

令和5年7月31日

## 2023年度 第19回 新潟放射線治療技術懇話会 基礎講習会 質問と回答

基礎講習会ワーキンググループ

### ➤ 放射線治療概要と放射線生物学

- 飛跡間・飛跡内事象は間接作用の場合は"1本・2本の放射線"というのは、"ラジカル"に置換して考えるのでしょうか？

回答

1本2本というのはあくまで放射線と考えて良いと思います。1本または複数の放射線の影響でラジカルが発生し、結果的にDNAの2本鎖切断を起こす場合に、1本の放射線による影響を飛跡内事象、複数の放射線による影響を飛跡間事象と考えていると思います。

- Van Herkの式でのマージン算出は定期的に見直す方が良いのでしょうか

回答

セットアップ方法や治療装置の中心精度などが変わった場合には変わる可能性がありますので、そういう意味では定期的に見直す必要があると思います。ただ、こちらは参考値として、自施設のセットアップの不確かさや中心精度などを把握しておくことが重要かと思えます。

また、Englesらにより、理論のみに基づいた安易なPTVマージンの縮小は大きなリスクが伴うことが報告されています。PTVマージンの縮小には、放射線腫瘍医を含めたスタッフ間で十分な議論が必要です。

Engels B, Soete G, Verellen D, Storme G. Conformal arc radiotherapy for prostate cancer: increased biochemical failure in patients with distended rectum on the planning computed tomogram despite image guidance by implanted markers. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2009 Jun 1;74(2):388-91.

### ➤ 高エネルギー電子線の吸収線量評価

- 相互校正で不確かさを減らした数値が本当に正しいのか判断するのが難しいとのコメントあったかと思えます。どう判断するのかについても知りたいです。

回答

相互校正で得られる水吸収線量校正定数は測定によるものなので、真値は分かりえないと思います。ただ、相互校正が正しく行われたという前提で、同様の相互校正を複数回行い、得られた測定値の不確かさを確認することで、妥当かどうか判断すれば良いと思えます。不確かさの見積もりを行うには、木下先生がおっしゃっていたバジェットシート of 作成が良いと思います。さらに、校正定数が与えられた平行平板電離箱であれば、

その校正定数を使用した水吸収線量と比較して、その不確かさの中におさまるような結果であれば妥当と判断できるかと思います。

- PDI 計測時のチェンバーの 0 設定について恥ずかしながら知りませんでした(水等価厚の件) JSMP12 にも載っている方法でしょうか？また PDI を物理長の 0 設定した場合、線量への影響はどの程度でしょうか？

回答

JSMP12 には記載されておらず、放射線治療技術標準テキストの正誤表(<https://www.igaku-shoin.co.jp/book/detail/87692#tab6>)に記載されています。これは PDI において言えることとなります。テキストを見ると物理長と水等価長の差異が 0.2 mm ~ 0.4 mm となっています。(使用している線量計にも依存し、プラスマイナスも線量計依存です) 今は間を取って 0.3 mm として考えます。 $I_{50}$ がこの分ズレた場合に  $R_{50}$  は式の関係で 1.03 倍程度になりますので、0.309 mm ズレるとします。 $R_{50}$  の影響があるのは、 $d_c$  と PDD (平均制限質量衝突阻止能) と  $k_Q$  です。

まず  $d_c$  を考えた場合に 0.6 掛けになるので  $d_c$  では約 0.19 mm のズレになります。 $d_c$  の設置への影響は測定深と、ピークに換算するための PDD への影響が考えられますが、設置の 0.2 mm は水面や前壁合わせの不確かさに埋もれる程度かと思いますが、 $d_c$  はピーク付近になることが多いため PDD への影響もそれほど大きくないと考えます。

次に平均制限質量衝突阻止能による PDD への影響です。スライドで使用していた 6 MeV の電子線について、深さ 1.3 cm の平均制限質量衝突阻止能は、 $R_{50}$  が 2.37 cm のときは 1.0716 でしたが、 $R_{50}$  を 0.2 mm 大きくした場合の 2.39 cm とした場合に、1.0785 となり、0.06% 程度の差です。

最後に  $k_Q$  ですが、表によると  $R_{50}$  が 2.37 cm 付近では 5 mm で 0.009 程度の傾きなので、0.2 mm あたりは 0.00036 です。 $k_Q$  はおよそ 0.95 程度になっているので、約 0.04% です。

以上より、設置の 0.2 mm の位置ずれの影響が一番大きいことが考えられるので、測定深である  $d_c$  の 1.3 cm 付近の PDD のデータから 1 mm で 0.8% 程度差があるので、0.2 mm では 0.16% 程度と考えられます。これはあくまで 6 MeV を想定して簡単に考えた場合なので実際はもう少しズレが大きい可能性はあります。

テキストで提示されているので補正は必要ではありますが、線量への影響は大きくないと考えます。

- 深さ依存の  $k_{pol}$ ,  $k_s$  の測定は 1D 水槽でも良いですか？ 3D 水槽の方が良いですか？

回答

どちらでも良いと思います。

- PDD に関してスキャンデータを使用した場合の R50 の算出値と今回ご発表にあった各深さでの K<sub>pol</sub>, K<sub>s</sub>, 阻止能比を得た結果の R50 の値の差を比較した結果などあればご教示頂きたいです。また、各深さにて各ファクターを算出し得た方が正確な値を得るためには必要だとは理解していますが、かなりの労力と時間がかかることが予想されます。現在はX線の方ではできるだけコミッショニング時間をかけないような基準データの使用などが行われていますが、前述の電子線において長時間かけての測定を行う必要性についてお考えがあればご教示頂きたいです。

#### 回答

実際にデータをいただきましたが、スキャンデータとノンスキャンデータでの R<sub>50</sub> の相違は 0.2 mm 程度でした。ただ、この 0.2 mm という値は、「スキャンデータをノンスキャンデータによる差」だけではありません。また他施設にいただいたデータでは、スキャンを行うファントムについて、メーカーの位置精度の許容値が 0.1 mm だそうです。さらに平行平板の 0 点の設置位置の精度はわれわれの目視になりますので、0.2 mm くらいバラツキはあると思います。以上より、各施設で測定における不確かさを見積もって、コミッショニングや許容値等のご検討をしていただければと思います。

ちなみに、参考値としてノンスキャンデータで今回使用している 6 MeV で k<sub>pol</sub> と k<sub>s</sub> の補正を行わなかった場合を考えます。補正の有無で I<sub>50</sub> が 2.359 に対して 2.352 となりました。R<sub>50</sub> を計算すると補正ありで 2.367 ですが、補正なしだと 2.360 でした。以上より、差は 0.007 mm となります。これはあくまで 6 MeV の R<sub>50</sub> のことですので、深さによっても変わりますし、エネルギーが変われば異なる結果となります。

#### ➤ 治療計画システム

- 微分型 DVH から TCP, NTCP の算出方法について教えてください。

#### 回答

物理線量から生物学的な反応を予測するモデルである TCP や NTCP には様々なモデルが存在します。TCP では Poisson model, NTCP では LKB model などがあります。各モデルにより計算に使用するパラメータは異なりますが、NTCP の LKB model を例に回答をします。

LKB model における NTCP は次のような式で表されます。

$$NTCP = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

$$t = \frac{gEUD - TD_{50}}{m \times TD_{50}}$$

TD<sub>50</sub>: 50%の確率で Grade2 以上の有害事象が発生する線量

m : 線量反応曲線の特徴を表すパラメータ

微分型 DVH をもとに生物学的線量指標の等効果均一線量(EUD : Equivalent uniform dose)の算出を行います。

$$gEUD = \left( \sum_{i=1} v_i D_i^a \right)^{1/a}$$

a : 対象とする臓器で変わる定数

V<sub>i</sub> : 線量 D<sub>i</sub>が照射される体積の臓器の体積全体に対する割合

#### [参考文献]

The Use and QA of Biologically Related Models of Treatment Planning, Report of AAPM Task Group 166 of the Therapy Physics Committee

G J. Kutcher, C. Burman, Calculation of complication probability factors for non-uniform normal tissue irradiation : the effective volume method, Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys., Vol. 16

- 臨床開始後の TPS の QA/QC について、どんな頻度でどんな内容を行っているか、  
回答

臨床開始後の治療計画装置の QA,QC の目的は次のようなものであると『X 線治療計画システムに関する QA ガイドライン』『AAPM Task Group 53 : Quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning』に記載されています。

- 線量や MU 値計算に使用される外照射情報が含まれた治療計画のデータファイルの健全性とセキュリティの確認
- CT, MR, シミュレータ制御システム等, データ入力で用いられる周辺機器の正確な機能と精度の検証
- 実際の X 線治療計画システムのソフトウェアの健全性のチェック
- プリンタ、プロッタ等、出力装置とソフトウェアの正確な動作と精度確認

これらを満たすようにガイドラインでは Daily, Weekly, Monthly, Annually の 4 つの頻度で項目が設定されています。

一方でこれらの項目は多岐に渡るため、治療装置の QA とともに実施することはか

なりの時間と労力を要します。すべての項目を実施するのではなく、臨床業務への寄与と安全性に与える影響を考慮し、日々の業務の過程で併せて確認することで置き換えることが可能ではないかと考えます。

例えば、治療計画 CT を撮影し治療計画装置に転送して取り込む際に、送られている画像に異常がないか（送信した画像がすべて取り込まれているか、座標情報や CT 値は正しいかなど）を確認したり、複数の治療装置を跨いで業務を行う場合は転送される画像や輪郭情報は正しいかの確認を行います。

- TPS の ver up の前後では、どのような確認が必要ですか

回答

治療計画装置のバージョンアップをした際は、ユーザーはどのようなバージョンアップがされたのか内容を把握する必要があります。また、既存のエラーがバージョンアップで修正されたか、新規に生じたエラーがないかの確認も重要です。

線量計算に関連するバージョンアップでは、バージョンアップ前後の線量計算結果の変化の確認と、計算値と実測値の相違の確認が必要となります。特に、新規の計算アルゴリズムの導入やビームモデリングの更新が必要なバージョンアップをした場合、コミショニングの時に行ったような工程で確認が必要となります。ただし、日々の照射業務を行なっている中での検証となるので、必要な項目に絞った検証が重要となります。

線量計算に関係しないバージョンアップでは、該当箇所の動作を確認する必要があります。実際に治療計画を立案してみることで、バージョンアップ前後での変化がわかると思います。

治療装置のバージョンアップに関しては、スタッフ間での情報共有と再教育も重要となります。

以上