

MU独立検証の現在～AAPM TG-114 reportを読む～

宇都宮 悟

Key words : MU (monitor unit), 放射線治療計画装置, コミッシュニング

要旨 本稿は平成25年7月20日に新潟大学で開催された第10回新潟放射線治療技術懇話会においてAAPM (American Association of Physicists in Medicine) の発行したTG-114 reportについて筆者が発表した内容をまとめたものである。TG-114 reportでは放射線治療におけるMU (monitor unit) 独立検証の意義, 方法, 結果の判定基準, 具体例などが詳細に述べられており, 日本の放射線治療に関わる我々にとっても重要な内容である。

1. はじめに

本稿では平成25年7月20日に新潟大学で開催された第10回新潟放射線治療技術懇話会で私が発表させていただいた内容をまとめて報告させていただく。発表タイトル中の「MU」とはMonitor Unitの略語で, これは簡単に言うと放射線治療装置 (リニアック) の出力を表す量である。リニアックで水ファントムにX線を照射する場合を考えてみる(図1)。照射の際にリニアックの内部にある電離箱線量計に電荷が集められるが, MUの値はその電荷量を基に決められている。具体的にはX線が照射された水ファントム中のある定められた位置で測定された線量が1 cGyになるときのMUの

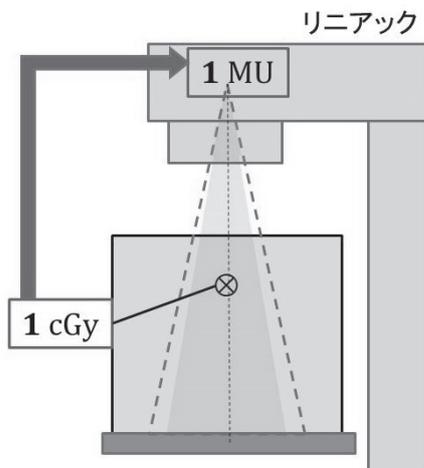


図1. MUの定義についての模式図

値を1 MUと定めている(図1)。また, 発表タイトル中の「AAPM」とはAmerican Association of Physicists in Medicineの略で, 米国の医学物理士や医学物理研究者が所属する団体である。AAPMのタスクグループ (TG) が特定のテーマについてのタスクグループレポート (TG report) を発行しているが, これらは医学物理士が参照すべきガイドラインとして米国のみならず世界中で広く読まれている[1]。AAPM TG-114 reportではMU値の検証が扱われており[2], 懇話会ではこのレポートの内容を紹介させていただいた。

2. MU独立検証の意義

現代の放射線治療では, 実際に患者への照射に使われるMU値は放射線治療計画装置 (Radiation Treatment Planning System, 以下「RTPS」と略す) と呼ばれるコンピュータシステムで計算される。市販されているRTPSは様々な種類があるが, 代表的なものとしてはEclipse (Varian Medical Systems), Pinnacle (Philips), Xio (Elekta) などが挙げられる。RTPSはCT画像やMRI画像等の取り込み, 画像照合, 腫瘍や周辺臓器の輪郭の作成, 放射線治療ビームの設定, 線量計算, 治療計画の評価など様々な機能があり, 現代の放射線治療にはなくてはならないものと言える(図2)。その一方で, RTPSの機能が多様化・高度化するに伴い, RTPSがその内部でどのような処理を行っているのかを理解することが難しくなっているように思われる。

また、治療計画に関係したインシデントが依然として多く発生しており、中には重大な結果に至ったケースもある。例えば、2006年にスコットランドで起きた事故では本来照射されるべきMU値の約1.7倍のMU値が照射された。この事故の報告書では、MU独立検証を行っていればこのような事故は起きなかった可能性が高いと結論づけている[3]。「MU独立検証」とは、簡

単に言うともRTPSとは独立した計算システムを用いて同じ患者のMU値を計算しRTPSの結果と比較することでRTPSの計算結果の正しさを検証しようとする活動のことである。「独立した計算システム」とはRTPSとは別のコンピュータソフトウェアであったり、時には手計算であったりする。通常、独立した計算システムの計算精度はRTPSの計算精度に劣る場合が多いが、



図2. 治療計画装置 (Eclipse) による線量計算の一例

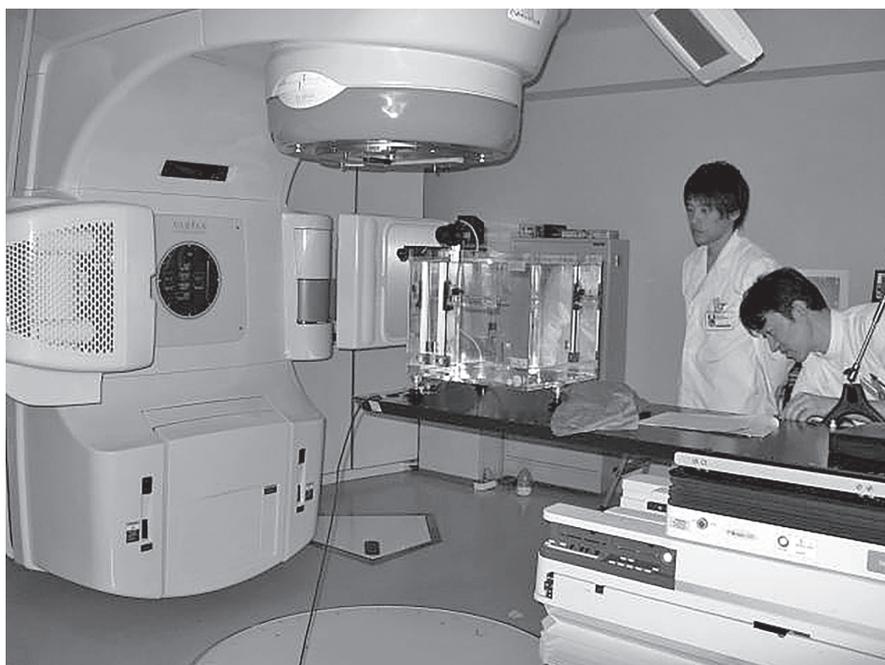


図3. 水ファントムを用いた測定の例
(新潟大学医学物理士養成コースの臨床実習より)

それでもMU独立検証はインシデントを防ぐ意味で必須の活動だというのが世界的な共通認識となっている[4][5]。今回取り上げたAAPMのレポートもそのような認識の下で書かれたものと言える。

次にMU独立検証の意義をもう少し掘り下げて考えてみたい。RTPSの線量計算精度は年々向上しており、最近では肺野など不均質な媒質中やその周辺でも精度の高い線量計算を行うことができるようになってきている。RTPSを新規に導入する際には、水中の深さ方向の線量の変化であるPDD (percentage depth dose) や横方向の変化である軸外線量比などの基礎となるデータを、水ファントム (図 3) を用いて測定し、RTPSに入力する。このようなビームデータ入力を含めた、RTPSが臨床業務に使用できる状態にするための一連の作業をコミッショニング (commissioning) と呼ぶ。RTPSの線量計算精度は、計算に用いられているアルゴリズムだけではなく、このコミッショニングで得られたデータの精度にも依存する。コミッショニングでは、校正された検出器を用いて注意深く測定を行うわけだが、均質な水という非常に単純化された条件で行う測定だという事と、測定には測定誤差が必ず含まれるという事に注意が必要となる。また、精度が良くなっているとは言え線量計算アルゴリズムの計算精度には必ず限界がある。特に臨床では形状が不規則かつ不均質な患者に照射することになるので、個々の患者の線量計算についてどのような不確かさが存在するかを正確に把握する事は難しくなる。AAPM TG-53 reportはRTPSのコミッショニングについてのタスクグループレポートだが、その中に「コミッショニングはシステムの全ての可能な状況、将来経験するであろう臨床状況下でのRTPSの挙動をくまなくテストするものではない」と書かれている[6]。我々は、RTPSの計算結果を過度に信頼することは避けなければならない。

3. MU独立検証の方法

次にMU独立検証の具体的な方法について述べたい。MU独立検証の方法にはいくつかの種類があるが、主に以下の3種類に分けられる：(1)ルックアップテーブルと呼ばれるあらかじめ準備した基礎データの表を基に与えられた計算式でMU値を計算する方法、(2)RTPSとは別の線量計算アルゴリズムを用いてMU値を算出する方法、(3)測定を行うことによってMU値を決

める方法。実際にMU独立検証においてMU計算がどのように行われるかを実感してもらうために、少し長い(1)の方法で用いられる計算式の例をお見せする：

$$MU = \frac{D}{S_c(r_c) \cdot S_p(r_d) \cdot TMR(d, r_d) \cdot \left(\frac{100 \text{ cm}}{SPD}\right)^2 \cdot WF \cdot TF \cdot OAR(d, x)}$$

ここで、 MU はMU値、 D は線量評価点での線量、 $S_c(r_c)$ はコリメータサイズの変化によって生じる線量の変化を表す量 (コリメータ散乱係数)、 $S_p(r_d)$ は水中の照射領域の変化によって生じる線量の変化を表す量 (ファントム散乱係数)、 $TMR(d, r_d)$ は前述のPDDから距離の逆二乗による効果を除いた量 (TMR : Tissue Maximum Ratio (組織最大線量比))、 SPD は線源 (ターゲット) の位置から線量評価点までの距離、 WF はウェッジを使用することによる線量の変化を表す量 (ウェッジファクター)、 TF はビームパス内にトレイを用いることによる線量の変化を表す量 (トレイファクター)、 $OAR(d, x)$ はビームの中心軸に対する軸外の線量の比を表す量 (軸外線量比) である。これらのパラメータは通常はコミッショニング時に測定される。本稿で詳しくは述べないが、上の式やその中のパラメータの定義と測定方法を理解することは、放射線治療での線量計算の仕組みを理解することにつながり、教育的にも非常に重要なことだと思う。RTPSではボタン一つで複雑な線量計算を完了させてしまうので、操作者が線量計算の仕組みを理解することが難しくなっている側面がある。余談だが、アメリカの医学物理士試験 (The American Board of Radiology[7]が運営) では上記の式を使って様々な条件下でのMU値を計算する問題が多数出題される。アメリカでは医学物理士の基本的な素養としてMU独立検証の理解が重視されていることが伺える。

4. MU独立検証の判定基準

次にMU独立検証の結果とRTPSの結果を比較するときの判定基準について述べる。MU独立検証とRTPSは元々異なる条件で線量やMU値を計算しているため、精度よく一致することを期待できない。例えば、多くのMU独立検証では患者は均質な水かつ単純な形状として扱うので、それが原因となる誤差が必ず生じる。従って、MU独立検証とRTPSとの一致度に関する介入レベル (誤差もしくは偏差として容認できない範囲のこと) は、MU独立検証にどの程度患者個々の幾何学的データや放射線治療ビームの形状の詳細などを反映

できたかによって変わる。AAPM TG-114 reportには様々な場合についてどのくらいの介入レベルを設定すべきかの基準が細かく書かれている。自施設で行われているMU独立検証がどのくらいの精度を期待できるものを事前によく把握しておくことが重要になる。また、MU独立検証を行った結果、RTPSとの一致度が介入レベルを超えた場合には、なぜ大きな誤差が生じたのかを検討し原因を特定することが重要である。単純ミスは是正することは当然として、線量評価点が不均質の大きい場所に設置されているなど一致度が悪くなる状況が生じているかどうかを見極めていくことが重要になる。大きな不一致が生じ、その原因が特定できない場合は、コミッシュニングの見直しや治療の中止についても検討せざるを得なくなることも考えられる。MU独立検証の仕組みを深く理解していなければ、MU独立検証の結果とRTPSの結果の一致度の結果について正しい評価はできない。

5. 最後に

最後に、AAPM TG-114 reportの内容を簡単にまとめると以下ようになる。RTPSの限界やインシデントの発生事例などを考慮するとMU独立検証は現代でも必須なプロセスである。MU独立検証の方法と意味を良く理解した上で適切な方法で行うべきである。MU独立検証結果の判定基準はMU独立検証における患者の幾何学的データの扱い方、MU独立検証の計算方法、照射野の複雑さなどに依存して変化するので、各施設で対応を検討すべきである。

本稿で扱った内容は放射線治療におけるMU独立検証の話であるが、医療機器の高度化・複雑化は放射線治療に限った話ではないように思う。複雑なシステムであってもその内部でどのような処理を行っているのか可能な限り理解するよう努める事、あるシステムの精度を検証するためにそれとは独立した別のシステムを使うことの重要性などは一般論として頭に置いておいても良いことだと思う。

参考文献

- [1] <http://www.aapm.org/pubs/reports/>
- [2] Stern R, Heaton R, Fraser M., Verification of monitor unit calculations for non-IMRT clinical radiotherapy: Report of AAPM Task Group 114. Med. Phys. 38:504–30; 2011.
- [3] Scottish Ministers for the Ionising Radiation Medical Exposures Regulations, Unintended Overexposure of Patient Lisa Norris During Radiotherapy Treatment at the Beatson Oncology Centre, Glasgow in January 2006 Scottish Executive Publications, Edinburgh, 2006, <http://www.scotland.gov.uk/Publications/2006/10/27084909/0>.
- [4] International Atomic Energy Agency, “Lessons learned from accidental exposures in radiotherapy” 2000.
- [5] Ortiz P, Cosset JM, Holmberg O, Rosenwald JC and Dunscombe P, Preventing Accidental Exposures from New External Beam Radiation Therapy Technologies International Commission on Radiological Protection Publication 112, Ann. ICRP 39, 2009, <http://www.icrp.org/>.
- [6] Fraass B, Doppke K, Hunt M, Kutcher G, Starkschall G, Stern R, and Van Dyke J, Quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning: Report of AAPM Task Group 53. Med. Phys. 25, 1773–1829; 1998.
- [7] <http://www.theabr.org/>

Current Status of Independent Monitor Unit Verification — a review of AAPM TG-114 report —

Satoru UTSUNOMIYA

Department of Radiology, Graduate School of Medical and Dental Sciences, Niigata University

Key words : Monitor Unit (MU), Radiation Treatment Planning System (RTPS), Commissioning

Abstract The AAPM (American Association of Physicists in Medicine) TG-114 report: “Verification of monitor unit calculations for non-IMRT clinical radiotherapy” is reviewed. The report addresses re-evaluation the purpose and methods of the independent monitor unit verification for conventional radiation therapy in light of the complexities of modern-day treatment planning. The report also provides recommendations on establishing action levels for agreement between primary calculations and verification, and guidance in addressing discrepancies outside the action levels. The report is full of important suggestions for Japanese professionals in radiation oncology.