

放射線の入射角を制限し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

愛知県がんセンター中央病院

放射線治療部 放射線技術科 主任 清水秀年

群馬県立県民健康科学大学大学院

診療放射線学研究科 教授 佐々木浩二

1. 研究の背景・目的

頸部食道がんにおいて、ヘリカルトモセラピー (Helical tomotherapy : HT) や強度変調回転放射線治療 (volume-modulated arc radiotherapy : VMAT) は標的線量の集中性の向上に有用であるが、三次元原体照射や強度変調放射線療法と比較して、放射線肺臓炎の発生確率と相関がある肺の低線量域が増加する特徴がある。この問題を解決するために、Chang らは CT 画像上の仮想輪郭を通過するビームレット (線量計算で扱う最小単位の放射線束) を制限することが可能な structure block function という HT の機能を使って、肺線量を低減できることを報告した。¹ 彼らは、CT 画像上の肺野に扇形の仮想輪郭を作成した。その報告を受けて、われわれの研究グループは 20 名の頸部食道がん患者に対し様々な仮想輪郭形状を適用し、リスク臓器 (organ at risk : OAR) の線量低減と標的の線量集中性を評価した²。その結果、気管分岐部から 8 cm の距離で肺の形状に沿った半円形状の輪郭が最も臨床的に有効であった。² 一方、ビームレットの制限は放射線の入射角を制限するため、標的とリスク臓器の線量が患者の動きにより大きく変化する可能性がある。特に、頸部食道のように周辺に肺がある部位ではビームパスに密度変化が起こり得るため、患者の動きによる線量分布の変化を評価することは重要である。しかし、これまでにビームレット制限を使用した治療計画において、患者の動きによる線量分布の変化を示した報告はない。また、ビームレットを制限した治療計画に対してビームレット制限がない通常の治療計画に使用される planning target volume (PTV) マージン (放射線治療において患者の動きなどを考慮し、標的に対して付加する領域、例えば、5 mm) が適用できるかどうかを検討した報告はない。

本研究の目的は、HT による頸部食道がんの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の患者の動きによる標的およびリスク臓器の線量分布の変化を定量化することである。

2. 研究の方法

2-1 CT 撮影と輪郭作成、および治療計画の作成

人体を模擬している RANDO ファントム (The Phantom Laboratory, Salem, NY) の CT 画像に対して、肺や心臓、脊髄、甲状腺などの OAR を設定した。また、頸部食道がん症例を模擬するために仮想標的体積および仮想予防リンパ節体積を作成し、これに 5 mm のマージンを付加した (それぞれ PTV1, PTV2)。気管分岐部から 8 cm の距離で肺の形状に沿った半円形状の輪郭に対してビームレットの制限を適用し、HT による structure block function を用いた治療計画を作成した。また、比較のためにビームレット制限を使用しない治療計画も作成した。2つの治療計画に適用した線量制約を以下に示す。PTV1 : $D_{98\%}$ (体積の 98% に投与される線量) > 54 Gy, $D_{95\%} > 58.8$ Gy, $D_{50\%} < 64.2$ Gy, $D_{2\%} < 72$ Gy, PTV2 : $D_{98\%} > 43.8$ Gy, $D_{95\%} > 46.8$ Gy, $D_{50\%} < 55.8$ Gy, $D_{2\%} < 64.2$ Gy, 体輪郭内 : 最大線量 $< 130\%$, 脊髄 : 最大線量 < 52 Gy, $D_{2\%} < 50$ Gy, 肺 : V_{10Gy} (10Gy が照射される体積) $< 50\%$, $V_{15Gy} < 40\%$, $V_{20Gy} < 25\%$, 甲状腺と心臓の線量は可能な限り低減した。

2-2 位置ずれによる線量変化の評価

治療計画に使用した RANDO ファントムの CT 画像を 3 方向 (左右, 頭尾, 腹背) に対してそれぞれ ± 1 ボクセル (± 2.1 mm), ± 2 ボクセル (± 4.3 mm), ± 3 ボクセル (± 6.4 mm) の位置ずれを加えた画像を作成した。これら画像に対してそれぞれ線量分布の再計算を行い、各輪郭の線量パラメータ ($D_{98\%}$, V_{20Gy} など) を算出した。

3. 研究結果

ビームレット制限を使用しない治療計画における肺の V_{20Gy} と V_{15Gy} , V_{10Gy} は、それぞれ 32.5 Gy と 20.9 Gy, 12.5 Gy であった。一方、ビームレット制限を使用した治療計画のそれらは、それぞれ 21.2 Gy と 16.4 Gy, 11.2 Gy であり、肺の線量低減が定量的に確認された。

位置ずれによる線量変化の評価では、2 ボクセル (± 4.3 mm : PTV マージン内) であれ

ば、ビームレット制限を使用の有無において、仮想標的体積および仮想予防リンパ節体積の $D_{98\%}$, $D_{95\%}$, $D_{50\%}$, $D_{2\%}$ の差は 1% 以内、脊髄の最大線量, D_{1cc} および肺の V_{20Gy} , V_{15Gy} , V_{10Gy} の差は数% 以内、心臓の平均線量, V_{40Gy} および甲状腺の D_{mean} の差は数% 以内であった。ビームレット制限を使用しても、ビームレット制限を使用しない通常の治療計画とほぼ同等の線量変化を示した。

4. 考察

本研究では、頸部食道がんに対するビームレット制限を使用した HT の治療計画において、ファントムの移動による標的と OAR の線量変化を定量化した。Warren らは、頭尾方向に ± 7 mm, 左右と背腹の方向に ± 5 mm の患者のずれが生じたときに、食道がんの VMAT のほとんどの症例において標的の $D_{98\%}$ の変化は 5% 未満であったと報告した。彼らは PTV マージンとして 5 mm を使用した。³ また、彼らは脊髄の最大線量、心臓の平均線量、肺の V_{20Gy} の変化も小さいと報告した。³ われわれの研究では簡易的な頸部食道がんの治療計画モデルを使用した。その結果、ビームレット制限を使用しない通常の治療計画と同じ PTV マージン以内の 1 次元の動きであれば、標的や肺、心臓、脊髄への線量の変化はビームレット制限の使用の有無でほぼ同等であった。われわれの過去の研究により、本研究で使用した仮想輪郭形状（気管分岐部から 8 cm の距離で肺の形状に沿った半円形状）は 20 名の頸部食道がん患者に対し優れた OAR の線量低減と標的の線量集中性を示すことが確認されている。² よって、ビームレット制限を使用した治療計画に本仮想輪郭を適用することにより、優れた OAR の線量低減と標的の線量集中性に加え、従来の PTV マージン内の患者の動きに対して安全な線量供給が可能である。

5. 参考文献

1. Chang CH, Mok GS, Shueng PW, et al. Fan-shaped complete block on helical tomotherapy for esophageal cancer: a phantom study. *Biomed Res Int.* 2015;2015:959504.
2. Ito M, Shimizu H, Aoyama T, et al. Efficacy of virtual block objects in reducing the lung dose in helical tomotherapy planning for cervical oesophageal cancer: a planning study. *Radiat Oncol.* 2018;13: 62.1
3. Warren S, Partridge M, Bolsi A, et al. An Analysis of Plan Robustness for Esophageal Tumors:

Comparing Volumetric Modulated Arc Therapy Plans and Spot Scanning Proton Planning. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2016;95(1):199-207.

6. 論文発表

Shimizu H, Sasaki K, Ito M, Aoyama T, Tachibana H, Tomita N, Makita C, Tanaka H, Koide Y, Iwata T, Kodaira T. Impact of target and organ doses related to patient setup error on treatment planning restricted beamlet angles for cervical esophageal cancer: A phantom study. *J Appl Clin Med Phys.* (Accepted)