

## 論文審査の結果の要旨

博士の専攻分野の名称	博士（医学）	氏名	勝田 剛
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項 2 項該当		
論文題目 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)			
論文審査担当者			
主査	教授	岡田 守人	印
審査委員	教授	保田 浩志	
審査委員	講師	浜井 洋一	
<p>〔論文審査の結果の要旨〕</p> <p>食道胃接合部に及ぶ食道癌に対する強度変調回転照射(volumetric modulated arc therapy; VMAT)により心臓への被曝線量低減を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、スループ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tock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。</p> <p>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 <math>D_{100\%}</math>, <math>D_{99\%}</math>, <math>D_{mean}</math>, <math>D_{1\%}</math>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 <math>\Delta D_{100\%}</math>, <math>\Delta D_{mean}</math> を算出し、治療計画用の安全域を付加した脊髄体積 (Cord planning risk volume; Cord PRV)に関しては <math>\Delta D_{1cc}</math> を算出した。</p> <p>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 <math>\pm 1\%</math>以内の精度で一致した。一方、15mm を超えた振幅下では、<math>D_{100\%}</math>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 <math>\Delta D_{100\%}</math> 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、<math>\Delta D_{mean}</math> 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</p>			

が 10 mm/15 mm 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、 $\Delta D_{1cc}$  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。

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。

以上の結果から、本論文は、simulated-organ motion (SOM)機能を用いて作成した仮想 4 次元放射線治療計画と従来の 4 次元放射線治療計画を比較した世界初の論文であること、本研究の結果、呼吸振幅 15 mm以内であれば自由呼吸下での VMAT が安全に施行可能であることを示し、本治療の臨床導入決定に貢献した点において高く評価される。

よって、審査委員会委員全員は、本論文が著者に博士（医学）の学位を授与するに十分な価値あるものと認めた。