

資料

宮崎県における外部放射線治療装置出力線量の訪問による第三者評価

久家 教幸¹⁾・下田平 春彦²⁾・尻枝 勝敏³⁾・久峯 尚也⁴⁾

- 1) 純真学園大学保健医療学部放射線技術科学科
- 2) 戸畑共立病院
- 3) 宮崎大学医学部附属病院
- 4) 古賀総合病院

Evaluation of On-site Dosimetry Visits of Linear Accelerators in Miyazaki Prefecture

Noriyuki KUGA¹⁾, Haruhiko SHIMOTABIRA²⁾, Katsutoshi SHIRIEDA³⁾, Naoya KUGA⁴⁾

- 1) Department of Radiological Science, Faculty of Health Sciences, JUNSHIN GAKUEN University
- 2) Department of Radiology, Tobata Kyoritsu Hospital
- 3) Department of Radiology, University of Miyazaki Hospital
- 4) Department of Radiology, Koga General Hospital

要旨： 宮崎放射線治療技術管理研究会は、県内の放射線治療施設における X 線・電子線の出力測定について訪問による第三者評価を行い、各施設の品質管理状況の確認及び高エネルギー線量計測技術の均てん化を目的とした。訪問測定を行ったのは宮崎県下8施設9装置であり、2012年6月から2018年12月の約6年間である。測定した X 線エネルギーは23ビーム、電子線エネルギーは44ビームである。高エネルギー X 線・電子線の計測及び吸収線量算出は標準計測法01と12にて行った。8施設9装置の X 線エネルギー23ビームにおける出力線量の誤差は平均にて0.37%であり、最大で1.09%であった。電子線44ビームは、平均誤差は1.1%であり、最大で-2.33%となった。測定した全ての X 線、電子線量とも施設管理基準の X 線 ($\pm 2\%$)、電子線 ($\pm 3\%$) 以内であることが確認出来た。宮崎県下8施設9装置の訪問線量測定を行うことにより、出力線量の良好な品質管理が確認でき高エネルギー線量計測技術の均てん化がなされた。

キーワード： 品質管理, 品質保証, 出力線量測定, 訪問測定

Abstract : The aim of this study is to determine the quality of standard dosimetry of absorbed dose in external beam radiotherapy even and equal by Miyazaki's radiotherapy technique and management in Miyazaki prefecture. We visited eight institutions and nine linear accelerators for on-site dosimetry. We measured 23 beams of X-rays and 44 beams of electrons. The adsorbed doses of high-energy X-ray and electron beams were calculated using standard dosimetry 12. The average and maximum values of the dose difference were 0.37 % and 1.09 %, respectively, for 23 X-ray beams. In 44 beams of electrons, the average and maximum values of the dose difference were 1.1 % and - 2.33 %, respectively. It was observed that all the X-ray and electron measurement beams were within the facility tolerance of X-rays ($\pm 2\%$) and electrons ($\pm 3\%$). By on-site dosimetry, eight institutions and nine linear accelerators were visited to ensure the quality of standard dosimetry of absorbed dose in external beam radiotherapy even and equal.

Keyword : Quality assurance, Quality control, dosimetry of absorbed dose, On-site dosimetry

緒言

近年、外部放射線治療装置の品質管理はアメリカの医学物理学会のタスクグループ142レポート¹⁾を参考に、各施設が行っている放射線治療のレベルに合わせて、品質管理プログラムを構築し管理

していることが浸透してきている。

しかし、放射線治療の総合的で継続的な品質管理には、各病院内の品質管理に関する組織体制の整備、教育・研修、第三者機関によるチェック、情報開示が必要となる。また、各病院は、放射線

治療に関する第三者機関による定期的なチェックを受けるべきであるとある²⁾。

放射線治療施設における外部放射線治療装置の出力線量の品質保証は、第三者的検証の重要性に対する認識が高まっており³⁾、がん診療連携拠点病院は第三者機関による外部放射線治療装置の出力線量測定を三年に一回以上実施することを推奨している⁴⁾。また、2019年に「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」が発刊され、出力線量評価に対する指針が示された⁵⁾。このガイドラインでは放射線治療における第三者出力測定評価認定機関による出力線量の評価を「訪問による出力線量の評価」と「郵送による出力線量の評価」に分類しており、がん診療連携拠点病院は医用原子力技術研究振興財団が実施しているガラス線量計による「治療用照射装置（X線）の出力線量測定（郵送測定）」を受けることががん診療連携拠点病院の要件となっている。しかし、日本放射線腫瘍学会によると全国の放射線治療施設は2020年5月現在で836施設となっているが、医用原子力技術研究振興財団が公表している「治療用照射装置（X線）の出力線量測定実施施設（平成31年度調査）」によると、郵送による出力測定を行った施設は393施設となっており⁶⁾、全国の約半数以上の施設においては実施されていない現状がある。これには、がん診療連携拠点病院の要件にはあるが必須ではないこと、さらには、この郵送による出力測定は有償であるため、がん診療連携拠点病院以外の放射線治療施設においては第三者評価費用が事務サイドに認められにくい現状があるものと考えられる。

宮崎放射線治療技術管理研究会（以下、研究会）は、外部放射線治療装置の出力測定の第三者評価の重要性を早期から認識していたが、郵送による出力測定を実施していない施設がほとんどであることより、宮崎県内の放射線治療施設のX線・電子線の出力測定の第三者評価を宮崎大学医学部附属病院研究会支援事業のサポートを受けて「宮崎県内放射線治療施設に対する訪問出力線量測定支援」として実施することになった。この支援の目的は県内の外部放射線治療装置の出力線量における品質管理の確認及び、高エネルギー線量計測技術の均てん化である。

県内治療施設8施設の訪問出力線量測定を2012年度から開始し、2018年度に完了することとなった。訪問出力線量測定の実施方法並びに訪問測定の結果報告を行う。

1. 方法

1.1 線量訪問測定支援手順

線量訪問測定支援の手順を図1に示す。



図1 線量訪問測定支援手順

まず、①施設選定・支援者募集は研究会世話人にて訪問施設の決定、及び測定支援チームの編成を行った。訪問施設の選定は以前訪問した施設を除き、訪問測定を希望する施設の中から決定した。測定支援チームは宮崎県内の放射線治療品質管理士または医学物理士資格取得者1名以上を含む計3名以上の放射線治療の経験を有する診療放射線技師で構成した。放射線治療品質管理士及び医学物理士は主に訪問施設の品質管理状況のチェックを行い、他2名は水ファントム、電離箱線量計の設置、及び測定を行った。訪問を受ける施設は品質管理担当者が立ち会い、測定支援チームと共同で測定を行うプロトコールとした。

②訪問施設の決定後、支援チームと訪問施設担当者間にて訪問測定の項目及び当日の打ち合わせを行った。主に、測定当日に必要な備品や当日のタイムスケジュールの確認、訪問測定1週間前以内にあらかじめ自施設において基準点吸収線量 $D(dr)$ の誤差が施設管理基準のX線では $\pm 2\%$ 、電子線では $\pm 3\%$ 以内に収まるようモニタ線量計

校正の実施を依頼した。また、測定機材に関しては、第三者評価という事で、訪問施設で実際に使用する測定器ではなく、宮崎大学医学部附属病院が所有する機器を持ち込み使用した。主な持ち込み測定機器はモニタ線量計校正用水ファントム、指頭形電離箱線量計（リファレンス）、平行平板形線量計（リファレンス）、電位計、気圧計、温度計である。

③事務手続きを行った。訪問測定においては、訪問施設に開催案内を事前に通知し、所属長の許可を得て行うことを前提とした。

④当日の訪問測定において、宮崎放射線技術管理研究会が作成した「X線・電子線校正統一ワークシート」を用いて測定を行った（図2）。



図2 X線・電子線校正統一ワークシート

このシートは研究会の校正統一シート研究班が作成したシートであり、県内全てのリニアックの基本情報が入っており、全ての施設で使用可能となっている。また、電離箱線量計の取り扱い、及び水ファントムの設置方法は訪問施設の品質管理担当者と訪問チーム間で協議しながら進めた。

⑤測定実施後、測定データの整理を行い、研究会代表世話人名で報告書（図3）を作成して施設に送付した。

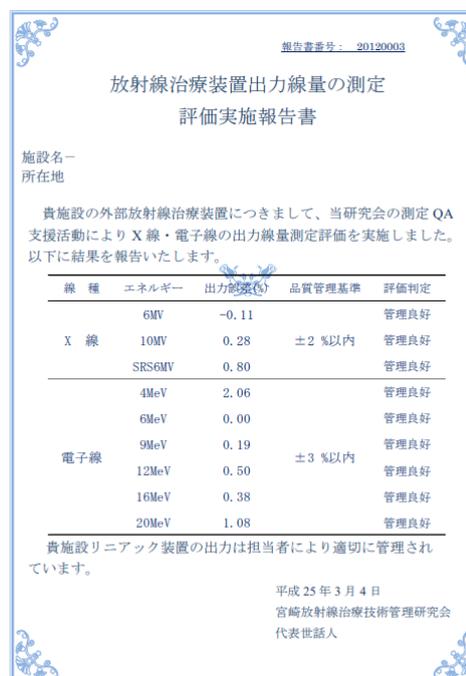


図3 訪問測定実施報告書

1.2 測定機器

今回訪問測定を行った施設の装置、X線エネルギー及び電子線エネルギーを表1に示す。訪問測定を行ったのは8施設9装置であり、測定したX線エネルギーは23ビーム、電子線エネルギーは44ビームである。訪問測定で使用した機器は全ての期間、訪問施設で同一のものを使用した。X線測定には円筒形電離箱線量計 PTW30013 (PTW-Freiburg)、電子線測定には平行平板形電離箱線量計 NACP02 (IBA Dosimetry) を使用した。電位計は RAMTEC Smart (TOYO MEDIC Co., Ltd.)、校正用水ファントムは WP1D (IBA dosimetry) を用いた。デジタル気圧計は R-30 (SANOH Co., Ltd) をデジタル気温計は SK-1250MC III α (佐藤軽量製作所) を使用した。

1.3 X線及び電子線吸収線量測定法

今回の訪問における高エネルギーX線・電子線の計測及び吸収線量算出はA～C施設においては外部放射線治療における水吸収線量の標準計測法（標準計測法01）⁷⁾にて、D～H施設では外部放射線治療における水吸収線量の標準計測法（標準計測法12）⁸⁾にて行った。

宮崎大学医学部附属病院が所有する電離箱線量

表1 訪問測定した外部放射線治療装置とその線種及びエネルギー

Facilities	Visit date	Accelerator	X-ray energies (MV)	Electron energies (MeV)
A	Jul 16 th 2012	Clinac [®] iX (Varian)	6, 10	4, 6, 9, 12, 15
		Clinac [®] 21EX (Varian)	6	4, 6, 9, 12
B	Aug 4 th 2012	Clinac [®] 21EX (Varian)	4, 10	4, 6, 9, 12
C	Mar 4 th 2013	Trilogy [®] (Varian)	6, 10, 6 (SRS)	4, 6, 9, 12, 16, 20
D	Jun 4 th 2013	Synergy [®] (Elekta)	4, 6, 10	4, 6, 9, 12, 15
E	Nov 13 th 2014	Synergy [®] (Elekta)	4, 6, 10	4, 6, 9, 12, 15
F	Dec 4 th 2016	Synergy [®] (Elekta)	4, 6, 10	4, 6, 9, 12, 15
G	Oct 21 th 2017	Synergy [®] (Elekta)	4, 6, 10	4, 6, 9, 12, 15
H	Dec 4 th 2018	ONCOR [™] Impression Plus (Siemens)	4, 10	5, 6, 9, 12, 15

計は、訪問測定を行った2012～18年の間、年1回の線量計校正を医用子力技術研究振興財団にて実施し、トレーサビリティが確立しているものを使用した。訪問期間の円筒形及び平行平板形線量計の水吸収線量校正定数の経時的な変動係数は共に0.05%以下であった。また、デジタル気圧計及びデジタル気温計も2年毎に測定器校正を行った。

吸収線量の算出方法を以下に示す。ユーザー電離箱を校正点に設置し、基準条件で照射した場合の線量計の指示値が M_{Q_0} であるとき、その電離箱線量計の水吸収線量校正定数 N_{D,w,Q_0} は次式となる。

$$N_{D,w,Q_0} = \frac{D_{w,Q_0}}{M_{Q_0}} \quad (1)$$

基準線質 Q_0 で照射された場合の水吸収線量 D_{w,Q_0} は、電離箱線量計の表示値 M_{Q_0} と N_{D,w,Q_0} の積として (1) 式より次式となる。

$$D_{w,Q_0} = M_{Q_0} \cdot N_{D,w,Q_0} \quad (2)$$

一方、基準線質 Q_0 と異なる線質 Q で照射された場合、校正点に設置された電離箱線量計の指示値 M_Q から、水吸収線量 $D_{w,Q}$ は次式より求める。

$$D_{w,Q} = M_Q \cdot N_{D,w,Q} \cdot k_{Q,Q_0} \quad (3)$$

ここで、表示値 M_Q は N_{D,w,Q_0} が与えられていた測

定環境と異なることによる補正を施した値であり、補正前の線量計の表示値の平均 $\overline{M_Q}^{\text{raw}}$ に、温度気圧補正係数 k_{TP} 、電位計校正定数 k_{elec} 、極性補正係数 k_{pol} およびイオン再結合補正係数 k_s を乗じて次式より求められる。

$$M_Q = \overline{M_Q}^{\text{raw}} \cdot k_{TP} \cdot k_{\text{elec}} \cdot k_{\text{pol}} \cdot k_s \quad (4)$$

また、式 (3) の k_{Q,Q_0} は、基準線質 Q_0 と異なる線質 Q で照射されたことによる電離箱線量計の感度変化を補正するための係数であり、線質変換係数という。

各施設にて、訪問後校正用水ファントム、電離箱線量計等の設置後、測定を開始した。X線・電子線校正統一ワークシート (図2) に沿って、式 (4) の各種補正係数及び校正深 (dc) における電離量測定を行った。各種補正係数算出時には100モニタ単位 (MU) を照射し、校正深における電離量測定時には200 MU の照射を行った。X線においては $TPR_{20,10}$ の測定も実施し線質の確認も行った。各測定は5回測定を行い、変動係数が0.05%を超えないよう行った。

この方法によって得られた200 MUにおける校正点吸収線量 D (dc) をX線は組織最大線量比 (TMR)、電子線は深部線量百分離率 (PDD) を加味し、基準点吸収線量 D (dr) を求めた。ここで、モニタ単位当たりの基準深吸収線量 (DMU)

=1cGy/MU に対する今回の測定で求めた DMU の誤差が施設管理基準の X 線 ($\pm 2\%$)、電子線 ($\pm 3\%$) 以内であるのかの確認を行った。

2. 結果

県内の外部放射線治療装置における X 線の DMU の出力誤差の度数分布結果を図4に示す。

8施設9装置の X 線エネルギー22ビームにおける DMU の誤差は平均にて0.37% であり、最大で1.09% であった。22すべてのビームが施設管理基準値である $\pm 2\%$ 内であることが確認できた。グラフより誤差の度数分布が正規分布をなしており、1ビーム以外は $\pm 1\%$ 以内となっていた。

また、電子線エネルギー44ビームの結果を図5に示す。電子線においては、平均誤差は1.1% であり、最大で-2.33% となった。電子線も全てのエネルギーで施設管理基準である $\pm 3\%$ 以内であることが確認出来た。

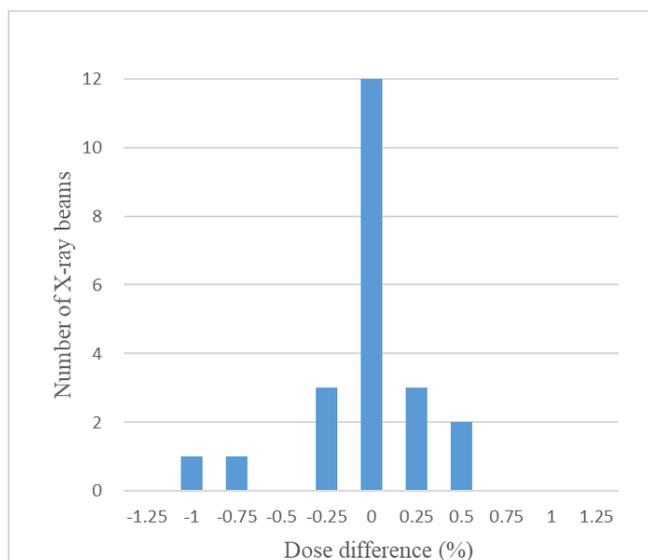


図4 X線における DMU の出力誤差

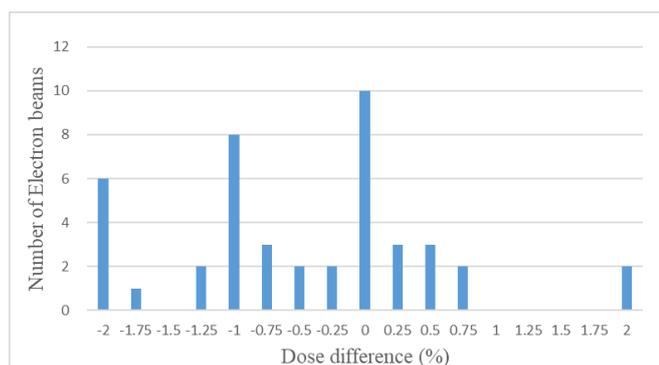


図5 電子線における DMU の出力誤差

3. 考察

今回、研究会が主体となり、県内の放射線治療施設における高エネルギー X 線・電子線の出力線量に対して訪問測定による出力線量の第三者評価を実施した。各施設において全ての放射線エネルギーにおいて施設基準値内となっていた。田辺らは山口県内の治療施設において、医用原子力技術研究振興財団線量校正センターの技術支援を受けて第三者相互事業を行っており、X 線のみで28ビームで出力誤差が、平均0.11%、最大誤差で1.29% であったと報告している⁹⁾。我々の X 線測定結果とほぼ同様であった。山口県のように財団等の技術支援を受けてはいないが、チーム編成等を明確にし、協議しながら進めて行くことで、我々訪問側の測定実施方法に問題はなかったと思われる。また、今回の結果より県内の治療施設における出力線量の品質管理が十分に担保できていることが証明された。

医用原子力技術研究振興財団が実施しているガラス線量計による出力線量の第三者評価で、出力線量が3% や5% といった許容範囲を超える施設や、86法¹⁰⁾ や01法⁷⁾ といった過去の線量計測法で実施している施設がいまだに確認されている現状がある^{11, 12)}。今回の我々の訪問において、これらのような施設がないことを改めて確認する事ができた。

研究会が主体となる訪問測定チームで訪問測定を実施するに当たり、各施設の状況も知ることができた。G 施設では平行平板形電離箱線量計のチェンバーホルダが無いにも関わらず、施設独自の方法で精度よく線量計を固定され校正を実施されていた。そこで、我々研究会より、なぜこのような状況であるかの問い合わせを機器メーカーに行い、後日メーカーからチェンバーホルダの補充があり改善された事例もあった。また、この機会にコミッシング時のビームデータを再確認する施設もあった。以上のことより、この訪問がきっかけとなり施設毎の情報を品質管理者間で共有でき、さらにはデータ等の再確認を行う機会を与えたとするならば、安全な放射線治療の実施という点でみると訪問測定の有用性は高いと思われる。また、訪問することで地域間、人材間交流となり人材育成にも繋がると考えられた。

最後に、地域の研究会主体での我々のような活動が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2019⁵⁾で示されている第三者出力線量評価認定機関として認定されれば、訪問側の線量測定精度担保をどのように行うかなどの議論の余地は多々あるが、より第三者評価が身近に浸透していくと期待される。

4. 結語

宮崎県において訪問による外部放射線治療装置の線量出力測定の第三者評価を行った。県内の放射線治療8施設9装置における出力線量の良好な品質管理状況が確認でき高エネルギー線量計測技術の均てん化がなされた。

今回の訪問は線量出力の評価しか実施できなかったが、今後は更なる施設間での連携を推進し、新たに包括的で簡便な品質管理支援を取り組んで行きたいと考える。

5. 謝辞

今回、我々の取り組みに快く協力して頂いた治療施設（古賀総合病院、潤和会記念病院、藤元総合病院、都城医療センター、宮崎県立日南病院、宮崎県立延岡病院、宮崎県立宮崎病院、宮崎大学医学部附属病院）の品質管理担当者の皆様に心から感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) Klein EE, Hanley J, Bayouth J, et al, Task Group 142 report: quality assurance of medical accelerators, *Med. Phys.*, 36 (9), 4197-212, 2009.
- 2) 放射線治療の品質管理に関する委員会, 放射線治療における医療事故防止のための安全管理体制の確立に向けて(提言), 2005.
- 3) Stephen FK, Lainy D, Paola A, et al, Radiation Therapy Deficiencies Identified During On-Site Dosimetry Visits by the Imaging and Radiation Oncology Core Houston Quality Assurance Center, *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 99 (5), 1094-1100, 2017.
- 4) 厚生労働省健康局長通知, がん診療連携拠点病院等の整備について, 健発 0731 第1号, 2018.
- 5) 公益社団法人 日本医学物理学会, その他, 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, 2019.
- 6) 公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団, 治療用照射装置(X線)の出力線量測定(平成28年~30年度測定実施施設), 2019.
- 7) 日本医学物理学会, 外部放射線治療における水吸収線量の標準計測法(標準測定法01), 通商産業研究社, 2002.
- 8) 日本医学物理学会, 外部放射線治療における水吸収線量の標準計測法(標準測定法12), 通商産業研究社, 2012.
- 9) 田辺悦章, 山口県における放射線治療装置出力の第三者相互評価事業について, 校正センターニュース, vol6, 11-13 2016.
- 10) 日本医学物理学会, 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, 通商産業研究社, 1986.
- 11) 川村慎二, 放射線治療における地域連携支援事業の実施実現に向けて, 校正センターニュース, vol7 12-15 2017.
- 12) 新保宗史, 出力測定結果が許容範囲を超える事象の対応について, 校正センターニュース, vol8 2-4 2018.