

転移性胸椎腫瘍に対するサイバーナイフにおける計算アルゴリズムの違い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 ○加藤 亮平 (Kato Ryohei)
阿部 良知 大内 久夫 小松 俊介 太田 裕樹
中野渡 優志 遠藤 浩光 竹内 瑛彦 加藤 貴弘
福島県立医科大学 加藤 貴弘

【背景】

転移性脊椎腫瘍、特に再照射例に対する放射線治療において、CyberKnife (CK)が有用であると報告されている¹⁾。CKでは多数のビームの照射中心位置と出力 (MU)を変化させて強度変調を行い、標的臓器への線量集中性を向上させている。しかし、胸椎腫瘍に対するCKではビームが肺を通過するため、一次線の減弱しか考慮していないRay-Tracing (RT)アルゴリズムでは計算精度が不十分な可能性がある。そこで本研究では転移性胸椎腫瘍に対するCKにおいて、RTとMonte Carlo (MC)で計算した線量分布を比較した。

【方法】

転移性胸椎腫瘍を有する患者5例を対象とし、シミュレーションスタディとしてCKの治療計画を作成した。GTV (またはCTV)に2 mmマージンを付与した体積をPTVとし、PTVのD₉₅に対して30 Gy/3 Fr.として処方した。治療計画における線量制約は脊髄D_{max} ≤ 25 Gy、GTV (またはCTV) D_{min} ≥ 25 Gyとした。RTとMCの線量分布を比較するために、RTで作成した治療計画と同様のビームパラメータを使用してMCで再計算した。RTとMCの線量分布はPTV、脊髄内の3D-γ解析 (Threshold: 10%、Tolerance: 1%/1 mm)にて評価した。また、RTとMCにおけるPTVのD₉₀、D_{mean}、脊髄のD_{0.1cc}、D_{mean}についてウィルコクソンの符号付順位和検定 (有意水準5%)にて比較した。

【結果】

3D-γ解析において、脊髄では高いパス率を示したが、PTVのパス率は低かった (Fig.1)。特にPTV内のγのパス率が小さかった患者の線量分布では、肺野におけるRTとMCの線量差が顕著であった (Fig.2)。またPTVの線量パラメータにおいて、統計学的に有意な差を認め、RTがMCよりも高い傾向を示した (Fig.3)。一方、脊髄の線量パラメータにおいて、統計学的に有意な差は認められなかったが、D_{0.1cc}はRTがMCよりも高くなった (Fig.4)。

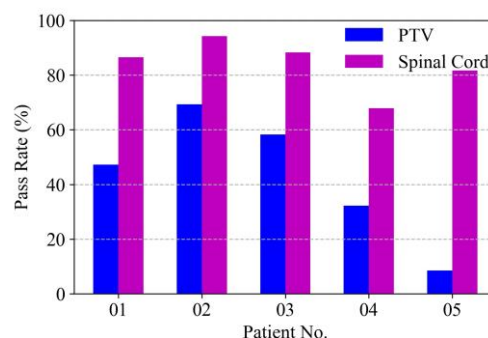


Fig.1 各 Structure 内の 3D-γ 解析

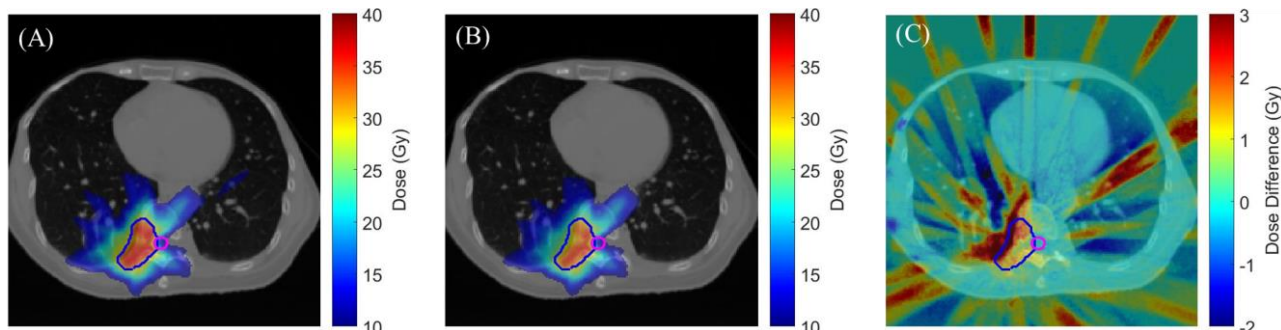


Fig.2 Patient05 の線量分布と線量誤差
(A) RT の線量分布 (B) MC の線量分布 (C) 線量差 (RT-MC)

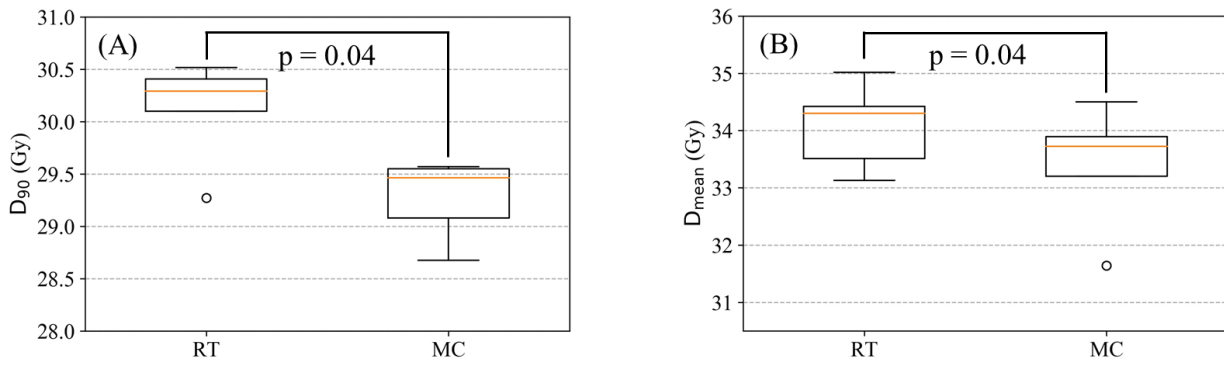


Fig.3 PTVの線量パラメータ
(A) PTV D_{90} (B) PTV D_{mean}

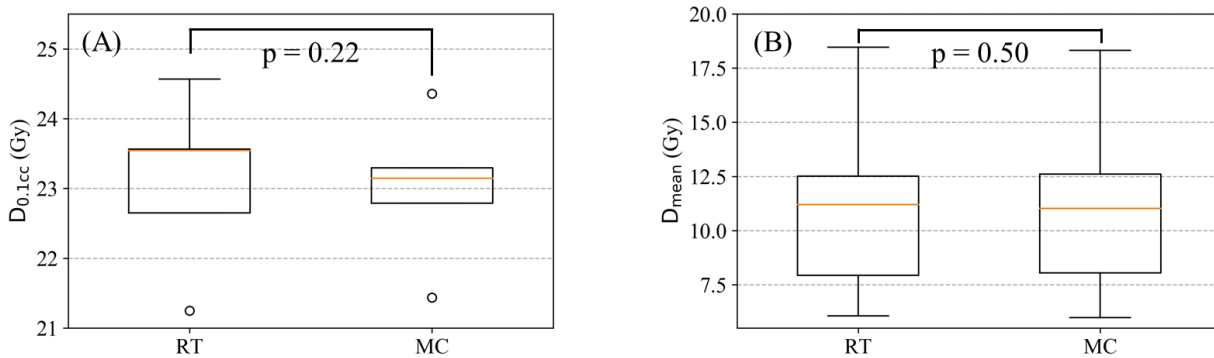


Fig.4 脊髄の線量パラメータ
(A) 脊髄 $D_{0.1cc}$ (B) 脊髄 D_{mean}

【考察】

本研究におけるPTVと脊髄の線量パラメータはRTよりもMCが高くなり、先行研究と同様の傾向が確認できた²⁾。この原因として、RTは一次線の減弱しか考慮していないため、肺のような電子平衡が成り立ちにくい領域では線量を過大評価することが考えられる。また、CKでは小照射野を多用するため、電子平衡が成り立ちにくい領域においてRTとMCの線量差が顕著になったと考えられる。

今回解析した5例の照射体位は全て仰臥位であったが、実際にCKではビームを入射する角度が制限されており、治療カウチの後方からはビームを照射することができない。そのため、仰臥位ではなく腹臥位にすることで脊椎腫瘍に対しては効率的なビームを照射することができ、なおかつ肺を通過するビームを減らすことができると考えられる。しかし、腹臥位におけるRTとMCの線量差は明らかでないため、引き続き検討が必要である。

【結論】

転移性胸椎腫瘍に対するCKにおいて、RTとMCで計算した線量分布を比較した。RTがMCよりも線量を過大評価する傾向にあったが、その差は比較的小さかった。

【参考文献】

- 1) S Aljabab, B Vellayappan, E Vandervoort, et al. : Comparison of four techniques for spine stereotactic body radiotherapy: Dosimetric and efficiency analysis. J Appl Clin Med Phys, 19, 160-167, 2018
- 2) CC Okoye, RB Patel, S Hasan, et al. : Comparison of Ray Tracing and Monte Carlo Calculation Algorithms for Thoracic Spine Lesions Treated With CyberKnife-Based Stereotactic Body Radiation Therapy, Technol Cancer Res Treat, 15, 196-202, 2016