の係数はICRP Publ.60及び「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）の部位別荷重係数より算定されたものである。

## 4. 医療被ばくの管理

医療被ばくの増加に伴い、医療法の改正が検討され、診療用放射線に係る安全管理体制並びに診療用放射性同位元素及び陽電子断層撮影診療用放射性同位元素の取扱いに関し、医療法施行規則の一部を改

正する省令（平成31年厚生労働省令第21号、平成31年3月11日に公布）において、診療用放射線に係る安全管理体制に関する規定が令和2年4月1日に施行されている。新たに規定されている項目は、①診療用放射線の安全利用のための指針の策定、②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、③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その他の診療用放射線の安全利用のための方策の実施、となっており、X線CT装置もこの規定に該当する。特に被ばく線量管理と記録について、解説する。

### 4.1 診断参考レベル

診断参考レベル（Diagnostic Reference Level: DRL）は放射線防護の最適化のために医療被ばく研究情報ネットワーク（Japan Network for Research and Information on Medical Exposures: J-RIME）による国内実態調査に基づく線量の指標である。外部被ばくによる確率的影響を考慮したものであり、確定的影響については対象としていない。なお、X線CT検査におけるDRLは、集計した線量分布の75パーセンタイルを求めて切りの良い数値に丸めるという原

則により設定されている。X線CT検査におけるDRLを表2に示す。

DRLはあくまでも1つの指標である。各医療施設によって、X線CT装置の機種や使用しているプロトコル、目的としている用途が異なるため、必ずしもDRLの値にしなければならないということではない。また、患者の体格によっても照射する線量が変動してしまうので注意が必要である。加えて、X線CT検査における医療被ばくはCTDI<sub>vol</sub>又はDLPによって記載されており、各臓器に付与する実効線量ではない点に注意が必要である。今後、国内の医療施設において医療被ばくの低減が進んだ場合、再度調査を行った上で新たな診断参考レベルを設定しなければならない。つまり、DRLはある一定の期間ごとに更新されるべきものである(図3)。

#### 4.2 医療被ばく線量の記録

線量記録については、関連学会等の策定したガイドライン等を参考に、当該診療を受ける患者の被ばく線量を「適正に検証できる様式を用いて行うこと」とされている。様式は各医療機関に委ねられているが、管理責任者が定期的に被ばく線量の検証を行いやすいように、また、患者からの医療被ばくに対する問い合わせに対応するために、患者あるいはモダリティ(医用画像撮影装置)ごとに線量記録をまとめておくことが望ましい。院内ネットワークを構築している施設において被ばく線量を収集する方法は、①撮影装置と放射線情報システム(Radiology Information Systems: RIS)を接続する、②DICOM(Digital Imaging and Communications in Medicine)画像から取得する、③DICOM規格を用いて取得する、といった手法がある<sup>4)</sup>。大規模な医療機関であれば企業が販売しているソフトウェアを導入し、ネットワークベース上で一元管理を行うことも可能である。しかし、導入・運営経費や診療の規模によって、診療所等では紙ベースで対応している施設もあり、すべての医療機関において足並みを揃えることは困難である。なお、線量記録の保管期間は診療録の保管期間(5年間)に準ずる。

### 5. 臨床業務での注意点

臨床業務で注意しなければならないことは、不必



図4 管理区域の標識

要な被ばくを防止することである。前述したDRLを著しく超える線量を患者に対して照射しないことは当然のことであるが、操作ミスによる再撮影をすることが無いようにしなければならない。また、検査室の扉に管理区域の表示(図4)をしているが、検査中に別の患者が入室する事例もあるため、近年では検査中は患者が入室する扉を施錠する施設が増えている。

始業時のキャリブレーション等でX線を照射している際に、清掃員や他の医療従事者が入室するといった事故も発生している。X線照射中はその旨が明確に伝わるように扉に明示して、むやみに入内することが無いようにするといった処置が必要である。診療放射線技師の操作ミスによって看護師や医師が検査室内に取り残された状態で被ばくしてしまう事例もある。このような事故を防ぐためにも、CT装置の操作マニュアルを作成することや、担当者の教育を行う等の対応が必要である。

#### 参考文献

- 1) 平成29年(2017)医療施設(静態・動態)調査・病院報告の概況 <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/iryosd/17/dl/02sisetu29-3.pdf>
- 2) 志村浩孝, 石屋博樹 他, CT透視下IVR時の空間線量分布測定, 日本放射線技師会誌, 38(2004)
- 3) 市川勝弘, 村松禎久 編, 標準X線CT画像計測, 198-266(2018)
- 4) 川真田実, 坂下直洋, 他, 5.被ばく線量情報を管理する上での現状と体系的な取り組み【大阪府立成人病センター】, インナービジョン, 31(12), 45-47(2016)

(岡山大学大学院保健学研究科)