

「放射線治療における水吸収線量計測の基本のキホン」

～その3～

埼玉医科大学総合医療センター

畑中 星吾

1. はじめに

本講座は、放射線治療部門に配属となった新人技師やローテーターを主な対象としており、全3回で放射線治療における水吸収線量計測の基本について、できるだけ分かりやすく解説していく(今回は最終3回目)。また、実習生などの学生向けの資料としても活用いただくと幸いである。

第1回の講座では、放射線治療における水吸収線量計測について、原理的な話を解説した。第2回は、前回の話と外部放射線治療における水吸収線量計測法(標準計測法12)で使用される式の関係について解説した。今回は、さらに実際の運用を意識し、エラーの発生率を低減するために注意すべき点などについて解説していく。また、今回の講座は私の主観や個人的な考えが多分に含まれるため、参考にする際は注意していただきたい。

2. DMUの算出

前回の講座で、標準計測法12に基づく校正深($d_c = 10$ cm)における水吸収線量 D_w は以下の式で算出できることをお話した。

$$D_w(d_c) = M N_{D,w} k_Q$$

ここで、 M は電位計の表示値に必要な補正係数を乗じた値、 $N_{D,w}$ は水吸収線量校正定数、 k_Q は線質変換係数である。これらの概要については、前回の講座を参考にいただくと幸いである。また、光子線の水吸収線量計測の基準条件において、電離箱を設置する深さである校正深は10 cmとされている。しかし、ほとんどの施設ではモニタ設定単位(Monitor Unit, MU)当たり

の基準深吸収線量である DMU が1 cGy/MUとなるように調整している。

基準深とは、ビーム軸上の目的に応じて定める特定の深さであり、光子線の場合、従来線量最大深もしくはそれに近い深さが選択されることが多い。基準深を線量最大深 d_{max} とした場合、線量最大深における水吸収線量 $D_w(d_{max})$ は、 $D_w(d_c)$ と組織最大線量比(Tissue Maximum Ratio, TMR)を用いて以下のように求まる。

$$D_w(d_{max}) = \frac{D_w(d_c)}{TMR(d_c)}$$

基準深を線量最大深以外にした場合、TMRの代わりに組織ファントム線量比(Tissue Phantom Ratio, TPR)が使用される。そして、 DMU はモニタ設定単位当たりの基準深吸収線量であるので、次式で算出される。

$$DMU = \frac{D_w(d_{max})}{N}$$

ここで N はMU設定単位である。適切にモニタ線量計の感度が調整され、計算式に誤りがなければ、 DMU は1に近い値が算出されるはずである。

線量計測は不確かさの小さい10 cmで行うのに対し、1MU当たり1 cGyとなるように調整するのは基準深が多い理由として、以下の理由などが考えられる。基準深を途中で変更することは、リニアックからの出力の調整に直結するため、リスクが高い。校正深を基準深とすることもできるが、基準深を従来使用されてきた線量最大深から校正深に切り替えるためには大幅な出力の調整が必要になる。また、かつて使用されていた「放射

線治療における高エネルギー X 線および電子線の吸収線量の標準測定法（標準測定法 86）」から、標準計測法 12 の前身である「外部放射線治療における吸収線量の標準測定法（標準測定法 01）」に改訂された時、校正深も変更された（図 1 参照）。このように校正深は線量標準の動向などによって変更される可能性があるため、校正深を基準深とすると、線量計測法の改訂に伴って基準深を変更しなければならない可能性が高くなる。基準深を線量最大深付近にしておけば測定・計測法の改訂が生じても基準深は変更せず済むと考えられる。そのため、従来採用されているように、現状においても基準深には線量最大深付近が採用されることが多い。

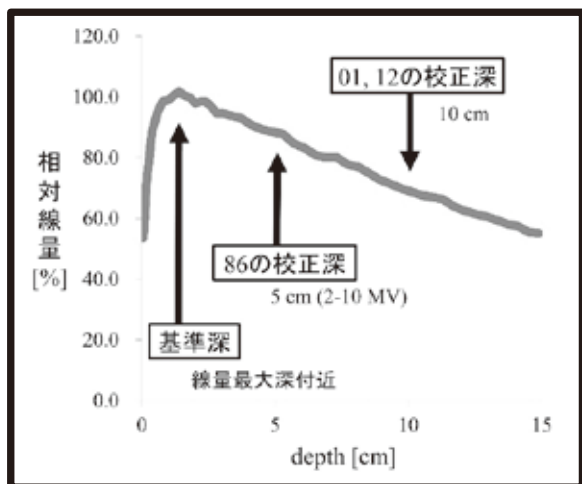


図 1 高エネルギー光子線の吸収線量計測における基準深と校正深

余談であるが、標準測定法 86 や 01、標準計測法 12 などの後ろについている数字は刊行された年を示している（標準測定法 01 の実際の刊行は 2002 年となったが）。また、標準計測法 12 では、それまでの「測定」から、精度、正確度の検討や測定法の開発を含む「計測」に書名が変更されている。

3. 手計算による水吸収線量算出

後述するように、現在の線量計測における数値の計算は、ほとんどの施設が Excel のような表計

算ソフトを使用していると考えられる。日常的な管理は Excel シートで問題ないが、作成したシートのパラメータに誤りがあり、それに気付かず MU 校正を実施し続けてしまうと、実際の線量が処方線量に対して系統的にずれた状態で多くの患者に治療を実施してしまうという危険性がある。Excel シートを適切に作成し、定期的に管理・チェックするためには、線量計測に関する知識が必要になると考えられる。

与えられた測定値や定数・係数から適切な線量を算出できるかを確かめるためには、標準計測法 12 に記載されている「高エネルギー光子線の水吸収線量計測ワークシート」が便利である。また、例題および解答例も記載されているため、参考になる。ただし、このワークシートを学生や新人・ローテーターの学習に用いる際には、単に式に値を代入させ、数値が合っているかどうかを確認するだけの演習はあまり意味がないと個人的には考えている。特に、具体的な理論の説明がなくいきなりワークシートを用いて演習を行うことは、中身を深く理解することは難しい。手計算による演習は、もちろん数値が合っているかも重要であるが、それ以上に計算過程をキチンと整理し、理解することが重要であるので、教育を担当される方はぜひ意識していただきたい。

4. Excel シートによる水吸収線量算出

Excel などの表計算ソフトは非常に便利ではあるが、シートに誤りがないかは常に意識しておく必要がある。シート作成・修正時のパラメータは手計算などによるダブルチェックを行う、基本的に数値・数式を変更しないセルは書き換えられないようにロックするなどの工夫を行った方がよいと考えられる。また、日常的にパラメータをチェックできるように、パラメータ表を印刷して置いておくのも便利である。生じるエラーの例として、いくつか以下に挙げる。ただし、下記以外にもさまざまなエラーは生じるので注意が必要である。

4.1 線質変換係数の表からの参照ミス

標準計測法 12 内の表から線質変換係数の値を参照する際、誤って別の電離箱の値を参照しないよう注意が必要である。PTW30013 は国内での使用施設の多い電離箱であるが、型番の似ている 31003 や 31013 の値を誤って参照してしまっていたという事例もある。また図 2 のように隣の電離箱の値を参照しないようにも注意が必要である。自施設で使用している電離箱については、表に下線やマーキングするなどしてエラーが生じないような工夫をした方がよい。

TPR _{20,10}	
0.65	0.68
⋮	⋮
⋮	⋮
⋮	⋮
0.997	0.994
0.993	0.989
⋮	⋮
⋮	⋮

本来使用すべき数値 (0.993, 0.989) と、誤って隣の数値を Excel に入力した数値 (0.997, 0.994) が示されています。

図 2 線質変換係数算出時のエラー例

4.2 数式・セルの参照先の誤り

Excel で数式の誤りやセルの参照先に誤りがあった場合、パッと見では気付きにくい。経験上、数式の入力ミスや計算ミスが起こりやすいのは線形補間である。線形補間の式は、標準計測法 12 の例題および解答例を参考にするのがよい。その他、イオン再結合補正係数、温度気圧補正係数などの計算式も注意が必要である。Excel に入力した数式は、手計算など必ず別系統の方法で確認することを推奨する。

4.3 意図しないセルの書き換え

多くの施設は線量計の校正を年に 1 回行っており、その際に与えられた新しい校正定数に置き換えている。パラメータ変更時は特にエラーが起こりやすいため、数値の書き換え・確認は複数人で慎重に行った方がよい。また、前述したように、普段はセルの値を書き換えられないようにロックし、定期的に確認するのがエラーを防ぐのに効果的と考えられる。

そのほか、これも個人的な考えであるが、なるべく書き換える項目や頻度は減らした方がよい。イメージしやすいように極端な例を挙げると、毎回の MU 校正時にイオン再結合補正係数や極性効果補正係数、線質変換係数を取得し、そのたびにその値をシートに入力して吸収線量を算出するのは書き換えミスが生じるリスクが高くなる。装置や機器に問題がなければ、補正係数は基本的には大きく変化することはないと考えられる。従って、例えば、校正後や年に一回は補正係数を再取得することが多いと予想されるが、取得した値がそれまでとほとんど変化していないのであれば、MU 校正に使用するシートの値は変更しないという選択をすることも問題ないと考えられる。ただし、その場合であっても測定結果はとっておき、変動は確認できるようにしておいた方がよい。

5. 毎回の変動や傾向の確認

一部の施設ではモニタ校正を実施する度にモニタ線量計の感度調整を行っているという話を聞くことがあるが、著者は推奨しない。調整作業にはエラー発生リスクが伴うため、前節のように可能な限り頻度は減らした方がよいと私は考えている。さらに、毎回調整してしまうとモニタ線量計の感度変化の傾向を知ることが困難となる。モニタ線量計の感度調整は管理限界に基づいて行われるべきである。また、毎回の変動・傾向を視覚的に確認できるようにグラフを表示しておくことも重要と考えられる。

参考として、図3に当施設のDMUの年間推移例を示す。当施設では、この年のモニタ線量計の感度調整は1回しか行ってない。

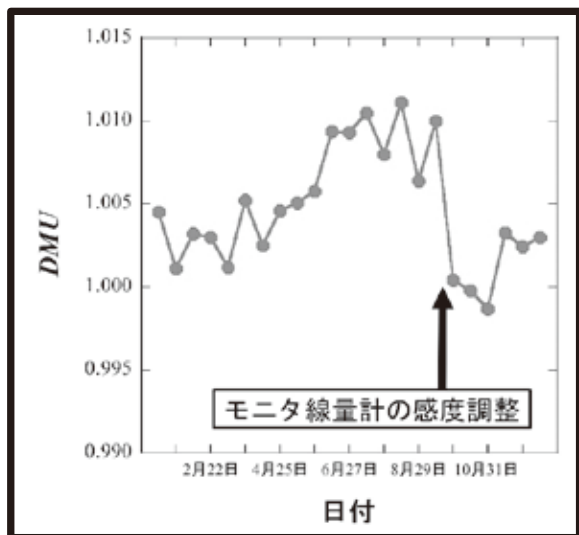


図3 当施設のDMUの年間推移例

6. 第三者機関による出力線量評価

自施設において、正しく吸収線量計測を実施することは重要であるが、そのみならず客観的な第三者による出力線量評価も非常に重要である。2019年には日本医学物理学会、日本放射線技術学会および日本放射線腫瘍学会から「放射線治療における第三者機関による出力線量評価に関するガイドライン2019（第三者評価ガイドライン2019）」が刊行されており、その中で「医療者にとって患者に提供する医療には相応な質的保証が求められている。（中略）質的保証は自施設のみならず客観的な第三者評価も必要と認識されるに至っている」や「放射線治療実施医療機関は、自施設放射線治療装置の線量精度を担保する責任があり、3年に1回以上の頻度で第三者出力評価認定機関による出力線量評価を実施しなければならない」と記載されている。費用もかかるため、施設によってはハードルが高いかもしれないが、客観的な質的保証のためにも第三者による出力評価を未実施の施設はぜひ受けてほしいと考えている。

7. おわりに

全3回で放射線治療における水吸収線量計測の基本について解説しました。私の力不足で至らない点も多々あったかと思いますが、本講座が少しでも役立てば幸いです。このような機会を与えていただいた埼玉県診療放射線技師会の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- ・日本医学物理学会 編、外部放射線治療における水吸収線量の計測法（標準計測法12）第1版第2刷、通商産業研究社
- ・日本放射線治療専門放射線技師認定機構 監修、放射線治療技術標準テキスト、医学書院
- ・放射線治療品質管理機構、第30回放射線治療品質管理士講習会資料
- ・日本医学物理学会、日本放射線技術学会、日本放射線腫瘍学会、放射線治療における第三者機関による出力線量評価に関するガイドライン2019
<http://www.jsmp.org/wp-content/uploads/daisanshahyouka20190716.pdf>
- ・放射線治療品質管理機構、2001年-2004年に公表された放射線治療における誤照射事故の調査報告のまとめ
https://www.qcrt.org/common/pdf/accident_report.pdf