

サイバーナイフの線量分布を模倣した VMAT プランの有効性に関する検討

1)南東北がん陽子線治療センター 2)総合南東北病院 3)福島県立医科大学

○遠藤 浩光 (Endo Hiromitsu)^{1),2)}

真崎 敬大^{1),2)} 島田 星良^{1),2)} 加藤 亮平^{1),2)} 竹内 瑛彦^{1),2)} 大内 久夫^{1),2)}
 小松 俊介^{1),2)} 新井 一弘^{1),2)} 小森 慎也^{1),2)} 阿部 良知^{1),2)} 加藤 貴弘^{1),2),3)}

【背景および目的】

昨今の放射線治療モダリティは多様化する傾向にあり、症例に応じてより良い治療を提供可能となりつつある。しかし一方で、汎用リニアックが複数台あればフォールトトレランスを構築できる利点があったが、仕様が異なるモダリティ間ではマシントラブル時の対応に課題が残るのが実情である。近年、その課題を解決するための一手法として、既存の線量分布を模倣しながら自動で最適化計算 (dose-mimicking algorithm、DVH-based mimicking) を行うことが可能なFallback Planning (FP) 機能がリリースされた。そこで今回はサイバーナイフ (CK) プランの線量分布を例にとり、VMATプランとして模倣することでFPの特徴とその有用性について検討した。

【対象および方法】

- i) 対象は当院のCKで2016年3月～2018年5月に治療を実施した、転移性胸椎腫瘍の再照射6例(仰臥位3名+腹臥位3名、PTV=1.5～60 cm³ (中央値=33.6))とした。なお、治療計画用CTはLightSpeed RT16 (GE社)を用いた。
- ii) MultiPlan (v5.3, Accuray社)を用い、CKプラン (6MV-FFF, 30 Gy/3 Fr., D_{95%}処方)として作成した。
- iii) Eclipse (v11.0.47, Varian社)を用い、通常手順でVMATプラン (6MV-FFF, Dual-arc: Full×2)を作成してiiのDVHと比較した。
- iv) RayStation (v4.7.4.4, RaySearch社)のFPを用いたVMATプラン (6MV-FFF, Dual-arc: Full×2, Target vs. OAR ratio=100, 追加の最適化2回)を自動作成し、iiとのDVH、PTVにおけるnCI/HI/CoverageおよびSpinal Cord D_{1cc}をそれぞれ比較した。なお、nCIとHIの算出式は以下に示す通りである。

$$nCI = \frac{\text{処方線量等価体積} \times PTV}{(\text{処方線量以上照射されるPTV})^2} \quad HI = \frac{D_{2\%}}{\text{処方線量}} \quad \text{Coverage} = \frac{\text{処方線量以上照射される体積}}{PTV}$$

【結果および考察】

通常の手順でVMATを作成した場合 (Fig.1a)、CKとVMATではDVHの形状が大きく異なり、とりわけPTVにおいてはD95%処方とした場合の線量相違が著しい。ここからCKのDVHを模倣するために、まずはUpper Objectiveを除外したが大きな改善は図れなかった (Fig.1b)。続いて、Lower Objectiveを全域に追加してPTV全体の線量増加を試みれば徐々に近似していくこと

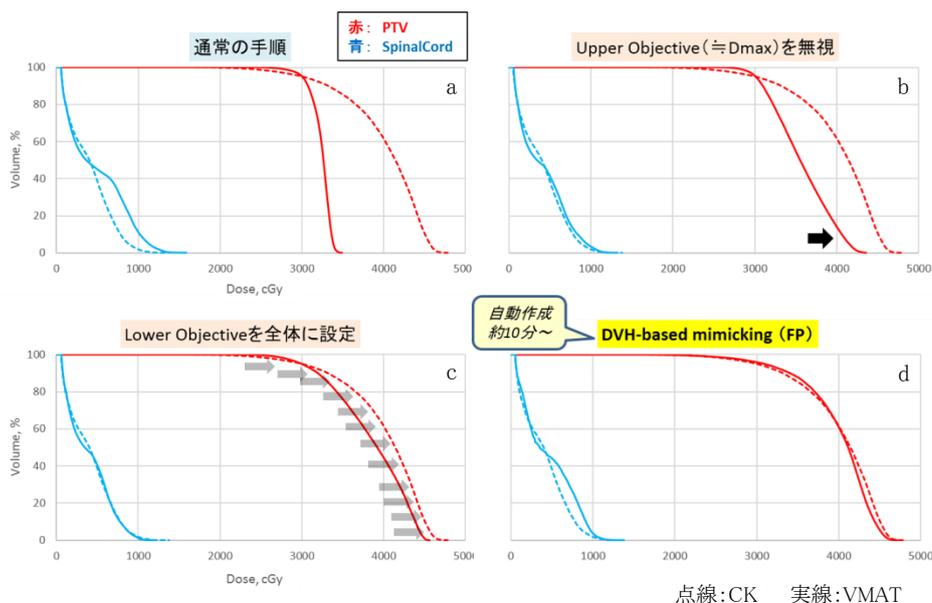


Fig.1 a: 通常手順のVMAT、b: Upper Objectiveを除外したVMAT、c: Lower Objectiveを全体に追加したVMAT、d: FPで自動作成したVMAT

が可能であったが(Fig.1c)、CKと同等のDVHを達成するまでには複数回にわたって最適化計算を行う必要があり、煩雑かつ時間的労力を強いられる(すなわち、計画者の手間)と考えられる。それに対してFPにおいてはビームアレンジメントのみ手動設定が必要であるが、以降の最適化を含めた過程は全て自動で実施(概ね10~30分程度で、計算時間はROI数に比例)されることから、簡易的に作成可能かつCK同等のDVHが達成できることが示唆された(Fig.1d)。

対象の全6例におけるCKとFPの各線量指標をFig. 2に示す。nCIはビームアレンジメントの自由度に富むCKが全例で優れており

(Fig.2a)、FPで更に線量集中性を向上させるためにはノンコプラナーのビーム(HyperArcなどの技術)が必要と考えられる。PTVに隣接するSpinal Cordの最大線量(D_{1cc})がCKに比べて増加したのも(Fig.2d)、上述の内容に起因するものであり、同様に改善が期待される。加えてHI及びCoverageは概ね同等であることから(Fig.2b及び2c)、PTV内の線量においてはCKのプランニングコンセプトをよく模倣できる可能

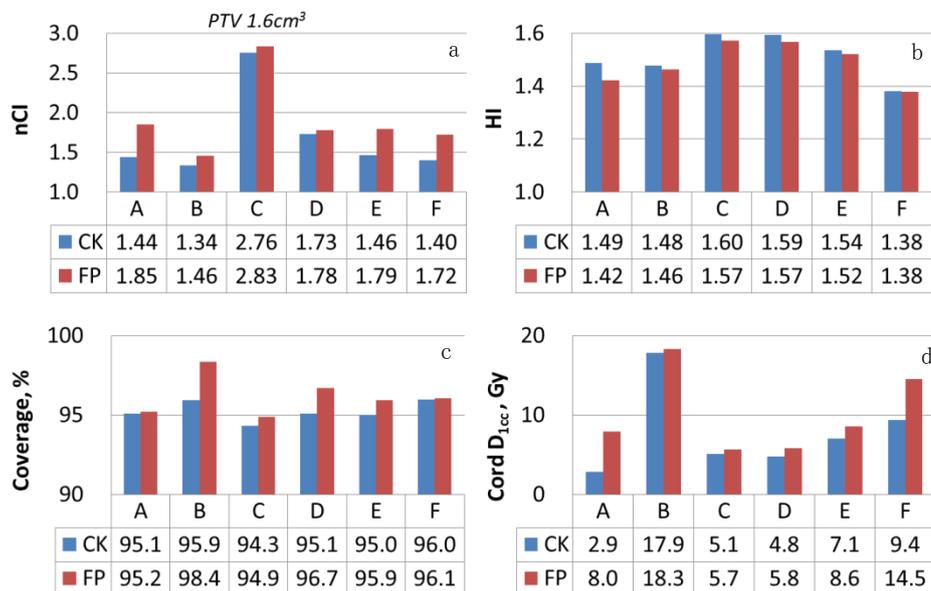


Fig.2 a: nCI, b: HI, c: Coverage, d: Spinal Cord D_{1cc}

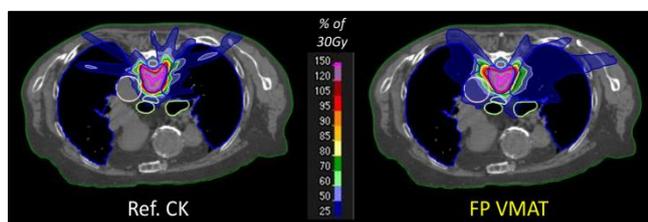


Fig.3 典型例(腹臥位)

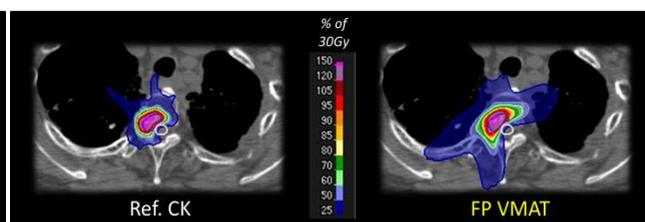


Fig.4 局所再発例(Small-Field)

性が示唆された。最後に、実際にFPで模倣した線量分布を症例供覧として参照されたい(Fig.3、Fig.4)。

【結語】

異なるモダリティのフォールトトレランスを構築する上で、FPはDVHを模倣したプランを簡便に作成できる観点から非常にリーズナブルなツールに成り得るが、ビームアレンジメントや物理特性の相違から完全に同一の線量分布を作成することは困難である。しかし、重篤なマシントラブルなどが生じた際には迅速にバックアッププランを提案することが可能であり、例えば“複数回照射のうち1回なら代替照射を許容”と医師が判断を下せば患者の不利益を最低限に抑えられる。つまり、マシントラブル時において取り得る選択肢の幅を広げられる可能性がある。これにより実臨床における有効活用が見出されるため、引き続き異なるモダリティ間でのFPを検討するとともに、dose-mimicking algorithmや最適化計算のさらなる精度向上にも期待したい。

【参考文献】

- 1) サイバーナイフ臨床指針 サイバーナイフ研究会・臨床指針委員会編著 日本アキュレイ株式会社
- 2) M. Descovich, et al. : Comparison Between Prone and Supine Patient Setup for Spine Stereotactic Body Radiosurgery. Technology in Cancer Research and Treatment, 11, 229-236, 2012
- 3) K. Petersson, et al. : Evaluation of dual-arc VMAT radiotherapy treatment plans automatically generated via dose mimicking. Acta Oncologica, 55, 523-525, 2016
- 4) M. Chris, et al. : Fully automated treatment planning for head and neck radiotherapy using a voxel-based dose prediction and dose mimicking method. Physics in Medicine and Biology, 62, 5926-5944, 2017