ニュースリリース

学校法人
川崎学園

2024/02/20

報道関係 各位

【研究発表】
モンテカルロシミュレーションによる小線源治療用ソース mHDR-v2 と mHDR-v2r の線量率の検証
（川崎医科大学自然科学教室 辻准教授ら研究グループ）

【概要】

川崎医科大学 辻 修平准教授（自然科学教室・情報科学）らは、シミュレーションコード EGS5 を使用してフルモンテカルロシミュレーションを行い mHDR-v2r および mHDR-v2 線源の線量測定を調査し、Granero らの結果と比較しました。 彼らの結果と比較すると、二次元異方性関数の違いが分かりました。 これらの結果は、単に違いを示すだけでなく、小線源治療による放射線源極近傍の照射に有用なデータとして活用できます。 本研究は、PLOS ONE で発表されました。

【ポイント】

放射線小線源を使った高線量率放射線治療は、腫瘍組織中やその近傍に密封小線源を刺入・挿入して行われます。実際の治療の前に、その小線源によってまわりの組織（癌および正常組織）にどのくらいの放射線量（吸収線量）が蓄積するかを前もって計算します。これを治療計画と呼びます。各線源に対し、モンテカルロシミュレーションによって綿密に調査され、治療計画用にデータが準備されています。

【研究の背景】

高線量率小線源放射線治療に使われる小線源としてイリジウムが使われます。マイクロセレクトロンアフターローダーシステムとして 1998 年ごろ mHDR-v2 タイプの線源が準備されました。mHDR-v2 タイプの線源については、Daskalov および多数の研究者による論文が発表されました。ただし、これらは、線源から発射される粒子は光子のみに限定されたモンテカルロシミュレーションの結果です。2010 年以降、mHDR-v2 タイプよりも線源が短くて細い mHDR-v2r タイプが製造されました。（図1参照）

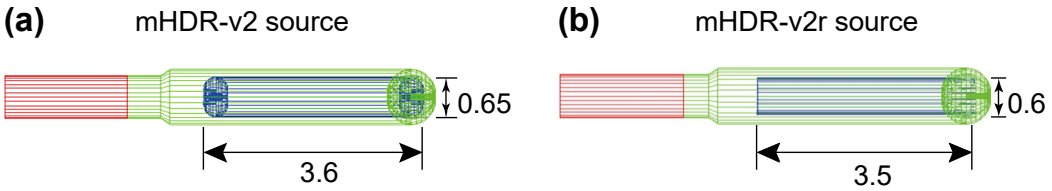

図 1：線源 mHDR-v2 タイプと mHDR-v2r タイプの寸法。単位は mm である。
mHDR-v2r タイプは mHDR-v2 タイプよりも 0.1mm 短く、直径も 0.05mm 短い。

Granero らは、mHDR-v2r タイプの線源を光子だけでなく、電子まで含めてシミュレーションし、mHDR-v2 タイプと比較しました。そして、「2 つの設計間の寸法変化から生じる線量差は、線源付近のほぼすべての場所で無視できる。線源中心からの距離が 0.25 cm 以上の場合、0.5% 以内の一致が示された。」と結論付けました。

発行：学校法人 川崎学園 大学事務局 総務部
広報連携室 Tel 086-462-1111（代）

ところが、前述した Daskalov らの結果と Granero らの結果を 2 次元異方性関数 $F(r,\theta)$ で比較してみると距離 1 cmのところで、明らかに約 2%の差があることが分かります。(図 2 参照)

現在、mHDR-v2 タイプの線源は製造されなくなり、代わって mHDR-v2r タイプのみが製造されています。また「mHDR-v2」の線源名も、mHDR-v2r を示すことになっています。「2 つの線源寸法から起因する線量に違いはない。」という Granero らの結論に従い、古い「mHDR-v2」タイプのデータで治療計画を見積もり、新しい「mHDR-v2r」タイプの線源で治療を行うなら、患者さんは線源からの距離 1 cmのところでも、治療計画よりも 2%高い放射線を浴びることを意味します。

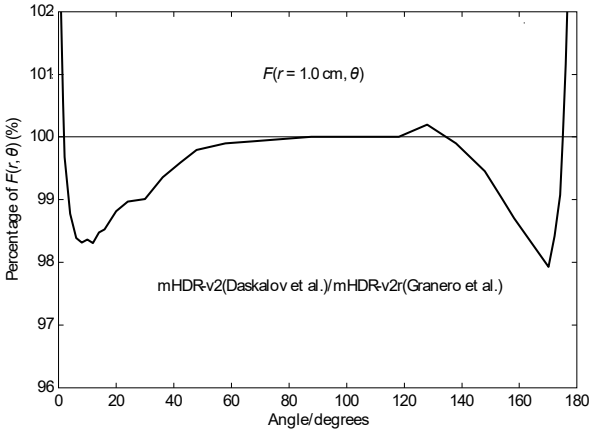

図 2：線源中心からの距離 1 cmの場所での Granero らの結果(mHDR-v2r タイプ)に対する Daskalov らの結果(mHDR-v2 タイプ)の 2 次元異方性関数の比。10° および 170° 近辺では差が 2%ほどある。

本研究は、図 2 の検証、つまり、mHDR-v2 と mHDR-v2r の違いを詳細に見積もるため、モンテカルロシミュレーションコード EGS5 を使って、さらに Granero 同様、光子だけでなく電子も含めたモンテカルロシミュレーションを行いました。

この分野のモンテカルロシミュレーションでは、「荷電粒子平衡が成り立つ領域では、エレルギーフルーエンスに質量エネルギー吸収係数をかけたものが吸収線量になる」といった近似が使われます。我々は、こういった近似を一切使わず、粒子(光子、電子)のステップごとに粒子のエレルギーデポジットを集計し、吸収線量を計算しました。この方法の利点は、荷電粒子平衡が成り立たない領域(線源極近傍)でも吸収線量を求めることができます。ただし、統計精度を稼ぐためには莫大な粒子を線源から発射しなければなりません。

【成果の概要と意義】

図 3 より、我々の結果は、線源からの距離 1 cmのところで、mHDR-v2r タイプは、Granero らの結果と一致し、mHDR-v2 タイプは、Daskalov らの結果と一致しました。つまり、mHDR-v2r タイプは mHDR-v2 タイプと寸法的にほとんど差はないという Granero らの結論を否定しました。

さらに、図 4 より、線源からの距離 0.25cm 以内で mHDR-v2r タイプ同士を比較した場合でも、Granero らの結果と完全には一致しませんでした。

不一致の要因の一つとしては、荷電粒子平衡が成り立たない領域(線源極近傍)での Granero らの処理方法が挙げられます。

これらの線量計算のデータは、線源極近傍(0.05cm～)から補足資料にまとめています。最近の医療現場では、線源極近傍の小線源治療用に外径 1.7mm のポリアミドインプラントチューブが準備されています。このような線源極近傍の治療にも役立つデータになることを期待しています。

発行：学校法人 川崎学園　大学事務局　総務部
広報連携室　　Tel 086-462-1111（代）

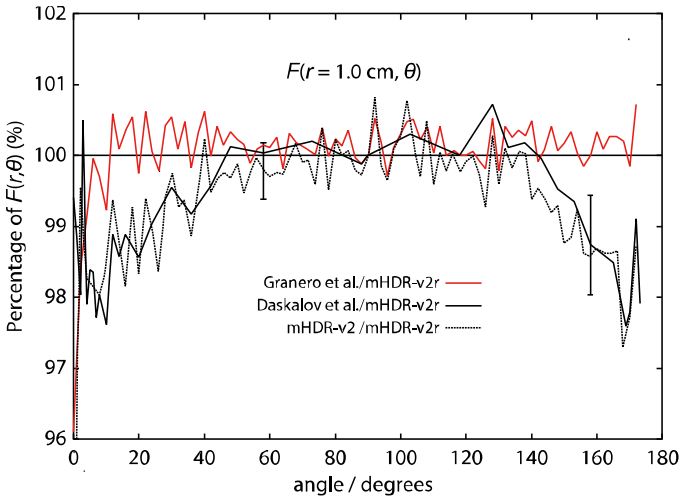

図 3：線源中心からの距離 1 cmの場所での本研究結果(mHDR-v2r タイプ)に対する Daskalov(mHDR-v2 タイプ)、Granero（mHDR-v2r タイプ）および本研究結果（mHDR-v2 タイプ）の 2 次元異方性関数の比。

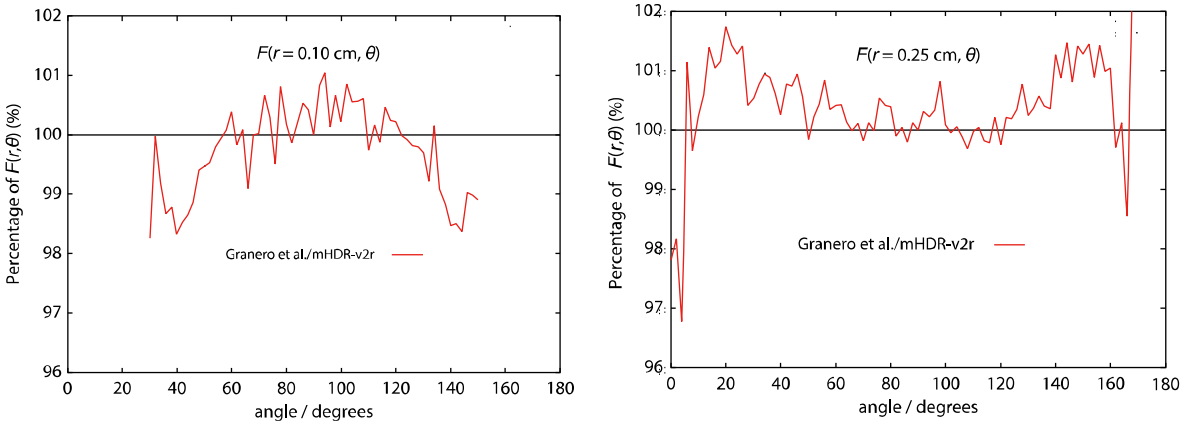

図 4：線源中心からの距離 0.10 cm、0.25 cm の場所での本研究結果（mHDR-v2r タイプ）に対する Granero（mHDR-v2r タイプ）の 2 次元異方性関数の比。

【今後の展開】

今回の結果は、近似計算を使うことなくフルモンテカルロシミュレーションで求めたものです。今後の治療計画に必要なデータを求める計算方法の指標になることを期待しています。

【発表雑誌】

雑誌名：PLOS ONE

論文タイトル：High dose rate ^{192}Ir brachytherapy source model Monte Carlo dosimetry: mHDR-v2 and mHDR-v2r

著者：Shuhei Tsuji, Naomasa Narihiro, Masataka Oita, Yoshihito Namito, Hideo Hirayama

URL：https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0298550

DOI 番号：10.1371/journal.pone.0298550

＜問合せ先＞ 広報について	＜問合せ先＞ 研究について
川崎医科大学 庶務課	川崎医科大学 自然科学教室
課長 浅沼 淳（あさぬま じゅん）	准教授 辻 修平（つじ しゅうへい）
Tel：086－462－1111(代)	Tel：086－462－1111(代)

発行：学校法人 川崎学園 大学事務局 総務部
広報連携室 Tel 086-462-1111（代）