

○平成18年度奨励研究

「肺等価ファントムの試作」

放射線技術科学科 助教授 藤崎 達也

放射線技術科学科 教授 阿部 慎司

1. 研究目的

近年の放射線治療への関心の高まりから、根治を目的とした肺定位放射線治療が積極的に行われてきている。しかしながら、肺腫瘍の放射線治療の問題点に胸部内の線量把握の困難さがある。これは、高エネルギーのナロービームX線を使用することや、胸部が水等価組織や、肺組織、乳腺組織といった密度の異なる組織で構成され、線量測定を困難にしていることにある。

本研究では、わが国の製造技術によって放射線治療用の肺等価ファントムを行う。特に、線量測定を容易にする物理的ファントムの試作し、放射線特性について検討する。

2. 研究方法

試作した肺等価ファントムは、ウレタン樹脂をベースとして、これに発砲剤を適当に混練して密度を調節し $0.26\text{g}/\text{cm}^3$ にしたものである。本論文では、このファントムを「Tough Lung 260」として表す。このTough Lung 260肺等価ファントムの他、既に市販のタフラングLP型ファントム(京都科学、京都)とRMI 455ファントム(Gammex RMI, Middleton WI)を各々「LP260」、「LP430」、「RMI455」として表し、3種類の肺等価ファントムの放射線特性について検討した。基準物質としては、水とポリスチレン¹⁾とした。

放射線特性は、細束ビームの減弱曲線と正方形照射野一辺の長さ5 cmから15 cmの減弱曲線から減弱係数を算出することで行った。前者は一次線の減弱を表し、後者は散乱線を含んだ減弱を表している。単一X線エネルギーにおける細束ビームでの減弱は次式として表される。

$$I/I_0 = \exp(-\mu d) \quad (1)$$

ここで、 I は減弱後のビーム強度、 I_0 は減弱前のビーム強度、 μ/ρ 、 μ 、 ρ および d は減弱物質の各々質量減弱係数、線減弱係数、密度および厚さである。リニアックからのX線は連続したX線エネルギー分布を有しているためビームハードニングにより減弱係数が変化する。また、検出器およびビルドアップキャップの大きさ分の細束ビームの広がり必要となる。そこで、本研究では減弱曲線のある2点間の減弱係数を次式により近似的に算出した。

$$\mu = d^{-1} \ln(I_0/I) \quad (2)$$

放射線ビームは、医療用リニアック(VARIAN medical systems, CLINAC 21EX)より得られる公称4 MVと10 MのX線が使用された。測定に使用した電離箱線量計は、ファーマ形電離箱(応用技研、C-134A)と線量率計(応用技研、AE-132a)の組み合わせである。印加電圧は400 Vに設定し、指示値が安定する10分以上経過してから測定した。

まず、細束ビームの減弱曲線の測定は、電離箱にファントムや床面などから散乱線が付加されない幾何学的配置で行った。架台角180度としてX線ビームが床面から天井方向に照射して測定する方法により、電離箱はX線エネルギーに対応するビルドアップキャップを装着し、スタンドを利用して高所で固定した。電離箱の幾何学的中心を線源検出器間距離(source chamber distance: SCD) 100 cmとし、照射野はビルドアップキャップを含めた電離箱全体が入る最小照射野とした。1回の測定におけるセットされたモニタ単位は100 MUで、放射線照射後に指示値を記録した。線量率は常用の4 MVと10 Mで各々250 MU/分と600 MU/分である。減弱物質は、3種類の肺等価ファントムとポリスチレンを使用した。

次に、正方形照射野一辺の長さ5 cmから15 cmの減弱曲線の測定は、電離箱をファントム中に挿入し10 cm厚の後方散乱体を確保した幾何学的配置で行った。架台角0度、電離箱の幾何学的中心をSCD 100 cmとし、深さと照射野を変化させた。1回の測定におけるセットされたモニタ単位と線量率は細束ビームの減弱曲線の測定と同じである。減弱物質は、3種類の肺等価ファントムと標準測定法01に準拠した水ファントムを使用した。また、減弱係数は、肺等価ファントムのビルドアップを考慮して減弱曲線の深さ10 cmと20 cm間で算出した。

3. 研究結果

Table 1には、(2)式より得られた細束ビームに対する0 cmから15 cmの深さでの各ファントムの線減弱係数お

よびポリスチレンファントムの線減弱係数との比を示す。肺ファントムの線減弱係数はポリスチレンファントムの線減弱係数の1/3程度であり、相互作用する割合が小さいことが示された。ポリスチレンファントムに対するLP260とLP430の線減弱係数比は、物質の組成より計算できる相対電子濃度と3%以内で一致することが示された。RMI455では、最大10%以上の違いが示された。

Table 2には、(2)式より得られた広い線束ビームに対する10 cmと20 cm深さ間での各ファントムの線減弱係数および水ファントムの線減弱係数との比を示す。各ファントムの線減弱係数は、照射野が大きくなるほど小さくなる傾向が示された。これは、照射野により散乱線が一次線に付加されるためと考えられる。

Table 1. Linear attenuation coefficient of the lung phantoms for primary beams obtained from equation (2), and linear attenuation coefficient ratio of the lung phantoms to polystyrene.

		Polystyrene	LP430	LP260	RMI455
4 MV	μ_{phantom}	0.060	0.020	0.015	0.018
	$\mu_{\text{phantom}}/\mu_{\text{polystyrene}}$	1.000	0.306	0.244	0.342
10 MV	μ_{phantom}	0.037	0.013	0.009	0.011
	$\mu_{\text{phantom}}/\mu_{\text{polystyrene}}$	1.000	0.304	0.242	0.321

Table 2. Linear attenuation coefficient of the lung phantoms for broad beams obtained from equation (2), and linear attenuation coefficient ratio of the lung phantoms to water.

field		Water	LP430	LP260	RMI455	
4 MV	5 cm × 5 cm	μ_{phantom}	0.053	0.018	0.014	0.017
		$\mu_{\text{phantom}}/\mu_{\text{water}}$	1.000	0.345	0.256	0.314
	10 cm × 10 cm	μ_{phantom}	0.048	0.016	0.012	0.014
		$\mu_{\text{phantom}}/\mu_{\text{water}}$	1.000	0.337	0.255	0.299
	15 cm × 15 cm	μ_{phantom}	0.043	0.014	0.011	0.013
		$\mu_{\text{phantom}}/\mu_{\text{water}}$	1.000	0.333	0.251	0.361
10 MV	5 cm × 5 cm	μ_{phantom}	0.034	0.011	0.007	0.010
		$\mu_{\text{phantom}}/\mu_{\text{water}}$	1.000	0.328	0.212	0.288
	10 cm × 10 cm	μ_{phantom}	0.030	0.010	0.005	0.008
		$\mu_{\text{phantom}}/\mu_{\text{water}}$	1.000	0.323	0.168	0.271
	15 cm × 15 cm	μ_{phantom}	0.026	0.009	0.004	0.008
		$\mu_{\text{phantom}}/\mu_{\text{water}}$	1.000	0.334	0.155	0.290

4. 考察(結論)

細束ビームによる実測では、ポリスチレンファントムに対するLP260とLP430の肺等価ファントムの線減弱係数比は、公称値の相対電子濃度と3%以内で一致することが示されたが、RMI455ではかなり大きな差があった。RMI455では密度のばらつきも大きく、これが減弱係数比の差の原因であると考えられる。線減弱係数比による深さ補正²⁾では、まず密度を測定し、公称値との差が大きいファントムを使用しない方がよいと思われる。広い線束ビームにより実験では、各ファントムの線減弱係数は、照射野が大きくなるほど小さくなる傾向が示された。これは、散乱線の影響によることが明らかである。特にLP260では実効原子番号が大きいため、広い線束ビームによる測定では比をとったとしても公称値に近い値が得られない可能性がある。したがって、散乱線を評価する測定では注意する必要がある。また、LP260やRMI455を用いて線量検証を行う場合には、あらかじめ測定条件に対する線減弱係数や質量減弱係数を求めてから深さ補正を行う必要があると思われる。

5. 成果の発表(学会・論文等, 予定を含む)

藤崎達也, 他. 放射線治療用肺ファントムの放射線特性. 医用標準線量 2006; 11(2): 29-34

6. 参考文献

- 1) ICRU Report 44, 1989 "Tissue substitutes in radiation dosimetry and measurement". International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU), Bethesda MD, USA.
- 2) 齋藤秀敏, 明上山温, 藤崎達也, 阿部慎司. 光子ビーム線量測定のための固体ファントムの減弱特性. 医用標準線量 2005; 10: 19-28