

VMATにおけるビームアレンジメントの基礎的検討

- コリメータ開度について -

福島県立医科大学附属病院 放射線部 ○長澤 陽介(Yosuke Nagasawa)

岡 善隆 宮岡 裕一

【はじめに】

近年、強度変調放射線治療や強度変調回転放射線治療(Volumetric-modulated arc therapy:VMAT)などの高精度放射線治療が普及し、様々な症例に適用されている。当院では、標的が複雑な形状で、かつリスク臓器(organ at risk:OAR)が隣接するような症例、例えば頭部の皮膚に広く進展した血管肉腫や椎体・椎弓にかけて進展した骨転移などが増加傾向にある。通常、VMATの治療計画では、理想とする線量分布に近づけるために、最適化計算でトライ&エラーを繰り返すことが多いが、先述のような特殊な症例では、それに加えてガントリ回転角度やコリメータ角度・開度などのビームアレンジメントを再検討することで線量分布の大幅な改善につながった症例をしばしば経験した。そこで本研究では、VMATの治療計画において、コリメータ開度の設定が線量分布に与える影響を検証した。

【方法】

米国医学物理学会のTask Group Report 119(TG119)¹⁾で提供されているテスト症例の1つであるC-shapeを対象とした。C-shapeは、計画標的体積(Planning Target Volume:PTV)とOAR、そして体輪郭Bodyの3つの輪郭で構成され、円柱状のOARを囲むように馬蹄形のPTVが設定されている(Fig.1)。また、各テスト症例における線量制約の目標値も併せて提供されている。本研究ではC-shapeに対して、コリメータ開度の異なる2パターンの治療計画を作成した。一方はPTVを包含するように最適化されたコリメータ開度とし(Fullプラン)、もう一方はFullプランのコリメータ開度を基準として片側のみを閉じ、PTVの半分を遮蔽するようなコリメータ開度とした(Halfプラン)。それぞれのコリメータ開度の一例をFig.2に示す。ただし、Fullプランが青色の実線、Halfプランが破線とする。コリメータ開度以外のパラメータは全て同一とし、アイソセンタはPTVの重心に設定し、ガントリ回転角度は181-179°の2アーク、コリメータ角度は5°および85°とした。リニアックはVarian Medical Systems社製Clinac iX(MLC幅5.0 mm)とし、10 MVの光子線を用いた。処方線量は、TG119プロトコルに則り、PTV D_{95%}に対して50 Gy/25 Frとした。治療計画装置には、Varian Medical Systems社製Eclipse ver.15.6を用いた。最適化計算では、PTVおよびNormal Tissue Objective(NTO)の制約を固定値として、OARの線量制約を30~5 Gyの範囲で変化させ(パターン1~6)、Full/Halfプランでそれぞれ6通りの治療計画を作成した。最適化計算のパラメータをTable 1に示す。Priorityは一律100に設定した。PTVにおけるD_{95%} = 50 Gyとしたとき、PTVおよび正常組織の目標値(PTV D_{10%} < 55 Gy, OAR D_{10%} < 25 Gy)を満たしつつ、最もOARの線量低減を達成した治療計画を探索し、Dose Volume Histogram(DVH)を比較した。

【結果】

全6パターンの治療計画のうち、Fullプランでは2パターンで、Halfプランでは4パターンで目標値を達成した。各治療計画におけるPTVおよびOARのD_{10%}をTable 2に示す。なお、TG119プロトコルの目標値を達成している値を赤字で示す。それぞれのコリメータ開度で目標値を満たしつつ、最もOARの線量を低減できた治療計画におけるPTV/OARのD_{10%}は、Fullプランでは53.5 /20.7 Gy(パターン3)、

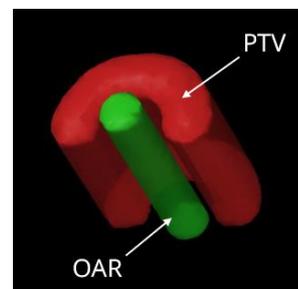


Fig.1 C-Shape の外観

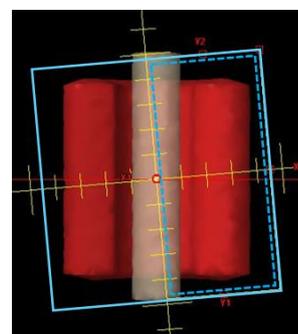


Fig.2 コリメータ開度

Table 1 最適化計算のパラメータ

	対象	制約のタイプ	線量 [Gy]	体積 [%]
固定値	PTV	Upper	50	0
		Lower	50	100
	Body	NTO		Auto
パターン1	OAR	Upper	30	0
パターン2			25	0
パターン3			20	0
パターン4			15	0
パターン5			10	0
パターン6			5	0

Halfプランでは54.6 /12.4 Gy(パターン5)であった。これらのDVHをFig.3に示す。

【考察】

Table 2より、Fullプランと比較して、Halfプランでは、PTVおよびOARのD_{10%}が低く抑えられ、目標値を達成しやすい傾向が認められた。また、Fig.3より、HalfプランではPTVの均一性を維持しつつ、大幅なOARの線量低減が可能であった。これはFullプランでは広いコリメータ開口部内でMLCがOARを横断する動きが散見されたのに対して、Halfプランではコリメータ開度が狭められたことでMLCの駆動範囲が制限され、常にMLCがOARを遮蔽するように動いていたことが要因の一つであると考えられる(Fig.4)。しかし、MLC駆動の様子から、MLCがこのような振る舞いをするためには、コリメータ開度の設定だけでなく、アイソセンタの位置も影響することが推測された。そこで、この仮説を検証するために、PTVの重心(=OARの重心)に設定されたアイソセンタ(Fig.5 ○印)を腹背方向に2.5 cm平行移動させた位置(Fig.5 ◎印)に再設定し、最適化計算を行った。このときアイソセンタ位置以外のパラメータはHalfプラン(パターン5)と同様の条件とした。その結果、OARを横断するMLC駆動が散見され、PTV/OARのD_{10%}は60.1/14.8 Gyとなり、アイソセンタ移動前と比較してPTVのD_{10%}が大幅に増加し、目標値を達成できなかった。このことから、PTVおよびOARの形状や位置関係を考慮した上で、コリメータ開度、アイソセンタ位置を決定することで理想とする線量分布を達成しやすくなることが示唆された。ただ、本研究は、C-shapeという単純な輪郭を対象とした検討であるため、すべての症例に対して有効であるとは限らない。また、非常にシンプルな条件で最適化計算を行ったが、より適切な条件を設定することで、Fullプランでもより良い線量分布を得られる可能性があることには注意が必要である。今後、コリメータ開度だけでなく、アイソセンタ位置やコリメータ角度など最適なビームアレンジメントについての検討を行い、臨床に応用したい。

Table 2 各プランにおけるDVHパラメータ

コリメータ開度	パターン No.	D _{10%} [Gy]	
		PTV	OAR
Fullプラン	1	51.7	28.4
	2	52.1	23.7
	3	53.5	20.7
	4	57.7	19.0
	5	63.5	17.3
	6	70.3	17.6
Halfプラン	1	52.2	27.0
	2	52.2	22.4
	3	52.4	18.0
	4	53.0	14.2
	5	54.6	12.4
	6	57.7	11.4

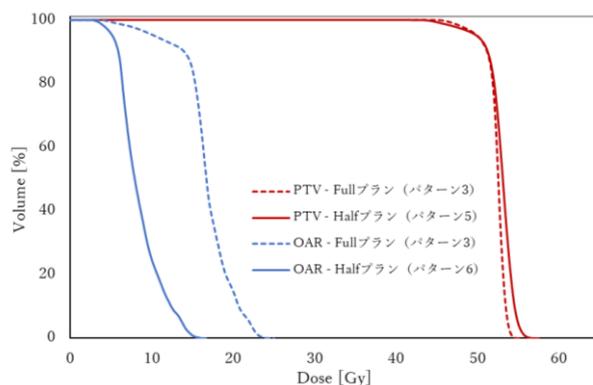
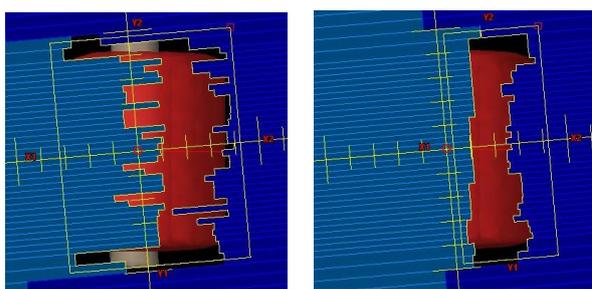


Fig.3 Full/HalfプランにおけるDVHの比較



(a) Fullプラン (b) Halfプラン

Fig.4 MLCの駆動例(304.1度)

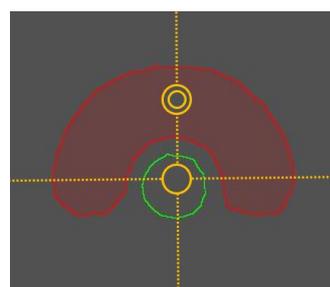


Fig.5 アイソセンタの位置

【結語】

VMATの最適化計算において、PTVおよびOARの形状・位置関係に応じて、コリメータ開度やアイソセンタ位置など、適切なビームアレンジメントを施すことで目標とする線量分布を実現しやすくなることが示唆された。

【参考文献・図書】

- 1) AAPM Task Group 119: IMRT commissioning: Multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report from AAPM Task Group 119,2009