

有効密度法による治療計画装置と検証用測定器間の誤差改善

帝京大学大学院 医療技術学研究科 診療放射線学専攻

熊谷 仁 小林 毅範 古徳 純一

帝京大学医学部附属病院 中央放射線部

新井 範一 和賀 浩喜 安田 政美 田中 保

株式会社 ユーロメディテック 瀧本 健二

【目的・背景】

治療計画の検証作業は適切な放射線治療を遂行するうえで重要なプロセスの1つである。しかし、我々が保有する3次元検証測定器 Delta⁴ と治療計画装置 Pinnacle³ の間には2%ほどの無視しがたい系統誤差を示していた。この系統誤差の原因を究明し解決を行うために、EGS5 を使用し簡易的な PDD(Percentage Depth Dose)計算を行い、系統誤差が導けることを確認した。そして誤差の解決方法の手段として有効密度法を示し、誤差改善に有用であることを導いた。

【方法】

我々は Delta⁴ が PMMA ファントムである一方で、Pinnacle³ が Delta⁴ を再現するために水カーネルに対して物理密度の入力によって物質の定義を行っていることに注目をした。

両者の物質の吸収係数の差が系統誤差に繋がること示唆されるが、単純に吸収係数による比較のみでは一次線の寄与のみを考慮していることになる。そこで EGS5 を用いて計算を行う事で物質中の相互作用に伴う二次線も含めた誤差推定が出来ると考えた。

EGS5 を用いてそれぞれの材質を再現したファントムを作成し、4MV、10MV のエネルギーにおいて深部 21cm まで PDD の計算を行い、相対誤差を算出した。計算用ファントムは2種類作成した。Delta⁴ を再現するために一方は物質組成を C₅H₈O₂(PMMA)、物理密度 1.19 とした。もう一方の Pinnacle³ の水カーネルを

再現するために物質組成 H₂O、物理密度 1.19 とした。history 数は 2×10⁹ とした。

また、系統誤差を改善するために式(1)から PMMA と水の減弱係数が同一になるような密度 ρ_{eff} (有効密度とする)をエネルギー毎に求め、式(2)よりスペクトルの重み付けを行うことで平均有効密度 ρ_{ave} を算出した。

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{water}} \times \rho_{\text{eff}} = \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{PMMA}} \times \rho_{\text{PMMA}} \dots (1)$$

$$\rho_{\text{ave}} = \int_0^{\text{E}_{\text{max}}} \rho_{\text{eff}}(E) \cdot f(E) dE \dots (2)$$

【結果】

PDD から算出された相対誤差は物質深部において 4、10MV 共に約 2%であった。有効密度法により算出した平均有効密度は 4MV で ρ_{ave}=1.155、10MV で ρ_{ave}=1.151 となった。この値を用いて再度 PDD の計算を物質組成 H₂O のファントムで計算を行った場合、2%の誤差は生じず、PMMA を再現できたことが確認できた。

また、平均有効密度を Pinnacle³ へ用いて実際の治療検証を行った場合、検証の指標である γ-index が物理密度を入力した場合と比較し 89.2%から 97.6% (tolerance:95%以上) と大幅に改善した。

EGS5 による計算は簡易な PDD 計算のみだが、実際の臨床業務に関わる問題を解決するような有用な結果を得ることができた。