

論文内容要旨

A novel verification method using a plastic
scintillator imaging system for assessment of
gantry sag in radiotherapy

(プラスチックシンチレータと CCD カメラを用いた
新規ビーム照射位置計測システムの開発
-ガントリサグの定量評価-)

Medical Physics, 45(6): 2411-2424, 2018.

主指導教員：永田 靖教授

(医歯薬保健学研究科 放射線腫瘍学)

副指導教員：粟井 和夫教授

(医歯薬保健学研究科 放射線診断学)

副指導教員：村上 祐司講師

(医歯薬保健学研究科 放射線腫瘍学)

恒田 雅人

(医歯薬保健学研究科 医歯薬学専攻)

背景・目的：

近年の放射線治療は、工学的進歩により汎用型直線加速器（LINAC）を用いた体幹部定位放射線治療や強度変調放射線治療といった高精度放射線治療が主流となっている。また、LINAC以外にも Cyber Knife や Vero 4DRT といった腫瘍を追尾し、照射することができる放射線治療装置がある。腫瘍に対して線量を集中させることが可能となった反面、線量やビーム照射位置をはじめとする多種多様な装置の品質管理項目に対し、高い精度で品質を保証する必要がある。本研究では、「ビーム照射位置の計測」について新たな手法の提案を行う。現状実施される Winston-Lutz テストは、放射線治療における照射基準点（Isocenter）を基準にビーム照射位置がどの程度ずれているか、基準点からのシフト量を評価するものである。加えて、LINAC は装置内の遮蔽体の自重によりたわむこと（Gantry Sag）が知られており、照射誤差要因となる。しかし、このたわみ角度（Sagging Angle）を定量評価する手法は存在しない。また、腫瘍を追尾する照射（Non-isocentric 照射）は、全てのビームが Isocenter を通るとは限らないため、現状の手法では不十分である。

本研究の目的は、腫瘍へのビーム照射位置精度が要求される高精度放射線治療の高品質化のために、優れた空間及び時間分解能を有するビーム照射位置計測システムを新たに開発することである。また、LINAC を用いて本システムの計測精度を検証し、かつ LINAC の Sagging Angle の計測値を定量評価する。

方法：

ビーム照射位置計測システムは円柱型プラスチックシンチレータ（円柱型 PS）と円錐台形ミラー、冷却型 CCD カメラで構成した。シンチレータは放射線が照射された場所に、放射線量に依存したシンチレーション光（可視光）を発生する放射線検出器であり、放射線計測位置分解能及び計測時間応答性が優れている。その特性から、本システムは時間的変化を伴うビーム照射軸の 3 次元空間での位置の描出と定量化ができる。それにより、LINAC の照射誤差要因となる Sagging Angle の定量評価及び Non-isocentric 照射におけるビーム照射位置の計測が可能となる。

本研究では、下記に示す 2 つの検証を行った。

- ① プロトタイプシステムの計測精度の評価：検出器部分である円柱型 PS に対して、ガントリ角度 270-300 度方向から射出される 6MV-X 線を照射し、その際に生じた可視光を CCD カメラにて測定した。測定画像に対して、原理に基づいて開発したアルゴリズムを適応した。円柱型 PS 長軸方向に対する計測精度を評価した。本検証では、ガントリ角度 270 度を基準照射角度 0 度として、照射角度 0-30 度とした。照射角度と測定画像を解析した結果（計測角度）の線型性を確認した。また、計測誤差（計測角度と照射角度の差分値）の頻度分布を算出した。
- ② LINAC の Sagging Angle の計測：円柱型 PS に対してガントリ角度 0-360 度方向から 30 度ピッチで 6MV-X 線の照射を行なった。CCD カメラで測定した画像に対して、検証項目①で導出した補正関数を加えた解析アルゴリズムを適応させた。また、円柱型 PS 内に各ガントリ角度

から照射されたビーム照射軸を描出した。本手法を用いて、ビーム照射位置精度を表す 2D Radiation Isocenter と 3D Radiation Isocenter を評価した。

結果・考察：

① 照射角度が大きくなるにつれて計測誤差が大きくなる系統誤差が確認された。この誤差は、照射角度 30 度で最大であり、-1.4 度であった。それゆえ、測定画像より補正関数を導出する必要があった。照射角度と補正後の計測角度の関係は線形であった。また、補正後の計測誤差の頻度分布に対して、ガウス関数を用いたフィッティングを行ったところ、 μ と σ はそれぞれ 0.012 と 0.078 度であった。この精度であれば、円柱型 PS 長軸方向の算出精度に依存する Sagging Angle を評価することができると判断した。

② 本システムを用いて測定した Sagging Angle はガントリ角度 0、180、180E 度においてそれぞれ-0.31、0.39、0.38 度であった。また、3次元ビーム照射軸の描出が可能であった。本手法で測定した 3D Radiation Isocenter は、0.652 mm であった。x-y、x-z、y-z 平面の 2D Radiation Isocenter は、それぞれ 0.470、0.574、0.549 mm であった。z 軸方向はガントリ回転軸方向であり、Gantry Sag の影響により 2D Radiation Isocenter の計測値が大きいと考える。

結語：

本研究で新規ビーム照射位置計測用プロトタイプシステムの設計と開発を行った。システムの精度評価を実施し、その結果を踏まえてビーム照射位置管理への応用を検討した。本システムの開発により、現状の手法では不可能であった“LINAC の Sagging Angle”の計測・評価を可能とした。今後、円柱型 PS 側面に増感紙を巻き、補正関数を必要としないシステムへと改良を行う予定である。また、改良型システムを用いてビーム照射位置の計測だけではなく、3次元/4次元線量分布再構成を含め、多方面に展開していく。