

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

曹婷婷¹, 全红¹, 刘晖², 张俊², 蒋大振², 苏欢繁¹

1. 武汉大学物理科学与技术学院, 湖北 武汉 430072; 2. 武汉大学中南医院放疗科, 湖北 武汉 430071

【摘要】目的:研究联影直线加速器新型全碳素纤维床板对放疗剂量的影响。**方法:**将固体水分别置于治疗床中间(offset=0 cm)、右侧(offset=+10 cm)以及左侧(offset=-10 cm),改变机架角度,让高能X射线从不同角度穿透治疗床,计算出相对应的衰减因子。**结果:**对于6 MV的X射线,治疗床板中间处的衰减因子范围是0.043 8~0.085 0,在115°时衰减因子最大;右侧位置的衰减因子范围是0.044 1~0.127 2,在110°时衰减因子最大;左侧位置的衰减因子范围是0.043 2~0.093 1,在110°时衰减因子最大。在180°~130°区间时,治疗床中间、右侧和左侧位置的衰减因子之间的差异较小,且右侧衰减因子高于中间和左侧处。**结论:**不同的机架角度,在联影直线加速器新型全碳素纤维治疗床床板上不同的位置,对X射线的衰减程度不同。治疗床右侧位置在130°~110°区间对剂量的衰减高于中间和左侧,且在110°时衰减最大,在设计患者后斜野计划时应该尽量避开对剂量衰减程度大的角度。

【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(2018)01-0014-05

Effects of a new carbon fiber couch of linear accelerator on radiotherapy dose

CAO Tingting¹, QUAN Hong¹, LIU Hui², ZHANG Jun², JIANG Dazhen², SU Huanfan¹

1. School of Physics and Technology, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Department of Radiation Oncology, Zhongnan Hospital, Wuhan University, Wuhan 430071, China

Abstract: Objective To investigate the effects of a new carbon fiber couch of linear accelerator from Shanghai United Imaging Healthcare Co., Ltd on the radiotherapy dose. **Methods** The solid water phantom were placed in the middle (offset=0 cm), the right (offset=+10 cm) and the left (offset=-10 cm) of the treatment couch. The angle of gantry was changed to make the high-energy X-ray penetrate the treatment couch from different angles, and the corresponding attenuation factors of X-ray were calculated. **Results** The attenuation factors for 6 MV X-ray were 0.043 8-0.085 0 at the middle of the treatment couch, with a maximum attenuation factor at 115°; 0.044 1-0.127 2 at the right side of the treatment couch, with a maximum attenuation factor at 110°; 0.043 2-0.093 1 at the left side of the treatment couch, with a maximum attenuation factor at 110°. When the gantry angle was 180°-130°, the differences among the attenuation factors at the middle, the right and the left of the treatment couch were trivial, but the attenuation factor was higher at the right than at the middle and the left. **Conclusion** The attenuation of the new carbon fiber treatment couch of linear accelerator from Shanghai United Imaging Healthcare Co., Ltd varies at different positions with different angles of gantry. When the gantry angle was 130°-110°, the dose attenuation is higher at the right side of the treatment couch than at the middle and the left, and the maximum is at 110°. Those angles causing larger dose attenuations should be avoided in oblique field plan.

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

前言

【收稿日期】2017-08-07

【基金项目】医科达-武汉大学医学物理教学科研基金

【作者简介】曹婷婷,在读硕士,研究方向:医用放射治疗技术, E-mail: 741539965@qq.com

【通信作者】全红,副教授,博士生导师,研究方向:放射治疗、医学影像, E-mail: cps6606@sina.com

医用直线加速器治疗床的主要作用是作为病人放疗时的载体,支撑病人,以便放疗时医护人员可以更好地将患者肿瘤放置在射野下^[1-3]。目前主要选用碳纤维素这种材料来制作治疗床,因为碳纤维密度小、强度大、不易变形,并避免了在放射过程中由床下垂产生的剂量偏差影响最终的治疗效果^[2-4]。放射治疗最终目标是将处方剂量传送到肿瘤靶区,同时使肿瘤周围的危及器官接受尽可能小的剂量,保护

周围正常组织^[4]。从一个方向照射靶区是达不到这种效果的,因此在放射治疗中需旋转机头,从不同方向照射靶区,从而提高肿瘤控制率,减少正常组织并发症,同时增强靶区的剂量均匀性^[5-6]。但是在后野和后侧斜野,射线穿透治疗床时不仅使放疗剂量产生衰减,而且也增加了表面剂量,目前许多文献已经报道这一问题^[7-9]。因此在临床中,一定要考虑治疗床对放射治疗剂量衰减的影响。ICRU 24号报告指出,原发灶根治剂量的精确性应好于5%,否则可能增加肿瘤局部复发或并发症,进而导致治疗方案的失败^[10]。上海联影医疗科技有限公司的uRT-linac 506c医用直线加速器是目前国内首款自主研发具备CT影像引导等多功能的新型加速器。本文针对这款加速器全碳纤维治疗床板进行剂量学衰减研究,从而为临床研究提供相关数据,保证在以后的放射治疗中得到更加精确的剂量。

1 材料与方法

1.1 材料

uRT-linac 506系列医用直线加速器系统是上海

联影医疗科技有限公司基于国际化创新理念研发的新型放疗设备,其中uRT-linac 506c属于国际首创的CT影像引导调强放疗加速器系统(图1)。该医用直线加速器系统是国际首创的CT-加速器一体化治疗机架构,通过诊断级的螺旋CT与高剂量率调强加速器的组合,使其成为目前全球在售加速器中唯一同时具备高清影像引导调强放疗和CT模拟定位两种放疗重要功能的设备,对于提升放疗精度,提高放疗效率,推动放疗工作流的革新具有广阔的前景。由于该加速器是CT-加速器一体化治疗机架结构,在CT扫描和加速器放射治疗过程中使用同一碳纤维治疗床,因此该治疗床(床长215 cm,宽53 cm、床厚5.0 cm)相比其他碳纤维素治疗床更长。本研究选用的剂量仪为德国PTW公司的UNIDOS E型剂量仪和TW30013型0.125cc指型防水电离室,其TNC三同轴电缆长为20 m,选用测量介质大小为40 cm×40 cm×10 cm(长×宽×高)多层叠放的标准固体水模体,其中电离室位于固体水模体的几何中心,电离室中心点距上下表面均为5 cm,如图2所示。

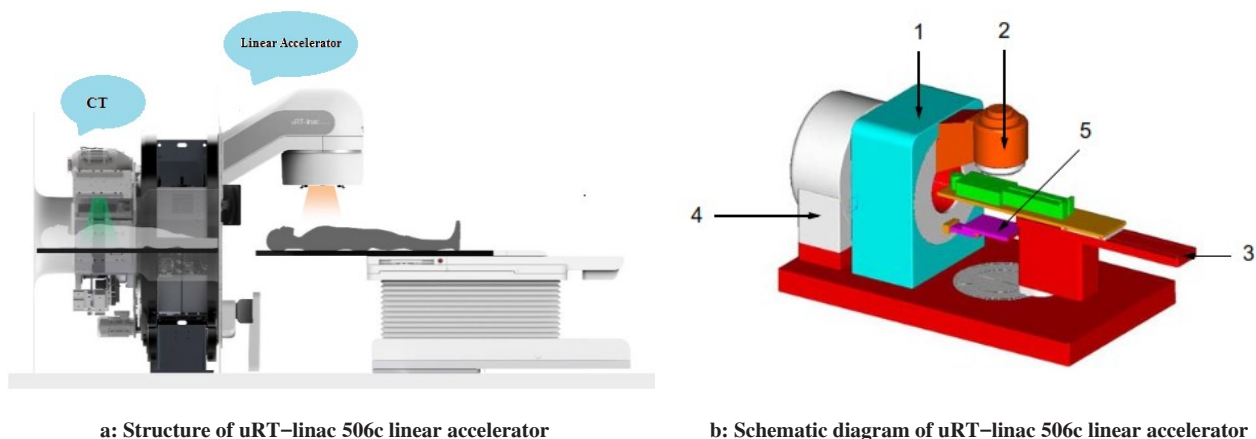


图1 联影uRT-linac 506c加速器系统结构示意图

Fig.1 System of uRT-linac 506c linear accelerator from Shanghai United Imaging Healthcare Co., Ltd

1: Gantry; 2: Treatment head; 3: Treatment couch; 4: Computed tomography; 5: Electronic portal imaging device

1.2 方法

采用等中心技术测量(SAD=100 cm),将等中心放置在厚度为5 cm的固体水模体中(图2)。在摆放固体水的时候,首先将准直器和治疗床角度调为0°,用水平尺将治疗床表面调水平,然后使标准固体水模中轴与治疗床中心纵轴重合置于待测量的床板上,如图3所示。测量条件为T=24℃,P=1 014.2 mbar(1 pa=100 mbar)。本研究选择10 cm×10 cm的射野,能量为6 MV的X射线,每个射野的照射剂量为100 MU。设计两组射野,分

别为0°~290°、180°~110°,机架角度每隔5°设一个野。采用PTW剂量仪和TW30013型0.125cc指型防水电离室按照上述射野角度进行测量,分别计算出全碳纤维治疗床中间(offset=0 cm)、右侧(offset=+10 cm)以及左侧(offset=-10 cm)处对放疗剂量的衰减(图4)。对同一位置测量两次,取其平均值。床面以上0°~290°各点测量值作为参考值,记为Dr;床面以下180°~110°各点对应测量点测得的读数为测量值,记为Dc;不同位置上,床板对剂量的衰减因子为 $f=(Dr-Dc)/Dr$ 。



图2 固体水模体置于治疗床位置示意图,电离室置于固体水等中心位置

Fig.2 Solid water phantom on the treatment couch and the ionization chamber at the center of phantom

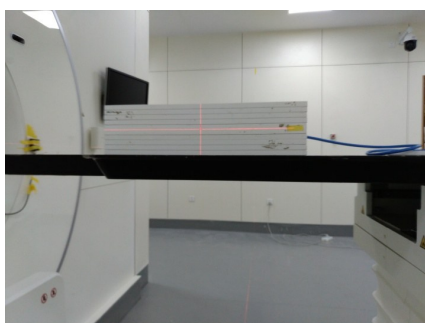


图3 固体水模体中轴与治疗床中心纵轴重合示意图
Fig.3 Coincidence of the center axis of phantom and the longitudinal axis of the treatment couch

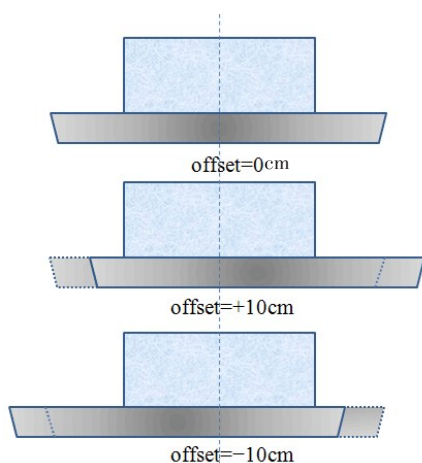


图4 固体水在治疗床上的不同位置的示意图
Fig.4 Diagram of solid water phantom at different positions of the treatment couch

2 结果

在6 MV的X射线照射下,联影直线加速器全碳素纤维治疗床在不同位置、不同的角度对剂量衰减程度

不同。在中间位置(offset=0 cm)时(图5),治疗床对剂量的衰减因子范围为0.043 8~0.085 0,机架角度在180°~115°区间时,衰减因子随着角度的减小而逐渐上升;在115°~110°区间时,衰减因子缓慢减小;机架角度在115°衰减程度最大。在右侧位置(offset=+10 cm)时(图6),其衰减因子范围是0.044 1~0.127 2,在180°~110°区间时,衰减因子随角度的减小而逐渐上升,机架角度在110°衰减程度最大。在左侧位置(offset=-10 cm)时(图7),衰减范围是0.043 2~0.093 1,在180°~130°区间时,衰减因子逐渐上升;在130°~115°区间时,出现小幅度的下降趋势;在115°~110°区间时,衰减因子急剧上升;机架角度为110°时,衰减因子最大。

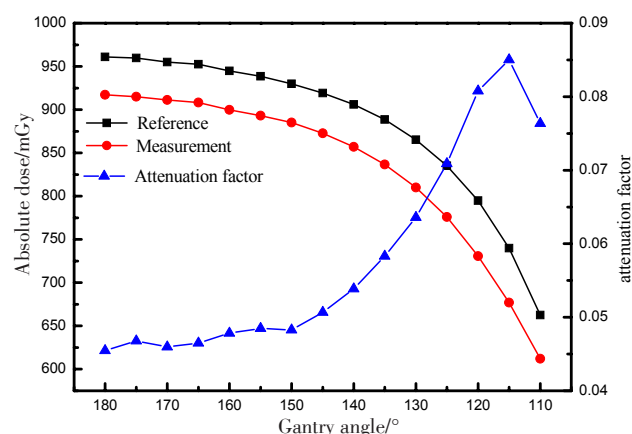


图5 治疗床板位于中间位置(offset=0 cm)时在不同机架角度下参考值、测量值以及床板的衰减因子

Fig.5 Reference values, measurements and attenuation factors at the middle of the treatment couch (offset=0 cm)

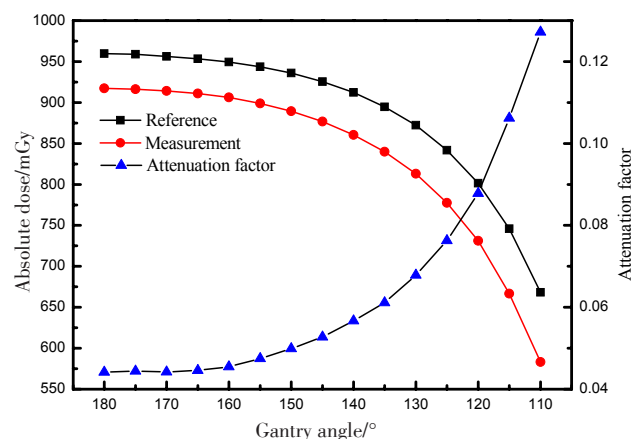


图6 治疗床往右侧移10 cm位置(offset=+10 cm)时不同机架角度下测量值、参考值以及床板的衰减因子

Fig.6 Reference value, measurements and attenuation factors at the right of the treatment couch (offset=+10 cm)

图8表示中间、左侧和右侧这3个位置的衰减因子曲线图。在180°~130°区间,3个位置的衰减因子都是

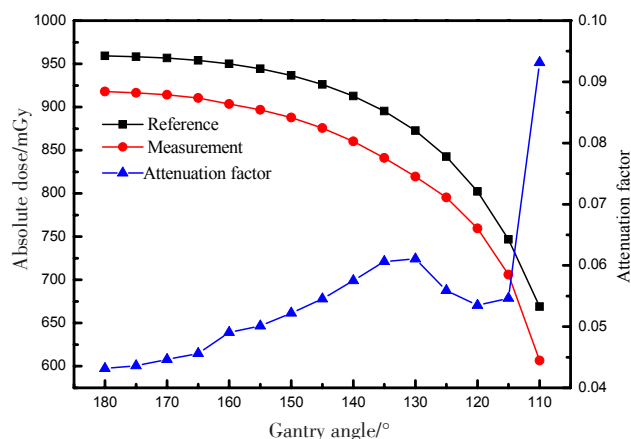


图7 治疗床往左侧移10 cm位置(offset=-10 cm)时不同机架角度下测量值、参考值以及床板的衰减因子

Fig.7 Reference value, measurements and attenuation factors at the left of the treatment couch (offset=-10 cm)

随着角度的减小而缓慢增加,且在这个区间,3个位置的衰减因子大小差异不明显。在130°~110°区间时,3个位置的衰减曲线变化趋势各不相同,对剂量的衰减呈现出明显的差异,在中间位置(offset=0)时,衰减因子曲线随角度的减小先上升后下降的趋势,在115°有最大值;在右侧(offset=+10 cm)位置时,衰减曲线呈上升的趋势;在左侧位置(offset=-10 cm)时,衰减因子曲线随着角度的减小先缓慢上升,而在130°时下降,又在115°时急剧上升,最大值出现在110°。从图7中可以知,右侧位置(offset=+10 cm)对剂量的衰减相对较大,而左侧位置(offset=-10 cm)对剂量的衰减相对较小。

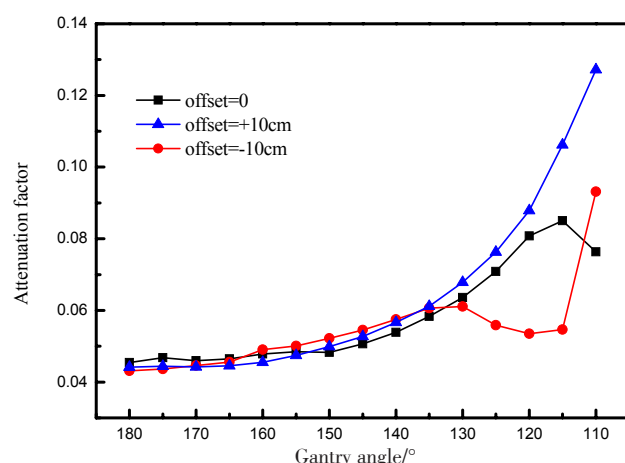


图8 中间(offset=0 cm)、右侧(offset=+10 cm)和左侧(offset=-10 cm)位置的床板衰减因子曲线图

Fig.8 Curves of attenuation factors at the middle (offset=0 cm), the right (offset=+10 cm) and the left (offset=-10 cm) of the treatment couch

3 讨论

大量文献已报道在后野和后侧斜野照射时,碳

纤维治疗床对射线产生衰减作用,使得患者靶区剂量欠佳,此外,射线与碳纤维治疗床发生碰撞产生电子散射,会造成电子污染,使得模体表或者病人体表剂量增加,同时建成区向体表方向移动^[11-13]。McCormack等^[14]以及Njeh等^[15]均报道了碳纤维床板对射线的衰减大小还与机架角度有关系,本研究的结果相符也与之相符;同时Pulliam等^[16]报道了如果在计划系统中忽略碳纤维床板对剂量衰减影响,会导致处方剂量一定程度的减小。甘家应等^[17]报道了Elekta加速器六维碳纤维治疗床主床板在6以及15 MV射线时对剂量的衰减分别为0.017~0.061、0.011~0.048;张西志等^[18]报道了西门子加速器治疗床不同床板对剂量衰减情况,机玻璃床头板对剂量的衰减为0.015~0.205,有机玻璃床体板对剂量的衰减为0.019~0.386,有机玻璃网状窗体板对剂量的衰减为0.018 0~0.012 3。

本研究中联影uRT-linac 506c加速器新型全碳素纤维治疗床板同样也对射线产生衰减影响,在中间、右侧以及左侧位置的衰减因子分别为0.043 8~0.085 0、0.044 1~0.127 2和0.043 2~0.093 1。根据文中衰减因子的定义,衰减因子值越小表明碳纤维治疗床对射线的衰减作用小,越大则说明碳纤维治疗床对射线衰减越厉害。本研究的结果表明,在180°~130°区间时,治疗床中间、左侧和右侧的衰减因子曲线都是缓慢上升,相互之间存在较小的差别;在130°~110°区间时,3个位置的衰减曲线变化趋势各不相同,且三者之间的差别逐渐增大(图8)。在180°~130°区间时,固体水模体分别在治疗床中间、右侧以及左侧处,随着角度的减小,射线穿透治疗床的路径都增加,但路径增加的幅度相接近,所以衰减曲线都逐渐上升且相互间的差别较小。在130°~110°区间时,由于测量所使用的介质为40 cm×40 cm×10 cm(长×宽×高)多层叠加的标准固体水模体,在治疗床右侧和左侧时固体水模体各自接近于治疗床一侧边缘位置,特别是在左侧位置时,在角度越小时越早脱离治疗床边缘使得射线穿透治疗床的路径减小,而在右侧时,在射线穿透治疗床的路径随角度减小而不断增加(图4),所以相比于在中间位置,在左侧位置时衰减因子随着角度的减小而缓慢减小,而右侧位置时衰减因子逐渐增大且比中间位置的衰减因子大。在本研究中,除了射线穿透床板的厚度对剂量衰减的产生影响之外,还有其他因素:(1)研究中使用的是方形固体水模体,在不同角度射线经过固体水模体其路径大小也不相同,使得射线穿透治疗床、固体水模体到被探测器接收这一过程的总路径也不相同,可能使得在某些位置的衰减因子偏大或者偏小;(2)联影加速器与CT整

合在一起,其治疗床从治疗位置到CT扫描位置运行路径过长,为修正治疗床在运行过程中的沉降,因此在碳素床板内嵌有Z形状的铝丝,在某些特定的位置上可能也会对剂量衰减造成一定的影响。本文研究治疗床对剂量衰减的影响,只测量了等中心处点剂量的衰减结果,但是衰减也取决于治疗深度,关于这方面我们将进行后期的研究。碳纤维床板对剂量的衰减影响不可忽略,许多文献报道在计划系统中计入床模型对其进行修正,但是在床板边缘部分仍存在较大偏差^[19-21]。联影加速器将CT模拟定位与加速器一体化,患者在进行CT扫描时使用同样的碳纤维治疗床,在修正床板对剂量影响时可以获取该床板的真实CT值。在计划系统加入的床模型更加接近于真实治疗床,会使得靶区得到相对精确的剂量,这方面的研究也将在后期进行。

综上所述,联影加速器全碳素纤维治疗床板在中间(offset=0 cm)、右侧(offset=+10 cm)以及左侧(offset=-10 cm)对剂量的衰减程度不同,这与穿过治疗床途径大小有关。在机架角度130°~110°区间时,3个位置(中间offset=0 cm、右侧offset=+10 cm、左侧offset=-10 cm)对射线的衰减程度差异较大,且右侧位置的衰减程度高于中间和左侧位置。在设计放疗计划时,为了更好地满足靶区剂量和减小危及器官的剂量,放疗物理师设计后野或者后侧斜野要注意不同照射角度下碳纤维治疗床对射线的衰减大小,尽量避开衰减较大的照射角度。对于肿瘤位置偏离中心位置的患者,在放射治疗进行治疗床摆位时,也要考虑治疗床不同位置对射线的衰减情况。在放射计划设计时,应在计划中插入产家提供的虚拟床板(对床板剂量的修正)以提高剂量计算的精度,从而减少并发症的发生和提高肿瘤治愈率。

致谢:感谢医科达公司对本工作的赞助。

【参考文献】

- [1] 顾本广. 医用加速器[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 359-363.
- [2] HUFTON A P, RUSSELL J G. The use of carbon fibre material in table tops, cassette fronts and grid covers: magnitude of possible dose reduction[J]. Br J Radiol, 1986, 59(698): 157-163.
- [3] COCHRAN B E. The effect of treatment couches on delivered dose during radiotherapy treatments[D]. San Diego: San Diego State University, 2012.
- [4] SHEYKHOO A, ABDOLLAHI S, HADIZADEH YAZDI M H, et al. Effects of Siemens TT-D carbon fiber table top on beam attenuation, and build up region of 6 MV photon beam[J]. Rep Pract Oncol Radiat, 2017, 22(1): 19.
- [5] 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.
- [6] YU C Y, CHOU W T, LIAO Y J, et al. Impact of radiation attenuation by a carbon fiber couch on patient dose verification[J]. Sci Rep, 2017, 7: 43336.
- [7] MUNJAL R K, NEGI P S, BABU A G, et al. Impact of 6 MV photon beam attenuation by carbon fiber couch and immobilization devices in IMRT planning and dose delivery[J]. J Med Phys, 2006, 31(2): 67.
- [8] MEYDANCI T P, KEMIKLER G. Effect of a carbon fiber tabletop on the surface dose and attenuation for high-energy photon beams[J]. Rad Med, 2008, 26(9): 539.
- [9] SEPPÄLÄ J K, KULMALA J A. Increased beam attenuation and surface dose by different couch inserts of treatment tables used in megavoltage radiotherapy[J]. J App Clin Med Phys, 2011, 12(4): 3554.
- [10] 胡逸民, 张红志, 戴建荣, 等. 肿瘤放射物理学[M]. 北京: 原子能出版社, 1999: 614-618.
- [11] HU Y M, ZHANG H Z, DAI J Y, et al. Radiation physical of tumour [M]. Beijing: Nuclear Energy Publishing House, 1999: 614-618.
- [12] MYINT W K, NIEBALA M, WILKINS D, et al. Investigating treatment dose error due to beam attenuation by a carbon fiber tabletop [J]. J App Clin Med Phys, 2006, 7(3): 21.
- [13] HAYASHI N, SHIBAMOTO Y, OBATA Y, et al. Megavoltage photon beam attenuation by carbon fiber couch tops and its prediction using correction factors[J]. J Radiol Res, 2010, 51(4): 455-463.
- [14] 花威, 李军, 陈婷婷, 等. Varian 直线加速器全碳纤维治疗床对放疗剂量的影响[J]. 医疗卫生装备, 2012, 33(7): 108-109.
- [15] HUA W, LI J, CHEN T T, et al. Effect of whole carbon fiber couch of Varian linear accelerator on radiotherapy dose[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2012, 33(7): 108-109.
- [16] MCCORMACK S, DIFFEY J, MORGAN A. The effect of gantry angle on megavoltage photon beam attenuation by a carbon fiber couch insert [J]. Med Phys, 2005, 32(2): 483-487.
- [17] NJEH C F, RAINES T W, SAUNDERS M W. Determination of the photon beam attenuation by the Brainlab imaging couch: angular and field size dependence[J]. J App Clin Med Phys, 2009, 10(3): 2979.
- [18] 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.
- [19] 甘家应, 胡银祥, 洪卫, 等. Elekta 直线加速器全碳纤维六维治疗床床板对后斜野放疗剂量的影响[J]. 中国肿瘤, 2010, 19(8): 511-513.
- [20] GAN J Y, HU Y X, HONG W, et al. The effect of the six dimensional whole carbon fiber bed board of Elekta linear accelerator on the radiation dose of posterior oblique field[J]. China Cancer, 2010, 19(8): 511-513.
- [21] 张西志, 李军, 汪步海, 等. 医用直线加速器治疗床对放疗剂量影响的研究[J]. 生物医学工程学进展, 2008, 29(3): 161-163.
- [22] ZHANG X Z, LI J, WANG B H, et al. Research of effect for medical linear accelerator treatment table on radiotherapy dosimetry [J]. Progress in Biomedical Engineering, 2008, 29(3): 161-163.
- [23] DUGGAR W N, NGUYEN A, STANFORD J, et al. Modeling treatment couches in the Pinnacle treatment planning system: especially important for arc therapy[J]. OJAA Med Dos, 2016, 41(1): 34.
- [24] CHYOU T Y, LORENZ F. Couch modeling for volumetric modulated arc therapy (VMAT)[J]. Austral Phys Eng Sci Med, 2017, 40(2): 1-10.
- [25] ZHANG R, BAI W, FLECKENSTEIN J. SU-E-T-650: quantification and modeling of the dosimetric impact of the IBEAM Evo Treatment Couchtop EP (Elekta) in VMAT[J]. Med Phys, 2015, 42(6 Part 22): 3486.

(编辑:谭斯允)