

[課程-2]

審査の結果の要旨

氏名 早乙女直也

本研究は呼吸性の動きを伴う肺癌に対して、過去に東大病院で回転強度変調放射線治療(VMAT)を施行した患者が実際に受けた 4 次元線量分布を取得したものであり、下記の結果を得ている。

1. **Electric portal imaging device (EPID)**で取得された画像は治療で用いている真の放射線分布である。その EPID 画像から照射野境界位置を検出する方法として、**Threshold 法**と **Difference of Gaussian (DOG)法**の比較を行った。EPID 画像は骨、肺などの体内の不均一な構造物を通過すること、照射野形状に依存する散乱線の影響により照射野境界部が不明瞭になる。既知の照射野形状のテストパターンで解析した結果、**DOG 法**は **Threshold 法**と比較して全ての条件で精度よく照射野境界部を検出することができ、精度は **0.3 mm** 以下であることが示された。
2. **EPID** の検出器部の位置再現性を放射線不透過球を用いて確認した。その結果、治療装置の角度に依存する変移が確認されたものの、3 ヶ月に及ぶ長期的な再現性試験の結果、その角度依存性は **0.4 mm** 以下の精度で再現する結果を得た。これにより **EPID** を用いて、治療装置のあらゆる角度において、照射野境界部を検出可能であることが確認された。
3. 過去に東大病院で肺に対する定位放射線治療 (**SRT**)を **VMAT** で施行した3名の患者、計 12 日間の治療に対して、治療装置の動作記録(**log data**)に記載の多葉コリメータ(**MLC**)位置と EPID 画像から **DOG 法**を用いて検出した照射野境界部の比較を行った結果、最も差が大きかった例で、**0.88 ± 0.93 mm** であった。**Log data** に記載の **MLC** 位置は線量計算に用いる上で十分な精度で記録されていることが確認された。
4. **Cone Beam Computer Tomography (CBCT)**画像上で線量分布の精度よく計算を行うため、患者、臓器固有の平均物理密度を放射線治療計画用 **CT** 画像から取得し、**CBCT** 上の対応輪郭内をその平均物理密度で置き換えを行い線量計算を行う方法 (**ROI-mapping 法**)の導入を検討した。**ROI-mapping 法**の精度確認を東大病院での **SRT-VMAT** 施行患者の治療計画用 **CT** 画像を用いて行った。通常臨床で用いられているボクセル毎の

不均一補正を行った計算結果と比較して、ROI-mapping 法を適用した場合、最大でターゲット内最小線量で 1.2%の差を示した。このことから、CBCT 画像上で線量計算を行う際に ROI-mapping 法を用いることで、高い精度で計算が行えることが示唆された。

5. SRT-VMAT 中に取得した連続投影画像と治療装置の log data を組み合わせることにより、患者が SRT-VMAT で実際に受けた 4次元の線量分布を取得することを検討した。連続する投影画像間の相互相関量から取得した呼吸信号と治療装置の log data を対応付け、ROI-mapping 法を治療中 4次元 CBCT に適用させることで、治療中 4次元線量分布を取得した。動体ファントム中に電離箱を設置し、肺腫瘍に対する照射を模擬した条件での本提案手法の検証の結果、提案手法による計算が実測で得られた線量を再現することが確認された。
6. 治療中 4次元線量分布計算手法を過去に SRT-VMAT を施行した 3患者のデータに適用させ、過去の治療で実際に患者が受けた線量を評価した。治療計画時と比較して、全ての患者においてターゲット内の平均線量の差はわずかであったが、動きの大きかった患者においてターゲット内最小線量が低下する結果を示した。これは、治療計画が 3次元で計算しており、ターゲットの端部の計算が十分に行えていないことが原因と考えられる。

以上、本論文は過去に SRT-VMAT を施行した患者の実際に患者が受けた 4次元線量分布を示した。患者体内での線量分布を検証する手法は様々な取り組みが試みられているが、治療中の患者体型、呼吸性移動を考慮した手法は確立されていなかった。本研究で実際の線量分布を提供することにより、日々の変形が大きい症例、呼吸性移動を伴う臓器に対する放射線治療をより高精度に行うために重要な貢献をなすと考えられ、学位の授与に値すると考えられる。