

博士論文の内容の要旨

令和2年2月14日

研究審査委員会委員長 原 孝光

審査委員 小倉 明夫

審査委員 五十嵐 博

外部審査委員 小口 宏

研究課題名 「ビームレット制限を用いた頸部食道がん治療計画において患者の動きが標的およびリスク臓器線量に及ぼす影響の評価」

所属・氏名 診療放射線学研究科診療放射線学専攻 博士後期課程 清水 秀年

Helical tomotherapy (HT) は正常組織への線量を低減するため、線量の最適化計算時に CT 画像上の仮想輪郭を通過するビームレットを制限することができる。ビームレットの制限はビームレット入射角の自由度を制限するため、許容された入射角度範囲からの線量供給の荷重が大きくなり、照射中の患者の動きにより、適切なセットアップマージン（患者の動きなどに対して治療計画時に標的の線量を担保するために付加する領域）がビームレットの制限がない標準的な治療計画とは異なる可能性がある。また、ビームレットを制限したときの患者の動きによる線量分布の変化に関する報告はない。本研究の目的は、HT による頸部食道がんに対する放射線治療計画の線量最適化においてビームレット制限を用いたとき、患者の動きによる標的および正常組織における線量分布の変化を定量化することによって、安全な線量投与が可能かを検討することである。

HT の治療計画には特有の治療計画パラメータ [field width (FW), pitch, modulation factor (MF)] があり、この値によって線量分布と照射時間が変化することが報告されている。第1段階として、HT による頸部食道がんの治療計画の作成における代表的な治療計画パラメータの値を同定するため、国内 48 施設に対してウェブ形式のアンケート調査を実施した。その結果、FW は全施設が 2.5 cm を使用しており、pitch は 0.43、0.287、0.215、0.435 がそれぞれ 50%、33%、11%、6%であった。MF は施設間のばらつきが大きく、中央値 [範囲 (最小値-最大値)] は、2.4 (1.8-2.8) であった。

第2段階として、人体ファントムに対して頸部食道がんの治療計画を作成し、ファントムの移動による標的および正常組織の線量の変化を確認した。まず、ファントムを CT 撮影し、標的（仮想標的体積と仮想予防リンパ節領域）、正常組織（肺、甲状腺、心臓、脊髄）の輪郭を作成した。また、ビームレットを制限するために気管分岐部から体外側に 8 cm の距離に肺の形状に沿った半円形状の仮想輪郭を描出した。標的に対するセットアップマージンは、ビームレットの制限がない標準的な治療計画に使用される 5 mm の等方性マージンによ

り作成した。治療計画パラメータは第 1 段階のアンケート調査結果から、FW と pitch はそれぞれ 2.5 cm と 0.43 を使用した。MF はアンケート調査結果でのばらつきが大きかったため、愛知県がんセンターで治療した頭頸部 293 症例に使用した MF を遡及的に解析し、統計的に 50% の確率で標的や OAR の線量制約を満たす 2.1 を採用した。次に、CT 画像を意図的に左右、前後、背腹方向に ± 1 , ± 2 , ± 3 ボクセル移動させ、治療計画のフルエンスを使用して線量分布を再計算し、位置ずれによる線量分布の変化を評価した。なお、ビームレット制限を使用しない治療計画も同じ様に作成し位置ずれによる線量変化を評価した。その結果、ファントムの移動量が 5 mm 以内であれば、ビームレット制限を行っても標的や正常組織の線量変化は小さかった。よって、本研究にて使用した仮想輪郭（気管分岐部から体外側に 8 cm の距離に肺の形状に沿った半円形）によりビームレット制限を行ったとき、患者の動きがビームレット制限なしの治療計画と同じセットアップマージン以内であれば安全な照射を提供できることが明らかとなった。一方で、仮想輪郭の形状や配置によって、許容できない誤差を生じる可能性があり、ビームレットを制限した HT を使用する際には、各施設において使用する仮想輪郭の形状や配置で動きによる線量分布の堅牢性を確認する必要があることも明らかになった。

本研究では、アンケートにより得られた代表的な治療計画パラメータを用いてビームレット制限を使用した頸部食道がんの治療計画を作成した。本研究にて使用した仮想輪郭（気管分岐部から体外側に 8 cm の距離に肺の形状に沿った半円形）を用いたビームレット制限による治療計画は、ビームレット制限なしの治療計画と同じセットアップマージン以内の患者の動きであれば安全な照射を提供できることを定量的に示した。また、本研究では 1 次元のファントムの移動により頸部食道がんの線量分布変化を確認したが、患者の 3 次元の動きをモデルとして検証することで、さらに信頼性の高い定量値を導出することが可能であると考える。

最終試験の結果の要旨

令和2年2月14日

研究審査委員会委員長 原 孝光

審査委員 小倉 明夫

審査委員 五十嵐 博

外部審査委員 小口 宏

研究課題名 「ビームレット制限を用いた頸部食道がん治療計画において患者の動きが標的およびリスク臓器線量に及ぼす影響の評価」

所属・氏名 診療放射線学研究科診療放射線学専攻 博士後期課程 清水 秀年

本人のプレゼンテーション及び審査委員による質疑応答の結果、本研究論文に関して以下の事実を確認することができた。

研究内容は、ヘリカルトモセラピー（HT）による頸部食道がんに対する放射線治療計画の線量最適化においてビームレット制限を用いたとき、患者の動きによる標的および正常組織における線量分布の変化を定量化することによって、安全な線量投与が可能かを検討することであり、1) シミュレーションを行うための各種パラメータの設定と2) 設定したパラメータによってシミュレーションを行い、患者の動きによる標的および正常組織における線量分布の変化を定量化することで安全な線量投与が可能か評価したことに要約できる。

1) シミュレーションを行うための各種パラメータの設定

HT の治療計画には特有の治療計画パラメータ [field width (FW), pitch, modulation factor (MF)] があり、この値によって線量分布と照射時間が変化することが報告されている。そこで本研究論文では頸部食道がんの治療計画の作成にあたり、トモセラピーの代表的な治療計画パラメータ値を同定するために国内のトモセラピー導入施設に対してアンケート調査を実施した。頸部食道がんの治療計画作成にあたり、本調査により得られた代表的な治療計画パラメータ値を採用することで、汎用性のある治療計画を作成し、さらには標準化に資することが期待される。

2) 患者の動きによる標的および正常組織における線量分布の変化を定量化することで安全な線量投与の可否の評価

本研究論文では1) で求めた代表的な治療計画パラメータを使用して、頸部食道がんに対する HT のビームレット制限を使用した治療計画（本研究では、directional block モードを使用）を人体ファントムに対して作成した。意図的にファントムを動かし、各臓器の線量分

布の変化を定量化した結果、本研究にて使用した仮想輪郭形状（気管分岐部から体外側に 8 cm の距離に肺の形状に沿った半円形状）かつ、ビームレット制限なしの治療計画と同じセットアップマージン以内の患者の動きであれば線量分布の変化は 5%以内となり、安全な照射が提供できることを定量的に示し評価を行っている。

以上の内容に関して、質疑応答の結果、信頼できるものと判断できたことから、新規性、有用性と合わせ、審査委員 4 名の個別判定がいずれも合格であったことから、最終試験を合格と判定した。

今後は、実際には患者は 3 次元的に動くため、3 次元の患者の動きをモデルとして安全性を評価できるように研究を進めてもらいたい。