

実臨床を想定した不均質ファントムにおける サイバーナイフ線量計算アルゴリズムの精度検証

南東北がん陽子線治療センター ○真崎 敬大(Keita Masaki)
阿部 良知 太田 裕樹 遠藤 浩光 小松 俊介
小森 慎也 加藤 亮平 相良 達彦 大内 久夫
福島県立医科大学 加藤 貴弘

【目的】

サイバーナイフは定位放射線治療に特化した放射線治療装置である。サイバーナイフによる治療では、ロボットアームを用いて多方向から照射を行うことで腫瘍やリスク臓器の形状に沿った急峻な線量分布を作成することができる。加えて定位放射線治療では1回の処方線量が大いこともあり、線量計算にはとりわけ正確さが求められる。そこで本研究では、臨床で生じ得る線量計算の誤差の傾向把握を目的に、実臨床を想定した簡便な構造の不均質ファントムにおける線量計算の誤差を汎用Monte Carlo(MC)コードを基準に評価した。

【方法】

頭蓋内病変に対する治療を想定し、筋肉組織(質量密度 1.00 g/cm^3)および骨組織(1.85 g/cm^3)により構成されるスラブ状の不均質数値ファントムを作成した(Fig.1(a))。また同様に、胸郭内病変に対する治療を想定して筋肉組織、骨組織、肺組織(0.26 g/cm^3)により構成されるファントムを作成した(Fig. (b))。媒質の組成はICRPレポートに則り決定した¹⁾。次に、治療計画装置MultiPlan ver. 5.3(Accuray)搭載のRaytracing(RT)及びMC、汎用MCコードEGS5(KEK)²⁾を用いて、作成したファントムに対してSSD 80 cmで垂直にビームが1門入射した際の線量分布を計算し、EGS5の計算値を基準としてPDDを比較した。この時、EGS5の線源情報はサイバーナイフM6(Accuray)の装置内MCシミュレーションから得たものを使用した。MultiPlan搭載のMC及びEGS5は最大線量点で統計的不確かさが0.2%程度となるように計算した。また、全アルゴリズム共にコミッショニングデータによく一致する水中線量分布を計算できることを予め確認してある。臨床で選択される頻度の高い照射野サイズにおける評価を行うため、頭蓋内想定例では直径10 mm、胸郭内想定例では直径20 mmのコリメータを選択した。

【結果】

各ファントムにおけるPDDの比較をFig.2に示す。頭蓋内想定例では、骨組織においてRTが誤差5%程度線量を過少に評価したものの、筋肉組織では最大1%程度の誤差でEGS5と一致した。対してMCはどの媒質においても最大2%程度の誤差で一致した。胸郭内想定例では、肺組織においてRTが誤差30%を超えて線量を過大に評価したが、その他領域では最大2%程度の誤差で一致した。MCは肺組織において5%程度線量を過大評価したが、その他領域では最大2%程度の誤差で一致した。

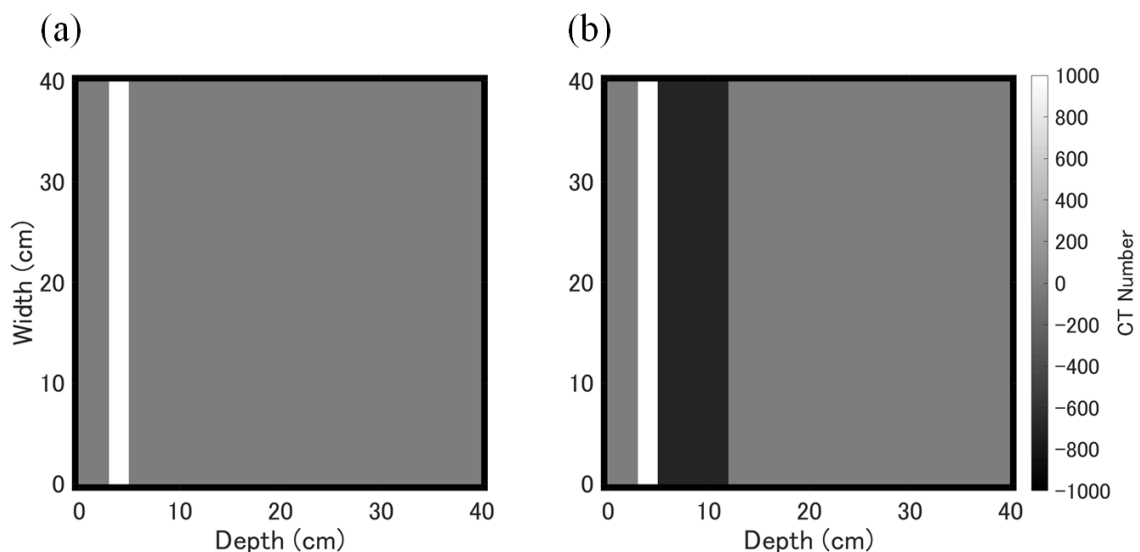


Fig.1 不均質ファントムの構成
(a)頭蓋内想定例 (b)胸郭内想定例

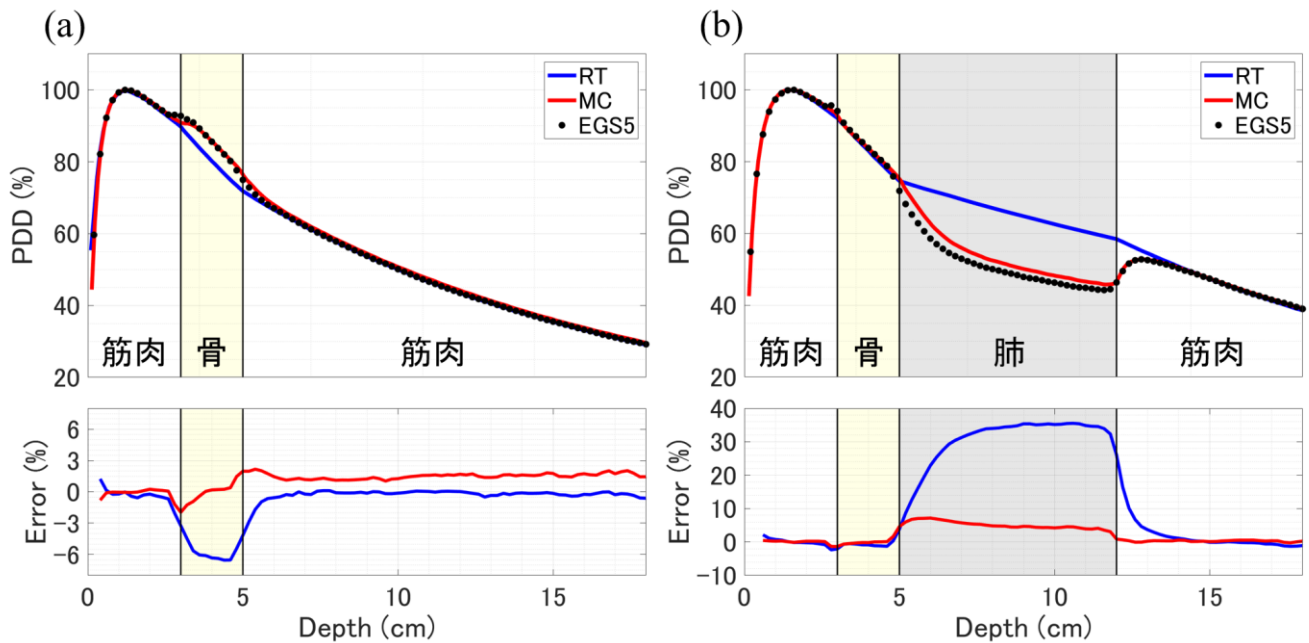


Fig.2 不均質ファントム中のPDDの比較
 (a) 頭蓋内想定例 (b) 胸郭内想定例

【考察】

RTはコミショニング時に登録したTPRを用いて、水等価長に基づいて一次線の減弱のみを補正するアルゴリズムである³⁾。水中で測定されたTPRを使用しているため、RTは原理上不均質媒質中のファントム内散乱を正しく補正できる計算法ではなく、本研究では不均質媒質中でEGS5に対して誤差が確認された。また、RTは線量計算点よりも深い領域の密度は計算式上に存在せず、後方散乱の影響は正しく考慮できない。そのため、胸郭内想定例の骨組織においてRTはEGS5とよく一致しているが、これは原理上正しい計算ができたというよりも、ファントム媒質の組み合わせにより偶然誤差が小さくなったものと考えられる。

本研究で得たRTに関する最も重要な知見として、不均質媒質を透過した後であっても水に近い密度の媒質中では大きな計算誤差が生じないことが確認できた。サイバーナイフは転移性脳腫瘍をはじめとする頭蓋内病変に対する利用が主である。頭蓋内病変においては必ず治療ビームは頭蓋骨を透過するが、このような場合でも線量評価の対象が脳組織など水に近い密度であればRTは問題なく臨床利用可能であると考えられる。

MultiPlan搭載のMCは分散低減法⁴⁾、エネルギースペクトルをはじめとしたパラメータの離散化、媒質組成の簡素化などの手法を取り入れ、計算の高速化を図ったMC法である³⁾。同じMC法の一つであるEGS5との間に観測された誤差はこのような計算の近似手法に要因があると考えられる。ただし、誤差が観測されたと言っても、その程度は全媒質通して決して大きなものではなく、臨床に影響を与える程とは考えにくい。今後は実臨床の治療計画で計算精度の比較を行い、評価していきたい。

【結論】

汎用MCコードを基準に、MultiPlan搭載の線量計算アルゴリズムの計算精度を検証した。頭蓋内病変の症例においてはRT、MCどちらを使用しても臨床に影響を与えるような大きな計算誤差は生じないと予想される。しかし、肺組織や骨組織など不均質媒質中の線量評価が重要な症例においてRTを用いた場合には計算誤差を生じることが予想されるため、臨床で使用する際には各施設で十分な検討を行うべきである。

【参考文献】

- 1) ICRP. : Report on the Task Group on Reference Man. ICRP Publication 23, 1975.
- 2) H. Hirayama, Y. Namito, A.F. Bielajew, et al. : The EGS5 Code System. SLAC-R-730, 2005 and KEK Report 2005-8, 2005.
- 3) Accuray. : CyberKnife Robotic Radiosurgery System Physics Essential Guide.
- 4) A. Bielajew and D. Rogers. : Lecture notes Variance Reduction Techniques. National Research Council of Canada report PIRS-0396, 1994.