

碳纤床对光子射束的衰减及其修正因子

尹朝晟¹, 唐世强¹, 史俊文¹, 陈芬¹, 吴嘉明^{1,2}, 任益民^{1,2}

1. 郴州第一人民医院南院放疗中心, 湖南 郴州 423000; 2. 台湾怡仁医院放射肿瘤科, 台湾 326

【摘要】目的:现今放射治疗使用的治疗床已改成质地更坚固且载重负荷更佳的碳纤维材质。本实验主要探讨直线加速器的治疗射束经过碳纤床时的衰减性质及其修正因子。**方法:**本实验使用 Varian ix 的直线加速器及其碳纤床, 及一套自行设计的半径为 11 cm 的球形假体。把农夫型游离腔(Farmer ion chamber)放置在直线加速器的等旋转中心点上, 直线加速器机头以水平方向为初始角度, 按顺时针旋转方向由下往上每隔 5° 照射一次, 每次照射后测量射束在经过治疗床时的衰减系数, 以及探讨如何修正此辐射剂量衰减量。**结果:**实验结果显示当治疗射束经过治疗床时最大的衰减量是 4.9%, 在经过配件的固定凹槽时会发生衰减量突减的现象。**结论:**当治疗病人的射束经过碳纤维床的固定凹槽时必须经过适当的射束衰减修正量的修正才可得到正确的治疗监控单位。

【关键词】碳纤治疗床; 衰减性; 剂量修正

【中图分类号】R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2016)08-0770-06

Attenuation of photon beam caused by carbon fiber treatment couch and related correction factor

YIN Zhao-sheng¹, TANG Shi-qiang¹, SHI Jun-wen¹, CHEN Fen¹, WU Jia-ming^{1,2}, REN Yi-min^{1,2}

1. Radiotherapy Center, Chenzhou No.1 People's Hospital, Chenzhou 424300, China; 2. Department of Radiation Oncology, Yi-Ren Hospital, Taiwan 326

Abstract: Objective Nowadays, the treatment couch for radiotherapy is made from carbon fiber with stronger texture and better load capability. The attenuation of photon beam of linear accelerator caused by carbon fiber treatment couch and the related correction factors are discussed in the paper. **Methods** The linear accelerator and the carbon fiber treatment couch of Varianix, and a self-design ball phantom with a radius of 11 cm were applied in the study. Farmerion chamber was placed at the rotating isocenter of linear accelerator. The horizontal direction was taken as the initial gantry angle of the head of linear acceleration. Turn the head clockwise, irradiation from bottom to top was preformed every 5°. The attenuations of photon beam caused by carbon fiber treatment couch were measured after each irradiation. The method for correcting the attenuation was also discussed. **Results** The maximum attenuation of photon beam was up to 4.9%. At the fixed notch of parts, the attenuation showed significant reduction. **Conclusion** When the photon beam passes through the fixed notch of carbon fiber treatment couch, the appropriate attenuation correction should be applied to obtain the correct treatment monitor unit.

Key words: carbon fiber treatment couch; attenuation; dose correction

前言

早期支撑病患进行放射治疗的治疗床采用前后两端不同支撑架的设计。病床由长轴中段分成前后两端的设计, 一端采用金属置中支撑; 另一端采用金属支撑杆置放于治疗床的两侧。使用上则依照治疗

床下方加速器发射的高能光子射束的入射角来决定采用哪一端来支撑病患, 以避免射束受到金属支撑杆物的衰减而导致剂量不足^[1-3]。但此种治疗床难免会碰到如下的状况: 不论治疗床转到哪一端, 射束或多或少都会穿越金属支撑杆而被衰减, 而临床上却无法察觉。根据治疗床设计的不足, 加速器的设计厂商现推出碳纤治疗床^[4-6]。

1 材料与方法

1.1 材料

自行设计半径为 11 cm 的球形假体(图 1), 此假

【收稿日期】2016-04-15

【基金项目】郴州第一人民医院科研项目(N2014-021)

【作者简介】尹朝晟, 主治医师, E-mail: yzslx@163.com

【通信作者】吴嘉明, 台湾彰化人, 博士, 助理教授, 研究方向: 放射物理, E-mail: jiaming.wu@chmsc.com

体由压克力(Acrylic)材料组成,在靠近置放底片的边缘处,有两个点状记号,此两点记号相距7 cm,由此两点的中心点做垂线到球缘的距离是2 cm,以此线段对比增建区的辐射剂量变化的情形。

我们在治疗计划系统上,首先选取球形假体圆球的几何中心点为辐射照射的等中心点后,以不同的机头角度及固定的照野,让球形假体圆球的几何中心点照射100 MU(Monitor Unit)的条件下在治疗计划系统上完成辐射剂量的评估^[7-9];实验时于假体正中央放置0.6 cc的农夫型游离腔(Farmer ion chamber),之后连接此农夫型游离腔到PTW的微电量仪,Varain ix 直线加速器的光子射束按照顺时针方向由下往上、每隔5°照射一次,每照射一次便读取一个游离腔读值;以水平90°为第一个入射角,机头顺时针方向旋转转至270°,测量出射束穿透碳纤治疗床的碳纤材质后,碳纤治疗床对辐射的衰减量(图1);因为球形假体的半径相同,所以测量假体的几何形状的衰减变因可以忽略。

1.2 治疗床的材料及实验规划

针对早期放射治疗床会引起治疗射束衰减的缺

点,加速器的设计厂商现推出碳纤治疗床。此类床已完全摒除床中间或两侧置放金属支撑杆的设计,而是采用中空设计,而且床的前端较薄,后端较厚^[10-11],而且为使固定病人用的配件可以和床面咬合,床面有固定凹槽的设计(图2)。



图2 碳纤治疗床床面固定凹槽设计

Fig.2 Fixed notch designed on the surface of carbon fiber treatment couch

图2的凹槽是为了固定病人用的配件,此设计可以让病人用的固定配件和床面咬合且可减少辐射衰减。改进后的碳纤治疗床采用内部中空且前端薄后端厚的渐进式设计(图3)。

治疗床的mark1到mark2属于厚度均匀的前端部分;从mark2到mark3是厚度由薄到厚的渐进设计部分;从mark3到mark4是厚度梯度变化逐渐平缓的缓和设计,mark4之后属于均匀厚度床面;其透视影像如图4。

碳纤材质的厚度是否会影响到射束穿透的衰减性?以及固定凹槽对射束穿透的影响和对治疗病患的机器跳数(Monitor Unit, MU)计算的影响是此实验主要的研究目的。

1.3 射束和机头角度及治疗床结构的关系

所有测量角度均考虑照野大小的变化量。以图

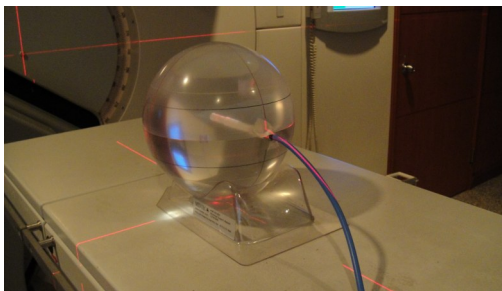


图1 碳纤治疗床辐射衰减量测量实验

Fig.1 Experiment of attenuation measurement of carbon fiber treatment couch

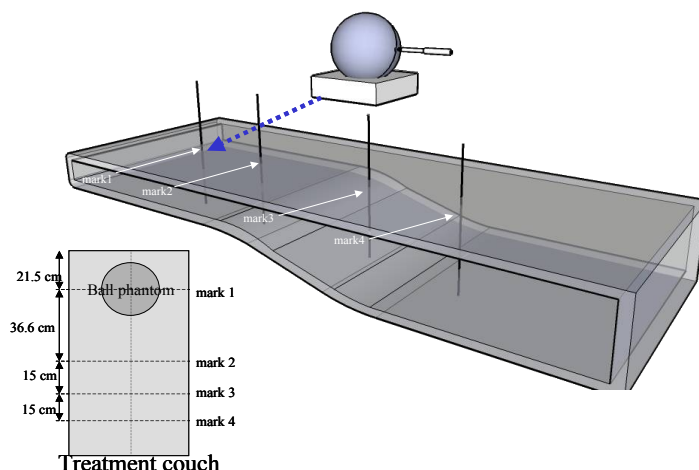
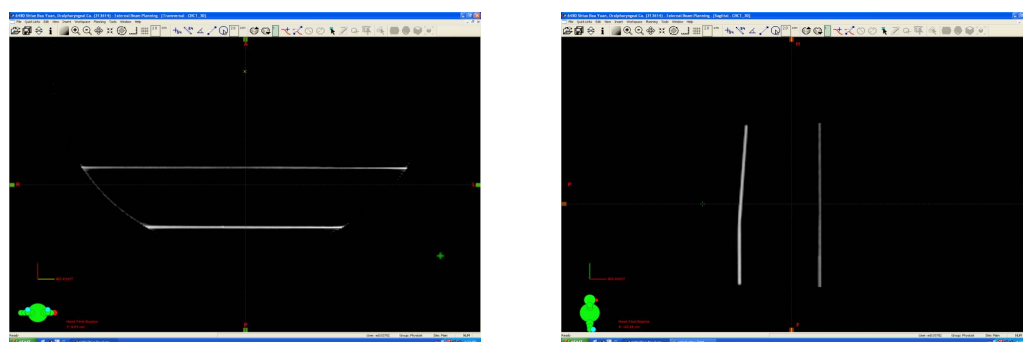


图3 碳纤床内部中空且厚度由薄到厚的设计图

Fig.3 Empty interior and thin to thick design of carbon fiber treatment couch

5的机头旋转角度,从(5×5)、(10×10)、(15×15)、(20×20) cm²四个视野面积观察照野大小对穿透因子的影

响,以便为治疗剂量修正做参考。



a: Cross sectional view of carbon fiber treatment couch

b: Sagittal view of carbon fiber treatment couch

图4 碳纤治疗床内部结构

Fig.4 Interior structure of carbon fiber treatment couch

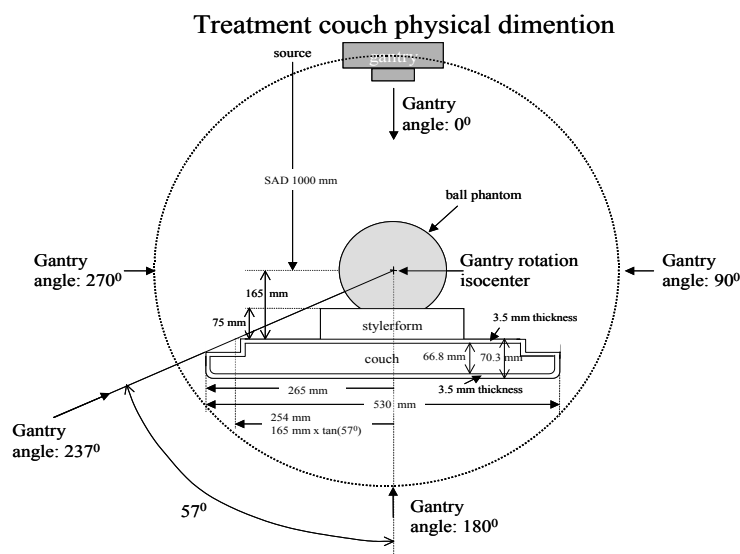


图5 机头旋转起始角度及治疗床的厚度结构

Fig.5 Initial gantry angle and interior structure of carbon fiber treatment couch

1.4 射束经过碳纤治疗床后表皮剂量的变化

除此之外,此实验中需要再制作一颗尺寸大小相同,但在赤道面上剖开可以置放EBT底片^[12-14]的球形假体(图6)。笔者自行设计可以把底片紧紧夹住的Acrylic材料球形假体,用胶卷测量等剂量分布及表面的剂量(图1)。把底片放置在球形假体的表面让加速器照射,用此套假体所测量的剂量再跟治疗计划系统所规划的剂量做比较。因现今的打洞机无法深入底片内侧打洞,底片需要打洞时,我们研发一种特殊的打洞器。把一块圆形铁块固着在弹簧内,此铁块在使用时可以往后拉远,然后再藉由弹簧回缩的力量去撞击圆形刀口,此圆形刀口就可往底片撞击切卸出一个洞,底片就可紧贴Acrylic球体避免

因底片和假体间的空隙所引起的扰动,从而达到测量的目的,此洞既可做记号又不会破坏胶卷结构。可置放底片的球体主要用来测量较厚的碳纤床,理论上会有较多的低能量光子及二次散射电子产生,所以会有较高的表皮剂量产生。可以利用此可夹底片的球形假体测量碳纤不同衰减对应到的表皮剂量的变化量^[15]。此凸面显示此自行设计的Acrylic球形假体可以把底片紧紧夹住,球形假体的赤道面上还有3颗卡榫预备让另外的半球对接时拴紧用。

1.5 变色胶卷(GAF Chromic Film)的校正

(1)底片校正曲线的取得

本实验所用的胶卷剂量学测量步骤根据文献^[15]的做法执行,先制作校正曲线(H&D Curve)。首

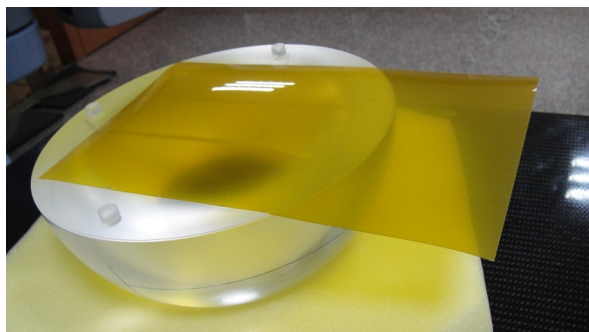


图6 球形假体放置变色胶卷的示意图

Fig.6 Demonstration of GAF chromic film embedded in ball phantom

先做出辐射剂量对应到胶卷黑化度的校正曲线,做法是先在治疗床上放置5 cm的固态水假体,之后把大约3 cm×3 cm的EBT底片中心点放置在直加器的十字交叉线上(Cross Hair),而后在这上面放置5 cm厚的固态水假体,源轴距(SAD)为100 cm,照野开10 cm×10 cm,照射的剂量依序是5、10、15、20、40、60、80、100、120 150、200 cGy,每照射一个剂量就换一张新的胶卷,直到上列的所有剂量全部照完;在照射完后直接到Epson×L10000扫描,让每一张底片(含背景)在扫描完后均以16bit、黑白、tiff的档案形式储存,用VariSoft软件进行黑化度的建构,之后再求出此数个剂量对应的黑化度做出辐射剂量对应到胶卷黑化度校正曲线;把照射底片的黑化度一一求出后再套用该黑化度所对应的剂量后就可以求出等剂量曲线^[16]。

(2) 底片黑化度转成辐射剂量的过程

EBT底片经过由小到大的辐射剂量照射后,把剂量由小到大的底片依续排列,可以看到随着剂量愈大,底片的黑化程度就愈大,在制作校正曲线过程中把背景(未照射的底片)也一并排列,以VariSoft做曲线线性回归处理^[17-18]。

2 结果

2.1 射束经过碳纤治疗床的衰减量

由碳纤床的外观可预知在床面的上半圈因无任何衰减物,所以没有任何的衰减修正量。随着射束由下往上照,碳纤床的散射量所造成的表皮增加量如图7所示(如假体照片上的白色线所示),相对于没经过碳纤床,射束经过碳纤床的散射后有很明显的增加量。射束随着不同角度经过碳纤床的衰减量等效厚度变化值,其数值如表1所示。根据固态水假体不同厚度,不同照野的衰减曲线图可以反推射束经过碳纤床衰减量等效厚度。不同光子能量、不同的机头角度在经过碳纤床的固定凹槽装置时,其射束

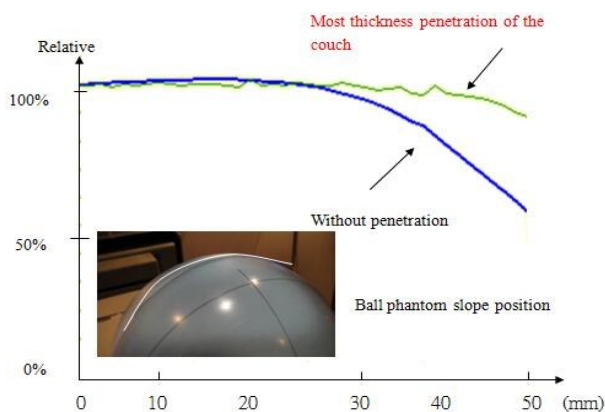


图7 辐射射束经过碳纤治疗床及没有经过碳纤治疗床对表皮剂量影响曲线

Fig.7 Skin dose curve with or without influences of carbon fiber treatment couch

辐射强度的衰减值有明显变小(衰减变少)的现象产生,那是因为碰到卡榫凹槽所致。

2.2 表皮剂量的增量

球形假体上夹住变色胶卷受照射图如图7所示。射束由球形假体的正上方往下照射,蓝色线表示未经碳纤治疗床的相对剂量曲线,横坐标轴上的数值代表球体赤道面上的任意一点到球心的距离(此方向就是在图7球形假体上白线左边倾斜的方向)。此时相对剂量曲线递减速度增加,是因为射束在球形假体的斜边是切线,所以提早达到增建区的效应所致;而射束由球形假体的正上方往下照射且经过碳纤治疗床时,碳纤治疗床因其本身的厚度所造成的增建效应导致表皮剂量急速增加,其剂量变化曲线见绿色曲线,数值越高,表示表皮剂量增加越多。

2.3 碳纤床在不同机头角度时的射束衰减量

由碳纤床的外观可预知在床面的上半圈因无任何衰减物,所以没有任何的衰减修正量;射束由下往上照,随着不同角度碳纤床的衰减变化值如图8所示;Chamber reading 因为有 table 的衰减,所以不足100%,最大差异可到4.9%。

由图8可以很快速地了解,碳纤床在不同机头角度下的辐射衰减量,此数据用来推算辐射经过多少组织的等效厚度才会有相等的衰减,其做法是根据固态水假体不同厚度,不同照野的衰减曲线图可以反推射束经过碳纤床衰减量等效厚度,再根据推算出来的值进而修正直加器的MU。

2.4 射束经过碳纤床固定凹槽的衰减量

在射束经过固定凹槽装置时,放在球形假体里的电离室有特殊读值增大(衰减变少)的现象产生

表1 射束随着不同角度经过碳纤床的衰减量等效厚度变化值

Tab.1 Equivalent thickness of irradiation attenuation at different angles caused by carbon fiber treatment couch

Gantry angle (experiment)	Reading ratio with/without couch attenuation	True hinge angle	Gantry interpolation angle	Gantry angle	Chamber interpolation reading/nC	Relative thickness/cm
90°	99.658 4	0°	0°	90°	99.658	0.372 122
103°	96.274 2	13°	10°	100°	97.055	7.786 607
113°	96.934 1	23°	20°	110°	96.736	8.695 115
123°	97.594 1	33°	30°	120°	97.396	6.815 342
128°	96.569 0	38°	40°	130°	96.642	8.963 089
133°	96.751 6	43°	50°	140°	96.563	9.187 060
138°	96.470 7	48°	60°	150°	97.000	7.944 540
148°	96.934 1	58°	70°	160°	97.327	7.0113 25
163°	97.425 6	73°	80°	170°	97.496	6.531 375
170°	97.495 8	80°	90°	180°	97.468	6.611 363
180°	97.467 7	90°	100°	190°	97.496	6.531 375
190°	97.495 8	100°	110°	200°	97.327	7.011 325
197°	97.425 6	107°	120°	210°	97.000	7.944 540
212°	96.934 1	122°	130°	220°	96.563	9.187 060
222°	96.470 7	132°	140°	230°	96.642	8.963 089
227°	96.751 6	137°	150°	240°	97.792	5.687 469
232°	96.569 0	142°	160°	250°	98.452	3.807 696
237°	97.594 1	147°	170°	260°	99.112	1.927 923
247°	98.254 1	157°	180°	270°	99.772	0.048 149
257°	98.914 1	167°	-	-	-	-
267°	99.5741	177°	-	-	-	-
270°	100.2340	180°	-	-	-	-

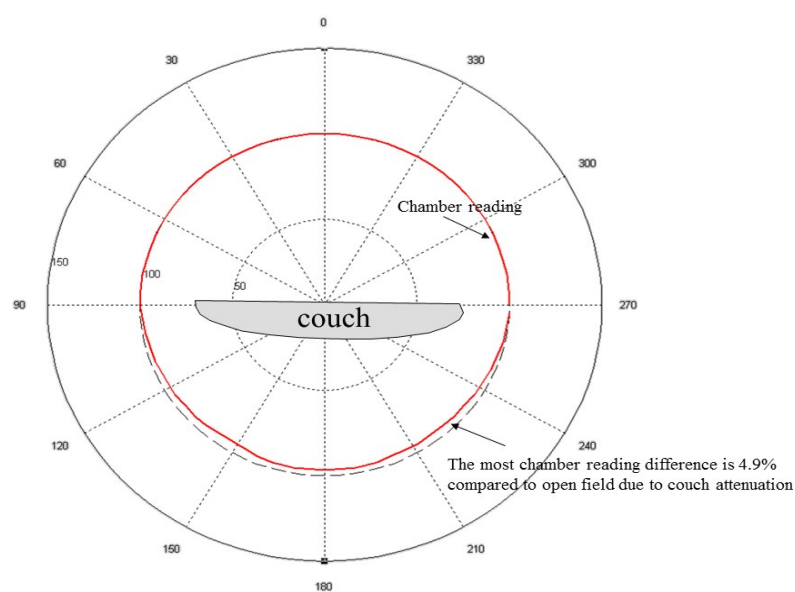


图8 碳纤床在不同机头角度时的射束衰减量

Fig.8 Attenuation at different gantry angles in carbon fiber treatment couch

(图9), 而我们根据这读值的变化, 最终目的是要得知机头在不同角度下, 射束穿越碳纤床后期射束的强度衰减变化, 进而修正治疗病患 MU。我们发现机头角度越大 (即机头越往地面靠近), 电离室所测量到碳纤床的衰减量并不会随着增大, 这是因为直线加速器机头的角度越大, 射束穿越碳纤床厚度越趋近床的垂直厚度, 此现象在建立修正衰减量的数学模式时一定要小心, 否则会造成治疗病患的 MU 的极大误差。

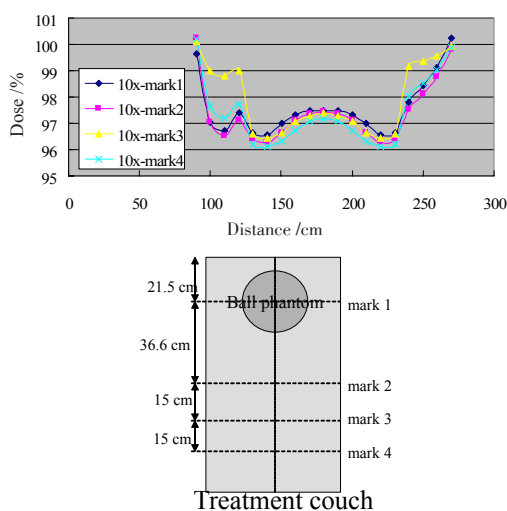


图9 射束经过碳纤床固定凹槽的衰减量

Fig.9 Attenuation caused by fixed notch of carbon fiber treatment couch

3 讨论

一般的情况, 病人在取得计算机断层影像后, 物理师做计算机治疗计划时会把计算机断层影像的床给排除掉, 因为此床跟治疗室的床形状和结构都不相同, 所以往往计算机治疗计划所计算出来的 MU 不含碳纤床的衰减; 即便病人的身体内部有不均质成分存在, 但计算机治疗计划所计算出来的 MU 已包含病人身体内不均质的修正。本研究的最终的目的是要求得机头角度对衰减量的变化进而修正病患的治疗监控单位, 而角度越倾斜, 所经过碳纤床会越厚, 但不代表衰减量会随着增大, 表1所示的床和加速器机头的交角越大, 实际的衰减并没有随之增加, 这是因为交角越大, 虽穿越厚度越多, 但辐射衰减量并没同步增加所致, 此现象在建立修正衰减量的数学模式时一定要小心, 否则会造成病患治疗监控单位的极大误差。

【参考文献】

- [1] WERTZ H. Dosimetric consequences of a translational isocenter correction based on image guidance for intensity modulated radiotherapy (IMRT) of the prostate[J]. Phys Med Biol, 2007, 52(18): 5655-5665.
- [2] JIN J Y. Use of the brain LAB Exac Trac X-ray 6D system in image-guided radiotherapy[J]. Med Dosim, 2008, 33(2): 124-134.
- [3] TENN S E, SORBERG T D, MEDIN P M. Targeting accuracy of an image guided gating system for stereotactic body radiotherapy [J]. Phys Med Biol, 2005, 50(23): 5443-5462.
- [4] MOOV L G. The use of carbon fibres in radiotherapy[J]. Radiother Oncol, 1991, 22(22): 140-142.
- [5] MEARA S J, LANGMACK K A. An investigation into the use of carbon fibre for megavoltage radiotherapy applications [J]. Phys Med Biol, 1998, 43(5): 1359-1366.
- [6] DE OST B. The effect of carbon fibre inserts on the build-up and attenuation of high energy photon beams [J]. Radiother Oncol, 1997, 45(3): 275-277.
- [7] POPPE B. The effect of a carbon-fiber couch on the depth-dose curves and transmission properties for mega-voltage photon beams [J]. Strahlenther Onkol, 2007, 183(1): 43-48.
- [8] MELLENBERG D E. Dose behind various immobilization and beam-modifying devices [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1995, 32(4): 1193-1197.
- [9] MUTHUSWAMY M S. A method of beam-couch intersection detection [J]. Med Phys, 1999, 26(2): 229-235.
- [10] VIEIRA S C. Two-dimensional measurement of photon beam attenuation by the treatment couch and immobilization devices using an electric portal imaging device [J]. Med Phys, 2003, 30(11): 2981-2987.
- [11] 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.
- [12] HIGGINS D M, WHITEHURST P, MORGAN A M. The effect of carbon fiber couch inserts on surface dose with beam size variation [J]. Med Dosim, 2001, 26(3): 251-254.
- [13] MYINT W, NIEDBALA M, WILKINS D, et al. Investigating treatment dose error due to beam attenuation by carbon fiber table top [J]. J Appl Clin Med Phys, 2006, 7(7): 21-27.
- [14] NJEH C F, RAINES T W, SAUNDERS M W. Determination of the photon beam attenuation by the brain LAB imaging couch: angular and field size dependence [J]. J Appl Clin Med Phys, 2009, 10(3): 16-26.
- [15] FONTENLA D P. Effects of beam modifiers and immobilization devices on the dose in the build-up region [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1994, 30(1): 211-219.
- [16] HAYASHI N, OBATA Y, UCHIYAMA Y, et al. Assessment of spatial uncertainties in the radiotherapy process with the novalis system [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 75(2): 549-557.
- [17] BUTSON M J, CHEUNG T, YU P K. Megavoltage X-ray skin dose variation with an angle using grid carbon fibre couch tops [J]. Phys Med Biol, 2007, 52(20): 485-492.
- [18] CARL J, VESTERGAARD A. Skin damage probabilities using fixation materials in high-energy photon beams [J]. Radiother Oncol, 2000, 55(2): 191-198.

(编辑: 薛泽玲)