

2019 年度 博士前期課程学位論文要旨

学位論文題名

MR 画像誘導放射線治療装置におけるビーム制御遅延時間と投与線量分布に関する研究

学位の種類： 修士（放射線学）

首都大学東京大学院

人間健康科学研究科 博士前期課程 人間健康科学専攻 放射線科学域

学修番号 18897714

氏 名：中山 広貴

（指導教員名：齋藤 秀敏）

放射線治療におけるセットアップなどのエラーを低減させる手法として、画像誘導放射線治療（Image Guided Radiation Therapy : IGRT）がある。これは画像照合システムを用いた手法であり、照射前に、画像照合系で骨の位置や腫瘍の位置を治療計画時と合わせ、患者をセットアップし照射する手法である。

現在、MRI を画像照合システムに用いた放射線治療装置（MRIdian, Viewray）があり、MRI を用いることにより、画像照合の際の放射線被ばくがない。また、高速撮像シーケンス（true fast imaging with steady state free precession, TRUFI）を有しており、治療中に患者体内の情報をリアルタイムで取得しながらの治療を可能とした。この高速撮像シーケンスの使用によって可能となった放射線照射方法として、“Gated-Radiotherapy”と呼ばれる手法がある。これは、MR-CINE 上で腫瘍をトラッキングし、境界領域（Boundary）を腫瘍から広げて設け、腫瘍が Boundary 内に位置しているときには放射線が照射され、Boundary 外に位置しているときには照射を停止するというものである。この照射方法によって、呼吸による腫瘍の移動を考慮した照射野を作成する必要がなく、腫瘍の線量を担保することが可能である。

Gated-Radiotherapy のように、ある条件下の際に、ビームの制御を行う治療機器は他にも存在する。例えば、Varian 社の Linac では、呼吸性移動によるビーム制御を Real-time Position Management (RPM) で制御している。TG-76 (AAPM) では、画像取得からストリーミング、画像処理、ビームの制御にいたる全体の遅延時間を 500 ms 以内に収めることを制限している。先行研究において、このビーム制御の遅延時間を評価したものがいくつかあり、機械ごとの制御遅延時間を評価している。

そこで本研究では、MRIdian の Gated-Radiotherapy にもビーム制御遅延時間が生じているのではないかと考え、遅延時間の評価、並びに投与線量分布に関する研究を行った。まず初めにビーム制御遅延時間をオシロスコープを用いて測定した。測定の結果、ビーム OFF 時の制御遅延時間が、 $0.80\text{ s} \pm 0.11\text{ s}$ であり、ビーム ON 時の制御遅延時間が $0.64\text{ s} \pm 0.12\text{ s}$ であった。次にビーム制御遅延時間が線量分布に与える影響を評価するための自作

解析プログラムの作成、そのプログラムによって取得された線量分布を用いての線量分布の評価を行った。オシロスコープで測定した制御遅延時間が生じていたとすると、基準線量分布と比較してガンマパス率 36.5%という低い値を示した。これより、計画線量と投与線量が一致していなことが示唆された。さらに、動体ファントムを用いて患者の呼吸位相の変化を模擬し、Gated-Radiotherapy を実行、フィルムによる測定によって投与される線量分布の変化を評価した。動体ファントム移動周期における停止時間が短いほど、基準線量分布からの差が大きくなることが確認された。最後に、自作解析プログラムを用いて、測定されたフィルムからビーム制御遅延時間を評価する手法を立案した。解析結果は、オシロスコープで測定した値と比べると比較的大きな差があった。さまざま測定の誤差因子により、差が生じたと考えられるが、フィルムを基準とした解析プログラムによるビーム制御遅延時間の評価の基礎を作成することができた。

本研究において、MRIdian における Gated-Radiotherapy にはビーム制御遅延時間が生じていることを明らかにし、この遅延時間が投与線量分布に影響を与え、計画線量分布と差を生じさせたことを明らかにした。Gated-Radiotherapy を行う際には、本研究で作成した解析プログラムを使用してビーム制御遅延時間を評価し、その遅延時間が投与線量分布に与える影響を考慮した治療計画を立案する必要がある。