

令和元年6月12日現在

機関番号：24601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K19236

研究課題名(和文) FFFビームを用いたIMRTにおけるMLCの品質管理に関する研究

研究課題名(英文) Quality Assurance of the Multileaf Collimator for Intensity-Modulated Radiation Therapy with Flattening-Filter-Free Beams

研究代表者

若井 展英 (Wakai, Nobuhide)

奈良県立医科大学・医学部・助教

研究者番号：50745338

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：フラットニングフィルターフリー(FFF)ビームを用いたIMRTにおけるMLCの位置精度が線量に与える影響を検討した。前立腺と頭頸部癌患者を対象としてIMRTの治療計画を作成し、自作ソフトでMLCの位置に誤差を加えて、線量計算を行った。もとのプランと比較し、PTVの線量の変化を求めた。また、MLCの開度をプランごとに算出した。PTVの線量の変化は通常のビームと比べてFFFビームで大きくなった。MLCの開度は通常のビームと比べてFFFビームで狭くなった。PTVの線量の変化とMLCの開度は不の相関を示し、MLCの開度が狭い治療計画ではMLCの位置誤差に対して、堅牢性が低いことが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、照射時間の短縮を目的として、フラットニングフィルターフリー(FFF)ビームの臨床応用が進んでいるが、FFFビームを用いたIMRTを行うときにMLCの位置精度が線量に与える影響についての研究は行われてこなかった。本研究では、FFFビームを用いたIMRTでは通常のビームと比べて、MLCの位置精度が線量に与える影響が大きくなることが分かった。各種ガイドラインでは通常のビームを用いた時のMLCの位置誤差の許容値は示されているが、本研究により、FFFビームを用いたIMRTでは、より厳しい許容値を設定する必要があることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：We evaluated the impact of leaf gap error on target dose using intensity-modulated radiation therapy (IMRT) with flattening-filter-free (FFF) beams. IMRT plans with FFF and normal flattening-filtered (FF) beams were generated for 10 prostate cancer patients and 10 head and neck cancer patients were enrolled. In-house software was used to introduce three leaf gap errors (0.2, 0.6, and 1.0 mm) into each treatment plan, which were then recalculated. Changes in target dose with the three leaf gap errors were evaluated. Average leaf pair opening (ALPO) was calculated in all plans, and the relationship between ALPO and the changes in target dose were investigated. The changes in target dose for FFF beams were larger than those for the FF beams. The ALPO values for FFF beams were smaller than those for FF beams. For the three leaf gap errors, the changes in target dose negatively correlated with ALPO. The plan with a narrow ALPO showed weak robustness against leaf position error.

研究分野：医学物理学

キーワード：FFFビーム IMRT MLC 品質管理 医学物理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

強度変調放射線治療 (Intensity Modulated Radiation Therapy : IMRT)導入以前の古典的な放射線治療では照射野内を均一な放射線強度にするために、フラットニングフィルターが用いられてきた。近年、照射時間の短縮を目的として、フラットニングフィルターフリー(FFF)ビームの臨床応用が進んでいる。フラットニングフィルターを外すことで照射野内の線量はビーム中心が高くなる凸型の分布を示す。IMRTではMLCにより照射野内を不均一な強度にするために、MLCの位置精度が線量に与える影響が大きく、通常のフラットニングフィルタード(FF)ビームを用いたIMRTでは各種ガイドラインでMLCの位置精度の許容値が示されている。しかし、FFFビームを用いたIMRTを行うときにMLCの位置精度が線量に与える影響についての研究は行われてこなかった。

2. 研究の目的

(1)臨床現場でIMRTの適応が多い前立腺癌と頭頸部癌を対象として、FFFビームを用いたIMRTの治療計画を作成し、様々なMLCの位置誤差を生じさせ、治療計画装置を用いてターゲットに与える線量的影響を明らかにする。

(2)治療計画の複雑さにより、MLCの位置誤差が同じであっても、線量的影響が異なる可能性がある。そのため、治療計画の複雑さを示す指標を利用して、治療計画の複雑さと線量的影響の大きさの関係を明らかにする。

(3)MLCの位置誤差が投与線量に与える影響のモデルが作成できたことで、従来から行っているMLCの品質管理の許容値の妥当性を検討し、FFFビームを用いたIMRTにおける許容値を明らかにする。

(4)前立腺癌に対してIMRTだけでなく強度変調回転照射(Volumetric Modulated Arc Therapy : VMAT)の治療計画も作成して、MLCの位置誤差が与える線量的影響を検討して、堅牢性高い照射方法を検討する。

3. 研究の方法

本研究では前立腺癌患者10名と頭頸部癌患者10名を対象とした。治療計画装置はEclipse(Varian)を用いて、コミッシュニングが終了しているTruebeam STx(Varian)のビームデータを使用して、Dynamic MLC IMRTの治療計画を作成した。前立腺癌では10MV(600 MU/min)のFFビームと10MV(2400 MU/min)のFFFビームを使用し、頭頸部癌では6MV(600 MU/min)のFFビームと6MV(1400 MU/min)のFFFビームを使用した。ここで作成した治療計画(Original plan)を自作ソフトで読み込み、既知のMLC gap error(0.2 mm, 0.6 mm, 1.0 mm)を加えた治療計画(Error plan)を作成して、Original planと同じMUで線量計算を行った。Original planとError planでPlanning target volume(PTV)の平均線量の差を比較した。治療計画の複雑さを示す指標として、平均的なMLCの開度であるAverage leaf pair opening (ALPO)を各Original planで算出した。MLC gap errorによる標的の線量変化とALPOの関係を検討した。

前立腺癌ではVMATの治療計画もFFビームとFFFビームで作成して、IMRTと同様にOriginal planとError planでPTVの平均線量の差を比較した。照射に必要なMUを求め、PTVの平均線量の差との関係を求めた。

4. 研究成果

IMRTでは前立腺癌におけるPTVの平均線量の変化はFFFビームとFFビームでそれぞれ、 $6.4\% \pm 0.6\%$ (平均 \pm 標準偏差)と $3.7\% \pm 0.3\%$ ($p < 0.01$)であった。頭頸部癌は同様に、 $6.1\% \pm 0.5\%$ と $4.9\% \pm 0.6\%$ ($p < 0.001$)であり、どちらの部位もFFFビームの方が線量変化は大きくなった(図 1.2)。線量変化はMLC gap errorと相関を示した($R > 0.999$, $p < 0.001$)。PTVの平均線量の変化の許容値を2%としたときのMLC gap errorの許容値は前立腺癌ではFFFビームとFFビームでそれぞれ、0.31 mmと0.54 mmとなったのに対して、頭頸部癌では同様に0.33 mmと0.40 mmとなり、FFFビームを用いたIMRTではFFビームと比較して、より厳しいMLC gap errorの許容値を設定する必要があることが示唆された。

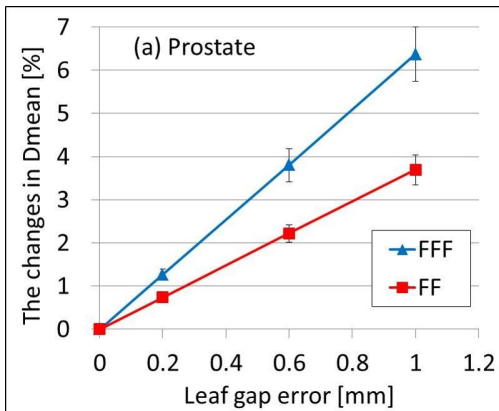


図 1. 前立腺癌における PTV の線量変化

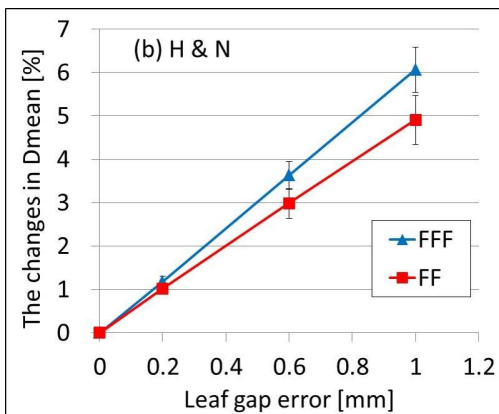


図 2. 頭頸部癌における PTV の線量変化

前立腺癌における ALPO は FFF ビームと FF ビームでそれぞれ、 11.1 ± 1.2 mm と 17.5 ± 1.6 mm ($p < 0.01$)であった。頭頸部癌は同様に、 11.3 ± 0.7 mm と 14.4 ± 1.7 mm ($p < 0.01$)であり、どちらの部位も FFF ビームの方が MLC の開度は狭くなった。各 MLC gap error に関して、線量変化は ALPO と負の相関を示し、ALPO が小さい治療計画ほど、線量変化が大きく、MLC gap error に対して堅牢性が低いことが示唆された(図 3.)。

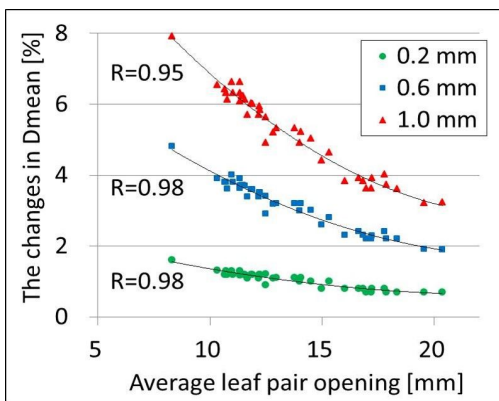


図 3. ALPO と PTV の線量変化

VMAT では前立腺癌における PTV の平均線量の変化は FFF ビームと FF ビームでそれぞれ、 $3.0\% \pm 0.7\%$ と $2.7\% \pm 0.8\%$ であった。MU は IMRT では FFF ビームと FF ビームでそれぞれ、 1294 ± 284 と 759 ± 118 MU であったのに対して、VMAT では同様に、 688 ± 74 と 625 ± 78 MU であり、VMAT の方が PTV の線量変化が小さく、MU も小さくなった。また、MU と PTV の線量変化は正の相関を示し、MU が大きな治療計画では MLC gap error に対して堅牢性が低いことが示唆された(図 4.)。

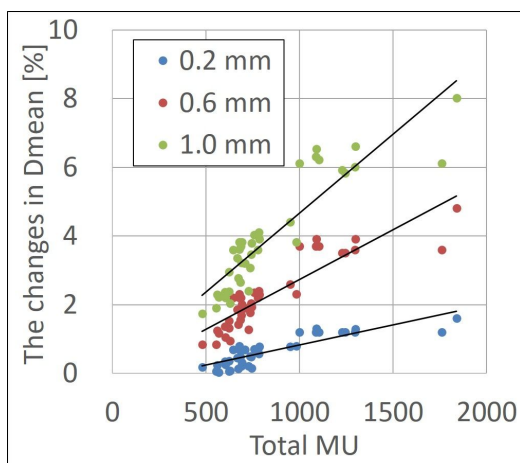


図4. MU と PV の線量変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

若井展英、村上淳基、池口俊孝、北本正和、森本陽子、八巻香織、三浦幸子、浅川勇雄、玉本哲郎、長谷川正俊 ログファイルを用いた多発脳転移に対する単一アイソセンターを用いた照射精度の比較. 定位的放射線治療 23, 2019, 37-42 査読なし

Ryuta Nakahara, Kentaro Ishii, Nobuhide Wakai, Ryu Kawamorita, Wataru Okada, Shun Kishimoto, Kazuki Kubo, Toshifumi Nakajima, Masatoshi Hasegawa. Dosimetric Comparison between Bone and Target Matching Considering Interfractional Prostate Motion in Volumetric Modulated Arc Therapy. International Journal of Medical Physics, Clinical Engineering and Radiation Oncology, 7(1), 2018 47-60 査読有り DOI: 10.4236/ijmpcero.2018.71005

〔学会発表〕(計 6 件)

Marina Tanabe, Nobuhide Wakai, Junki Murakami, Toshitaka Ikeguchi, Masakazu Kitamoto, Tomomi Nakano, Tadashi Yoshimine, Tetsuro Tamamoto, Masatoshi Hasegawa. Quality Assurance of Multiple Brain Metastases with a Single-Isocenter Plan using Portal Dosimetry and Independent Dose Calculation. 2018 ASTRO annual meeting (国際学会) 2018 年 10 月 21 日 -24 日 Henry B. Gonzalez Convention Center (USA)

村上淳基、若井展英、池口俊孝、北本正和、吉峰正、玉本哲郎、長谷川正俊 回転照射と EPID を用いた定位放射線治療のためのアイソセンタ位置検証 日本放射線腫瘍学会 第 31 回学術大会 2018 年 10 月 11 日-13 日 国立京都国際会館(京都)

若井展英、村上淳基、池口俊孝、森本陽子、入江大介、八巻香織、三浦幸子、浅川勇雄、玉本哲郎、長谷川正俊 ログファイルを利用した多発脳転移に対する単一アイソセンターを用いた 2 つの照射法の精度比較 第 27 回日本定位放射線治療学会 2018 年 6 月 22 日 つくば国際会議場(茨城県)

Nobuhide Wakai, Isao Asakawa, Tetsuro Tamamoto, Youko Morimoto, Kori Yamaki, Masahiro Morimoto, Sachiko Miura, Masatoshi Hasegawa. Dosimetric Impact of Leaf Gap Error on Target

Dose Using Volumetric Modulated Arc Therapy and Intensity-Modulated Radiation Therapy with Flattening Filter-Free Beam. 2017 ASTRO annual meeting (国際学会) 2017年9月24日-27日 San Diego Convention Center (USA)

若井展英、浅川勇雄、玉本哲郎、森本陽子、八巻香織、三浦幸子、長谷川正俊 FFF ビームを用いた VMAT と IMRT における leaf gap error の線量的影響 日本放射線腫瘍学会 第30回学術大会 2017年11月17日-19日 ナレッジキャピタルコングレコンベンションセンター(大阪)

池口俊孝、若井展英、藤谷信将、村上淳基、宮島祐介、石見浩、吉峰正、玉本哲郎、長谷川正俊 Flattening filter-free beam を用いた脳定位治療における至適 leaf margin の検討 日本放射線腫瘍学会 第29回学術大会 2016年11月25日-27日 国立京都国際会館(京都)