

呼吸同期VMATにおける照射野形状の複雑さとgate levelが線量分布に及ぼす影響

南東北がん陽子線治療センター 診療放射線科 ○加藤 雅人(Kato Masato)
遠藤 浩光 廣垣 智也 辻 眞也 工藤 眞也 上野 達也 田沼 雅崇 長尾 歩乃佳
南東北BNCT研究センター 放射線治療品質管理室 小森 慎也
福島県立医科大学 保健科学部診療放射線科学科 加藤 貴弘

【目的】

強度変調回転放射線治療 (VMAT) では、標的に対する線量集中性の向上および正常組織の線量低減が可能である。近年、胸腹部領域の呼吸性移動を伴う症例に対してもVMATが採用されることがある。呼吸性移動対策の一つに呼吸同期VMATがあるが、同期制御による装置駆動系、出力系の急停止と再開を繰り返す間欠照射に伴うmulti-leaf collimatorの位置や線量率等の精度担保が懸念される。仮想標的¹⁾、臨床例3例 (肺、膵臓)²⁾に対する呼吸同期VMATの患者QA結果は良好とする報告があるが、治療計画の質が及ぼす影響については不明瞭であり、複雑な治療計画においても同様のことが言えるのか定かではない。本研究では、呼吸同期VMATにおける間欠照射が出力精度に及ぼす影響について治療計画の複雑さを考慮した評価を試みる。

【使用機器】

実測配置外観をFig.1、使用機器を以下に示す。
放射線治療装置
: TrueBeam (Varian Medical Systems)
治療計画装置
: Eclipse ver.15.6 (Varian Medical Systems)
多次元検出器
: ArcCheck (SUN NUCLEAR)
動態ファントム
: QUASAR プログラマブル呼吸同期
プラットフォーム (Modus Medical Devices)



Fig.1 実測配置外観

【方法】

・治療計画の立案

胸腹部疾患症例8例 (リンパ節、肺、食道、胆管等) を対象とした。治療計画装置に搭載されている機能であるaperture shape controller (ASC) により、各症例に対して照射野形状の複雑さを变化させた治療計画を作成した。ASCの設定は3通り (Off, Very Low, Very High) とした。複雑さの評価指標にはMcNivenらが提唱したmodulation complexity score (MCS)を採用した³⁾。

・実測検証

各治療計画に対して検証プランを作成し、多次元検出器を静止状態で非同期照射した。次に、同期照射条件として周期3秒のsin波に対してgate level 30、50%を設定して同期照射した。得られた実測結果に対して γ 解析 (3%/2 mm, Th 10%) を行い、非同期照射時の結果と比較検討した。なお、評価基準はAAPM TG-218で推奨される普遍的許容値限度 (γ パス率 $\geq 95\%$) とした⁴⁾。

【結果】

各治療計画における γ パス率の結果をTable 1 およびFig.2に示す。今回検討した全ての治療計画において、呼吸同期の有無によらず γ パス率は95%以上だったが、同期照射では低下する傾向にあった。

同期の有無による実測値間の比較として、非同期照射時に対する γ パス率の差をFig.3に示す。非同期照射時に対する同期照射の γ パス率の差は、gate level 30%の場合、 $\pm 0.5\%$ 以内は17例 (71%)、 $\pm 1\%$ 以上は3例 (13%)、gate level 50%の場合、 $\pm 0.5\%$ 以内は19例 (79%)、 $\pm 1\%$ 以上は存在しなかった。MCSが小さい場合において γ パス率の差は大きくなるケースがみられた。

【考察】

全ての治療計画において呼吸同期の有無によらずAAPM TG-218で推奨される普遍的許容値限度 (γ パス率 $\geq 95\%$) を満たしたことから、臨床例での呼吸同期VMATにおける照射野形状の複雑

Table 1 各治療計画における γ パス率 (単位:%)

		non-gate	gate level 30%	gate level 50%
Off	Mean \pm SD	98.8 \pm 1.0	98.4 \pm 1.0	98.5 \pm 1.1
	Range	97.1~100	96.9~99.6	96.9~100
Very Low	Mean \pm SD	99.2 \pm 0.7	98.7 \pm 0.9	98.9 \pm 0.8
	Range	97.8~100	97.5~100	97.8~100
Very High	Mean \pm SD	99.5 \pm 0.6	99.2 \pm 0.6	98.4 \pm 0.7
	Range	98.4~100	98.4~100	97.9~100

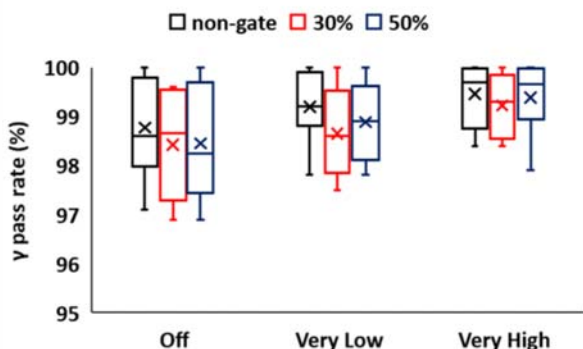


Fig.2 各治療計画における γ パス率

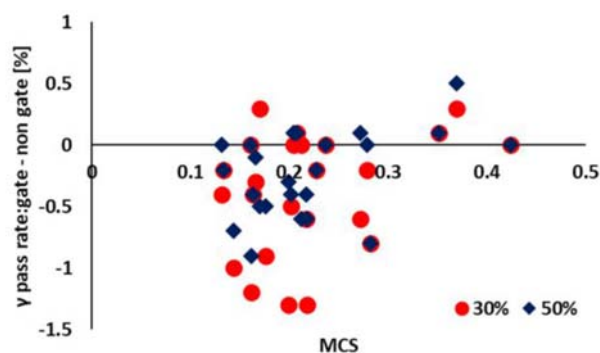


Fig.3 非同期照射時に対する γ パス率の差

さ及びgate levelが及ぼす影響は概ね許容されると考えられた。一方、同期照射における γ パス率はやや低下する場合があります、照射野形状が複雑であると間欠照射による影響を受ける可能性があることも示唆された。間欠照射による影響の低減策として、ASCにより照射野形状の複雑さを低減させる、gate levelを調整する等が考えられる。なお、本検証では多次元検出器を静止状態で実測しており、gating window内でのターゲットの動きによるinterplay effectの影響は反映されていない。また、本研究では単純な呼吸波形を用いて検証したが、実臨床における呼吸波形はより複雑である。したがって、毎回の治療時に同じ位相で同期制御が生じるとは限らず、事前検証と実臨床での照射精度は異なる可能性がある。今回は、装置駆動系、出力系の安定性に着目して検証したが、log file等を用いることでより実臨床に近い条件下での検証を引き続き実施していきたいと考えている。

【まとめ】

呼吸同期VMATにおける照射野形状の複雑さとgate levelが線量分布に及ぼす影響を検討した。今回検討した全ての治療計画において呼吸同期

の有無によらず γ パス率は95%以上だったが、同期照射ではやや低下する傾向が認められた。標的とリスク臓器の位置関係が複雑な症例に対して呼吸同期VMATを適用する場合には、照射野形状の複雑さやgate levelに配慮が必要となる可能性が示唆された。

【参考文献・図書】

- 1) Qian J et al. Dose verification for respiratory-gated volumetric modulated arc therapy (VMAT) Phys Med Biol. 2011 August 7; 56(15): 4827-4838.
- 2) Kanai K et al. 呼吸同期VMATのマルチリーフコリメータ位置精度 Jpn. J. Med. Phys. 2018; 38(1): 2-9
- 3) McNiven AL et al. A new metric for assessing IMRT modulation complexity and plan deliverability. Med Phys. 2010; 37(2): 505-515.
- 4) Miften M et al. Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA: Recommendations of AAPM Task Group No. 218. Med Phys. 2018 Apr;45(4): e53-e83.