

学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称

博士 (医学)

氏名 右近 可奈子

学位論文題名

動体追跡装置における体内複数マーカを用いた高精度ゲーティング照射法の検討
(Analytical approach for efficient gating irradiation using three fiducial markers
in a real-time tumor tracking system)

【背景と目的】肺がんを用いられる体幹部定位放射線治療 Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT) は、体幹部に局限した比較的小さな腫瘍に対して局所制御の向上と周囲臓器の有害事象の低減を目的に、多方向から放射線を病変に照射する。肺や肝臓のように呼吸性移動を伴う臓器に対する SBRT では、正常組織への線量を低下させ腫瘍への線量集中性を高めるため多くの対策がなされている。北海道大学病院では、呼吸性移動を伴う腫瘍に対しての放射線治療のために動体追跡装置 Real-time tumor tracking system が開発され、肺や肝臓のがんに対して動体追跡放射線治療 (RTRT ; Real-time tumor-tracking Radiation Therapy) が行われている。動体追跡装置は 2 対の透視 X 線装置により撮像される金マーカのリアルタイム X 線透視画像から、体内に挿入された金マーカの 3 次元位置を把握することができる。1.5mm の金マーカを、毎秒 30 フレームで追跡し、計画された座標範囲内に金マーカが存在するときのみ、治療用放射線が病変に照射される。現行の治療では、腫瘍近傍に透視下で刺入された複数マーカのうち 1 個のマーカのみを追跡し、ゲーティング照射を行っているが、腫瘍近傍の組織に変形や回転が伴う場合、1 個のマーカから推測される腫瘍位置は、実際の腫瘍位置を表していない可能性が考えられる。そのため 1 個のマーカをゲーティングするだけでは、計画位置に対して正確な照射を行うことができない可能性がある。2014 年に北海道大学病院に導入された島津社製動体追跡装置は複数のマーカの追跡が可能となっており、腫瘍近傍に植え込まれた複数のマーカの動きを考慮することで、腫瘍近傍及び腫瘍に対する変形や回転等の動きを把握することができると考えた。そこで本研究では、アイソセンタと複数マーカ座標の関係から腫瘍の中心位置を推測し、腫瘍の変形、回転を考慮した腫瘍中心位置とアイソセンタ間の距離を利用したゲーティング照射法について検討を行った。

【材料と方法】対象患者は RTRT による SBRT を施行した肺がん患者 10 名とした。治療中の 3 個のマーカとアイソセンタの位置関係からアフィン変換を用いて Target-Isocenter Distance (ターゲットとアイソセンタ間の距離) となる腫瘍中心位置を算出し、これを TID と定義した。4 個のマーカが挿入されていた 2 例において、マーカ 1 個を腫瘍と見立てて他の 3 個から位置を推定し、実際のマーカ座標と比較することで TID 値の算出精度を検証し

た。また、TID 値が閾値以内の時に照射する TID gating について照射効率として Gating Efficiency (GE) を算出した。従来法である 1 個のマーカを用いたゲーティング法と、3 個のマーカを同時にゲーティングする方法についても GE を算出し、TID gating と比較した。上記の 3 種のゲーティング方法における GE を揃えて、その際の TID 値を算出し、Gating Efficiency と精度の関係を検証した

【結果】4 個マーカが挿入された症例において、マーカ 1 個を腫瘍と見立てて他の 3 個のマーカから位置を推定したところ、誤差平均は 1mm 以内であった。3 markers gating の GE は 1 marker gating と比較すると同等かそれ以下であり、中には 3 markers gating が 1 marker gating の半分以下まで低下する症例があった。TID gating においても 3 markers gating 同様、1 marker gating と比較すると殆どの症例で同等かそれ以下の GE となったが、3 markers gating 程の低下は見られなかった。GE を等しくした際の各ゲーティング方法の TID 値は、TID gating の場合のみ、2 mm 以内に抑えることができた。1 marker gating において、TID 値が 8 mm を超えてしまう症例もあった。

【考察】先行研究と比較し、マーカから推定される TID 値の誤差は許容範囲内であると考えられた。また、マーカの位置計測誤差やマーカの位置関係によって TID 値が変化することが予想され、シミュレーションによる TID 推定誤差を算出した。3 点のマーカの重心がアイソセンタから離れた場合や、3 点のマーカが成す三角形の頂点が鋭角や鈍角の場合に TID 推定誤差が大きくなることが確認できた。本研究の解析対象では TID 推定誤差が 2 mm を超えるものが散見された。マーカ指定順によっても TID の算出に用いるパラメータが変化するため、TID 値に差が生じる症例が確認された。

【結論】3 個のマーカ座標とアイソセンタの関係から呼吸によって動く腫瘍中心位置 (TID) を推測し、TID をゲーティングの中心として照射を行うことで複数マーカを用いた新しいゲーティング方法の検討を行った。マーカの挿入位置や呼吸の仕方、透視条件によってマーカ 1 個のゲーティングが向いているものもあれば、TID を用いることで効率的に高精度な照射が可能となり得る症例も見られた。TID 推定誤差は TID を指標として用いる際の有用な判断材料になると考えられる。