

「放射線治療における被ばく線量を考える」

IGRTの線量測定及び管理技術

福島県立医科大学附属病院 放射線部 宮岡 裕一(Miyaoka Yuichi)

【はじめに】

近年、画像誘導放射線治療(IGRT)の普及に伴い、IGRTに使用する撮影線量の管理に対しても関心が高まっている。診断領域では診断参考レベル(DRL)の公表に伴い、被ばく線量管理に対する意識が急速に高まった。放射線治療において、DRLは設定されていないが、患者単位で線量管理が求められている現状を鑑みると、今後、放射線治療においても線量管理が求められる可能性は十分に考えられる。米国医学物理学会のタスクグループレポート180(AAPM TG180)においては、日本国内で導入されている主要な装置におけるIGRTの被ばく線量の概算が公開されているが、詳細な測定方法については明記されていない。また同レポート内では、IGRTの撮影線量が標的線量の5%を超えると予測される場合、撮影線量を総線量の一部として考慮すべきと明記されている。撮影条件も施設により様々であるため、自施設でIGRTの際にどの程度被ばくさせているか把握しておくことは重要である。MVを用いたIGRTについては治療時に用いるビームに近い治療用の線量計や計画装置を用いて計算を行う事ができるが、kVに関しては計画装置に登録されているビームデータとエネルギーが異なるため別途測定を行う必要があるため、kVを用いたIGRTの線量測定の概要をまとめる。

【kV-2Dの測定】

kV-2D撮影の測定方法は、一般撮影の入射表面線量の測定方法に準じて行われる。入射表面線量の測定は、アイソセンターに電離箱線量計を設置し空中で線量測定を行い(Fig.1)、測定値に対し、後方散乱係数、皮膚吸収線量変換係数、距離の逆二乗補正を乗じて求めることができる。後方散乱係数と皮膚吸収線量変換係数は装置固有の実効エネルギーにより変化する係数であるため、半価層の測定が必要となる。半価層の測定は管球にアルミ板を重ねて測定を行う(Fig.2)。この時、アルミ板の重さにより管球に幾何学的なズレが生じないように十分配慮することが重要である。また半価層の測定に一般的に用いられるアルミ板はJIS規格ではアルミ純度99.8%以上、厚さ精度±1%以内が推奨されている。しかし、アルミの純度に関しては、ホームセンターで取り扱われているアルミ板を用いても大きな問題は無いと考える。これは、仮に半価層の測定に1.0 mm変化が生じた場合でも、最終的な入射表面線量に与える影響は2%程度であり、AAPM TG180で許容される20%の不確かさに十分収まるためである。後方散乱係数は半価層と照射野サイズより求めることのできるグラフが日本放射線技術学会から(Fig.3)、皮膚吸収線量変換係数はAAPM TG61より提示されているため(Fig.4)、実際に算出する場合には参考にと簡便に求められる。

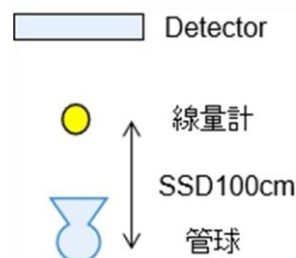


Fig.1 空中線量測定



Fig.2 半価層測定

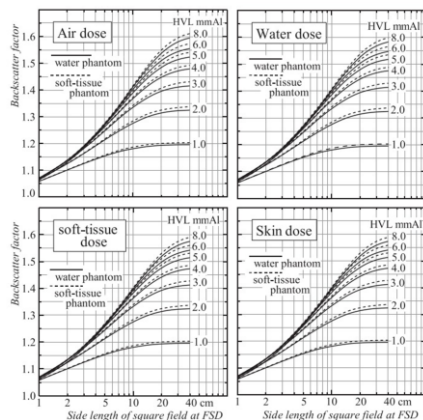


Fig.3 後方散乱係数算出法

Al 半価層と平均質量エネルギー吸収係数比

First HVL mm AL	$[(\bar{\mu}_{en}/\rho)_{air}^w]$
2.0	1.018
3.0	1.021
4.0	1.025
5.0	1.029
6.0	1.034
8.0	1.045

Fig.4 皮膚吸収線量変換係数

【kV-CBCTの測定】

kV-CBCTの測定は診断用CTと同様にCTDvolが指標とされているが、撮影中に寝台が動かない場合、CTDIvolはCTDIwと同義となるためCTDIwの算出が最終目標となる。測定方法はCTDIファントムとCTDI測定用である体軸方向に10 cm長の電離箱線量計を用いて行う。CTDIファントムには中心部に1点、辺縁部に4点の電離箱線量計を挿入できる穴があり(Fig.5)、CTDIwはそれぞれの測定値に重みづけを行い算出する(1)。

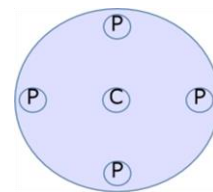


Fig.5 CTDIファントムの断面図

$$CTDI_w = \frac{1}{3}CTDI_{center} + \frac{2}{3}CTDI_{peripheral} \dots\dots\dots(1)$$

ただし、 $CTDI_{center}$ はCTDIファントムのC点のCTDI値、 $CTDI_{peripheral}$ は4つのP点のCTDI値の平均とする。

CTDIファントムは頭部用の直径16 cm、体幹部用の32 cmのファントムがあるため、用途に応じて使い分ける必要がある。CTDIの定義は厚さ1 cmの断層像を得る線量とされている。CTDI測定用の線量計は10 cmの長さを計測するため、計測値を測定したビーム幅(cm)で除する必要がある(2)。

$$CTDI = \frac{1}{n \cdot T} \int_{-\infty}^{+\infty} D(z) dz \dots\dots\dots(2)$$

ただし、式(2)はビーム幅40 mm以下の場合にのみ適用が可能である。

CTDIファントムは2種類とも体軸長は15 cmである。しかし通常放射線治療で用いるCBCTの体軸方向のビームの長さは16 cm以上ある場合も多いため、散乱体が足りず過小評価につながる事も提言されている。その為、2018年のJIS規格では40 mm以上のビーム幅のCTDIを求める際には、20 mm程度のビーム幅をリファレンスとし、空中線量の比で乗ずる計算式が公表されている(3)。

$$CTDI_{100} = \int_{-50\text{ mm}}^{+50\text{ mm}} \frac{D_{Ref}(z)}{(N \times T)_{Ref}} dz \times \frac{CTDI_{free\ air, N \times T}}{CTDI_{free\ air, Ref}} \dots\dots\dots(3)$$

ただし、 $D_{Ref}(z) \div (N \times T)_{Ref}$ はCTDIファントム中における20 mm以下のビーム幅での測定値をビーム幅(cm)で除した値、 $CTDI_{free\ air, N \times T}$ は任意の40 mm以上のビーム幅のCTDI値、 $CTDI_{free\ air, Ref}$ は20 mm以下のビーム幅のCTDI値である。

この算出式が公表される以前の装置と、以後の装置ではCTDIの算出方法が異なる可能性があるため、比較の際は注意を要する。CTDIの算出式も随時見直されているため、自身で行った測定値と装置の表示値を比較する場合は、どのような算出式を用いたか?空中で測定したのか?寝台上で測定したのか?等を確認する必要がある。また20 mm程度の細いビーム幅のCBCTで測定を行う場合には、ブレードの開口幅のキャリブレーションを行い、ImageJ等を用いてビーム幅が設定値と大きく異なっていないかの確認も重要となる。

【結語】

AAPM TG142において、年に1回程度の測定を行い基準値の比較を行う事が推奨されている。また管球交換やOBIシステムのバージョンアップ等、出力変動が予想される場合も測定を行い、基準値と照らし合わせることも装置管理の観点から重要であると考ええる。近年では、QAツールも充実しており、線量測定と半価層測定が同時に行える機器や、20 mm長のCTDI用电離箱線量計等も販売されている。これらのツールを用いる事により測定作業を簡便にすることができるが、一般的な測定法と大きな相違が無いことは事前に確認しておくべきである。まずは、自施設でIGRTの線量測定を行い、装置の表示値と比較し確認することが、装置及び線量管理の面で重要と考える。

【参考文献・図書】

- 1) Amerinan Association of Physicists in Medicine Report No.61 - kilovoltage X-ray dosimetry:formalisms and applications. Medical Physics.2001;28:868-893

- 2) American Association of Physicists in Medicine Report No.142 - Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators. Medical Physics.2009;36:4197-4212
- 3) American Association of Physicists in Medicine Report No.180 - Image Guidance Doses Delivered During Radiotherapy: Quantification, Management, and Reduction. Medical Physics.2018;45:e84-e99
- 4) 加藤 秀起. 微分後方散乱係数を用いた診断X線の後方散乱係数算出法. 日本放射線技術学会雑誌.2001;57(12):1503-1510.
- 5) 松原孝祐. X線CTミニレクチャー. 医学物理.2016;36(1):66.
- 6) IEC 61223-3-5:2018 .医用画像部門における品質維持の評価及び日常試験方法-第3-5部:受け入れ試験及び普遍性試験-X線CT装置.2018
- 7) 市川勝弘、村松禎久、大瀬俊一、他. 標準X線CT画像計測. 日本放射線技術学会監修. オーム社.2009:218-251
- 8) 市川勝弘、石田隆行.放射線技術学スキルUPシリーズ標準デジタルX線画像計測. 日本放射線技術学会監修 オーム社.2010:84-87
- 9) 谷正司、秋田和彦、井上裕之、他.放射線治療かたろう会
IGRT-QA/QC Working Group Report Supplement-Imaging Dose -.2016:1-14