

論文内容要旨

Verification system for intensity-modulated
radiation therapy with scintillator

(シンチレータによる強度変調放射線治療の検証シ
ステム)

Physical and Engineering Sciences in Medicine,
2020, in press.

主指導教員：永田 靖 教授

(医系科学研究科 放射線腫瘍学)

副指導教員：栗井 和夫 教授

(医系科学研究科 放射線診断学)

副指導教員：村上 祐司 講師

(医系科学研究科 放射線腫瘍学)

安藤 康晴

(医歯薬保健学研究科 医歯薬学専攻)

【背景】放射線治療において、Intensity-modulated radiation therapy (IMRT)は、正常組織の照射線量を抑え、腫瘍に放射線を集中することができる画期的な照射技術である。これにより従来の手法である 3D-CRT よりも合併症の軽減を行いつつ、高い腫瘍制御率を実現することができることが報告されている。IMRT の線量分布は複数の小さな照射野で構成されているため照射方法が複雑になる。そのため治療開始前に治療計画の検証を、患者個別に行う事が、American Association of Physicists in Medicine (AAPM) によって推奨されている。これらの検証を行う場合、検出器として、主に電離箱、chromodynamic film、半導体検出器等が使用されている。これらの内 chromodynamic film は、高い空間分解能を有するために、空間的に複雑な線量分布を検証するのに適している。しかし、取り扱いや測定効率、コスト面で短所がある。半導体検出器を多数配置した多次元検出器も同様に線量分布測定に広く使用されており、高い線量直線性、線量率安定性を持ち、三次元線量再構成が可能であることを特長としている。しかし、各半導体モジュールは約 1 cm 程度の間隔が設けられており欠落するデータは隣接する検出器で補間する必要があり、複雑な線量分布を測定するには不十分な場合がある。本研究では高い分解能と高い測定効率を両立し、リアルタイムに IMRT の検証を行うための新しい線量測定システムを、円盤型に成型したプラスチックシンチレータ (BICRON 408、直径 18 cm、厚さ 3 mm)、円柱型のファントム及び charge-coupled device (CCD)カメラを用いて開発し、その性能を検証した。

【方法】円柱型ファントム内に固定された円盤型プラスチックシンチレータをリニアックの寝台上部に配置し isocenter をシンチレータの中心に揃えた。CCD カメラは、シンチレータ表面から頭尾方向に配置した。X 線照射によるシンチレータ光は CCD カメラで撮像し、線量分布解析ソフト (DD-SYSTEM、R-TECH、Japan) に入力した。輝度-線量変換テーブルを作成し、シンチレータ光分布を線量分布へ変換した。臨床で使用した IMRT 治療計画を円柱型ファントムに照射し、撮像されたシンチレータ光分布を輝度-線量変換テーブルにより線量分布に変換、計画された線量分布と比較を行う事で、本システムの性能の検証を行った。既存の検証システムとの比較として、限局性前立腺癌の患者 6 名分の IMRT 治療計画を使用し、その線量分布を本システム及び chromodynamic film を用いて測定し結果を比較した。比較方法として、絶対線量差 (dose difference, DD) 及びガンマ解析を用いた。ガンマ解析は処方線量の 10%以上照射された領域を対象とした。

【結果】本研究で採用した光の拡散補正を行うことにより、エネルギー 10 MV、照射野 $7 \times 7 \text{ cm}^2$ 、isocenter 中心に 60 cGy を照射した場合に、chromodynamic film を用いた測定結果との差分で、照射野周辺領域の最大誤差が 7.7 cGy から 3.9 cGy まで改善された。本システムで測定した IMRT の合算線量の DD の平均値と標準偏差、ガンマパス率は、6 名分の治療計画の平均値でそれぞれ 0.8 cGy、4.5 cGy、および 97.4%であり、chromodynamic film を用いた検証と同等の精度であった。フィールド毎の個別線量分布検証において、DD の平均値と標準偏差、ガンマパス率は、1 人分の IMRT 線量分布を構成する 7 つのフィールドの平均値でそれぞれ 0.2 cGy、1.2 cGy、

および 93.9%だった。セグメント毎の個別線量分布検証において、DD の平均値と標準偏差、ガンマパス率は、1つのフィールドを構成する 9つのセグメントの平均値でそれぞれ-0.03 cGy、0.2 cGy、および 93.9%だった。

【考察】我々の検証システムは、chromodynamic film と同等の精度を発揮し、IMRT の合算線量のみならず、フィールド毎、およびセグメント毎の個別検証を、一度の連続した IMRT 治療ビームの照射から得られたデータのみを用いて可能であることを確認した。臨床において、IMRT の線量分布に計算と実測でやや乖離がみられた場合においても、合算線量で評価を行っているため原因の特定が困難である場面にしばしば遭遇する。本システムでは、フィールド毎、セグメント毎の解析が可能となるので、原因を追究できる可能性がある。

本システムは可視光をシグナルとして用いる性質上、他の光源が常にノイズ源となることに注意が必要である。本研究では、高エネルギーX線を水中へ照射する事により発するチェレンコフ光を、複数の照射野サイズで取得した線量変換テーブルによって補正し、また水中での可視光の拡散を、照射野外で観測される微弱な光量を用いて補正した。

本研究は、計算された線量分布と測定された線量分布に存在する差異の根本的な要因の特定に寄与し、より正確で安全な IMRT ひいては放射線治療の精度向上に貢献する、非常に有用な成果であると思われる。

【結論】円盤型シンチレータを用いた新しい IMRT 検証用システムは、合算線量のみならず、フィールド毎、セグメント毎の解析が効率的に行えることを実際に臨床で用いられた治療計画データを用いて確認した。円盤型シンチレータを用いた検証システムが、臨床導入に対して有用である可能性を確認した。