

（様式6-A） A. 雑誌発表論文による学位申請の場合

田 尻 真 也 氏から学位申請のため提出された論文の審査要旨

Margin estimation and disturbances of irradiation field in layer-stacking carbon-ion beams for respiratory moving targets

（呼吸移動性を伴う標的に対する炭素イオンの積層原体照射法におけるマージン推定と照射野の乱れ）

Journal of Radiation Research, 2017（年）（in press）

田尻真也, 田代睦, 水上友宏, 築島千尋, 金井達明, 取越正己

論文の要旨及び判定理由

積層原体照射法を用いた重粒子線治療は、標的領域をビーム深さ方向に幾つかの層に分割し、層毎の線量分布を重ね合わせて分割照射する。しかし、肺や肝臓といった呼吸性移動を伴う標的の場合、照射中の標的位置が時間により変動し、線量分布が悪化してしまう。我々の重粒子線治療の治療計画では4DCTの画像より標的の動き量を推定し、マージン量を決定している。本研究では、呼吸移動性を伴う標的に対する積層原体照射法の臨床標的体積（CTV）内の線量均一性と適切なマージン量の関係について測定より評価した。

まず投与線量の95%の位置となる計画標的体積（PTV）を定義し、トータル・マージンより仮想のCTVを算出した。呼吸移動量による線量変化を比較する為、同じ形状の補償フィルタで呼吸運動性ファントムと多層電離箱より測定した。炭素線のエネルギーを400MeV/uとし、静止時の積層原体照射の治療で用いているリッジフィルタ（ミニピーク）を利用した。呼吸による標的の動きは3次元的な楕円の動きと仮定した。直径93mmの球体、5GyEの投与線量の場合とした。標的の動きによりビームの通過する位置が変わり、通過する補償フィルタの厚みが変わる。標的の側方向の動きは飛程変化に換算して評価を行った。呼吸性移動に伴う静止時からの線量の変化を相対線量比に換算して、相対線量比が±5%以内となる領域の確認を行った。

自由呼吸時の標的の側方向の呼吸移動量を大きくするほど、仮想CTV内の相対線量比が±5%以内となる領域が大きくなり、線量均一性が悪化した。特に照射野辺縁部で線量均一性が際立って悪かった。側方向の位置毎の飛程変化とマージン量を比較して評価した場合、照射野辺縁部の飛程変化がより大きく、Passive照射法の場合より側方向と末端側で大きいマージンが必要であった。1スライス厚に相当する2.5mmを追加マージンとした場合、呼吸移動量が小さい呼吸同期照射（ゲート閾値4mm）の場合の占有率が99.2%となり、線量均一性が改善した。しかし、呼吸移動量が大きい場合、占有率より呼吸移動量の上限が必要である。

以上結果より、リッジフィルタの形状に従い相対線量比が変わるが、呼吸移動量（即ち、飛程変化）に上限を設け、適切なマージンを適用すれば、今回のリッジフィルタでも±5%以内の相対線量比となる線量均一性を達成できた。本研究結果は、積層原体照射法にて、呼吸移動性を伴う標的に対するCTV内の線量均一性と適切なマージン量の間関係を明らかにした研究と認められ、博士（医学）の学位に値するものと判定した。

（平成29年2月15日）

審査委員

- 主査 群馬大学教授（医学系研究科）
腫瘍放射線学分野担任 中野隆史 印
- 副査 群馬大学教授（医学系研究科）
重粒子線臨床医学分野担任 大野達也 印
- 副査 群馬大学教授（医学系研究科）
重粒子線医学物理生物学分野担任 高橋昭久 印
- 副査 筑波大学教授（生体調節研究所）
医学物理学分野担任 榮武二 印