

RESEARCH GROUP REPORT

治療線量の統一及びその精度の向上

研究グループ代表者

平岡 武

DOSIMETRY QUALITY ASSURANCE FOR RADIOTHERAPY PHYSICS

Takeshi HIRAOKA

Key Words: Dosimetry, Dose Evaluation, Quality Assurance, Traceability, Beam Calibration

研究グループ構成員（順不同）

京都医療技術短期大学	西台 武弘
千葉県がんセンター	佐方 周防
鈴鹿医療科学技術大学	森 剛彦
東京都立保健科学大学	入船 寅二
東京大学医学部	青木 幸昌
名古屋大学医療技術短期大学	小幡 康範
愛知県総合保健センター	木村 千明
千代田テクノル	都丸 禎三
京都大学医学部	中田 学
東京女子医科大学	平林 久枝
奈良県立医科大学	吉村 均
東京都立保健科学大学	齊藤 秀敏
名古屋大学医療技術短期大学	田伏 勝義
北里大学医療衛生学部	川島 勝弘

研究背景と目的

放射線の照射技術の進歩や改善に伴って、質の高い放射線治療が益々重要な課題となってきた。リニアックを用いたナロービームによる定位放射線照射や、長い間使われたコバルトによるHDRに取って代わる線源として¹⁹²Irによる密封小線源治療など、新しいモダリティが登場することによる治療システムの高度化が進められている。しかし新しい技術である故に、それらに対応した充分の

精度で線量を評価するまでに至っていない状態にある。

一方、長い間行われてきた実際の外部放射線治療における各種線量の定義やその評価法については不統一で、いまだ議論しなければならない問題を残していた。最近、ICRUはICRU Report 50によって、新しく各種体積や線量を定義し、勧告を提出した。これらの定義、概念を普及させ、それらを放射線治療に確実に採用することにより、我が国の放射線治療における線量を質的保証し、治療

の成績を向上させることができる。

したがって、放射線治療線量の全国施設の統一と線量評価精度の向上を図り、各施設間での治療結果に関するデータベースの信頼性を高めることを主な目標として活動を行ってきた。

方 法

線量統一グループは、放射線治療の線量評価に関わる現状における問題点として (1) 小照射野の線量評価 (平岡 武), (2) 密封小線源出力の標準測定法 (佐方周防), (3) 線量評価データベース (西台武弘), (4) 不均質組織の線量評価 (森 剛彦) のサブグループを設けそれぞれの活動を行ってきた。これら全ての研究は進展段階にあるが、(4)を除き線量統一に関する報告書やプロトコルの発刊に向けての現状を報告する。

研究 成果

[小照射野の線量評価]

我が国でもリニアックを用いた定位放射線照射が頻繁に行われる様になってきた。日本医学放射線物理学会の測定委員会では「極小照射野の線量測定マニュアル」を刊行し、標準となる測定法の指針としているが、十分なデータが不足している関係から、小型検出器を用いた測定に関する問題で色々と混乱を来たしている現状にある。より実際の測定方法を詳しく記述した、マニュアルの改訂作業に取り掛かった。編集の基本精神としては、如何に正確に線量評価を行うかに最も重点を置いている。内容は、小照射野の線質特性、測定に用いる検出器の特性 (電離箱、シリコン半導体検出器、ダイヤモンド検出器、シンチレーション検出器、TLD、フィルム)、TPRの測定、OCRの測定、照射野係数の測定、絶対測定と相対測定、などの標準測定法を中心に評価した実測データ類を加える。

定位放射線照射を対象としたナロービーム (以下NBと略記) の照射法では、精度 (線量評価、患者データの取得、治療計画、患者設定と固定、など) が最も重要な課題となる。したがって、線量測定の観点からも常に線量評価精度を念頭に置いた測定を行わないと、単に小さな検出器を用い

ると言った考えでは、思わぬ間違いや精度の悪い測定に陥ることになる。正確な線量評価を行うためには、放射線の線質と、線量測定を行う検出器の特性に関して十分理解しなければならない。

1. 放射線の線質

ブロードビームと比較してNBのデータは極めて限られていて、また測定が困難な場合が多い。モンテカルロ計算は線量評価のための一つの有力な手段であり、特に線質の分布評価には有効なデータを提供する。例えば6MVに対するNBでの線質は20 cmの深部ではピークに対して10 %ほど光子や2次電子の平均エネルギーが高くなる。

2. 線量測定

NBの放射線治療に関する線量測定では、(1) 標的基準線量を評価するための絶対測定と、(2) TPR, OCR, 照射野係数と言った相対測定がある。現在、電離箱、シリコン半導体検出器、ダイヤモンド検出器、シンチレーション検出器、TLD、フィルム、などが用いられている。これらの測定で常に問題となるのが検出器の大きさである。次に掲げる測定法及び注意点が重要となる。

2. 1 絶対測定

絶対測定には測定精度、安定性やリアルタイムでの線量評価が必要で、電離箱を中心にダイヤモンド検出器、シリコン半導体検出器を用いる。但し、電離箱は0.05 ml以下の体積のものが望ましいが、極端に小さいものには測定感度の点で問題がある。リファレンス線量計との相互比較を常に行う必要があり、照射野はユーザビームの5 cm×5 cmが適当である。

2. 2 TPR

TLD、フィルムを除いて前記検出器の利用が可能である。測定器間のエネルギー依存性による線量分布の違いは20 cm程度までの深さであれば±1 %以下であり、測定に於ては検出器の駆動装置の位置精度とビーム中心軸への設定精度がより重要となる。

2. 3 OCR

検出器の大きさの影響が最も顕著に現れるのは横方向の分布測定であり、フィルム法が

最も便利である。1 mm直径以下のシリコン半導体検出器も有効であるが、電離箱は推奨出来ない。

2. 4 照射野係数

基準点吸収線量は照射野係数を介して決定されるため、同じ横方向の相対線量分布であるOCRと異なり、極めて重要な係数である。直径1 mm程度のシリコン半導体検出器と組み合わせて評価するのが望ましい。

以上全ての測定に於て、複数検出器による検出器の大きさを考慮した最適な線量確認を行うことが重要である。シリコン半導体検出器は金属被覆でないもので測定する。現状に於て電離箱による絶対測定では、電離空洞による擾乱補正がどの程度であるか確証がない。したがって、モンテカルロによる計算がNBの線量評価に有効な役割を果たす。

[外部放射線治療における線量の評価と統一]

ICRUは、ICRU Report 50 (1993, 3) によって、外部放射線治療における3次元放射線治療計画はじめ治療技術に即した新しい各種体積と線量の定義を報告した。我々は、このICRU報告を基本としたわが国における基準として、「外部放射線治療における線量の評価と統一」冊子を出版した¹⁾。以下にその内容を概説する。

1. 体積

放射線治療においては、各種体積を計測し、表示することが基本となる。放射線治療計画に先立ち、まず肉眼的腫瘍体積 (GTV) および臨床標的体積 (CTV) を明示し、放射線治療計画中に計画標的体積 (PTV) およびリスク臓器を明示する。さらに放射線治療計画の結果として、治療体積、照射体積を明示する。

GTVとは、悪性の病巣であることが明らかに識別でき、触れたり、見たりすることができ、明確にその領域を表示することが可能な範囲および位置である。CTVとは、GTVとその周辺に存在するsub-clinicalな浸潤等を含む体積である。PTVとは、すべての位置的変動の影響を考慮して、CTVに予定した線量を投与するための幾何

学的な概念である。ここで、位置的変動とは、(1) 患者の動きおよび呼吸などによるCTVを含む組織の動き、(2) 膀胱の充満度の違いによるようなCTVを含む組織の大きさおよび形状の変動、(3) 照射野および方向等のビーム幾何学的特性の変動である。PTVは今まで使用されていた“標的容積”とほぼ同じ概念であるといえる。治療体積とは、PTV内の最小線量と同じ等線量曲線で囲まれる体積である。照射体積とは、正常組織の耐用にとって有意であると考えられる線量が照射される組織の体積であり、正常組織の障害発生に関係する体積である。一般に、照射体積は治療体積よりさらに大きく、その線量の値は標的基準線量のある百分率 (たとえば20%) で表示される。図1に各種体積の2次元的模式図を示す。なおリスク臓器とは、CTVの内部または近傍に存在する放射線感受性の特に高い正常臓器、器官であり、その存在が放射線治療計画あるいは投与される線量の決定に影響を及ぼす器官である。

2. 線量

放射線治療における記録として、線量分布の

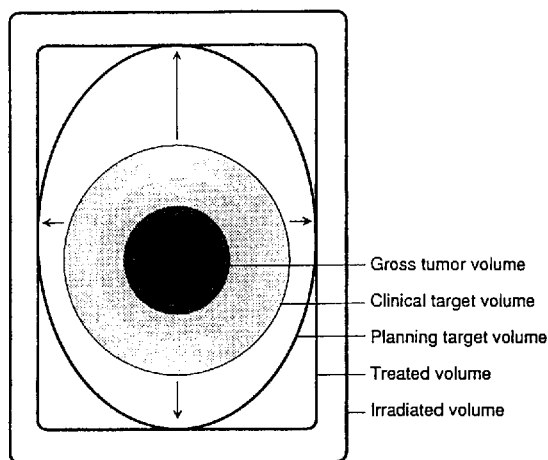


Fig. 1 各種体積の2次元的模式図 (ICRU Report 50, Fig. 2.2. より)

肉眼的腫瘍体積 Gross tumor volume (GTV)
臨床標的体積 Clinical target volume (CTV)
計画標的体積 Planning target volume (PTV)
治療体積 Treated volume
照射体積 Irradiated volume

添付および各種線量を記載しなければならない。放射線治療では、CTVを可能なかぎり均等に照射するように、その放射線治療計画をおこなわなければならない。現時点では、最も理想的な条件では、CTV内の線量分布が+7%と-5%以内に収まるようにすべきである。

記録には、少なくとも、放射線腫瘍医が指示し、線量分布計算において決定された分割照射時の1回標的基準線量、その時間的線量配分、総標的基準線量、総最小標的線量、および存在するならばリスク臓器の線量およびホット・スポットの線量を記載しなければならない。ここで、標的基準線量 ($D_{r,i}$) とは、線量分布計算時に決定されるPTV内の標的基準点 ($P_{r,i}$) における線量であり、放射線腫瘍医によってCTVへの予定線量として指示され、線量分布計算において決定される線量である。すなわち、標的基準線量は、PTV内の線量を代表でき、その放射線治療の指標となる線量である。その他、最大線量、最小線量、平均線量、中央線量、最頻線量を定義している。なおホット・スポットとは、PTV外の組織で標的基準線量よりも高い線量を受ける領域である。また、外部照射技術における線量として、基準点吸収線量、空中組織吸収線量、線量投与目標点の目標点線量を定義している。

3. 記録

放射線治療における記録は、治療法、照射法の設定、確認と同時に治療の進行状況の把握、治療方針の変更、あるいは再治療を行うときに必要となり、また照射期間中における不注意が原因と見られる憂慮すべき事態の発生の予防に役立つ。放射線治療におけるこれらの記載項目を統一することは、その治療施設における放射線治療のQAと同時に、多施設間の情報交換、さらに我が国における放射線治療のQAの確立にとっても重要である。本冊子では、放射線治療における各ステップにおける記載項目を記述している。各施設においては、それぞれ各自のステップにおける記載項目を設定して、記載を実行することにより放射線治療のQAを確立しなければならない。

[密封小線源の線量測定の基準化]

1. 概要

放射線治療における線量測定の基準化において重要なのは、標準的な線量測定法の存在と線量国家標準とのトレーサビリティである。このことは、外部照射用の線量についてはほぼ確立しているが、密封小線源（以下、小線源とする）に関しては極めて不十分であるといわざるを得ない。本研究グループの小線源サブグループでは、小線源の線量測定の基準化をテーマとし、出力測定の標準化およびQA/QCシステムのガイドラインの作成を対象とする活動を行ってきた。以下にその内容を報告する。

2. 線源出力の測定とトレーサビリティ

低線量率および高線量率線源の双方について、標準的な線量測定法に関する検討をほぼ終了した。出力のトレーサビリティでは、 ^{192}Ir 線源を除き、一応、国家標準を基準とする線源出力の値付けが可能であるが、外部照射と同様な効率の良い標準供給システムは未だでき上がっていないので今後の課題である。 ^{192}Ir 線源では、特に低線量率線源の基準が確立されていないので、これに関する検討が必要である。本項目の詳細については、日本医学放射線物理学会測定委員会（委員長：西台武弘）と協力して、測定関係のマニュアルの発行を準備中である。

2-1. 低線量率線源

低線量率線源の線量測定には、ウエル形電離箱線量計を用いる。ウエル形線量計の保守管理については、日本アイソトープ協会より報告された「キュリーメータの試験方法」に従う。ウエル形線量計の使用に当たって特に重要な点は感度の位置依存性であり線源毎に最も最適な測定位置を選ぶ。また、そのために再現性良く線源をウエル内に固定できる線源ホルダを用いるべきである。トレーサビリティについては、低線量率線源用の核種のうち、 ^{60}Co 、 ^{137}Cs および ^{198}Au は、電子技術総合研究所（電総研）あるいは校正サービス会社にて出力の校正が受けられる。 ^{192}Ir は、現在のところ国家標準が確立されていないので線

源製造元である日本原子力研究所に校正を依頼する。このとき、用いる線源の核種および形状ごとに1個を選んで校正を依頼し、これを各施設の標準線源とする。他の線源はこの標準線源との比較により出力を決定する。短寿命線源では、適当な長寿命の参照線源を選び、標準線源との比較により線量計の読みの比を求めておく。

2-2. 高線量率線源

高線量率線源の線量測定には、指頭形空洞電離箱による空中測定および高線量率線源用のウェル形線量計の双方が使用できる。空洞電離箱線量計は外部照射線量測定用のものを採用できるので、保守管理等は外部照射のそれに準ずる。高線量率線源の空中測定では、線源と線量計との位置関係の再現性を保ち各種誤差を軽減するための固定治具の使用が必須である。

高線量率線源のトレーサビリティシステムは線量計によって異なる。空洞電離箱を用いる場合、線源核種 ^{60}Co については全国の日本医学放射線学会医療用線量標準センターに、 ^{137}Cs については電総研あるいは校正サービス会社に、線量計の感度校正を依頼する。 ^{192}Ir では、照射線量あるいは空気カーマの国家標準が確立されていない。現在提案されている方法は、 ^{137}Cs γ 線および250 kVp程度の中硬X線の双方で線量計を校正し ^{192}Ir 線の実効エネルギー400 keV弱の感度を内挿によって求めるものである。ウェル形線量計のトレーサビリティについては、現在までのところ適当なシステムがない。トレーサビリティのレベルは少し下がるが、空洞電離箱で強度を校正した線源を用いて、ウェル形線量計の感度校正を定期的に行うことが考えられる。この場合、校正された高線量率線源を保有するセンター的な施設の設置が必要であろう。

3. QA/QCシステムについて

小線源およびRALS装置を使用するときは、その特性および性能が維持されていることを保証するために、QA/QCテストを行わなければな

らない。そのためには、その方法だけではなく、頻度および許容誤差を示したプロトコルが必要である。わが国では、小線源のQAについての標準的な勧告は未だ無いが、学会発表および文献などを参考にして、表1のようなQAプロトコル案を作成した。本研究調査グループのサブグループとしては、このプロトコル案を日本放射線腫瘍学会のQA委員会に提案するなど、同委員会の「密封小線源治療におけるQuality Assurance(QA) システムガイドライン」の発行(平成10年度予定)に協力している。

結 論

1. ICRUの報告を基本としたわが国における基準として、「外部放射線治療における線量の評価と統一」冊子を日本放射線腫瘍学会研究調査委員会編として出版し、我が国の放射線治療における線量を質的保証し、治療成績の向上に寄与している。
2. 小線源の線量測定の基準化を目的として、出力測定の標準化およびQA/QCシステムの作成を対象とする活動を行い、「密封小線源治療におけるQuality Assurance(QA) システムガイドライン」への提案を行った。
3. 定位放射線照射を対象としたナロービームの線量測定法の基準化を検討し、小型検出器の特性やモンテカルロ計算による線質特性、また絶対測定と相対測定を包含したマニュアルの刊行に取り掛かっている。
4. これら基準化に関するマニュアルは、本学会や、日本医学放射線物理学会、日本放射線技術学会、医療用標準線量研究会等の協力により刊行される。

文 献

- 1) 平岡 武, 西台武弘, 青木幸昌, 小幡康範, 木村千明, 都丸禎三, 中田 学, 平林久枝, 吉村 均: 外部放射線治療における線量の評価と統一, 日本放射線腫瘍学会研究調査委員会編, 1995年9月

Table 1. 密封小線源のQAプロトコール案

項 目	頻 度	許 容 誤 差
線量計, 温度計, 気圧計など		
空中測定用線量計	下記以外は外部照射に準ずる	
線源・電離箱間距離 (固定治具)	I, E**, 1年*	1%
ウェル形線量計		
精度	I, 2年	2%
直線性	I, 2年	1%
収集効率	I	1%
位置依存性 (長軸)	I	D
エネルギー依存性	I	D
線源容器の効果	I	D
ベンチレーション (開放形のみ)	I	D
リーク	E, 1年*	D
温度計, 気圧計	外部照射に準ずる	
線源		
用手用線源の出力		
標準線源および参照線源(短)の校正	I, 2年 (長)	仕様値, D
線源出力の測定***	I, E	3% (1バッチの平均) 5% (平均よりの誤差)
RALS線源の出力		
線源出力の測定	I	3%
線源の構造		
線源寸法, 番号	I*	D
物理的・化学的状態, 容器の構造	I	D
放射性物質の分布と一様性	I (長), E (短)	D (長), V (短)
放射性物質の位置	I (長)	1 mm
線源の識別	E (長)	正常
漏洩試験	I, 6月	185Bq以下
アプリケーション		
線源の挿入位置	I 1年	D
模擬線源と本線源の一致	I, E (組)	1 mm
遮蔽物の位置	I	D
形状	E	D
RALS装置		
装置の安全性		
ドアインタロック, 警告表示灯, 警報装置など安全のための機能	E	正常
制御卓の表示およびスイッチ, 電源, プリンタなど操作のための機能	E	正常
線源案内管の形状および接続	E	正常
線源動作の正確度		
本線源と模擬線源の動作の一致	I, 1週	1 mm
線源の停止位置	I, 1週	1 mm
線源の選択	I, 3月, 1年	正常
タイマ	I, 3月	1%

I: 受入時(コミッショニングを含む). D: 試験結果を記録して保存. E: 毎使用時.

V: 目視, オートラジオグラフまたは電離測定によるチェック.

(長): 長寿命線源. (短): 短寿命線源. (組): 組織内照射, *Williamson JF33).

固定治具の構造に依存. *短寿命核種では適用できないときがある.