

背向散射因子在放射治疗中的作用

倪昕晔^{1,2}, 汤晓斌¹, 刘云鹏¹, 孙苏平², 宋浩磊², 陈 达¹

(1. 南京航空航天大学材料科学与技术学院核科学与工程系, 南京 211106;
2. 南京医科大学附属常州第二人民医院放疗科, 江苏 常州 213003)

摘 要: 在不同能量、不同组织厚度、不同组织材料时, 与标准背向组织厚度 1 cm 固体水的剂量进行比较, 以探讨“背向散射因子” (B_s) 在放射治疗中对组织吸收剂量的影响。结果表明, 背向散射因子确实对实际吸收剂量有影响, 而且背向组织厚度越大、射线能量越小, B_s 值越大, 即对组织吸收剂量的影响越大。放疗中必须根据患者的肿瘤后组织厚度包括射线穿过的床板及治疗床的其它部分, 以及射线的能量用 B_s 对肿瘤或组织的实际吸收剂量进行修正, 以提高疗效, 同时也能更好的保护正常组织。

关键词: 放射治疗; 吸收剂量; 背向散射因子; 水箱
中图分类号: R144

文献标识码: A

众所周知, 对于肿瘤组织一般都是有一定的深度以及肿瘤后也有一定深度的组织, 目前考虑的只是肿瘤前组织对肿瘤剂量的影响, 而未考虑肿瘤后组织对肿瘤剂量的影响, 因此会造成放射治疗中实际吸收剂量与计划系统计算结果间的差异并影响治疗效果。肿瘤后组织包括肿瘤后人体组织及射线穿过的床板、固定架, 如图 1 所示。

但到目前为止, 所有的放射治疗计划系统及临床进行的手工剂量计算均未考虑到肿瘤后组织对肿瘤部位吸收剂量的影响, 常用的肿瘤吸收剂量计算公式为^[1-4]:

$$D_T = D_m \times S_C \times S_P \times PDD(TMR) \times F_{SSD(SAD)} \times F^2 \times OAR \times F_W \times F_S \times F_C \times C_P \times C_C$$

式中, D_m 为处方剂量, S_C 为准直器散射因子, S_P 为模体散射校正因子, PDD 为百分深度剂量, TMR 为组织最大剂量比, F_{SSD} 为 SSD 因子,

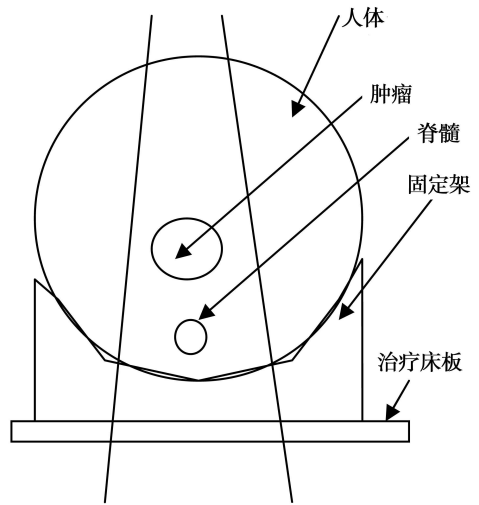


图 1 0 度射野放射治疗示意图

Fig. 1 Schematic of field for gantry 0 degree

F_{SSD} 为 SAD 因子, F^2 为反平方因子, OAR 为离轴比, F_W 为楔形因子, F_S 为挡铅托架因子, F_C

收稿日期: 2009-12-15

基金项目: 南京航空航天大学基础科研业务费专项科研项目(Y1065-063)。

作者简介: 倪昕晔(1981—), 男, 2003年毕业于南通工学院机械设计及自动化技术专业, 2007年获西北工业大学控制工程硕士学位, 现为南京航空航天大学博士研究生。E-mail: nxy2000@yahoo.com.cn

通讯作者: 陈达。E-mail: dachen@nuaa.edu.cn

为床板因子, C_P 为不均匀组织密度校正因子, C_C 为人体曲面校正因子。为考虑放疗过程中肿瘤后组织对吸收剂量的影响并进行相关研究, 本文把考虑及不考虑肿瘤后组织时射野中心轴上某一测量点吸收剂量的比值定义为“背向散射因子”(backscatter factor B_S)。研究 B_S 的意义: 通过不同厚度、不同材料的背向组织以及不同能量射线, 对 B_S 进行实际测量, 并分析其对肿瘤剂量的影响, 即肿瘤后组织对肿瘤剂量的贡献, 根据肿瘤后组织的不同深度及不同类型来调整加速器的输出量, 达到既能肿瘤接受预设的处方剂量又能保护正常组织的目的。

1 材料与方法

1.1 材料

德国西门子 PRIMUS- Plus 加速器, 6 和 15 MV X 射线, CIRS 公司生产的固体水, 与水密度相等, 与人体密度接近。电离室为德国 PTW 公司生产的标称测量体积为 0.6 cm^3 电离室, 为 Farmer 型电离室, 型号为 30013。剂量仪为 PTW 公司生产的 UNIDOSE 剂量仪。

1.2 辐射剂量测量原理和方法

为研究 B_S 对吸收剂量的影响, 选择了 6 和 15 MV X 射线 (PRIMUS- Plus 加速器产生的两种能量的 X 射线) 进行照射, 测量时照射野大小为 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$, SAD 为 100 cm , 机器跳数为 200 MU。把电离室放入固体水中央的电离室槽中, 电离室置于加速器中心处, 电离室至固体水的上表面距离分别为 1.0、1.5、2.0 cm, 即图 2 中的 X_1 , 来模拟不同深度的肿瘤, 分别称为 a、b、c 方法, 也就是, a 方法: $X_1 = 1.0 \text{ cm}$; b 方法: $X_1 = 1.5 \text{ cm}$; c 方法: $X_1 = 2.0 \text{ cm}$; 电离室下方分别添加 1.0、(1.5)、2.0、(2.5)、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0、8.0、10.0、12.0 cm 固体水, 即图 2 中的 X_2 , 来模拟不同的背向组织厚度, 固体水底部为加速器网状的碳纤床板, 分别测量其绝对吸收剂量, 网状的碳纤床板对剂量的贡献约等于零。

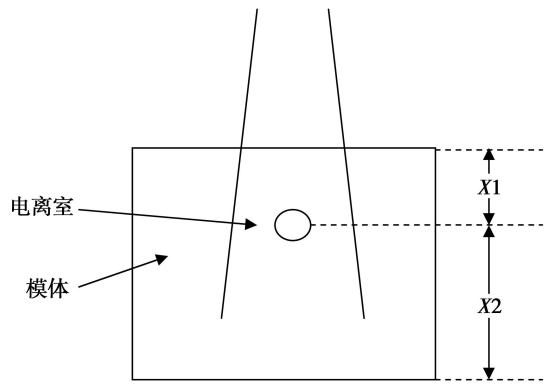


图 2 测量模体示意图

Fig. 2 Schematic of phantom

1.3 其他材料对背向散射因子的影响

为了研究一些其它材料(如金属床板、金属植入物)对背向散射因子的影响, 在 1.0 cm 固体水基础上再加上铝、铁皮、铅等材料, 在本实验中背向材料在 1.0 cm 固体水基础上再分别加上不同的金属材料, 即 X_2 为 1 cm 加上金属材料, 测量在此状态下的吸收剂量, 得到 B_S 值。

1.4 背向散射因子 (B_S) 的计算方法

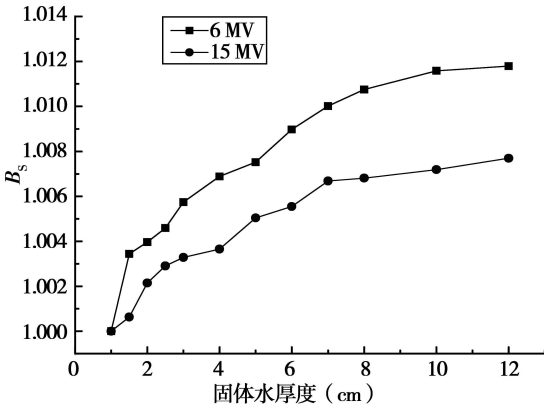
根据定义, B_S 计算公式为:

$$B_S = \frac{\text{加背向材料时的吸收剂量}}{\text{加标准厚度}(1 \text{ cm}) \text{ 固体水背向材料时的吸收剂量}}$$

2 结果

2.1 固体水厚度对背向散射剂量的影响

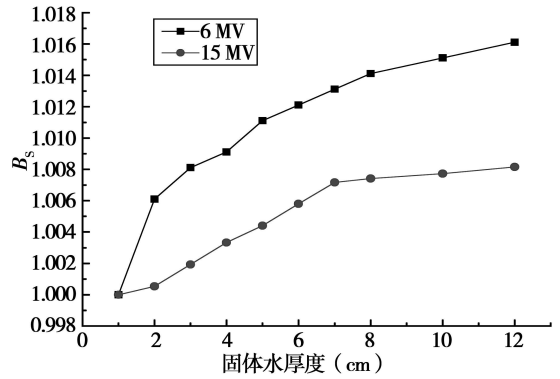
图 3~ 5 分别给出了电离室至固体水上表面距离分别为 1.0、1.5、2.0 cm 时, 电离室后固体水不同厚度时的背向散射因子。由图可见, 随着电离室后固体水厚度的增加, B_S 值在固体水厚度 1 ~ 8.0 cm 区间增值较快, 大于 8.0 cm 趋于平稳。a 方法结果(图 3, X_1 为 1.0 cm) 6 MV、15 MV X 射线在 12.0 cm 厚度时的 B_S 值分别增加了 1.18%、0.77%。b 方法结果(图 4, X_1 为 1.5 cm) 6 MV、15 MV X 射线在 12.0 cm 厚度时的 B_S 值分别增加了 1.61%、0.82%, c 方法 B_S 结果(图 5, X_1 为 2.0 cm) 6 MV、15 MV X 射线在 12.0 cm 厚度时的 B_S 值分别增加了 1.57%、0.90%。



电离室至固体水的上表面距离为 1.0 cm

图 3 能量为 6 MV、15 MV 的 X 射线在不同背向组织厚度中的背向散射因子 (B_s) 变化

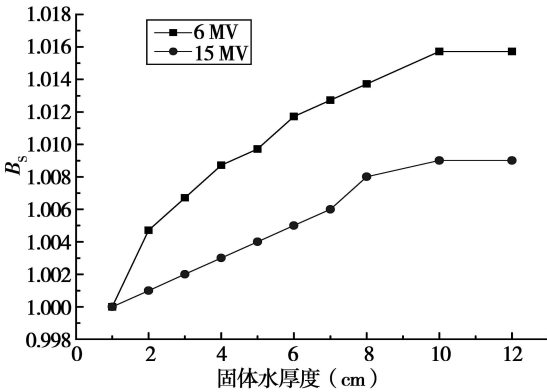
Fig. 3 Change of backscatter factor for 6 MV or 15 MV X ray in different back organ thickness



电离室至固体水的上表面距离为 1.5 cm

图 4 能量为 6 MV、15 MV 的 X 射线在不同背向组织厚度中的背向散射因子 (B_s) 变化

Fig. 4 Change of backscatter factor for 6 MV or 15 MV X ray in different back organ thickness



电离室至固体水的上表面距离为 2.0 cm

图 5 能量为 6 MV、15 MV 的 X 射线在不同背向组织厚度中的背向散射因子 (B_s) 变化

Fig. 5 Change of backscatter factor for 6 MV or 15 MV X ray in different back organ thickness

织对肿瘤剂量的影响, 如 *PDD* (百分深度剂量)、组织深度的校准等, 没有考虑肿瘤后组织即背向组织(组织的厚度、材料等)对肿瘤剂量的影响, 即认为只要肿瘤前组织厚度、材料以及肿瘤大小、位置等完全一致时, 肿瘤剂量计算值是相等的。但是通过测量发现, B_s 值是存在的且对剂量计算影响是较大的, 因此在计算肿瘤剂量时, 应该要考虑 B_s , 这样才能更精确的计算肿瘤剂量。同时引入 B_s 能更好地保护正常组织。通过分析测量结果, 用固体水作为背向材料测量 B_s , 在测量相同条件下, 发现 6 MV X 射线的 B_s 值总是大于 15 MV X 射线的 B_s 值, 并都有随着深度增加 B_s 值增大的趋势, 随着深度的增加, B_s 值增速缓慢, 趋于平稳。这可能与背向散射线产生的电离电子射程有关, 不能对较远组织产生贡献。

2.2 其他材料对背向散射因子的影响

表 1 列出了电离室至固体水的上表面距离为 1.0 cm, 6 和 15 MV X 射线, 背向材料在 1.0 cm 固体水基础上再分别加上 0.9、2.0、2.5 cm 铅, 0.1 cm 铁皮, 1.0、3.0 cm 的铝, B_s 的增加值。由表 1 可见, 6 MV X 射线在 2.5 cm 铅处 B_s 值增加最大, 增加了 2.35%。

3 讨论

目前放射治疗中计算剂量考虑的肿瘤前组

同时也发现背向材料为金属材料时, B_s 更大, 即影响肿瘤剂量计算更大, 铅的 B_s 值小于相同厚度的铁皮及铝, 大概射线能量被铅吸收的较多、背向散射较少有关。治疗病人时(如图 1), 射野为 0 度角, 病人躺在床上要考虑病人肿瘤后组织、床的材料和厚度, 以免影响肿瘤剂量计算精度。如背向组织较厚, 床板的密度较大, 通过 B_s 值的计算, 减少加速器的输出跳数, 使肿瘤后组织如脊髓等重要器官剂量吸收避免过高。其他射野角度都会存在 B_s , 射野小于 90

度大于 270 度还会存在固定架、床板对 B_S 的影响。过去只考虑床板对射线的衰减, 而没有考虑床板对肿瘤、正常组织的影响^[5]。

表 1 不同材料在不同厚度处的背向散射因子(B_S)增加值

Tab. 1 Value added of backscatter factor of different materials in different thickness

| X 射线能量(MV) | 0.9 cm 铅 | 2.0 cm 铅 | 2.5 cm 铅 | 0.1 cm 铁皮 | 1.0 cm 铝 | 3.0 cm 铝 |
|------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| 6 | 1.07% | 2.04% | 2.35% | 1.06% | 2.71% | 2.92% |
| 15 | 1.00% | 1.69% | 2.10% | 2.10% | 8.64% | 9.22% |

通过以上分析, 在实际放射治疗中肿瘤吸收剂量计算公式应为: $D_T = D_m \times S_C \times S_P \times PDD(TMR) \times F_{SSD(SAD)} \times F^2 \times OAR \times F_W \times F_S \times F_C \times C_P \times C_C \times B_S$ 。 B_S 值确定方法如下: 首先根据不同射线能量确定不同肿瘤深度(射线入射体表处与肿瘤之间的距离)的 B_S 图表(如图 3~ 5), 查不同背向深度的 B_S 值; 病人治疗计划中有多个不同角度射野构成, 每个射野的 B_S 值是不一样的; 由于在射线穿过人体路径中有空腔、骨头等组织, B_S 值要根据不同的密度进行适当的修正, 如有金属植入物、金属床板等还要通过如表 1 的数值来进行修正, 来满足临床放射治疗剂量精度的要求。

总之, 在临床放疗中引入背向散射因子(B_S)是必要的, 能提高肿瘤剂量的计算精度, 从而能精确的计算肿瘤剂量, 保护正常组织。

参考文献:

- [1] 倪昕晔, 杨建华, 孙苏平. 肺癌放射治疗的物理研究进展[J]. 国际肿瘤学杂志, 2007, 34(10): 761—765.
- [2] Grosswendt B. Dependence of the photon backscatter factor for water on source to phantom distance and irradiation field size [J]. Phys Med Biol, 1990, 35: 1 233—1 245.
- [3] Grosswendt B. Backscatter factors for X rays generated at voltages between 10 and 100 kV [J]. Phys Med Biol, 1984, 29: 579—591.
- [4] Sang Hyun Cho, Warren D Reece. Monte Carlo calculations of the dose backscatter factor for monoenergetic electrons [J]. Phys Med Biol, 1999, 44: 13—26.
- [5] 李军, 张西志, 汪步海. 探讨瓦里安加速器治疗床对放射治疗剂量的影响 [J]. 生物医学工程与临床, 2009, 13(2): 131—133.

Effect of Backscatter Factor on Absorbed Dose in Radiotherapy

Ni Xinye, Tang Xiaobin, Liu Yunpen, Sun Suping, Song Haolei, Chen Da

(Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 211106)

Abstract: This paper is to study how the absorbed dose was affected by the organ backscatter caused in radiotherapy. With the change of radiation energy, back organ depth, different back organ material type, the backscatter factor (B_S) was determined by measuring the absolute dose compared with 1 cm depth of back solid water. The actual absorbed dose was really affected by the back organ depth in radiotherapy. The B_S value increased with the increase of radiation energy, back organ depth. The absorbed dose to organ or tumor should be modified with the measured B_S based on the depth of back tissue of the tumor, back organ material type, radiation energy, so as to improve the effect of radiotherapy and to be able to protect normal tissue.

Key words: Radiotherapy; Absorbed Dose; Backscatter Factor; Water Phantom