

Elekta Infinity直线加速器治疗床对放疗剂量的影响

宋洪兵, 潘景辉, 杨雄, 阮长利, 李祥攀
武汉大学人民医院放疗科, 湖北 武汉 430060

【摘要】目的:研究Elekta Infinity直线加速器治疗床在常用X射线能量下对放疗剂量的影响。**方法:**将圆柱体模体分别置于碳纤维主治疗床、延长板以及治疗床与延长板衔接处正中, 旋转机架, 分别让6和10 MV高能X射线穿过治疗床, 利用指形电离室测量固体水中间的绝对剂量, 得出不同角度下的剂量分布, 并计算治疗床对X射线的衰减因子。**结果:**治疗床与延长板衔接处在120°和240°两个机架角处的剂量衰减因子在6和10 MV两种治疗模式下分别达到了36.02%和36.01%以及30.46%和30.63%, 而当机架角为140°~220°时, 衔接处与主治疗床的剂量衰减因子相近, 在6与10 MV能量下的剂量衰减因子平均值及标准差分别为2.56%±0.49%和2.14%±0.39%以及2.55%±0.48%和1.95%±0.41%, 机架角由180°增大或减小时两处的剂量衰减均呈上升趋势, 二者均在120°和240°附近达到最大; 6和10 MV两种能量下延长板在该角度区间的剂量衰减因子平均值及标准差分别为1.55%±0.24%和1.07%±0.25%, 并在115°和245°附近达到最大值, 剂量衰减因子分别为4.08%和3.97%以及3.20%和3.34%。**结论:**后斜野主体部分在主治疗床与衔接处对剂量的衰减低于3%, 在延长板处对剂量的衰减小于2%, 但在120°和240°附近以及115°和245°附近3处位置的剂量衰减会达到最大, 需在计划系统中考虑床的影响; 此外, 主治疗床与延长板衔接处在120°和240°附近对剂量的衰减急剧增大, 不适合作为治疗区域, 在治疗病人时需注意避免将靶区移到该区域。

【关键词】直线加速器; 碳纤维治疗床; 衰减因子; 放疗剂量

【中图分类号】R815.6; TH774

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2021)02-0157-05

Effects of the carbon fiber couch of Elekta Infinity linear accelerator on radiotherapy dose

SONG Hongbing, PAN Jinghui, YANG Xiong, RUAN Changli, LI Xiangpan

Department of Radiotherapy, Renmin Hospital of Wuhan University, Wuhan 430060, China

Abstract: Objective To investigate the effects of the carbon fiber treatment couch of Elekta Infinity linear accelerator on radiotherapy dose. **Methods** Polymethyl methacrylate cylinder phantoms were put on the centers of main treatment couch, extension board and the joint area of them, separately. The gantry was rotated at different angles to beam 6 MV and 10 MV X-rays to penetrate the carbon-fiber couch, and a thimble chamber was utilized to measure the absolute dose in the cylinder phantom. The dose distribution at each angle was recorded and the X-ray attenuation factor of the treatment couch was calculated. **Results** At the gantry angles of 120° and 240°, the attenuation factors at the treatment couch reached 36.02% and 36.01% under 6 MV, and those at the joint area were 30.46% and 30.63% under 10 MV. The attenuation factors at the joint area and main treatment couch were close during the gantry angle between 140° and 220°, and the average value and standard deviation of their attenuation factors were 2.56%±0.49% and 2.14%±0.39% under 6 MV, and 2.55%±0.48% and 1.95%±0.41% under 10 MV. The attenuation factors at the joint area and main treatment couch were both increased when the gantry angle was increased or decreased from 180°, and reached the maximum around the gantry angles of 120° and 240°. The average value and standard deviation of the attenuation factors at extension board under 6 MV and 10 MV in the same angular intervals were 1.55%±0.24% and 1.07%±0.25%, respectively, and the largest attenuation factors were found at the gantry angles of 115° and 245°, with 4.08% and 3.97% under 6 MV, and 3.20% and 3.34% under 10 MV. **Conclusion** For the main part of posterior oblique field, the X-ray attenuation factors were below 3% at main treatment couch and the joint area, while it was below 2% at extension board. However, the attenuation effect reached the maximum at the gantry angles of 120° and 240°, 115° and 245°, which make the carbon fiber couch must be considered in treatment plan system. Moreover, the joint area is not suitable for clinical treatment for it dramatically affects the delivered dose at the gantry angles of 120° and 240°, and the target area should not appeared in this area.

Keywords: linear accelerator; carbon fiber treatment couch; attenuation factor; radiotherapy dose

【收稿日期】2020-09-05

【基金项目】湖北省自然科学基金(2014CFB394, 2019CFB721); 湖北省卫计委基金(WJ2017M027)

【作者简介】宋洪兵, 主管技师, 工学博士, 研究方向: 肿瘤放射物理, E-mail: mr.song1989@foxmail.com

【通信作者】李祥攀, 副主任医师, 医学博士, 研究方向: 肿瘤放射治疗, E-mail: lxp008cn@sina.com

前言

随着肿瘤放射治疗技术的发展,特别是容积旋转调强(VMAT)技术的广泛应用,对放疗剂量精度的要求也越来越严格。根据ICRU 24号报告的要求^[1],肿瘤原发灶根治剂量的误差应小于5%,否则将出现复发或并发症。AAPM TG 53号报告指出,放疗计划系统的剂量计算精度应控制在3%左右^[2]。为了减少放疗中剂量的衰减,现代医用直线加速器大多采用碳纤维治疗床,但是研究表明碳纤维床对放疗剂量的影响依然明显^[3-12],特别是在某些特定的角度和位置^[13],X射线的衰减非常大,致使患者在治疗过程中靶区实际接受的剂量可能远低于计划设计剂量,无法有效地杀死肿瘤,实现根治。此外,碳纤维床还会增加皮肤的剂量,甚至对皮肤造成严重伤害^[14-18]。因此,对碳纤维治疗床进行针对性的剂量学研究十分必要。本文以武汉大学人民医院放疗科新投入使用的Elekta Infinity直线加速器作为研究对象,测量并评估了该型加速器碳纤维治疗床在不同位置对不同能量X射线的衰减影响,为后期放疗剂量的精确计算和剂量修正提供了必要的数据库与保障。

1 材料与方法

Elekta Infinity 直线加速器采用德国 Medical

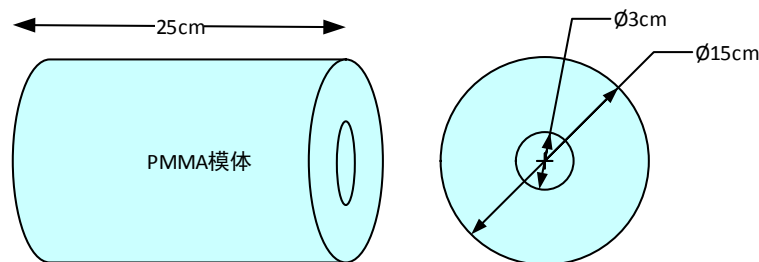


图1 模体外形与尺寸

Fig.1 Shape and sizes of the phantom

2 结果

经过测量,模体分别摆放在延长板、衔接处和主治疗床中间时的剂量分布如图3所示。为了便于比较,本文将6和10 MV能量下,机架角 $100^{\circ}\sim 260^{\circ}$ 的测量结果投影至 $280^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 对应的位置,形成6 MV-REF和10 MV-REF。可以观察到,两种治疗模式下,机架在 $280^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 区间的测量剂量与 $100^{\circ}\sim 260^{\circ}$ 区间内的测量剂量几乎呈左右对称分布,但在衔接处(图3b), 120° 和 240° 两个位置附近的剂量分布曲线有明显凹陷。射线在这两个角度附近要先穿过衔接处的挂钩以及内部的高密度金属,致使电离室实际测得的剂

Intelligence公司生产的iBEAMevo Couch碳纤维治疗床和iBEAMevo Extension 415延长板,尺寸分别为: $(200\times 53\times 5)\text{ cm}^3$ 和 $(41.5\times 53\times 2)\text{ cm}^3$,该类型治疗床板采用三明治夹层结构^[19],外层材料为碳纤维,内层材料为填充泡沫。将IBA FC65G型指形电离室置于图1所示Polymethyl Methacrylate (PMMA)材质圆柱体模体中,模体长25 cm,外径15 cm,内部嵌套放置指形电离室且直径为3 cm的圆柱体腔塞。将治疗床左右偏差调整为0 mm,移动模体至床正中,并调节治疗床使指形电离室刚好位于源轴距(Source Axis Distance, SAD)=100 cm的位置,将铅门与多叶准直器调整至 $10\text{ cm}\times 10\text{ cm}$ 方形射野,准直器角度归为 0° 。如图2所示,分3组将固体水分别置于延长板、延长板与治疗床衔接处(简称衔接处)以及治疗床正中,切换X射线能量,分别在6和10 MV两档常用能量下,旋转机架,每隔 10° 出束3次,每次100 MU,记录每次的读数并取平均值,剂量率均为600 MU/min。考虑到后斜野角度在 115° 和 245° 附近衰减可能达到最大^[5],本文在机架角 $110^{\circ}\sim 130^{\circ}$ 和 $230^{\circ}\sim 250^{\circ}$ 以及它们在治疗床上部对称的角度区间内每隔 5° 进行测量。测量前,模体和测量仪器均提前一天放置在加速器机房,测量当天PMMA模体测量孔内温度为 20.8° C ,压强100.9 kPa。

量偏低,因而在实际的治疗过程中应尽量避免射线从衔接处两侧穿过,特别是要避免在衔接处 120° 和 240° 这两个角度附近给野。从图3同样可以观察到,3个位置处10 MV能量下测量的剂量均要明显高于6 MV,说明随着能量的上升,治疗床对射线的衰减会降低。

将加速器机架位于治疗床上方 $280^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 区间内的剂量测量值作为参考值 D_r ,机架在治疗床下方 $100^{\circ}\sim 260^{\circ}$ 的剂量测量值作为对应的对比值 D_c ,计算治疗床对剂量的衰减因子 f_a 。 $f_a = (D_r - D_c) / D_r \times 100\%$,得到6和10 MV两种治疗模式下,延长板、主床板和

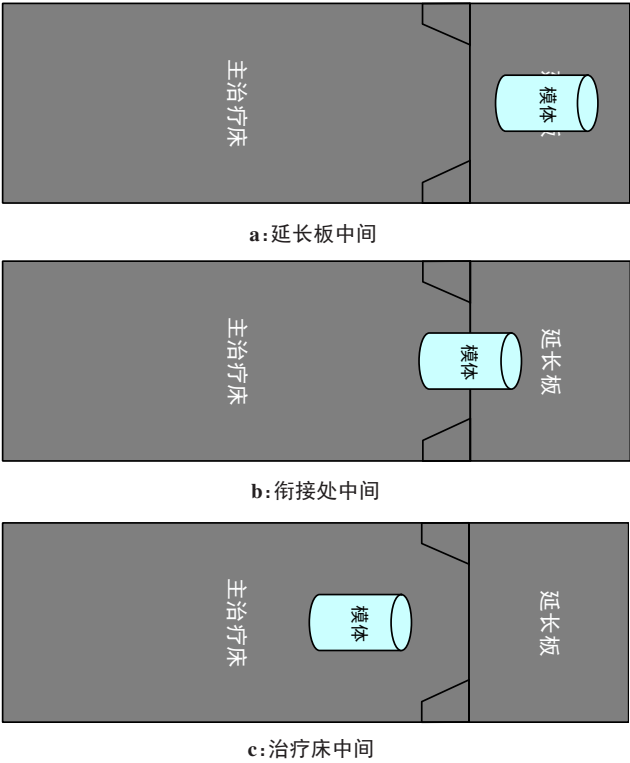


图2 模体摆放位置
Fig.2 Location of the phantom

衔接处3个位置的剂量衰减曲线,如图4所示。可以明显观察到在衔接处,120°和240°两个机架角处的剂量衰减达到最大,6和10 MV两种治疗模式下的 f_d 分别达到了36.02%和36.01%以及30.46%和30.63%。10 MV能量的X射线在这两个位置的衰减要比6 MV的小5.5%左右,这与10 MV能量的X射线穿透能力更高相符。主治疗床的最大衰减角度与衔接处相同,也出现在120°和240°,6和10 MV两种能量下的衰减因子分别为4.87%和4.85%以及3.72%和3.98%。延长板厚度比主治疗床要薄3 cm,几何外形上有较大改变,其最大剂量衰减角度出现在115°和245°,6和10 MV两种能量下的衰减因子分别为4.08%和3.97%以及3.20%和3.34%。在这3处位置,机架在从100°逐渐旋转至260°的过程中,剂量衰减因子均呈现先上升,达到最大值后逐渐下降,并在180°达到最小值之后又对称性地上升再下降的情况。两种治疗模式下,延长板、衔接处和主治疗床处的衰减因子变化范围及中位数如表1所示。因为延长板厚度比治疗床要薄,对X射线的衰减要小于主治疗床,但其

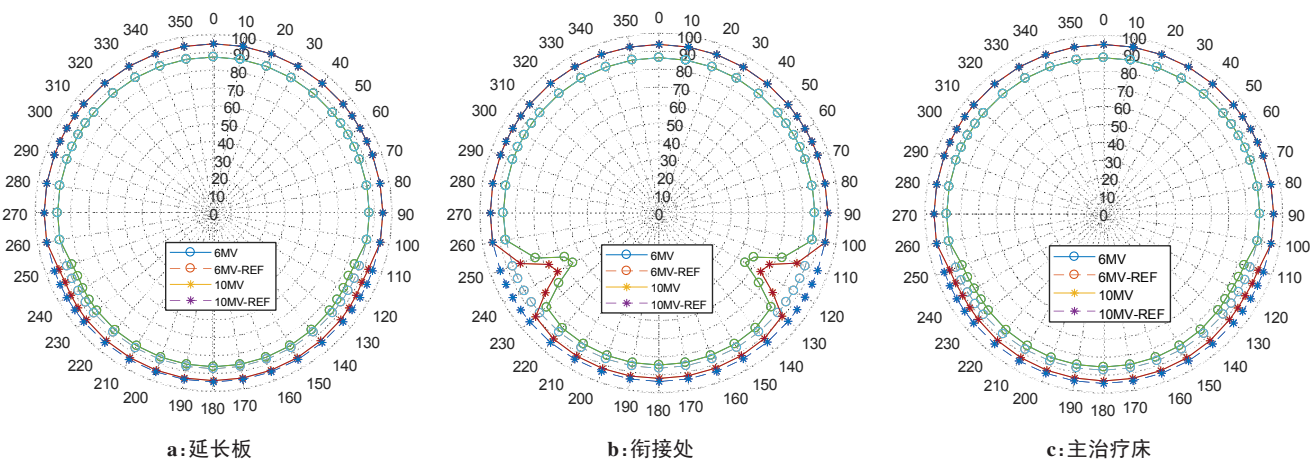


图3 3个测量位置处机架旋转不同角度测量的剂量分布
Fig.3 Dose distributions measured at different gantry angles

最大剂量衰减因子超过了3%,6 MV和10 MV能量下分别达到了4.08%和3.34%;6 MV能量下主治疗床对X射线的最大衰减因子达到4.87%,10 MV能量为3.98%;衔接处的最大剂量衰减因子明显高于其它两个位置,6 MV能量和10 MV能量下分别达到了36.02%和30.63%,已经严重影响了治疗的精度,制定计划和摆位时应规避使治疗位置出现在这个机架角区域附近。通过图4和表1可以观察到机架角在140°~220°区间范围内,治疗床对射线的衰减变化非常小,其绝对值也比较小,其中延长板在该区间内6

和10 MV射线的剂量衰减因子平均值及标准差分别为1.55%±0.24%和1.07%±0.25%,衔接处与主治疗床在6与10 MV能量下的剂量衰减因子平均值及标准差分别为2.56%±0.49%和2.14%±0.39%以及2.55%±0.48%和1.95%±0.41%。因此,当后斜野出现在140°~220°区间时,对实际剂量的影响是较小的,特别是衔接处所在区域的衰减因子与主治疗床非常接近,证明该区域在该角度区域也是可以利用的,这与厂商仅要求射野避开两侧梯形区域是相一致的。

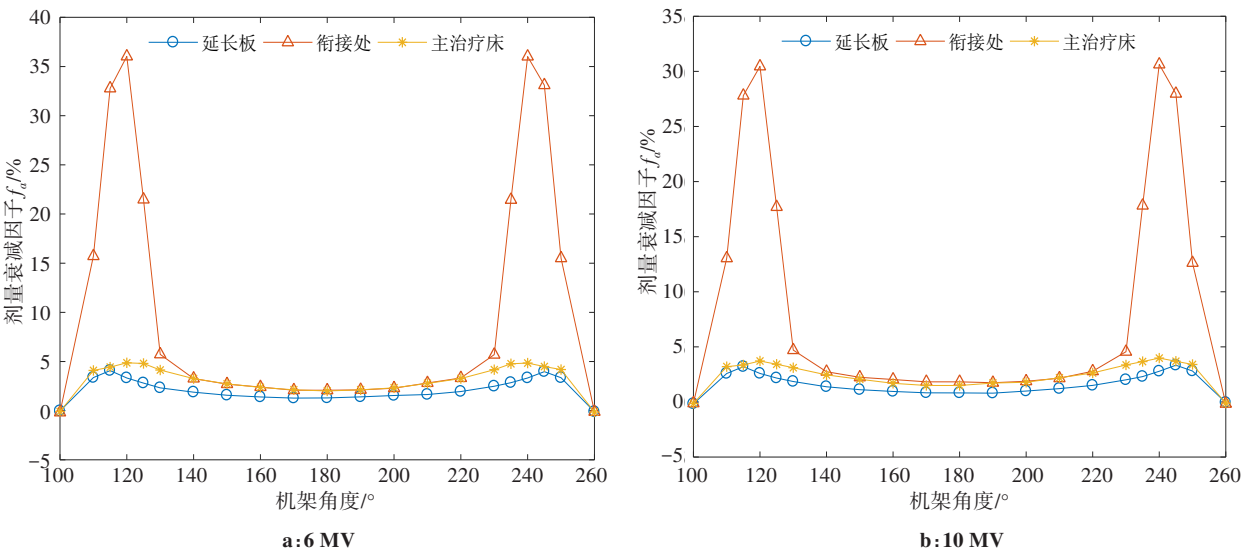


图4 两种治疗模式下剂量衰减因子 f_a 随机架角度的变化
Fig.4 Attenuation factors f_a changing with gantry angles under 6 MV and 10 MV

表1 两种治疗模式下不同治疗位置的衰减因子
变化范围及中位数(%)

Tab.1 Change intervals and medians of attenuation factors
at different locations under 6 MV and 10 MV (%)

位置	6 MV		10 MV	
	变化范围	中位数	变化范围	中位数
延长板	0.03~4.08	1.94	0.05~3.34	1.51
衔接处	0.12~36.02	3.32	0.12~30.63	2.79
治疗床	0.08~4.87	3.27	0.11~3.98	2.64

3 讨论

后斜入射野照射时,碳纤维治疗床对剂量的影响已大量见诸报道^[3-13],但主要关注对主治疗床本身的影响,而比较少关注延长板和衔接处的剂量衰减与修正。延长板主要用于头颈部肿瘤的治疗,Elekta Infinity 直线加速器采用的 iBEAMevo Extension 415 延长板比主治疗床薄 3 cm,剂量衰减明显低于主治疗床,这与头颈部肿瘤剂量精度要求更高的现实情况相符合,有必要单独对其进行剂量学研究。甘家应等^[5]测量了 6 MV 能量 X 射线在 Elekta Precise 直线加速器治疗床不同位置的衰减,证实了延长板的剂量衰减可能小于主治疗床。曹婷婷等^[4]和陈舒婷等^[6]利用多层固体水分别研究了联影 uRT-linac 506c 直线加速器和医科达 Synergy 直线加速器的碳纤维治疗床对 6 MV 能量 X 射线的衰减影响;郭红博等^[3]在 Monaco 计划系统中建立了治疗床模型,通过调整模型参数使固体水中等中心的吸收剂量计算值与实际测量剂量一致,并进一步比较了加床与不加床情

形下的靶区与危及器官剂量分布变化情况。但是机架在沿中心轴旋转时,射线经过方形固体水到被电离室接收过程中走过的路径不一致^[4],加上多层固体水叠加时易出现微小的错位,导致最终测量的结果在对称两侧可能出现偏差,本文采用圆柱体 PMMA 模体进行测量,有效地避免了上述情况的发生。

本文研究 Elekta Infinity 直线加速器 6 和 10 MV 两种常用治疗模式下,主治疗床、延长板和衔接处对射线的衰减影响。研究结果表明,延长板对 6 和 10 MV 高能 X 射线的最大衰减为 4.08% 和 3.34%,大部分后斜入射角度对剂量的影响小于 2%,是治疗头颈部肿瘤的优先治疗区域;主治疗床对剂量的衰减小于 5%,大部分后斜入射角度对剂量的影响要小于 4%。延长板和主治疗床的高衰减区域分别集中于机架角 115° 和 245° 附近以及 120° 和 240° 附近。主治疗床与延长板衔接处在机架角 120° 和 240° 附近对剂量的衰减整体偏高,不适合用于治疗,但在 140°~220° 区间内对剂量的影响接近于主治疗床,依然可作为治疗区域。在进行计划设计时,应综合考虑靶区与治疗床的位置,选择合适的角度给野,提升剂量精度。

【参考文献】

[1] ICRU Report 24. Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or Gamma ray in radiotherapy procedures [R]. Washington, DC, 1976.
[2] FRAASS B, DOPPKE K, HUNT M, et al. AAPM TG53 Report. Quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning[J]. Med Phys, 1998, 25(10): 1773-1829.
[3] 郭红博, 费振乐, 吴先想, 等. 加速器治疗床对 VMAT 剂量影响研究 [J]. 中华肿瘤防治杂志, 2018, 25(19): 1376-1381.

- GUO H B, FEI Z L, WU X X, et al. Effect of accelerator treatment couch on the VMAT dose distribution[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2018, 25(19): 1376-1381.
- [4] 曹婷婷, 全红, 刘晖, 等. 联影直线加速器新型全碳素纤维治疗床对放疗剂量的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(1): 14-18.
- CAO T T, QUAN H, LIU H, et al. Effects of a new carbon fiber couch of linear accelerator on radiotherapy dose[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(1): 14-18.
- [5] 甘家应, 胡银祥, 罗元强, 等. Elekta Precise 直线加速器新型全碳素纤维治疗床床板对放疗剂量的影响[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2012, 32(4): 386-389.
- GAN J Y, HU Y X, LUO Y Q, et al. Effect of the new carbon fiber bed board of Elekta Precise linear accelerator on the radiation dose[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2012, 32(4): 386-389.
- [6] 陈舒婷, 杨帅, 姜仁伟, 等. 医科达加速器治疗床对放射治疗剂量的影响[J]. 医疗装备, 2018, 31(10): 41-42.
- CHEN S T, YANG S, JIANG R W, et al. Effects of the carbon fiber couch of a Elekta linear accelerator on radiotherapy dose[J]. Chinese Journal of Medical Device, 2018, 31(10): 41-42.
- [7] PROOIJEN M V, COMSA D C, ISLAM M K, et al. Loss of dose coverage in VMAT prostate plans due to various couchtops[J]. Radiother Oncol, 2012, 103(Suppl 1): S363.
- [8] 时颖华, 葛超, 王利波, 等. 均整与非均整模式下 TrueBeam 加速器治疗床对放疗剂量的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(8): 867-871.
- SHI Y H, GE C, WANG L B, et al. Effects of carbon fiber couch of TrueBeam accelerator in flattening filter-free and flattening filter modes on radiotherapy dose[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(8): 867-871.
- [9] 尹朝晟, 唐世强, 史俊文, 等. 碳纤床对光子射束的衰减及其修正因子[J]. 中国医学物理学杂志, 2016, 33(8): 770-775.
- YIN C S, TANG S Q, SHI J W, et al. Attenuation of photon beam caused by carbon fiber treatment couch and related correction factor[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2016, 33(8): 770-775.
- [10] VANETTI E, NICOLINI G, CLIVIO A, et al. The impact of treatment couch modelling on RapidArc[J]. Phys Med Biol, 2009, 54(9): N157-N166.
- [11] GERIG L H, NIEBALA M, NYIRI B J. Dose perturbations by two carbon fiber treatment couches and the ability of a commercial treatment planning system to predict these effects[J]. Med Phys, 2010, 37(1): 322-328.
- [12] HU Z H, DAI J R, LI L, et al. Evaluating and modeling of photon beam attenuation by a standard treatment couch[J]. J Appl Clin Med Phys, 2011, 12(4): 139-146.
- [13] PULLIAM K B, HOWELL R M, FOLLOWILL D, et al. The clinical impact of the couch top and rails on IMRT and arc therapy[J]. Phys Med Biol, 2011, 56(23): 7435-7447.
- [14] OLCH A J, GERIG L, LI H, et al. Dosimetric effects caused by couch tops and immobilization devices: report of AAPM task group 176[J]. Med Phys, 2014, 41(6): 061501.
- [15] LEE K W, WU J K, JENG S C, et al. Skin dose impact from vacuum immobilization device and carbon fiber couch in intensity modulated radiation therapy for prostate cancer[J]. Med Dosim, 2009, 34(3): 228-232.
- [16] HOPPE B S, LASER B, KOWALSKI A V, et al. Acute skin toxicity following stereotactic body radiation therapy for stage I non-small-cell lung cancer: who's at risk?[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 72(5): 1283-1286.
- [17] MIHAYLOV I B, BZDUSEK K, KAUS M. Carbon fiber couch effects on skin dose for volumetric modulated arcs[J]. Med Phys, 2011, 38(5): 2419-2423.
- [18] MIHAYLOV I B, PENAGARICANO J, MOROS E G. Quantification of the skin sparing effect achievable with high-energy photon beams when carbon fiber tables are used[J]. Radiother Oncol, 2009, 93(1): 147-152.
- [19] SMITH D W, CHRISTOPHIDES D, DEAN C, et al. Dosimetric characterization of the iBEAMevo carbon fiber couch for radiotherapy[J]. Med Phys, 2010, 37(7): 3595-3606.

(编辑: 薛泽玲)