モンテカルロシミュレーションを用いた眼窩領域の電子線治療における水晶体防護物質の検討

東北大学大学院 医学系研究科 ○中島 祐二朗 (Nakajima Yujiro)
角谷 倫之　伊藤 謙吾　土橋 卓　武田 賢　神宮 啓一
東北大学病院 診療技術部　岸 和馬　佐藤 清和

【目的】

眼窩領域の腫瘍に対して電子線治療が行われる。この治療では水晶体を防護するために水晶体遮蔽が行われる。遮蔽物には鉛やタングステンが用いられるが、遮蔽に有効な物質と厚さは決められていない。また、遮蔽物を挿入すると後方散乱により局所的な線量増加が起こる。遮蔽物の遮蔽能力と線量増加は有害事象に直接関係するため正確に線量計算を行う必要がある。しかし商用の治療計画装置の線量計算は水に対する相対電子密度を用いており、正確に物質を反映していない。そこで今研究はモンテカルロシミュレーションコードEGS5を用いて遮蔽物の最適な物質と厚さ検討と局所的な線量増加の解析を行った。

【方法】

EGS5を用いて眼瞼、遮蔽物、水晶体を再現したファントムを作成した。眼瞼の厚さを1 mmとし、眼瞼の後方に1～2 mm厚の鉛(Pb) またはタングステン (W) の遮蔽物を挿入した。遮蔽物から3.5 mmを前房とし、前房の後方に厚さ4 mmの水晶体を定義した。入射電子のエネルギーは4, 6, 9 MeV, 照射野は6×6 cm^2, SSDは100 cmとした。ビーム中心軸上の線量プロファイルカーブを算出し、水晶体への最大線量と平均線量を計算することで、遮蔽に最適な厚さを検討した。後方散乱による線量増加は後方散乱線量係数を用いて解析した。

【結果・考察】

Fig.1に9 MeVにおける2 mm厚のPbとW挿入時の線量プロファイルカーブを示し、Table 1にPbとWを用いた場合の各エネルギーに対する水晶体のDmaxとDmeanを示す。WがPbより、また2 mm厚が1 mm厚より遮蔽効果が高いことが分かった (4 MeVを除く)。4 MeVにおいて2 mm厚のWの水晶体線量が1 mm厚のWよりも高い原因は、2 mm厚の遮蔽物を挿入することで水晶体の位置が1 mm深くなるためであると考えられる。また、4 MeVでは電子の側方散乱が増えるため遮蔽物を厚くすることでは水晶体を防護することができなかった。逆に、入射電子のエネルギーが高い6 MeVや9 MeVでは、側方散乱した電子による線量寄与が小さくなり、直接線の線量寄与が大きくなるため、遮蔽物を厚くすることで水晶体を防護することができると考えられる。患者の目に挿入する最大厚を2 mmとした場合、4 MeVでは1 mm厚のW、6 MeVと9 MeVでは2 mm厚のWが最適な物質と厚さであると考えられる。Table 2に後方散乱線量係数の比較を示す。低エネルギーほど値は大きくなり、物質間の差や厚さによる差は小さかった。エネルギーが4 MeVでPbを用いた場合に最大となり1.5であった。これは遮蔽物を挿入することで挿入しなかった場合の1.5倍の線量が遮蔽物上流に付与されることを意味する。このことから、遮蔽物を低原子番号の物質で被覆し遮蔽物上流への線量を低減する必要があると考えられる。

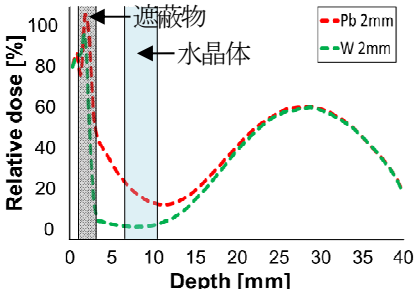

Fig.1　9 MeV での線量プロファイルカーブ

Table 1　水晶体線量の比較

物質	厚さ (mm)	エネルギー (MeV) と水晶体線量 (%) 4 平均	4 最大	6 平均	6 最大	9 平均	9 最大
Pb	1	37.5	30.2	42.2	35.5	68.1	51.0
	2	35.8	25.7	19.9	14.6	29.6	23.5
W	1	31.8	21.1	19.2	17.2	43.9	33.5
	2	35.8	25.2	17.9	11.1	8.0	7.2

Table 2　後方散乱線量係数の比較

物質	厚さ (mm)	エネルギー (MeV) 4	6	9
Pb	1	1.50	1.37	1.20
	2	1.50	1.39	1.26
W	1	1.49	1.37	1.24
	2	1.48	1.37	1.25

【まとめ】

EGS5を用いて水晶体遮蔽に用いられる遮蔽物の最適な物質と厚さ検討と局所的な線量増加の解析を行った。遮蔽には2 mm厚のWが有効であった。また、後方散乱による線量増加を低減するため低原子番号の物質による被覆の必要性が示唆された。

【参考文献・図書】

1) R. D. Weaver, B. J. Gerbi, and K. E. Dusenbery : Evaluation of eye shields made of tungsten and aluminum in high-energy electron beams. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 41, 233-237, 1998
2) C. Reft et al. : Dosimetric considerations for patients with HIP prostheses undergoing pelvic irradiation. Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 63. Med Phys 30, 1162-1182 2003