

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

主論文の要旨

論文題目 高エネルギー光子線の水吸収線量の評価に関する研究

氏名 木下 尚紀

論文内容の要旨

【背景および目的】

放射線治療では、従来から標的に対して精度の高い放射線治療を行うために、投与線量の不確かさを低減することは必要不可欠である。そのため、医学物理士や診療放射線技師は、自施設の線量を担保するために外部放射線治療装置から出力される放射線を水ファントムに照射し、標準計測法に従い水ファントム中の校正深水吸収線量を定期的に計測している。

1990年から2000年代初頭に International Atomic Energy Agency (IAEA), The American Association of Physicists in Medicine (AAPM) そしてその他の機関は、IAEA Technical Report Series No. 398 (TRS-398), AAPM Task Group 51 (TG-51), そして Japan Society of Medical Physics (JSMP) Standard Dosimetry 01 (JSMP 01) 等の標準計測法をそれぞれ発刊した。上記の標準計測法が発刊された以降、モンテカルロシミュレーションにより求められた正確な電離箱の擾乱補正係数や線質変換係数に関する新たな知見が報告されてきた。このような背景から、JSMP や AAPM は、JSMP Standard Dosimetry 12 (JSMP 12)そして Addendum to AAPM TG-51 をそれぞれ発刊した。

新旧の標準計測法による水吸収線量の違いを評価することは、投与線量の評価において重要である。これまでに JSMP 01, IAEA TRS-398, そして AAPM TG-51 に従い求めた水吸収線量を比較した報告はあるが、AAPM TG-51 とその補遺である Addendum to AAPM TG-51 (以降 AAPM TG-51 とする) や JSMP 12 を含めた標準計測法の違いによる水吸収線量の比較は検討されていない。そこで著者は、AAPM TG-51, JSMP 12 そして IAEA TRS-398 に従い導出した水吸収線量の違いを調査した。

【方法】

使用機器

本研究では、SIEMENS社製の医療用直線加速器 (Artiste) から出力される公

称エネルギー6 MVおよび10 MVのX線をIBA社製の水ファントム (WP1D) に照射し、そのファントムの校正深吸収線量を評価した。ここで、使用したX線は、直線加速器の中にある平坦化フィルターを通過した放射線である。使用した電離箱は、Standard Imaging社製 Exradin A12, PTW社製 30013, およびIBA社製 FC65-Pである。Exradin A12, PTW 30013そしてFC65-Pに電位計であるStandard Imaging社製Super MAX, 東洋メディック社製 RAMTEC 1000plus, そしてCardinal Health社製 Keithley 35040 電位計をそれぞれ接続し、医用原子力技術研究振興財団でそれらの電離箱線量計は事前に校正を受けた。その結果、Exradin A12, PTW 30013そしてFC65-Pの水吸収線量校正定数は、それぞれ $4.902 \times 10^{-2} \text{ Gy nC}^{-1}$, $5.33 \times 10^{-2} \text{ Gy nC}^{-1}$, そして $4.858 \times 10^{-2} \text{ Gy nC}^{-1}$ であった。

線質の決定

IAEA TRS-398およびJSMP 12の線質指標は、組織ファントム線量比 ($TPR_{20,10}$) である。一方、AAPM TG-51の線質指標は加速器ヘッドからの電子線成分を除去した深部量百分率 [$PDD(10)_x$] である。線質変換係数を求めるためにAAPM TG-51, JSMP 12そしてIAEA TRS-398に従い線質の測定を行った。

水吸収線量の計測

3つの標準計測法に従い校正深吸収線量の測定配置は、線源検出器間距離100 cm、電離箱位置で照射野サイズ10 cm × 10 cm, 測定深 10 cmとした。電離箱の幾何学的測定配置や放射線出力の不確かさ等による電離箱線量計の表示値の変動を無くすため、3つの標準計測法で同一の測定値を採用した。

【結果】

電離箱線量計の表示値の補正係数と各種補正後の表示値をTable 1そしてTable 2にそれぞれ示す。各標準計測法で求めた各種補正後の表示値は、6 MVおよび10 MVのX線でそれぞれ0.2%および0.3%以内の差であった (Table 2)。

線質変換係数をTable 3に示す。3つの標準計測法で求めたExradin A12, PTW 30013, そしてFC65-Pにおける線質変換係数は、それぞれ0.6%, 0.4%, そして0.3%以内の差であった。

3つ標準計測法に従い求めた校正深水吸収線量をTable 4に示す。Exradin A12を使用してAAPM TG-51に従い求めた水吸収線量は、IAEA TRS-398に従い求めたそれに比べ、6 MV X線で0.1%、10 MV X線で0.3%低い結果になった。PTW 30013を使用してAAPM TG-51に従い求めた水吸収線量は、IAEA TRS-398に従い求めたそれに比べ、6 MV X線で0.1%、10 MV X線で0.2%高い値を示した。IBA FC65-Pを使用してAAPM TG-51に従い求めた水吸収線量は、IAEA TRS-398に従い求めたそれに比べ、6 MV X線で0.03%低く、一方10 MV X線で0.1%高い結果を示した。

Exradin A12を使用してJSMP 12に従い求めた水吸収線量は、IAEA TRS-398に従い求めたそれに比べ、6 MV X線で0.2%高く、10 MV X線で0.2%低い結果になった。PTW 30013を使用してJSMP 12に従い求めた水吸収線量は、IAEA TRS-398に従い求めたそれに比べ、6 MV X線で0.2%、10 MV X線で0.4%低い値を示した。IBA FC65-Pを使用してJSMP 12に従い求めた水吸収線量は、IAEA TRS-398に従い求めたそれに比べ、6 MV X線で0.2%、10 MV X線で0.3%低い値を示した。

Table 1. 3つの標準計測法に従い求められた電離箱線量計の表示値の各種補正係数
 P_{TP} , k_{TP} : 温度気圧補正係数、 P_{ion} , k_s : イオン再結合補正係数、 P_{pol} , k_{pol} : 極性効果補正係数、 P_{elec} , k_{elec} : 電位計校正定数、 P_{leak} : 漏れ電流の補正係数、 P_{rp} : 動径方向分布補正係数

Nominal MV	chamber	AAPM TG-51						JSMP 12				IAEA TRS-398			
		P_{TP}	P_{ion}	P_{pol}	P_{elec}	P_{leak}	P_{rp}	k_{TP}	k_s	k_{pol}	k_{elec}	k_{TP}	k_s	k_{pol}	k_{elec}
6	Exradin A12	0.990	1.0019	1.000	1	1	1.002	0.990	1.0018	1.000	1	0.990	1.0018	1.000	1
	PTW 30013	1.005	1.0024	0.999	1	1	1.002	1.005	1.0023	0.999	1	1.005	1.0023	0.999	1
	IBA FC65-P	0.994	1.0013	1.001	1	1	1.002	0.994	1.0013	1.001	1	0.994	1.0013	1.001	1
10	Exradin A12	0.990	1.0042	0.999	1	1	1.003	0.990	1.0040	0.999	1	0.990	1.0040	0.999	1
	PTW 30013	1.009	1.0042	1.000	1	1	1.003	1.009	1.0039	1.000	1	1.009	1.0039	1.000	1
	IBA FC65-P	0.994	1.0055	0.999	1	1	1.003	0.994	1.0053	0.999	1	0.994	1.0053	0.999	1

Table 2. 各標準計測法に従い求めた各種補正後の電離箱線量計の表示値 (nC)

Chamber	Protocol	6 MV	10 MV
Exradin A12	AAPM TG-51	16.05	17.67
	JSMP 12	16.01	17.62
	IAEA TRS-398	16.01	17.62
PTW 30013	AAPM TG-51	14.689	16.090
	JSMP 12	14.656	16.043
	IAEA TRS-398	14.656	16.043
IBA FC65-P	AAPM TG-51	16.238	17.978
	JSMP 12	16.202	17.925
	IAEA TRS-398	16.202	17.925

Table 3. 各標準計測法における線質変換係数

Ion chamber	Protocol	6 MV	10 MV
Exradin A12	AAPM TG-51	0.992	0.980
	JSMP 12	0.997	0.984
	IAEA TRS-398	0.995	0.986
PTW 30013	AAPM TG-51	0.991	0.979
	JSMP 12	0.990	0.976
	IAEA TRS-398	0.992	0.980
IBA FC65-P	AAPM TG-51	0.991	0.979
	JSMP 12	0.992	0.979
	IAEA TRS-398	0.994	0.981

Table 4. 各標準計測法に従い求めた校正深吸収線量 (Gy)

Chamber	Protocol	6 MV	10 MV
Exradin A12	AAPM TG-51	0.780	0.849
	JSMP 12	0.783	0.850
	IAEA TRS-398	0.781	0.851
PTW 30013	AAPM TG-51	0.776	0.840
	JSMP 12	0.773	0.835
	IAEA TRS-398	0.775	0.838
IBA FC65-P	AAPM TG-51	0.782	0.855
	JSMP 12	0.781	0.852
	IAEA TRS-398	0.782	0.854

【考察および結論】

AAPM TG-51に従い求めた各種補正後の電離箱線量計の表示値は、動径分布補正によってIAEA TRS-398およびJSMP 12に従い求めたそれに比べ、6 MV X線で0.2 %、10 MV X線で0.3%高い値を示した。一般的に平坦化フィルターを有する医療用直線加速器はビーム中心とその付近で線量変化が少ないため、動径方向分布補正係数 (P_p) は小さい。しかし本研究で使用したような医療用直線加速器では、ビーム中心とその付近で線量勾配があるため、動径方向分布補正の有無により各種補正後の表示値に差が生じることが明らかになった。

Table 3に示した3つの標準計測法における線質変換係数では、導出方法が異なるためその値は異なると考えられる。Addendum to TG-51の線質変換係数は、モンテカルロシミュレーションの計算値を採用している。JSMP12の線質変換係数は、壁補正係数以外の擾乱補正係数にモンテカルロシミュレーションの計算値を採用している。IAEA TRS-398の線質変換係数に含まれる擾乱補正係数は、詳細な電離箱の構造を考慮できておらず、半解析的な手法で求められている。

本研究においては、動径方向分布補正の有無や線質変換係数の違いにより、各標準計測法に従い求めた水吸収線量は、差が生じた。しかしながら、それらの水吸収線量は、各標準計測法に記述されている水吸収線量の相対標準不確かさの範囲内で一致した。今後、さらに多くの電離箱線量計と医療用直線加速器を用いて、水吸収線量の相違の要因をより明確にする必要がある。