

要旨

【背景・目的】

蛍光ガラス線量計（GD）は、放射線エネルギー量に比例して発光する Radiophoto-luminescence(RPL)現象を利用して間接的に吸収線量が測定できる。同時にビルドアップ現象があるため、短時間にビルドアップを完了させる加熱処置（プレヒート）を行うか、室温ならば 24 時間経過後に読み取り作業を行わなければならない。しかし GD を郵送することでの調査においては、照射直後にプレヒートが行えない。そのため適切な読み取り経過時間を検討するとともに、リニアックを有する数施設への郵送調査を実施し、リニアック X 線校正点水吸収線量を計測し、GD が郵送調査に適した線量計デバイスかどうかを検証した。

【方法】

- 1) 阪大病院リニアック 10MVX 線を用い、GD 10 本を照射し、時間経過と計測値を記録し、ビルドアップを測定した。
- 2) 宅配便にて PTW30010 型模擬水ファントム(特注品)1 本と蛍光ガラス線量計素子 GD-302M(旭テクノグラス社製)を各 5 本ずつ、10 本を郵送した。
- 3) 照射方法は、校正用鞘付水ファントムを使用し、鞘部より PTW30010 型模擬水ファントムの先端に GD を挿入し、200MU 照射後返送依頼をした。
- 4) 返送されてきた GD を読取リーダー（Dose Ace 1000）にて計測した。
- 5) 計測値からリニアック校正点水吸収線量を求め、精度を評価した。

【結果】

- 1) ビルドアップの変動は照射後 1 週間後で安定した。
- 2) 各施設での校正点水吸収線量を以下の式 1 で求め、各施設の誤差を table.1 で示した。

$$\text{校正点水吸収線量} = 200(\text{MU}) \times \text{TMR} \times \text{DMU} \dots (\text{式 1})$$

Table.1 各施設の誤差

	A 病院	B 病院	C 病院	D 病院	E 病院	F 病院	G 病院	H 病院	I 病院	J 病院
4MV 誤差(%)							1.1			2.1
6MV 誤差(%)	-0.6	0	1.9	-1.2	0	-0.9		0.5	0.2	
10MV 誤差(%)	-1.7	2.2	1.1	-0.2	-0.4		-2.5	-1.1	-0.5	0.7
15MV 誤差(%)						-0.4				

【結論】

10 施設 20 ビームの測定結果で誤差平均 0.015% であり、郵送調査に有用であることが示された。

1.序論

1-1.背景

放射線治療の領域における照射線量、治療用照射装置の出力線量が全国的に同一基準ということががん治療及び臨床研究の基本であります。放射線治療の品質管理および品質保証を行う上で、治療に関わる装置の保守管理が非常に重要となる。

照射線量の品質保証は本来各施設内において実施すべきであるが、近年ではそれに加えて第三者的検証の重要性に対する認識が高まってきており、線量計を郵送して照射装置の出力確認を第三者機関が行う第三者評価プログラムは、IAEA(International Atomic Energy Agency)やWHO(World Health Organization)を始めとした機関により、世界各国で実施されており、平成19年11月では全世界の約60%の施設が郵送測定による第三者評価プログラムに参加している。我が国では医用原子力技術振興財団(以下ANTM)がこれを担っている。¹⁾²⁾

郵送調査は受け入れ側、訪問側両者にとって時間的制約が少なく、必要な人材も少なく済み、かかる費用も妥当であると考えられる。³⁾⁴⁾

ANTMではガラス線量計素子を用いて調査を行っており、本研究でも同じものを用いて線量精度調査を行った。

放射線を銀活性リン酸塩ガラス素子に照射すると、電離・隆起によって電子と正孔が生じ、蛍光中心を形成する。これに紫外線パルスレーザーを当てると、蛍光中心は隆起し、安定状態に戻るときに燈色の蛍光を発する、ラジオフィトルミネセンス現象を起こす。その発光量は吸収した放射線のエネルギーに比例するため、間接的に放射線の吸収線量を推定できる。

また、蛍光ガラス線量計素子の特徴として、

- ①フェーディング現象が問題とならない。
- ②素子間の感度のばらつきが小さい。
- ③熱アニーリングで再使用が可能。
- ④蛍光中心が消失しないため繰り返しの測定が可能。
- ⑤超小型、軽量で衝撃に強いこと。
- ⑥ビルドアップがある。

などがある。

ビルドアップはプレヒートを行って短期間で終了させることができるが、24時間以上経過すれば完了するとされている。⁵⁾

1週間もたてばビルドアップは完了して線量が安定し、フェーディング現象が問題とならないとして、素子の郵送先の施設でプレヒートを行えない環境下でも使用でき、

郵送調査に有用であると考えた。

1-2. 蛍光ガラス線量計

1-2-1. 小型素子システム

蛍光ガラス線量計は放射線を銀活性リン酸塩ガラス素子に照射することで蛍光中心を形成し、これに紫外線パルスレーザーを当てることで、蛍光中心を隆起させ、安定状態に戻るときに燈色の蛍光を発する、ラジオフォトルミネセンス現象を利用して発光量に比例した吸収線量を推定できる線量計である。⁵⁾

本研究では旭テクノグラス株式会社製の蛍光ガラス線量計・小型素子システム Dose Ace を使用した。(Fig.1)

システム構成内容は、ガラス線量素子 GD300 シリーズ(GD-301、302M、351、352M)と専用の素子リーダーで(FDG-1000)で構成されており、そのほか読み取りマガジン(FGD-M152)、アニールマガジン、プレヒートトレイ、アニール用電気炉、プレヒート用恒温器がある。測定線質は γ ・X線で、表示線量範囲は $1\mu\text{Gy}\sim 10\text{Gy}$ である。校正方法はスタンダード線量計素子による内部キャリブレーションガラスによって自動的に行われる。ガラス素子はIDナンバーの刻印された直径1.5mm、長径12mmのGD-302M(Fig.2)を使用した。⁶⁾

1-2-2. 蛍光ガラス線量計の使用手順

使用前に欠けやよごれの有無を確認し、よごれがあれば拭き取った。続いて、積算線量を消去するために、 400°C 1時間のアニールを行った。

蛍光ガラス線量計にはビルドアップという、正孔捕獲の蛍光中心が生成されるのに時間がかかるために放射線照射後も蛍光中心が増加する現象が生じるので、プレヒートを行うか、24時間経過後に読取を行う。本研究では、他施設での照射のため、プレヒートは行わなかった。

測定の際は素子をフォルダから取り出して読み取りマガジンにセットし、読み取りリーダーの電源投入20分後に10本ずつ測定した。

読取開始時間については、旭テクノグラス株式会社の校正用素子 GDS-302-AH ロット No.FD700627-2 2Gy 照射条件 137Cs- γ 線 Free air 条件下でプレヒート 70°C 30分間 高線量マガジンポジション1のみ使用して電源安定化試験を行った結果、20分後の変動係数(CV)が小さくなるため、電源投入20分後に測定を開始することにした。

Fig3 にガラス線量計の使用手順をまとめた。

1-3.ビルドアップとフェーディング

ビルドアップとは、正孔捕獲の蛍光中心(Ag²⁺)が生成されるには時間がかかるため、放射線照射後も蛍光中心が増加する傾向のことを言う。⁵⁾⁶⁾

Fig4 は 10MV 2 Gy の条件で照射した素子を約 2 週間測定した結果のグラフです。棒線のグラフが照射後すぐにプレヒートを行い、ビルドアップを短時間で完了させたものである。

点線のグラフはプレヒート行わず、照射日の翌日から測定を行ったものです。これにより、約 1 週間で安定するとして本研究では各施設照射後 1 週間後に測定することにした。⁷⁾いずれもビルドアップ完了後はフェーディング現象が問題とならず、ほぼ一定となった。

これより、蛍光ガラス線量計は、他施設への郵送によりすぐにプレヒートがかけられない条件でも有用であると考えた。

2.目的

ANTM の治療用出力測定事業の測定法にのっとり、RPL 現象での発光量を利用して間接的に吸収線量を測定できる蛍光ガラス線量計素子 GD-302M を用いて、10 施設のご協力のもとリニアック X 線校正点吸収線量の精度を検証した。

本研究と ANTM の違いは、

- ①照射後のプレヒートを行わない。
- ②⁶⁰Co での校正に対して 6 MVX 線による線量校正を行った。
- ③固体ファントム(材質：タフウォーター)を用いず模擬型ファントム(材質：ソリッドウォーター)を用いた。

以上の違いを考慮した線量精度調査と郵送調査における有用性を検証した。

3.使用器具

蛍光ガラス線量計・小型素子システム DoseAce 旭テクノグラス株式会社製

線量計小型素子	高エネルギー測定用 GD-302M
線量計リーダー	FGD-1000
アニールマガジン	FGD-C101
プレヒートトレー	FGD-C102
読み取りマガジン	FGD-M152
プレヒート用恒温器	DKN-302

アニール用電気炉	NEW-1C	
・ファントム	PTW30010 型模擬ファントム(ソリッドウォーター)	
・リニアック	母子医療総合センター	Varian Clinac iX
	近畿大学医学部附属病院	Varian Clinac 21EX
	近畿大学医学部奈良病院	Varian Clinac iX
	大阪市立大学医学部附属病院	ELEKTA Synergy
	NTT 西日本大阪病院	ONCOR Impression Plus
	京都大学医学部附属病院	Varian Clinac iX
	大阪医科大学附属病院	Varian Clinac 21EX
	兵庫医科大学病院	ELEKTA Synergy
	広島大学医学部附属病院	Varian Clinac iX
	奈良県立医科大学附属病院	Varian CLINAC 600C (4MV) PRIMUS KD-7467(10MV)

Fig.5～10 に各施設で用いたリニアックの写真を示す。

4.方法

4-1.郵送方法¹⁾⁴⁾

返送用の日本郵便レターパック 500 とガラス素子と PTW30010 型模擬ファントム、調査用紙を同封して宅急便で送付しました。(Fig.11) 調査用紙では送付施設の TMR_{10} , $TPR_{20,10}$, DMU, 10cm 深の吸収線量 D_c などの情報から、絶対線量が得られる。

また、ANTM のものと比べ、固体ファントムを用いない分非常に軽量でコンパクトにおさまるため宅急便の料金と合わせても 1000 円強で済む。郵送したガラス素子は 1 つのケースに 20 本封入されていますが、1 施設で使用するのは 10 本で 1 つのエネルギーに対して 5 本使用した。

4-2.各施設で照射¹⁾

ANTM と本研究での違いは、ANTM では測定用ピースに 3 本のガラス素子を並べて 1 度に照射するのに対して本研究で用いた模擬ファントムは 1 本ずつ照射する方法を取る。装着した素子を、ANTM では施設のファントムを 10cm 以上積んだ上に郵送した固体ファントム 4 枚を重ねている。(Fig.12)

本研究では郵送施設で水ファントムの鞘に PTW30010 型模擬ファントムを挿入し、水面から 10cm 深に合わせた。(Fig.13)

各施設で2種類のエネルギーで5本ずつガラス素子を用い、200MU照射した。

4-3.回収と測定

返送された素子をデシケータで保存し、各施設での照射日から1週間後に読取りリーダー電源投入後20分後に測定した。

4-4.解析

測定結果から校正点水吸収線量を以下の式(1)を用いて算出した。

$$\text{校正点水吸収線量} = 200(\text{MU}) \times \text{TMR} \times \text{DMU} \cdots \text{式(1)}$$

また、以下の式(2)で誤差を求め、精度を確認した。

$$\frac{\text{測定値} - \text{校正点水吸収線量}}{\text{校正点水吸収線量}} \times 100 \quad \cdots \text{式(2)}$$

5.結果

式(1)を用いて得た校正点水吸収線量の理想値と実測値と式(2)を用いて求めた誤差をTable2とFig14、15を示した。

結果は誤差の平均0.015%、標準偏差は1.2%となった。(Fig.16)

6.考察

10施設20ビームの測定結果で誤差平均0.015%であった。タフウォーターファントムを使った水野らの参考文献8)では平均0.3%であり、本法は非常に良好な結果が得られたと考えている。

また、標準偏差は1.2%となり、参考文献8)では標準偏差が1.3%となっており、遜色ない結果が得られた。

これはANTMで公表されているデータを参照すると、1.0%で見ると、真の値が±5%に入る確率が99.4%で±2%に入る確率が70.4%になる。

7.結論

蛍光ガラス線量計を用いた線量精度評価は有用であることが示された。

これより、本研究で大掛かりな装置や器具を利用せずとも研究室単位で安価に広域な線量精度調査を行うことができ、ANTMのようにピースを使わないため、定位照射

やIMRTなどその他さまざまな3D測定に使用できる可能性が示された。

8.参考文献

- 1) 財団法人医用原子力技術研究振興財団 治療用出力線量測定事業
(http://www.antm.or.jp/03_activities/03.html)
- 2) ガラス線量計による関東圏内のサイバーナイフ出力調査
(横浜CKセンター、AGCテクノグラス(株)聖麗ひたち、関東脳神経外科病院、おか脳神経外科、千代田テクノル
井上光広、大川浩平、仙田学、菊池千絵、石戸谷達世、鈴木英二、野崎晃彦、濱中一夫、三村功一)
- 3) 郵送による照射線量調査のためのガラス線量計素子の評価(新保宗史、西尾禎治、石蔵聡、小高喜久雄、中村譲、榎戸義浩、中山幸男、川越康充、西台武弘、鬼塚昌彦、速水昭宗、田伏勝義、遠藤真広、池田)
- 4) TLD 郵送法による高E放射線治療用X, γ 線11施設の基準点線量調査(速水昭宗、井上俊彦、川越康充、淵端孟)
- 5) 診療放射線技師スリムベーシック放射線計測学(首都大学東京 健康福祉学部放射線学科教授 福士政広 編集)
- 6) 蛍光ガラス線量計・小型素子システムDoseAce DoseAceKe 説明資料(株式会社千代田テクノル、旭硝子株式会社)
- 7)強度変調放射線治療におけるガラス線量計を用いた吸収線量測定法に関する研究-ガラス線量計を用いた第3者的線量評価システムの構築に向けて-(首都大学東京大学院人間健康科学研究科 橋本 慎平)
- 8) Feasibility study of glass dosimeter postal dosimetry audit of high-energy radiotherapy photon beams(Hideyuki Mizuno, Tatsuaki Kanai, Yohsuke Kusano, Susumu Ko, Mari Ono, Akifumi Fukumura, Kyoko Abed, Kanae Nishizawa, Munefumi Shimbo, Suoh Sakata, Satoshi Ishikura, Hiroshi Ikeda)

8.謝辞

本卒業研究を進めるにあたり、多くの有益な助言を賜った大阪大学大学院医学系研究科医用物理工学講座松本光弘准教授に深く感謝の意を表す。

また実験にご協力いただいた、
大阪大学医学部附属病院放射線部井ノ上技師、有村技師、四十物技師、

大阪市立大学医学部附属病院
大阪府立母子医療総合センター
近畿大学医学部附属病院
近畿大学医学部奈良病院
NTT 西日本大阪病院
京都大学医学部附属病院
大阪医科大学附属病院
兵庫医科大学附属病院
広島大学医学部附属病院
奈良県立医科大学附属病院
に厚く感謝の意を表す。