



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	強度変調放射線治療において胃の呼吸性移動が及ぼす影響についての研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	打浪, 雄介
Description	配架番号 : 2497
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(医学)
Dissertation Number	甲第13817号
Issue Date	2019-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/76557
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yusuke_Uchinami_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（医 学） 氏 名 打浪 雄介

学 位 論 文 題 名

強度変調放射線治療において胃の呼吸性移動が及ぼす影響についての研究

(Impact of Stomach Respiratory Motion in Intensity-Modulated Radiotherapy)

【背景と目的】

胃を原発とする悪性腫瘍において放射線治療は重要な役割を果たしており、限局性胃 MALT (Mucosa-associated lymphoid tissue) リンパ腫において有効な治療選択肢となっている。強度変調放射線治療 (Intensity-modulated radiotherapy, IMRT) はターゲットに対して良好な線量均一性を得ると同時に、周囲リスク臓器への線量低減を目指して広く行われている。しかし IMRT には複雑なマルチリーフコリメータ (multileaf collimator, MLC) の動きが存在し、呼吸性移動を伴うターゲットとの相互作用により均一な線量投与が行われていない懸念がある。この現象はインタープレイエフェクトとして知られているが、胃 IMRT に関する報告は限られている。この研究の目的は、胃に対する IMRT においてその呼吸性移動が線量分布に与える影響を検討することである。

【対象と方法】

2015 年 4 月から 2018 年 1 月までに当院で胃悪性リンパ腫に対して放射線治療 (IMRT) を施行した 10 例を対象とした。9 例は 30Gy/20 回、1 例は 40.5Gy/27 回の処方線量で治療が行われていた。

1. 治療計画の作成にあたっては、自由呼吸下に治療計画 CT (computed tomography) を撮像し、ターゲットやリスク臓器をコンツールリングした。ターゲットは胃全体であり、これを CTV (clinical target volume) と定義した。当院では自由呼吸下に撮像した CT 画像をもとに治療計画を作成しており、その治療計画を F3D (Free-breathing 3-dimensional plan) と定義した。また自由呼吸下の CT に引き続き、呼吸性移動を把握するために 4 次元 CT (Four-dimensional CT, 4DCT) を治療計画時に全症例で撮像している。4DCT は 1 回の呼吸サイクルを 10 位相に分割し、それぞれの位相 (0-90%) で CT 画像を再構成したものである (CT_{10%}、CT_{20%}、...CT_{90%})。各呼吸位相における CT 画像において胃をコンツールリングすることで体積変化を算出し、その重心の動きから胃の呼吸性移動を求めた。
2. 各呼吸位相における胃の呼吸性移動が実際の体内での線量分布に与える影響を調べるために、治療計画装置上で胃の呼吸性移動を反映した 2 種類のシミュレーション計画を作成し評価した。毎回の照射のうち呼吸サイクル内で呼吸位相 0, 25, 50, 75% の決まった位置から放射線照射を開始したと仮定したシミュレーションをそれぞれ S4D (Simple 4-dimensional simulation) - 0, 25, 50, 75% とし、その平均を S4D-average とした。また照射開始となるタイミングを呼吸サイクル内でランダムに決定したシミュレーションを R4D (Random 4-dimensional simulation) とした。これらの独立したシミュレーションを実際の

放射線治療と同様に9例で20回、1例27回行った。線量分布の指標としてHI (homogeneity index、CTV 内最高線量の CTV 内最低線量に対する比)、 V_p (処方線量によって囲まれる CTV 体積割合)、 D_{99} (CTV の 99%体積に対して付与される線量) について評価した。なお D_{99} については異なる線量分割の患者において比較を行うために、30Gy 投与の場合を想定して線量を等倍した。

【結果】

1. 10 症例における胃の呼吸性移動 $\pm 1SD$ (standard deviation, 標準偏差) は前後、左右、頭尾方向においてそれぞれ 4.1 ± 1.4 、 2.9 ± 1.3 、 10.1 ± 4.5 mm であった。呼吸性移動は頭尾方向で最も顕著であった。また 10 相すべての 4DCT 画像から計算した平均の胃体積 $\pm 1SD$ は 273.7 ± 68.5 cm³ であった。各呼吸位相の CT 画像から算出した胃体積は、10 相全体から算出した平均胃体積に対して概ね 5%以内であった。
2. S4D において 4 つの異なる照射開始のタイミング (S4D-0, 25, 50, 75%) とそれらを平均した線量分布 (S4D-average) から得られる HI は、いずれも F3D よりも有意に低下していた ($p\leq 0.002$)。しかしながら R4D における HI の中央値は 0.052 (範囲: 0.035 – 0.127) であり、F3D との間に有意差は認めなかった ($p=0.762$)。F3D における V_p の中央値は 99.71% (範囲: 97.59 – 99.93) であり、S4D のいずれのシミュレーション (S4D- 0, 25, 50, 75%, average) よりも下回っていた。R4D における V_p の中央値は 97.24% (範囲: 92.85 – 100) であり、F3D の V_p よりも有意に下回っていた。S4D における D_{99} の中央値はいずれのシミュレーション (S4D- 0, 25, 50, 75%, average) も F3D よりも有意に下回っていた ($p\leq 0.002$)。R4D における D_{99} の中央値は 30.05 Gy (範囲: 28.80 – 30.40) であり、こちらも有意に F3D よりも下回っていた ($p=0.012$)。しかしながら R4D と F3D における D_{99} の相違は 0.25Gy であり、これは処方線量の 1%以下であった。

【考察】

本研究の結果から胃の呼吸性移動は頭尾方向において最も大きく、過去の報告と合致していた。また呼吸性移動に伴う胃の体積変化は平均体積に比較しておおよそ 5%以内であり、呼吸性運動に伴う胃の形態変化は限定的である可能性があることが示唆された。

S4D は呼吸サイクル内で照射開始のタイミングを固定しているため、照射回数を重ねても本質的には 1 回だけ照射した場合の線量分布とみなすことができる。一方 R4D における照射開始のタイミングはランダムであるため、実際の臨床での放射線治療の状況に近いと考えることができる。S4D が示すように 1 回のみの照射においては不均一な線量分布である一方、R4D が示すように分割回数を重ねていくことによってその分布が均一化されていくことが示唆される。また F3D と R4D における D_{99} の比較では、インタープレイエフェクトによる線量の相違は処方線量の 1%以下であった。したがって通常分割照射の場合において IMRT はインタープレイエフェクトの存在下であっても十分に許容されるものであると考えられる。

【結論】

10 症例の胃 IMRT 症例を用いて胃の呼吸性移動と体積変化、線量分布への影響について示した。自由呼吸下において通常分割照射で胃 IMRT を行なった場合、呼吸性移動に伴うインタープレイエフェクトは V_p や D_{99} において有意な低下を認めたが、線量低下の程度は限定的であった。インタープレイエフェクトに関するより詳細な評価のためにさらなる検討が求められる。