

# 医用加速器碳纤维治疗床延长板结合部对放疗剂量的影响

李定宇, 刘飞, 王俊峰, 黄河, 袁响林, 邱红

**【摘要】 目的:**探讨加速器碳纤维治疗床结合部对调强放疗剂量的影响。**方法:**利用二维平板电离室矩阵,测量 6MV X 射线穿射过碳纤维治疗床延长板结合部和避开结合部后的剂量。分析不同机架角度下治疗床结合部对 X 射线剂量的影响。比较实例放疗计划穿射与避开结合部的治疗计划的验证通过率。**结果:**二维矩阵电离室实测结果显示,射野处于  $110^{\circ}\sim 180^{\circ}$  机架角范围,穿射结合部位后射线会产生较大衰减,结合部衰减范围集中在延长板分界向床头方向 3cm,床尾方向 11cm 的范围。 $116^{\circ}\sim 180^{\circ}$  机架角,部分测量点剂量偏差值超过 10%。 $145^{\circ}$  机架角时测量点最大偏差值达 24.2%。10 例实例测量 VMAT 治疗计划中,射野穿透结合部的 Gamma 通过率较避开结合部显著降低( $t=4.349, P=0.002$ )。**结论:**加速器碳纤维治疗床延长板结合部可显著降低放疗剂量。在放射治疗摆位应尽可能避免治疗射野穿射碳纤维治疗床结合部,无法避免时,应将其产生的射线衰减考虑在治疗计划的设计中。

**【关键词】** 放射疗法; 结合部; 放射治疗剂量

**【中图分类号】** R815 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2016)07-0662-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2016.07.020

**Effect of the conjunction area in accelerator carbon fiber treatment couch on radiotherapy dosage** LI Ding-yu, LIU Fei, WANG Jun-feng, et al. Department of Oncology, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, P. R. China

**【Abstract】 Objective:** To study the effect of the conjunction area in accelerator carbon fiber treatment couch on radiotherapy dosage. **Methods:** The dose of X-ray penetrating and avoiding the conjunction area in carbon fiber treatment couch were measured by using two-dimensional ionization chamber matrix (MatriXX). Effect of the conjunction area in carbon fiber treatment couch on X-ray dose of different gantry angles were analyzed. Gamma pass rates for ten VMAT radiotherapy plans with X-ray penetrating or avoiding the conjunction area were compared. **Results:** Great attenuation of X-ray could be observed when the X-ray penetrated the conjunction area in carbon fiber treatment couch especially with the gantry angle between  $110^{\circ}\sim 180^{\circ}$ . The attenuation range was between front 3cm and back 11cm at the extended boundaries of the treatment couch. When the gantry angle was between  $116^{\circ}\sim 180^{\circ}$ , the dose deviation of some measurement points exceeded 10%. At  $145^{\circ}$  gantry angle, the max deviation reached 24.2%. In the VMAT radiotherapy plans of ten real patients, the Gamma pass rate of X-ray penetrating the conjunction area in carbon fiber couch reduced significantly compared with that of X-ray avoiding the conjunction area ( $t=4.349, P=0.002$ ). **Conclusion:** The conjunction area in accelerator carbon fiber treatment couch could reduce radiotherapy dosage significantly. The body position of radiotherapy should avoid the radiation fields penetrating the conjunction area in carbon fiber treatment couch. If it can't be avoided, ray attenuation caused by the conjunction area should be considered in the design of radiotherapy plan.

**【Key words】** Radiotherapy; Conjunction area; Radiotherapy dosage

精确放疗中,高剂量及低剂量效应与其体积有关,2008 年国际辐射单位和计量委员会(International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU)83 号报告推荐以接近最小剂量 D2 和接近最大剂量 D98 代替 D0 和 D100 进行评估<sup>[1]</sup>。调强放疗技术越来越多地应用于临床放射治疗中,靶区剂量分布的良好适形性及准确性是调强放疗的主要优点。多角度给野及照射野中设置多个子野是保障剂量分布适形性是重要因素,然而后野及后侧斜野的照射都将穿过

治疗床,治疗床对照射野及子野剂量影响是个不容忽视的问题。陆续有学者分析测量发现碳纤维床实心板直射穿透因子为 96.7%,碳纤维网状板直射穿透因子为 99.6%,去杆斜入射床面穿透因子为 98.6%,总体而言碳纤维治疗床在对剂量影响相对较小<sup>[2]</sup>。然而由于治疗需要,医科达等加速器厂家设计的治疗床均有延长部位,为增加延长部位治疗床稳定性,厂家均采取了一定加固措施,称之为结合部。目前尚无结合部对调强治疗射线剂量影响的分析报道,本研究旨在分析结合部对调强计划剂量分布的影响程度。

**作者单位:** 430030 武汉,华中科技大学同济医学院附属同济医院肿瘤中心

**作者简介:** 李定宇(1983-),男,湖北武汉人,硕士,主管技师,主要从事放射物理相关工作。

**通讯作者:** 邱红, E-mail: tjqihong@163.com

## 材料与方法

### 1. 测量设备

二维电离室矩阵系统 IBA MatriXX 由平板探测器阵列、固体水和分析软件组成。平板探测器  $31.5\text{ cm} \times 31.5\text{ cm} \times 4.0\text{ cm}$ , 含 1020 个空气电离室并排列成  $32 \times 32$  的平面矩阵(四角上各缺一个电离室), 每个电离室外径  $4.5\text{ mm}$ , 高  $5\text{ mm}$ , 灵敏体积  $0.08\text{ cm}^3$ , 间距  $7.619\text{ mm}$ 。固体水模体 MultiCube 为  $32\text{ cm} \times 34\text{ cm} \times 22\text{ cm}$ 。MatriXX 具有良好剂量响应特性<sup>[3]</sup>, 多用于加速器调强放疗剂量验证<sup>[4-5]</sup>。分析软件为 OmniProImRT, 用于获得二维矩阵测量平面内点剂量, 分析任意切面离轴剂量分布。治疗计划系统采用 Elekta Monaco, CT 模拟定位机采用 GE/e, 加速器采用 Elekta Synergy。

### 2. 测量方法

方野照射穿过结合部的测量方法为将二维矩阵 MatriXX 和固体水模 MultiCube 摆放到碳纤维治疗床结合部上方中央处, 结合部刻度线与加速器等中心激光线重合, MultiCube 模体刻度线也与加速器等中心激光线重合, 即二维矩阵有效测量平面中心与加速器等中心重合。采用  $6\text{ MV X}$  射线,  $100\text{ MU}$  机器跳数,  $22\text{ cm} \times 22\text{ cm}$  对称方野, 在机架角  $90^\circ \sim 180^\circ$  以  $5^\circ$  间隔定义射野入射方向,  $110^\circ \sim 120^\circ$  以  $1^\circ$  间隔定义入射方向,  $150^\circ \sim 160^\circ$  以  $1^\circ$  间隔定义入射方向, 测量射线穿过结合部的剂量(图 2a)。方野避开结合部时的测量方法基本同前, 将 MatriXX 和 MultiCube 整体翻转  $180^\circ$  后摆放, 其它条件不变, 在机架角  $270^\circ \sim 360^\circ$  以  $5^\circ$  间隔定义射野入射方向,  $290^\circ \sim 300^\circ$  以  $1^\circ$  间隔定义入射方向,  $330^\circ \sim 340^\circ$  以  $1^\circ$  间隔定义入射方向, 利用测量装置和机架旋转对称性, 采取倒置测量方法获得相当于正置测量机架角度为  $90^\circ \sim 180^\circ$  间的射线没有穿结合部的测量结果(图 2b)。

选择 10 例容积弧形调强放射治疗技术 (volumetric intensity modulated arc therapy, VMAT) 进行实例放疗计划测量。VMAT 计划射野需要旋转  $360^\circ$ , 与静态调强相比能更好排除物理师主观选择通过床板射野角度的影响, 摆位条件和方野相同, 分别将 MatriXX 和 MultiCube 正向放置在床板结合部上方等中心处或测量设备向床尾方向移动  $40\text{ cm}$  且避开结合部的加速器等中心位置, 机架旋转出束, 测量二维矩阵平面剂量。

### 3. 剂量分析方法

针对同一入射角度, 比较方野两组数据的剂量图在相同空间位置的剂量差别, 统计剂量

各个入射角度偏差大于  $3\%$  和大于  $10\%$  的测量点个数所占百分比, 再比较相同入射角度两组数据的最大剂量差别, 最后对两组数据进行 Gamma 分析<sup>[6]</sup>。实例放疗计划测量时, 用 Monaco 计划系统计算出无床板情况下的二维矩阵测量平面的剂量分布, 再用两组实测结果分别于计划系统计算出的剂量分布进行 Gamma 分析, 比较两组数据  $\gamma$  值差异。

### 4. 统计学方法

采用 SPSS 18.0 进行配对样本  $t$  检验, 以  $P < 0.05$  为差异具有统计学。

## 结果

### 1. 方野测量

照射野穿过结合部, 超过  $90^\circ$  机架角的射野中存在不规则剂量衰减材料, 在很多角度显示有近似三角形的衰减材料阻挡射野, 而避开床板结合部的不同机架角剂量变化均匀(图 2)。

$90^\circ \sim 110^\circ$  机架角方野射野穿射结合部时的点剂量偏差  $< 3\%$ ; 随着机架角增大, 射野穿透结合部, 当机架角  $\geq 111^\circ$  时, 射野内出现多点剂量偏差值超过  $3\%$ ; 当机架角  $\geq 116^\circ$  时, 部分测量点剂量偏差值开始超过  $10\%$ (图 3)。穿射结合部时, 方野测量平面内, 测量点最大剂量偏差比例见图 4,  $145^\circ$  机架角测量点最大偏差值达  $24.2\%$ 。避开结合部时, 采用  $22\text{ cm} \times 22\text{ cm}$  方野测量进行 Gamma 分析, 结果显示  $112^\circ$  和  $151^\circ$  之间剂量的 Gamma 通过率  $< 90\%$ (图 5)。

### 2. 实例测量

对 10 例实例测量 VMAT 治疗计划时避开结合部的 Gamma 通过率均大于  $90\%$ , 可通过剂量验证。实例测量穿射结合部范围后的 Gamma 通过率明显降低, 差异具有统计学意义 ( $t = 4.349, P = 0.002$ , 图 7)。



图 1 方野照射时剂量测量方法。a) 测量穿过治疗床结合部的射线; b) 测量避开治疗床结合部的射线。

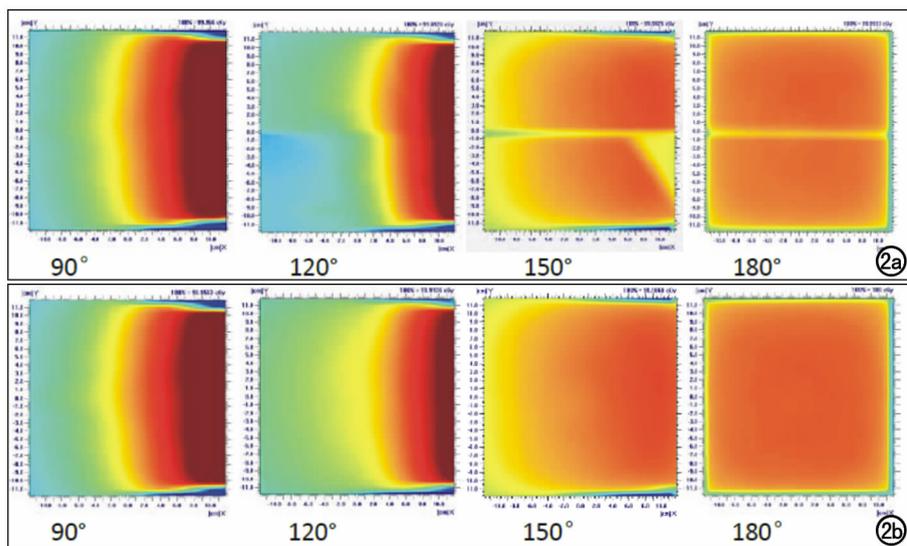


图2 方野穿射或避开结合部时的不同射野角度的剂量测量结果,颜色越深剂量越大。  
a) 穿射结合部剂量衰减情况,超过 $90^\circ$ 机架角的射野中存在不规则剂量衰减材料,在很多角度显示有近似三角形的衰减材料阻挡射野; b) 避开结合部的剂量测量结果显示剂量变化均匀。

## 讨论

放疗采用的碳纤维治疗床板对射线的衰减较小,目前物理师在计划设计及放疗技师在放疗摆位过程中,均不予以考虑治疗床板的影响<sup>[2]</sup>。但由于目前尚不清楚治疗床结合部对射野剂量分布的影响,在实际放疗计划设计及放疗摆位工作中,大多数放疗物理师及技师均未予考虑治疗床结合部的影响。

本研究显示,碳纤维治疗床内部分结合部的加固材料会使射线产生较大的衰减。在机架角大于 $110^\circ$ 时,结合部对剂量衰减的阻挡作用随着角度增加而增大。临床实际工作中,由于床板衰减和摆位误差导致的剂量偏差在小于3%时是可以接受的,但在 $110^\circ\sim 145^\circ$ 机架角范围内,射野穿射结合部时随着机架角度增加,结合部的衰减阻挡作用所致方野内剂量测量点偏差值也越来越大,大于 $116^\circ$ 机架角时部分测量点剂量偏差值超过10%, $145^\circ$ 机架角时结合部对6MVX射线最大衰减偏差值高达24.2%,这大大超过了临床可以允许的偏差范围。ICRU 24号报告指出,肿瘤原发灶根治剂量的精确性误差应 $<5\%$ ,靶区剂量偏离最佳剂量5%时,有可能使肿瘤原发灶失控或并发症增加,从而最终导致治疗计划的失败。本研究提示,考虑床板内结合部对称的加固材料,如果有射野处于 $110^\circ\sim 250^\circ$ 的机架角时,放疗技师摆位时应尽可能将照射野避开治疗床结合部。

物理师常使用Gamma分析方法对比计划剂量和实测剂量Gamma通过率来进行剂量验证,采用33标

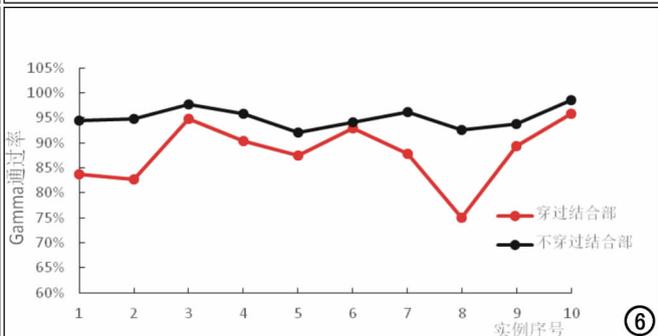
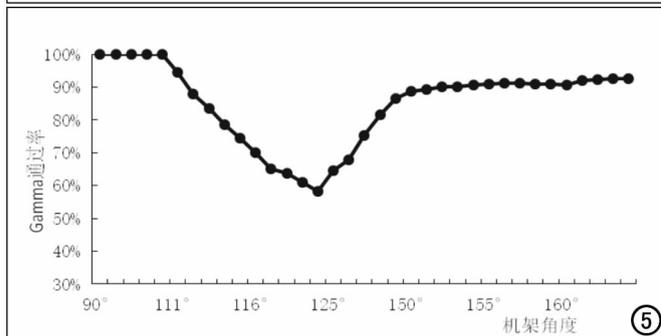
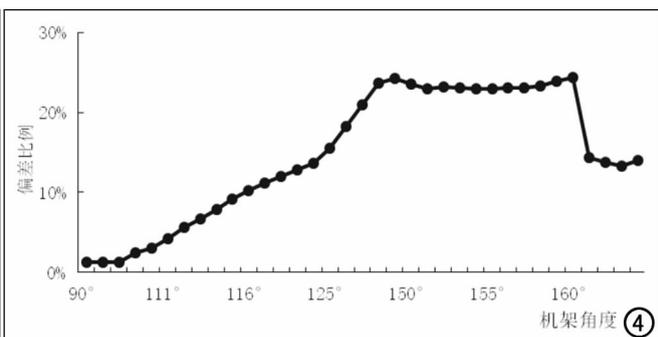
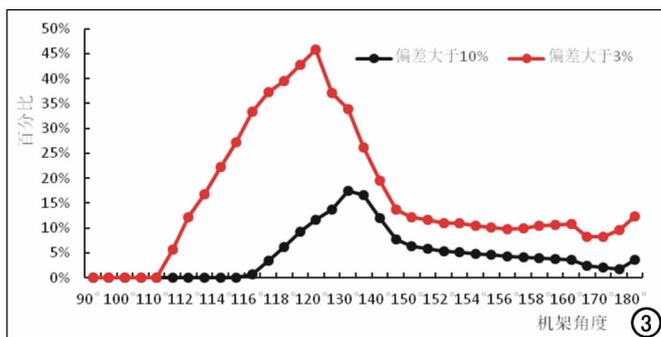


图3 不同射野角度时,射野通过结合部与避开结合部照射内剂量偏差值超过3%及10%的测量点数目比例。图4 穿射结合部时,方野测量平面内测量点最大剂量偏差比例。图5 避开结合部时,方野测量的Gamma分析结果。图6 实例计划验证射野通过结合部与避开结合部的Gamma分析结果。

准(距离 3 mm, 剂量偏差 3%), 通过 Gamma 通过率的变化, 来判断两组剂量分布图的相似程度, 一般来说, 当 Gamma 通过率 > 90% 时, 即认为两组剂量分布图差别小能够通过验证。本研究亦采用 Gamma 分析方法, 比较方野两组数据 Gamma 通过率的差别。由于 Gamma 通过率在实际中易受测量面积影响, 本次方野测量中采用的是 22 cm × 22 cm 的方野, 如果缩小射野只让射野通过加固范围时, Gamma 通过率会更低。两组方野测量结果的 Gamma 分析结果也显示 112° ~ 151° 之间剂量的 Gamma 通过率 < 90%, 即当射野为 22 cm × 22 cm 的方野时, 对应角度的两幅剂量分布图差别较大, 无法通过剂量验证。在实例计划验证通过与否的分析中, 笔者可以看到避开结合部的实测 VMAT 治疗计划验证通过率均大于 90%; 如果相同计划穿射结合部范围后的 Gamma 通过率明显降低。在这 10 例实测 VMAT 计划中, 由于穿射结合部的射野权重不同, 所以结合部对整个治疗计划的验证通过率的影响根据实际计划变化, 但总体而言穿射结合部均会导致验证通过率的下降。

通过标尺工具测量 CT 重建图中的加固结构影像, 笔者发现本院 Elekta Synergy 加速器一侧加固结构的长度约为 11 cm, 其中延长板分界床头方向长 2.5 cm, 床尾方向长 8.5 cm。比较不同角度射野穿射结合部加固材料的测量结果后, 受测量面积影响, 笔者发现剂量的不均匀衰减主要集中在延长板分界向床头方向 3 cm 及床尾方向 11 cm 的范围内。笔者认为此范围为射线穿射延长板加固材料的范围。考虑到加速器假源到等中心距离为 100 cm, 床宽约 46 cm, 因此患者的靶区范围在摆位时建议避开延长板分界床头方向 4.6 cm, 床尾方向 16 cm 的区域, 尽量防止加固材料剂量衰减造成的靶区照射剂量不足。在临床摆位时, 放疗技师习惯将患者的头颈部置于延长板结合部, 而

这也是颅内肿瘤、头颈部肿瘤甚至胸部肿瘤的靶区范围, 现在 VMAT 和逆向调强放射治疗技术(Intensity-modulated radiation therapy, IMRT)大量应用于临床, 大部分计划中都有射野处于 110° ~ 250° 的机架角范围内, 摆位中应有意识的使患者靶区避开延长板结合部。但如髓母细胞瘤、白血病颅内侵犯等勾画靶区纵轴较长时, 受床板整体长度的限制, 摆位中靶区很难避开延长板结合部的范围, 后野会通过床延长板结合部, 临床多采用俯卧位使射野避开碳纤维床及床面延长板结合部。但由于俯卧位舒适度及重复性差, 临床如果采用仰卧位治疗时由于实际条件限制, 无法避开结合部时, 放疗技师应与物理师协商, 重新调整计划设计, 将不同角度的剂量衰减情况考虑到计划设计中, 从而保证靶区足够的照射剂量, 避免照射野内剂量冷区的存在。

#### 参考文献:

- [1] International Commission on Radiation Units and Measurements. Prescribing, recording, and reporting photon beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT)[J]. J ICRU, 2010, 10(1): NP.
- [2] 郭海亮, 袁军, 许明君, 等. 通过电离室测量分析碳纤维床对放疗剂量的影响[J]. 临床医学工程, 2013, 20(11): 1336-1337.
- [3] Amerio S, Boriano A, Bourhaleb F, et al. Dosimetric characterization of a large area pixel-segmented ionization chamber[J]. Med Phys, 2004, 31(2): 414-420.
- [4] Araki F, Tajiri S, Tominaga H, et al. Application of a 2D ion chamber array for dose verification of dynamic IMRT with a micro-MLC[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 66(3): 703-704.
- [5] Stasi M, Giordanengo S, Cirio R, et al. D-IMRT verification with a 2D pixel ionization chamber: dosimetric and clinical results in head and neck cancer[J]. Phys Med Biol, 2005, 50(19): 4681-4694.
- [6] 苗利, 孙彦泽, 李新民. 放射治疗剂量验证中常用剂量分布比较方法及分析[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2012, 30(4): 246-250.

(收稿日期: 2016-02-23)