

論文内容要旨

Novel simulation for dosimetry impact of diaphragm
respiratory motion in four-dimensional volumetric
modulated arc therapy for esophageal cancer

(食道癌の4次元強度変調回転放射線治療における
横隔膜呼吸性運動に対する新規シミュレーションを用いた
線量堅牢性評価)

Radiotherapy and Oncology, 2023, in press.

主指導教員：栗井 和夫教授
(医系科学研究科 放射線診断学)
副指導教員：柿本 直也教授
(医系科学研究科 歯科放射線学)
副指導教員：村上 祐司准教授
(医系科学研究科 放射線腫瘍学)

勝田 剛

(医系科学研究科 医歯薬学専攻)

【目的】食道胃接合部に及ぶ食道癌に対して、強度変調回転照射(volumetric modulated arc therapy; VMAT)により心臓への被曝線量低減が図ることが可能である。従来では、VMATを息止め照射で施行しており、呼吸性移動による影響を低減できる一方、治療時間が長くなるデメリットがある。自由呼吸下での強度変調回転照射(free breathing VMAT; FB-VMAT)が可能となれば、スルーットの改善が見込めるが、横隔膜の呼吸性振幅がターゲットの線量分布不確定性の要因となる可能性がある。今後の臨床導入を図るためには、線量堅牢性に関して定量的な評価が必要である。近年、RayStation® (RaySearchMedical 社, ストックホルム, スウェーデン)の simulated-organ motion (SOM)機能を用いて仮想 CT(virtual computed tomography; vCT)を生成し、治療計画の堅牢性評価を行う手法が開発された。本研究では①横隔膜の呼吸性振幅を仮想した 4次元 CT (virtual 4 dimensional CT; v4DCT) による新規評価システムの構築と、②それを用いた食道癌に対する FB-VMAT の許容性および臨床導入への条件を検討した。

【方法】当院で放射線治療を施行した表在性食道癌 10 症例を対象とした。SOM 機能を用いて、4DCT における吸気終末時の CT 画像(参照画像)に対して、呼吸性移動長より算出した振幅から横隔膜の臓器変形を行い、全 10 相の v4DCT を作成した。①本システムの精度検証として、過去に撮影した 4DCT(real-4DCT; r4DCT)より各症例における横隔膜移動長を取得した。次に、算出した振幅に基づいて変形した v4DCT と r4DCT で 4次元線量計算を行い、臨床標的体積(clinical target volume ; CTV)の線量指標 $D_{100\%}$, $D_{99\%}$, D_{mean} , $D_{1\%}$ について両プラン間で比較した。②次に v4DCT の横隔膜振幅を 5mm/10mm/15 mm に設定し、各振幅について 4次元線量計算

を行った。許容性を評価するために、参照画像における3次元線量計算結果とv4DCTによる4次元線量計算結果間での線量指標の線量差を検証した。線量指標はCTVに関しては $\Delta D_{100\%}, \Delta D_{\text{mean}}$ を算出し、計画リスク臓器体積としての脊髄(Cord planning organ at risk volume; Cord PRV)に関しては $\Delta D_{1\text{cc}}$ を算出した。

【結果】 ①横隔膜の呼吸性振幅が15mm以内の条件において、r4DCTならびにv4DCTから4次元線量計算した両プランにおけるCTV線量指標の差は全て±1%以内の精度で一致した。一方、15mmを超えた振幅下では、 $D_{100\%}$ に関して両プランの線量指標差が3%を超える誤差を示した。②5mm/10mm/15mmの呼吸性振幅では、CTVにおける $\Delta D_{100\%}$ の平均値はそれぞれ0.3% (interquartile range (IQR): 0.0—0.6), 1.0% (IQR: 0.6—1.5), 1.7% (IQR: 1.8—2.1)であり、 ΔD_{mean} の平均値はそれぞれ0.1% (IQR: 0.1—0.2), 0.2% (IQR: 0.1—0.4), 0.4% (IQR: 0.3—0.6)で変化を認めた。振幅が10mm/15mm以内の場合、全指標の線量差はそれぞれ2%/3%未満であった。Cord PRVにおいて、5mm/10mm/15mmの呼吸性振幅では、 $\Delta D_{1\text{cc}}$ の平均値はそれぞれ0% (IQR: 0.0—0.0), 0.1% (IQR: 0.0—0.2), 0.2% (IQR: 0.0—0.4)であった。

【結語】 食道胃接合部に及ぶ食道癌に対して、v4DCTを作成し、呼吸性移動に伴う線量堅牢性を定量的に評価する新規手法を開発した。仮想的に生成したv4DCTの線量計算精度は±1%以内であり、本手法の活用可能性を示唆した。さらに、横隔膜振幅が15mm以内の条件下であれば、呼吸性移動に伴う標的の線量差は3%未満、正常臓器の線量制約も満たしており、FB-VMATによる治療実施可能であることが示唆された。