

碳素纤维床对宫颈癌容积弧形旋转调强放射治疗计划的剂量影响

孔伟, 叶红强, 何剑莉, 夏新舍, 赵婷, 丁伟, 尚钧
宁夏医科大学总医院肿瘤医院放疗科, 宁夏 银川 750004

【摘要】目的:研究碳素纤维床对宫颈癌容积弧形旋转调强放射治疗(VMAT)计划的剂量影响及其修正方法。**方法:**使用CT电子密度模体校准大孔径CT的CT值,在Eclipse 10.0计划系统中建立相对电子密度-CT值曲线。将医用电子直线加速器上的碳素纤维床在CT下进行扫描,图像传输至Eclipse计划系统并测量碳素纤维床的CT值。以此CT值为基础在计划系统中建立碳素纤维床的模型,测量碳素纤维床在计划系统中与实际情况下对剂量的衰减系数并进行比较,两者测量条件保持一致。选取宫颈癌 I A、II B 期共5例患者,使用Eclipse计划系统设计无碳素纤维床计划。之后在患者定位图像上分别建立Thin、Medium和Thick这3种厚度的碳素纤维床模型,将无碳素纤维床治疗计划直接移植到3种不同厚度碳素纤维床图像上,治疗中心不变,机器条数不变,进行剂量计算。最终比较有和无碳素纤维床之间、3种不同厚度碳素纤维床之间计划靶区(PTV)与危及器官的剂量差异。**结果:**Thin和Thick厚度碳素纤维床对实际测量和计划系统计算的剂量衰减系数相差均不超过 $\pm 1\%$;不论是PTV还是危及器官,无碳素纤维床与3种不同厚度碳素纤维床的剂量参数结果比较均具有统计学意义($P < 0.05$);不同厚度碳素纤维床对PTV和危及器官剂量评价的准确性有一定影响。**结论:**加速器碳素纤维床对宫颈癌VMAT计划的剂量分布有一定影响;在进行VMAT治疗时,应准确建立碳素纤维床的模型参与剂量运算;并且根据靶区与碳素纤维床之间的位置关系选择添加相应厚度的碳素纤维床模型。

【关键词】宫颈癌;碳素纤维床;容积弧形旋转调强放射治疗;计划系统;衰减系数

【中图分类号】R815.6

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)01-0037-06

Dosimetric effects of carbon fiber couch on volumetric modulated arc therapy of cervical cancer

KONG Wei, YE Hongqiang, HE Jianli, XIA Xinshe, ZHAO Ting, DING Wei, SHANG Jun

Department of Radiotherapy, General Hospital of Ningxia Medical University, Yinchuan 750004, China

Abstract: Objective To study the dosimetric effects of carbon fiber couch on the volumetric modulated arc therapy (VMAT) of cervical cancer and its correction methods. **Methods** Computed tomography (CT) electron density phantom was used to calibrate the CT value of large aperture CT, and the relative electron density-CT value curve was established with Eclipse 10.0 treatment planning system (TPS). After the carbon fiber couch on the medical electron linear accelerator was scanned with CT, the obtained CT image was transmitted to the Eclipse TPS and the CT value of the carbon fiber couch was measured. Base on the CT value, a carbon fiber couch model was established in the TPS. Under the same measurement conditions, the attenuation coefficients of the carbon fiber couch in the TPS and in the actual condition were measured and analysis. A total of 5 patients with stage IA or IIB cervical cancer were selected, and plans with no carbon fiber couch were designed using Eclipse TPS. Then, 3 models of carbon fiber couch of different thicknesses (Thin, Med and Thick) were established on the positioning image, and the plan with no couch was directly transplanted to the images of 3 different couches. Dose calculation was performed based on that the treatment center and machine unit remained unchanged. Finally, the dosimetric differences in planning target volume (PTV) and organs-at-risk (OAR) were compared between plan with and without carbon fiber couch and among plans with 3 different couches. **Results** For Thin and Thick carbon fiber couches, the deviation of attenuation coefficient between the actual measurement and TPS calculated results was not more than $\pm 1\%$. There were statistical differences in the dose indexes of PTV and OAR between plans with no couch and those with couch ($P < 0.05$). However, the thickness of carbon fiber couch has a certain effect on the accuracy of PTV and OAR dose evaluations. **Conclusion** Carbon fiber couch affects the dose distribution of VMAT plan for cervical cancer. Therefore, an appropriate model of carbon fiber couch should be established and participated in the dose

【收稿日期】2018-08-09

【基金项目】宁夏医科大学校级科研项目(XM2016113)

【作者简介】孔伟,工程师,主要研究方向:肿瘤放射物理,E-mail: kongwei1220@126.com

【通信作者】尚钧,正高职高级工程师,主要研究方向:肿瘤放射物理,E-mail: shangjun138118@163.com

calculation when VMAT is carried out. Moreover, the thickness of carbon fiber couch model should be determined according to the position relationship between PTV and carbon fiber couch.

Keywords: cervical cancer; carbon fiber couch; volumetric modulated arc therapy; planning system; attenuation coefficient

前言

碳素纤维床是放射治疗执行过程中不可缺少的辅助固定设施^[1]。由于X射线的特性,在穿过介质时会与介质发生相互作用,将能量传递给介质。容积弧形旋转调强放射治疗(VMAT)过程中,一个360°的射野在旋转过程中接近一半的角度在照射时射线会穿过碳素纤维床,因此明确碳素纤维床对VMAT剂量的影响及如何修正其影响是极有意义的。美国医学物理师协会(AAPM)亦就治疗床对剂量的影响做了报告,即176号报告^[2]。文中收录已发表的关于治疗床对剂量影响的各类文章,并对设备销售商和物理师提出建议,在放射治疗过程中应准确考虑治疗床对剂量的影响,同时国际辐射单位与测量委员会(ICRU)83号报告^[3]建议肿瘤靶区剂量的精准性应小于±5%。因此本课题在放射治疗计划系统中使用CT值^[4]来建立碳素纤维床的模型^[5],分析碳素纤维床对VMAT的剂量影响,为修正碳素纤维床对放疗剂量的影响提供方法。

1 材料与方法

1.1 校准CT值

使用CT电子密度模体(CIRS, MODEL 062M)校准大孔径CT(西门子, Sensation Open)的CT值,之后在Eclipse 10.0计划系统中建立相对电子密度-CT值曲线。

1.2 确定碳素纤维床的CT值并进行验证

将医用电子直线加速器(Varian, Clinac IX)上的碳素纤维床拆下,在CT下进行扫描,将图像传输至Eclipse计划系统,在Eclipse计划系统中测量碳素纤维床的CT值,以此CT值为基础在计划系统中建立碳素纤维床的模型。将TW 30013电离室插入RW3固体水中,其中电离室中心距上、下表面各10 cm,将此模体在CT下进行扫描,并将图像传输到计划系统中,以此图像为基础分别添加碳素纤维床Thin、Thick两种厚度的模型;射野大小为10 cm×10 cm,输出剂量为100 MU,照射中心为模体中心,每隔10°共进行13个角度及其相对穿角度射野的剂量测量,将相对穿角度两个射野的剂量进行比较,确定衰减系数 D_{TPS} ;按以上条件在加速器上实际测量,确定衰减系数 D_{True} ,比较 D_{TPS} 和 D_{True} ,计算差值 $D_{True}-D_{TPS}$ 。

1.3 临床病例选取与计划设计

选取宫颈癌ⅠA、ⅡB期共5例患者,勾画计划靶区

(PTV)与危及器官(OAR),使用Eclipse计划系统设计无碳素纤维床计划,处方剂量50 Gy,单次剂量2 Gy。之后在患者定位图像上分别建立Thin、Medium和Thick这3种厚度的碳素纤维床模型,将无床治疗计划直接移植到3种不同厚度治疗床图像上,治疗中心不变,机器条数不变,进行剂量计算。

1.4 剂量评估

无治疗床和3种不同厚度治疗床的VMAT计划的比较基于DVH和评估参数。采用近似最大剂量($D_{2\%}$)、近似最小剂量($D_{98\%}$)和中位剂量($D_{50\%}$)来评估靶区剂量分布。使用适形度指数(Conformity Index, CI)和均匀性指数(Homogeneity Index, HI)评估靶区的适形性和均匀性。其中, $CI=TV_{RI}^2/(TV \times V_{RI})$, TV_{RI} 为处方剂量线包绕的靶区体积,TV为靶区体积, V_{RI} 为处方剂量线包绕的体积,CI值越接近于1,表示靶区剂量分布越适形; $HI=(D_{2\%}-D_{98\%})/D_{50\%}$, HI值越接近于0,表示靶区剂量分布越均匀。采用 $D_{2\%}$ 、 V_{30} 、 V_{40} 和 V_{40a} 评估小肠的受照剂量,采用 $D_{2\%}$ 、 V_{40} 和 V_{43} 评估直肠的受照剂量,采用 V_{50} 评估膀胱的受照剂量,采用 $D_{2\%}$ 评估股骨头的受照剂量。其中, $D_{X\%}$ 表示X%体积受到的照射剂量, V_X 表示接受X剂量照射的相对体积, V_{Xa} 表示接受X剂量照射的绝对体积。

1.5 统计学方法

采用SPSS 18.0统计软件进行配对t检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 碳素纤维床对剂量的衰减系数

Thin和Thick厚度碳素纤维床对剂量的实际测量和计划系统计算的衰减系数详见表1和表2,以及图1和图2,两者相差均不超过±1%。

2.2 PTV的剂量比较

PTV的 $D_{2\%}$ 、 $D_{50\%}$ 、 $D_{98\%}$ 、HI和CI无治疗床和3种不同厚度治疗床之间比较,差异均具有统计学意义;3种不同厚度治疗床之间进行比较, $D_{2\%}$ 、 $D_{50\%}$ 和CI比较结果差异具有统计学意义,其中HI的Thin vs Thick差异具有统计学意义,其它结果比较均不具有统计学意义,详细结果见表3和表4。

2.3 小肠的剂量比较

$D_{2\%}$ 、 V_{30} 、 V_{40} 和 V_{45a} 无治疗床和3种不同厚度治疗床之间比较,差异均具有统计学意义;3种不同厚度

表 1 Thin 厚度碳素纤维床对剂量的衰减系数(%)
Tab.1 Attenuation coefficients of Thin carbon fiber couch for dose (%)

Parameter	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°
D _{True}	97.11	96.60	97.55	98.08	98.40	98.54	98.43	98.54	98.27	97.83	97.29	96.55	96.76
D _{TPS}	97.83	96.58	96.91	97.47	97.43	97.97	97.61	97.60	97.30	97.20	96.89	96.71	97.66
Difference	-0.72	0.02	0.64	0.51	0.97	0.57	0.82	0.94	0.97	0.63	0.40	-0.16	-0.90

表 2 Thick 厚度治疗床对剂量的衰减系数(%)
Tab.2 Attenuation coefficients of Thick carbon fiber couch for dose (%)

Parameter	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°
D _{True}	96.63	95.93	96.59	97.05	97.65	97.60	98.00	97.82	97.53	96.88	97.21	95.79	96.59
D _{TPS}	97.53	96.42	96.34	96.80	97.04	97.72	97.48	97.35	96.79	96.67	96.50	96.40	97.56
Difference	-0.90	-0.49	0.25	0.25	0.61	-0.12	0.52	0.47	0.74	0.21	0.71	-0.61	-0.97

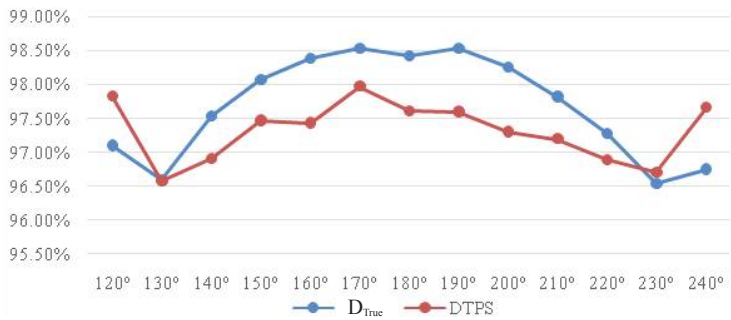


图 1 Thin 厚度碳素纤维床对剂量的衰减系数
Fig.1 Attenuation coefficients of Thin carbon fiber couch for dose

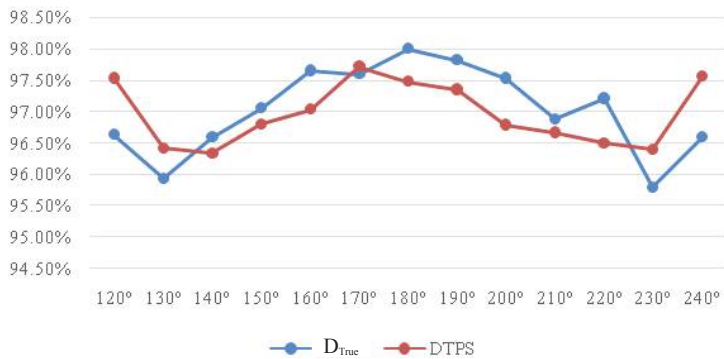


图 2 Thick 厚度碳素纤维床对剂量的衰减系数
Fig.2 Attenuation coefficients of Thick carbon fiber couch for dose

表 3 PTV 的剂量参数 ($\bar{x} \pm s$)
Tab.3 Dose parameters of planning target volume ($Mean \pm SD$)

Parameter	No couch	Thin couch	Medium couch	Thick couch
D _{2%} /Gy	53.90±0.37	53.33±0.35	53.31±0.35	53.28±0.35
D _{50%} /Gy	52.35±0.25	51.78±0.27	51.75±0.26	51.71±0.26
D _{98%} /Gy	49.65±0.23	49.04±0.22	49.00±0.25	48.97±0.23
HI	0.081±0.011	0.083±0.010	0.083±0.011	0.083±0.011
CI	0.873±0.021	0.843±0.017	0.839±0.019	0.835±0.020

HI: Homogeneity index; CI: Conformity index

表4 PTV的剂量参数比较

Tab.4 Dose parameter comparison of planning target volume

Parameter	P value					
	No vs Thin	No vs Medium	No vs Thick	Thin vs Medium	Thin vs Thick	Medium vs Thick
D _{2%}	<0.001	<0.001	<0.001	0.040	0.001	0.005
D _{50%}	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.002
D _{98%}	<0.001	<0.001	<0.001	0.068	0.006	0.162
HI	0.003	<0.001	0.001	0.141	0.156	0.772
CI	0.027	0.024	0.024	0.012	0.014	0.020

治疗床之间比较,其中D_{2%}的Thin vs Medium和Thin vs Thick以及V_{45a}的Thin vs Thick差异具有统计学意义,其它结果比较均不具有统计学意义,详见表5和表6。

义,其它结果比较均不具有统计学意义,详见表5和表6。

表5 小肠的剂量参数($\bar{x} \pm s$)

Tab.5 Dose parameters of small intestine (Mean±SD)

Parameter	No couch	Thin couch	Medium couch	Thick couch
D _{2%} /Gy	51.38±0.57	50.94±0.58	50.90±0.59	50.89±0.58
V ₃₀ /%	32.4±7.0	31.9±7.0	31.8±6.9	31.8±6.9
V ₄₀ /%	15.6±4.4	15.3±4.4	15.2±4.4	15.2±4.4
V _{45a} /cm ³	156.6±45.8	151.5±44.6	151.2±44.6	150.5±44.3

表6 小肠的剂量参数比较

Tab.6 Dose parameter comparison of small intestine

Parameter	P value					
	No vs Thin	No vs Medium	No vs Thick	Thin vs Medium	Thin vs Thick	Medium vs Thick
D _{2%}	0.001	<0.001	<0.001	0.011	0.001	0.184
V ₃₀	0.002	0.007	0.006	0.541	0.305	0.374
V ₄₀	0.001	0.001	<0.001	0.374	0.070	0.178
V _{45a}	0.004	0.004	0.004	0.246	0.007	0.061

2.4 直肠的剂量比较

除V₄₃的Medium vs Thick差异不具有统计学意义,其它结果比较均具有统计学意义,详见表7和表8。

2.5 膀胱的剂量比较

除V₅₀的Medium vs Thick差异不具有统计学意义,

V₅₀的其它比较均具有统计学意义,详见表9和表10。

2.6 股骨头的剂量比较

左、右侧股骨头的D_{2%}在无治疗床与有治疗床、3种不同厚度治疗床之间的比较均具有统计学意义,详见表11和表12。

3 结论

加速器碳素纤维床是放射治疗不可缺少的辅助固定设施。目前市场上多数放射治疗计划系统并不能简单地建立碳素纤维床的模型参与剂量计算^[6-7],Eclipse计划系统中可以建立几种特定的治疗床模型。本研究使用的是Exact IGRT Couch Top,有3种厚度分别为Thin、Medium和Thick,Meddium厚度为Thin和Thick厚度的

表7 直肠的剂量参数($\bar{x} \pm s$)

Tab.7 Dose parameters of rectum (Mean±SD)

Parameter	No couch	Thin couch	Medium couch	Thick couch
D _{2%} /Gy	52.98±1.30	52.23±1.20	52.20±1.19	52.16±1.19
V ₄₀ /%	60.4±5.9	58.4±5.4	58.2±5.3	58.0±5.3
V ₄₃ /%	50.0±3.9	48.1±4.0	48.0±4.0	47.9±3.9

表 8 直肠的剂量参数比较
Tab.8 Dose parameter comparison of rectum

Parameter	P value					
	No vs Thin	No vs Medium	No vs Thick	Thin vs Medium	Thin vs Thick	Medium vs Thick
D _{2%}	<0.001	<0.001	<0.001	0.049	<0.001	0.025
V ₄₀	0.004	0.004	0.002	0.033	0.004	0.016
V ₄₃	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	0.004	0.070

表 9 膀胱的剂量参数($\bar{x} \pm s$)
Tab.9 Dose parameters of bladder (*Mean±SD*)

Parameter	No Couch	Thin Couch	Medium Couch	Thick couch
V ₅₀ /%	21.2±5.8	19.2±6.4	19.0±6.3	18.9±6.3

过渡阶段,从 Thin 开始厚度持续增加直到达到 Thick 厚度。Exact IGRT Couch Top 模型的建立主要依据 Panel Surface 和 Panel Interior 的 CT 值,本研究是将加速器治疗床拆下移至定位 CT 下进行扫描,测量 Panel Surface

表 10 膀胱的剂量参数比较
Tab.10 Dose parameter comparison of bladder

Parameter	P value					
	No vs Thin	No vs Med	No vs Thick	Thin vs Medium	Thin vs Thick	Medium vs Thick
V ₅₀	0.010	0.006	0.004	0.003	0.013	0.070

表 11 股骨头的剂量参数($\bar{x} \pm s$)
Tab.11 Dose parameters of femoral heads (*Mean±SD*)

Organs-at-risk	Parameter	No couch	Thin couch	Medium couch	Thick couch
Femoral head-L	D _{2%} /Gy	45.27±2.22	44.92±2.18	44.89±2.18	44.86±2.19
Femoral head-R	D _{2%} /Gy	44.67±3.53	44.37±3.45	44.35±3.45	44.31±3.45

表 12 股骨头的剂量参数
Tab.12 Dose parameter comparison of femoral heads

Organs-at-risk	Parameter	P value					
		No vs Thin	No vs Medium	No vs Thick	Thin vs Medium	Thin vs Thick	Medium vs Thick
Femoral head-L	D _{2%}	<0.001	<0.001	<0.001	0.011	0.015	0.046
Femoral head-R	D _{2%}	0.002	0.002	0.001	0.022	0.006	0.003

和 Panel Interior 的 CT 值,以此值在计划系统中建立治疗床的模型,并对此 CT 值进行验证,每隔 10°验证 13 个角度的计划系统模拟和实际测量的衰减系数,两者的偏差均小于±1%;衰减系数随角度变化而有所不同,与 McCormack 等^[8]研究结果一致,最终确定碳素纤维床的 CT 值,Panel Surface:-650 HU、Panel Interior:-950 HU。Vanetti 等^[9]使用 Panel Surface:-700 HU、Panel Interior:-960 HU 作为有效的 CT 值,并计算不同厚度治疗床机架角在 180°时实际测量和计划系统计算的治疗床对剂量的衰减系数。其中,Thin 厚度实际测量和计划系统

计算的衰减系数分别为 97.7%和 97.9%,Thick 厚度实际测量和计划系统计算的衰减系数分别为 96.9%和 97.7%。本研究也计算了不同厚度治疗床机架角在 180°时实际测量和计划系统计算的治疗床对剂量的衰减系数,Thin 厚度实际测量和计划系统计算的衰减系数分别为 98.43%和 97.61%,Thick 厚度实际测量和计划系统计算的衰减系数分别为 98.00%和 97.35%。4 种实际测量和计划系统计算的衰减系数偏差均小于±1%。但本研究在项目进行之初,对所使用的 CT 进行 CT 值的校准,对碳素纤维床的 CT 值也进行了实际扫描的测量。

关于加速器碳素纤维床对放射治疗剂量的影响,从单个射野^[10]、调强放射治疗计划到VMAT计划,从多个计划系统包括Pinnacle计划系统^[11]、XiO计划系统^[12]、RayStation计划系统^[13],从肿瘤不同位置包括头颈部肿瘤^[7]、胸部肿瘤^[14],国内外学者进行了大量的研究,均提出应修正碳素纤维床对放射治疗剂量的影响。甘家应等^[15]对ELEKTA碳素纤维床对剂量的影响也进行了研究。本研究通过对宫颈癌患者的放射治疗计划进行研究,分析Varian加速器碳素纤维床对Eclipse计划系统宫颈癌患者VMAT计划的剂量影响。结果显示无论是PTV还是OAR,无治疗床与3种不同厚度治疗床的结果比较均具有统计学意义;通过结果显示,碳素纤维床对PTV的 $D_{50\%}$ 有着1.1%~1.2%的剂量衰减。ICRU第83号报告指出靶区剂量的精确性应好于 $\pm 5\%$,否则就有可能使肿瘤失控或增加放射并发症,但 $\pm 5\%$ 的精确性也是理想和现实的折中选择。实际放射治疗过程中,应尽可能切断各个误差的来源,也意味着在设计患者放射治疗计划时,考虑碳素纤维床对剂量的影响是非常有必要的。本研究也将3种不同厚度治疗床的数据进行比较,对于PTV,治疗床的厚度对于 $D_{2\%}$ 、 $D_{50\%}$ 和CI有明显的影响关系,对 $D_{98\%}$ 影响较小,对HI无影响。对于OAR,治疗床的厚度也会对受照剂量准确性的评价造成影响。Mihaylov等^[16]研究表明碳素纤维床对皮肤剂量也有所影响,与射野大小存在一定的关系^[17]。因此,在应用于其它部位病变的放射治疗时,建议根据靶区与治疗床之间的位置关系选择添加相应厚度的治疗床模型,例如:仅是头部靶区可建立Thin厚度模型;头颈部可建立Medium厚度模型;胸部及胸部以下可建立Thick厚度模型。同时,碳素纤维床对剂量验证的结果也会造成影响。早期由于验证设备硬件限制的原因,不能在射野实际角度进行验证,通常情况是将射野角度归零进行验证。目前部分设备可在实际角度进行验证,但由于这种原因带来的习惯性因素多数情况还是将射野角度归零进行验证。戴越等^[18]和孔伟等^[19]使用MatriXX二维探测矩阵和Delta4三维剂量验证系统进行射野角度归零和实际角度的验证结果比较,均显示射野角度归零相对于实际角度验证提高了 γ 通过率。

综上所述,加速器碳素纤维床对宫颈癌VMAT计划的剂量分布有一定的影响。在进行VMAT治疗时,应准确建立碳素纤维床的模型参与剂量运算。床的厚度会对剂量分布有一定的影响,可根据靶区与治疗床之间的位置关系选择添加相应厚度的治疗床模型。

【参考文献】

- [1] MOOY L G. The use of carbon fiber in radiotherapy[J]. Radiother Oncol, 1991, 22(2): 140-142.
- [2] 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.
- [3] International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). Report 83: prescribing, recording, and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT) [J]. J ICRU, 2010, 10.
- [4] SCHNEIDER U, PEDRONI E, LOMAX A. The calibration of CT hounsfield units for radiotherapy treatment planning[J]. Phys Med Biol, 1996, 41(1): 111-124.
- [5] WAGNER D, VORWERK H. Treatment modeling in the treatment planning system eclipse[J]. J Cancer Sci Ther, 2011, 3(1): 7-12.
- [6] MIHAYLOV I B, CORRY P, YAN Y, et al. Modeling of carbon fiber couch attenuation properties with a commercial treatment of planning system[J]. Med Phys, 2008, 35(11): 4982-4988.
- [7] SPEZI E, ANGELINIA A L, ROMANI F, et al. Evaluating the influence of the Siemens IGRT carbon fiber tabletop in head and neck IMRT[J]. Radiother Oncol, 2008, 89(1): 114-122.
- [8] 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.
- [9] VANETTI E, NICOLINI G, GLIVIO A, et al. The impact of treatment couch modeling on RapidArc[J]. Phys Med Biol, 2009, 54(9): 157-166.
- [10] 沙翔燕, 王运来, 廖雄飞, 等. 全碳素纤维床对吸收剂量的影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2008, 17(3): 223-225.
- [11] 付庆国, 朱小东, 杨海明, 等. 加速器碳素纤维床对三维治疗计划剂量分布的影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23(6): 505-509.
- [12] 郭红博, 李兵兵, 费振乐, 等. 在XiO计划系统中构建虚拟治疗床的必要性评估[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2018, 38(1): 21-25.
- [13] SAVINI A, BARTOLUCCI F, FIDANZA C, et al. Modeling of couch transmission in the RayStation treatment planning system[J]. Phys Med, 2016, 32(5): 735-740.
- [14] TOMINAQA H, ARAKI F, SHIMOHASHI Y, et al. Dose impact of a carbon fiber couch for stereotactic radiation therapy of lung tumors [J]. Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi, 2013, 69(4): 400-406.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] HIGGINS D M, WHITEHURST P, MORGAN A M. The effect of carbon fiber couch inserts on surface dose with beam size variations [J]. Med Dosim, 2001, 26(3): 251-254.
- [18] 戴越, 胡春红, 李小东, 等. MatriXX 两种调强放疗剂量验证方法的比较分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2013, 22(4): 312-314.
- [19] 孔伟, 丁莉, 叶红强, 等. 调强放疗计划中射野角度归零与实际角度的剂量验证比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2015, 32(6): 892-896.
- [20] KONG W, DING L, YE H Q, et al. Dosimetric verification of practical beam angle and beam angle returning to zero in intensity-modulated radiotherapy plan[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2015, 32(6): 892-896.

(编辑:陈丽霞)