

厚生労働科学研究委託費（革新的がん医療実用化研究事業）

委託業務成果報告（業務項目）

強度変調照射法（IMRT）における部位別許容値の決定および問題点の把握、解消

馬場大海 独立行政法人国立がん研究センター東病院放射線治療科 診療放射線技師

【研究要旨】

現在の放射線治療における独立計算検証の有効性に関しては 2011 年にアメリカ医学物理学会（American Association of Physics Medicine、AAPM）のタスクグループ 114（TG-114）によって報告されている。AAPM TG114 はコンベンショナルな照射についてのみ記載されており、IMRT には対応していない。そこで本研究では IMRT に対してコンピュータを用いた独立計算検証を多施設にて実施し、IMRT における独立計算検証の精度と実行可能性について検討した。その結果、7 施設 384 例における独立計算の計算値と治療計画の計算値との差異 $\pm 1SD$ は $-2.1 \pm 1.9\%$ （前立腺）、 $-3.0 \pm 3.7\%$ （頭頸部）であった。一方、独立計算の計算値と電離箱測定値との差異 $\pm 1SD$ は、 $-2.3 \pm 1.9\%$ （前立腺）、 $-5.6 \pm 3.6\%$ （頭頸部）であった。部位によらず独立計算の計算値は治療計画の計算値、実測値に比べて低いという結果になった。また、前立腺に比べて頭頸部の偏差が大きく、誤差がばらついた。

Step and shoot (S&S)方式（1施設）と Sliding window (SW)方式（6施設）の比較した結果、S&S方式と SW方式の間には有意差が認められた ($p=0.000$, $p < 0.05$)。S&S方式に比べて SW方式の線量誤差は、よりマイナスになる傾向にあり、これは前立腺に比べて頭頸部でより顕著であった。全施設にて独立計算値は治療計画装置（TPS）計算値、実測値に対して系統的な誤差を示したが、セグメント照射野作成方法の違いで誤差が大きくなるため、独立計算アルゴリズムの改善により許容値設定が可能と考える。

【研究協力者および所属施設】

研究者名 1 橋英伸	所属施設 1 国立がん研究センター東病院
研究者名 2 上間達也	所属施設 2 がん研究会有明病院
研究者名 3 高橋良	所属施設 2 がん研究会有明病院
研究者名 4 河合大輔	所属施設 3 神奈川県立がんセンター
研究者名 5 菅原康晴	所属施設 4 国際医療研究センター
研究者名 6 山本鋭二郎	所属施設 5 大手前病院
研究者名 7 佐藤礼	所属施設 6 板橋中央総合病院
研究者名 8 山下幹子	所属施設 7 神戸市立医療センター中央病院

【背景】

- ・ 現在の放射線治療において、治療計画システム (TPS) とは別系統で線量の確認を実施することの有効性は、2011 年にアメリカ医学物理学会 (American Association of Physics Medicine、AAPM) のタスクグループ 114 (TG-114) の「IMRT を除く外部放射線治療の MU 計算の検証」において報告されている。
- ・ TG114 では、あくまでコンベンショナルな照射についてのみ記載されており、IMRT には対応していない。
- ・ IMRT は多数の複雑な不整形照射野を形成するため独立計算による検証が困難とされており、現在日本国内において IMRT に対する検証は一般的に電離箱やフィルムを用いた実測で行われている。

【目的】

- ・ IMRT に対してコンピュータを用いた独立計算検証を国内 7 施設にて実施し、IMRT における独立計算検証の精度を検討した。
- ・ 実測に代わるセカンダリチェックとしての独立計算検証の実行可能性について検討した。

【方法】

- ・ 対象は国内 7 施設にて IMRT を施行した 384 例 (前立腺 204 例、頭頸部 178 例)。
- ・ 各施設の IMRT 治療計画は、治療計画装置 Eclipse (Varian Medical Systems 社製)、Pinnacle³ (日立メディコ社製) を用いて、Step & Shoot 法 (S&S) もしくは Sliding Window 法 (SW) にてプランを作成している。
- ・ 全症例に対して独立計算検証ソフトウェア

Simple MU Analysis: SMU (Triangle Product 社製) を用いて計算を行った。SMU は計算アルゴリズム Clarkson 法をベースとした計算ソフトであり、CT 画像を用いて線量評価点までの体内の物理長、放射線経路長を計算し、線量の算出が可能である。さらに IMRT プランにおけるセグメント毎の解析も可能である。

- ・ 全 IMRT プランに対する SMU 計算値と TPS 計算値を部位別 (前立腺、頭頸部)、IMRT デリバリー方式別 (S&S、SW) に比較した。
- ・ さらに IMRT プランを水等価均質ファントムに対して照射し、電離箱を用いて測定した測定値と SMU 計算値との比較を行った。

【結果】

7 施設 384 例における SMU 計算値と TPS 計算値との差異 $\pm 1SD$ は $-2.1 \pm 1.9\%$ (前立腺) $-3.0 \pm 3.7\%$ (頭頸部) であった。

部位ごとの施設別結果を Fig. 1,2 に示す。

一方、SMU 計算値と電離箱測定値との差異 $\pm 1SD$ は、 $-2.3 \pm 1.9\%$ (前立腺) $-5.6 \pm 3.6\%$ (頭頸部) であった。

部位ごとの施設別結果を Fig. 3,4 に示す。

部位によらず SMU 計算値は TPS 計算値、実測値に比べて低いという結果になった。また、前立腺に比べて頭頸部の偏差が大きく、誤差がばらついた。

S&S 方式 (1 施設) と SW 方式 (6 施設) の比較結果を Table. 1 に示す。S&S 方式と SW 方式の間には有意差が認められた ($p=0.000 < 0.05$)。S&S 方式に比べて SW 方式の線量誤差は、よりマイナスになる傾向にあり、これは前立腺に比べて頭頸部でより顕著であった。

【考察】

Table 1 に示すように S&S 方式に比べて SW 方式の線量誤差が大きくなったことで、全体としても独立計算検証による線量値は、TPS、実測値に比べて系統的に低い結果となった。この原因として、線量評価点の位置がマルチリーフコリメータ: MLC 下にあることが考えられる。Figure 5 に示すように、各プランにおいて線量評価点が MLC 下にあるセグメント数の割合が大きいほどそのプランの SMU 値の線量誤差が大きくなる事が分かる。通常、MLC 下の線量は MLC を透過してくる線量 (MLC transmission) と照射野からの直接線の影響を受ける。SMU では MLC transmission の影響は考慮されているが、計算アルゴリズムとして採用している Clarkson 法では照射野からの直接線の影響は考慮されない。このことによって、S&S 方式に比べて線量評価点が MLC 下にあるセグメント数の割合が大きい SW 方式の SMU 計算線量が低くなったと考えられる。

【結論】

独立計算検証多施設試験を実施し、IMRT における独立計算検証の精度を検討した。独立計算アルゴリズムの改善により、5%以内の許容値設定及び実測に代わるセカンダリチェックとしての利用が可能になると考える。

【参考文献】

¹R. L. Stern et al., “Verification of monitor unit calculations for non-IMRT clinical radiotherapy: Report of AAPM Task Group 114,” Med. Phys. 38, 504–530 (2011).

【研究発表】

馬場大海、上間達也、高橋良、河合大輔、菅原康晴、山本鋭二郎、佐藤礼、山下幹子、橘英伸 ”IMRT-QA における独立計算検証の実行可能性”, 日本放射線腫瘍学会第 27 回学術大会 (横浜市), 2014 年 12 月

【知的財産権の出願・登録状況】

(予定を含む)

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

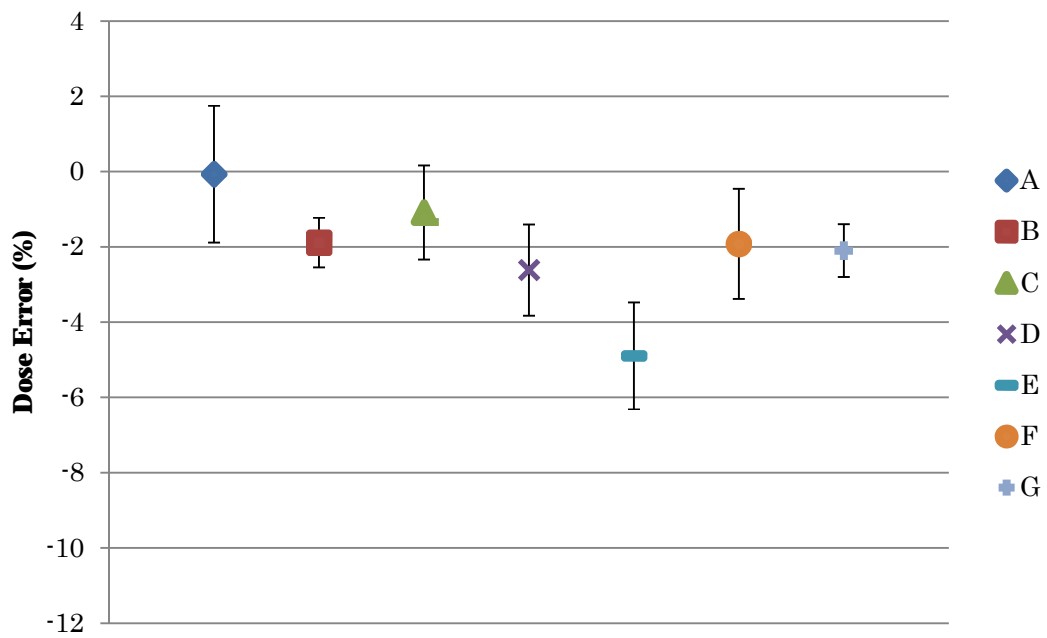


Figure. 1 TPS 値に対する SMU 値の線量誤差の施設別結果（前立腺症例）

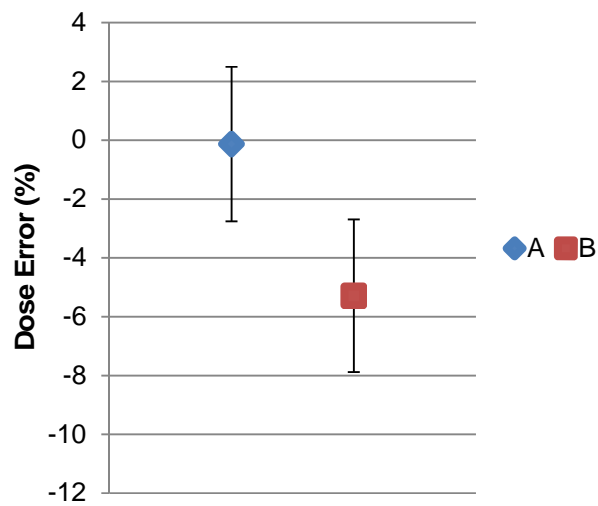


Figure. 2 TPS 値に対する SMU 値の線量誤差の施設別結果（頭頸部症例）

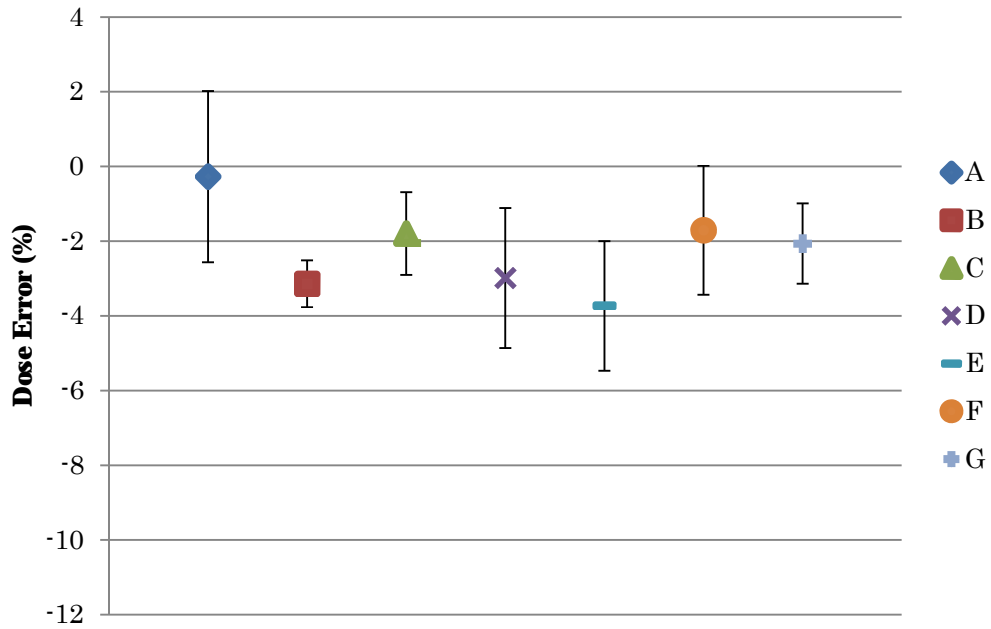


Figure. 3 実測値に対する SMU 値の線量誤差の施設別結果（前立腺症例）

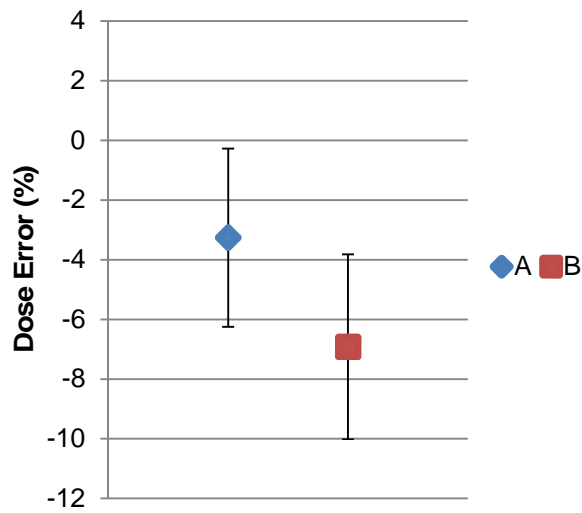


Figure. 4 実測値に対する SMU 値の線量誤差の施設別結果（頭頸部症例）

Table. 1 IMRT デリバリー方式の違いによる線量誤差

	TPS vs SMU		実測値 vs SMU	
	前立腺	頭頸部	前立腺	頭頸部
S&S	-0.1 ± 1.8 %	-0.1 ± 2.6 %	-0.3 ± 2.3 %	-3.3 ± 3.0 %
SW	-2.4 ± 1.7 %	-5.3 ± 2.6 %	-2.6 ± 1.6 %	-7.4 ± 3.0 %

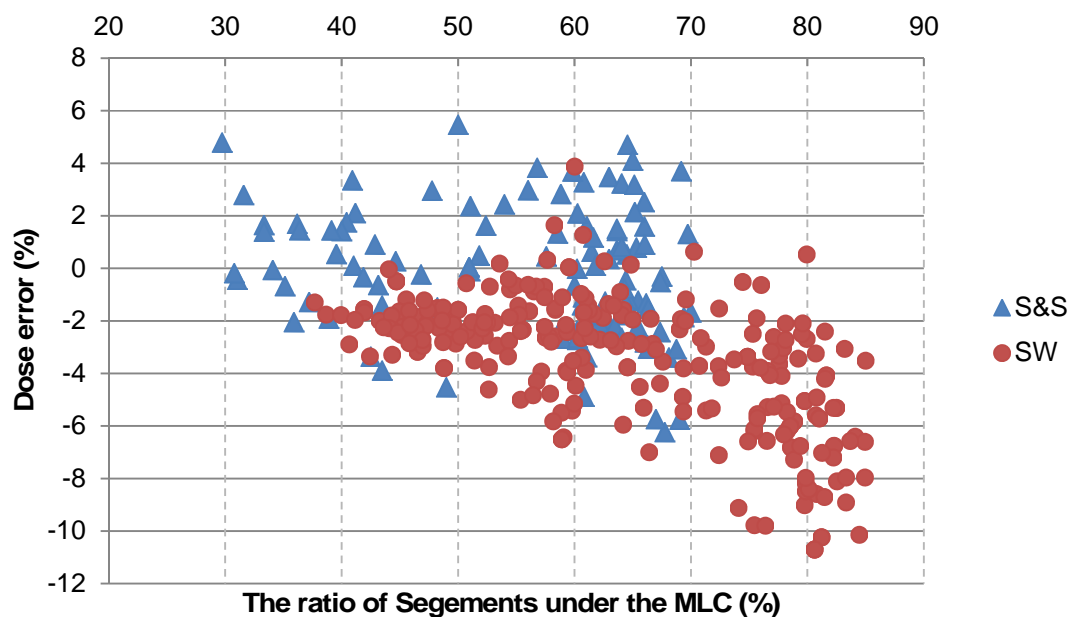


Figure. 5 線量評価点が MLC 下に存在するセグメントの割合と TPS 値に対する SMU 値の線量誤差の相関