

Monaco TPS 中两种治疗床模型的比较

张若辉 迟子锋 白文文 樊晓妹 李润霄 刘丹 韩春

050011 石家庄,河北医科大学第四医院放疗科

通信作者:迟子锋,Email:chizf216@126.com

DOI:10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2016.06.000

【摘要】 目的 在 Monaco TPS 中分别采用均匀电子密度(模型 A ED=0.25)和两层非均匀电子密度(模型 B FD=0.5 和 foam core=0.1)构建 iBEAM[®] evo Extension415 治疗床模型,比较哪种模型可更好量化治疗床对放疗剂量影响。**方法** 将模体放置在治疗床中间,电离室放置在模体等中心,在 10 cm×10 cm 射野下采用 6 MV 光子线机架从 180.0°~122.8°每间隔 10°测量其衰减系数。以实际测量衰减值为参考值,在 Monaco TPS 中通过调整相对电子密度值确定治疗床模型值。对模型 A 和模型 B 分别通过最小计算网格(2 mm)和最大计算网格(5 mm)模拟结果评估治疗床模型构建的精确性。**结果** 不引入治疗床模型时测量和计算的剂量偏差最大可达 4.01%,采用 2、5 mm 计算网格进行计算时,测量和计算平均绝对剂量差由无模型时的 2.80%、2.87% 分别减少至模型 A 的 0.61%、0.84% 和模型 B 的 0.71%、0.92%。**结论** 在 Monaco TPS 中采用均匀电子密度治疗床模型,对不同机架角度不同计算网格下计算值和测量值有更好一致性,在计划设计时可以精确构建治疗床对剂量的衰减。

【关键词】 碳素纤维床; 治疗床模型; Monaco 治疗计划系统; 剂量衰减

基金项目:河北省引进留学人员资助项目(C2015005006)

Comparison of two treatment couch model in Monaco treatment planning system Zhang Ruohui, Chi Zifeng, Bai Wenwen, Fan Xiaomei, Li Runxiao, Liu Dan, Han Chun

Department of Radiation Oncology, Fourth Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050011, China

【Abstract】 Objective To construct the uniform electron density couch model (model A ED = 0.25) and two components non uniform electron density couch model (model B FD = 0.5 and foam core = 0.1) in the Monaco treatment planning system for the iBEAM[®] evo Extension 415, and to compare which model can better quantify the treatment couch influence on radiation dose. **Methods** Phantom was positioned in the center of the couch, the attenuation of the couch was evaluated with 6 MV for a field size of 10 cm×10 cm. Dose measurements of couch attenuation were performed at gantry angles from 180.0° to 122.8°, using a 0.125cc semiflex ionization chamber (PTW), isocentrically placed in the center of a homogeneous cylindrical phantom. Each experimental setup was first measured on the linear accelerator and then reproduced in the TPS. By adjusting the relative-to water electron density (ED) values of the couch, the measured attenuation was replicated. The model accuracies of the model A and model B were evaluated by comparing the measured and calculated results at the minimum computational grid (2 mm) and maximum computing grid (5 mm), respectively. **Results** The maximum measured and calculated percentage deviation for the central phantom position was 4.01%. The couch model was included in the TPS with a uniform ED of 0.25 or a 2 component model with a fiber ED=0.5 and foam core ED=0.1. For model A and B under 2 and 5 mm voxel grid size, the mean absorbed dose with couch was reduced to 0.61%, 0.84%, 0.71% and 0.92% from 2.8% without couch. **Conclusions** Model A has a good agreement between measured and calculated dose distributions for all different voxel grid sizes and gantry angles. It can accurately describes the dose perturbations due to the presence of the couch and should therefore be used during treatment planning.

【Key words】 Carbon fiber treatment couch; Treatment couch model; Monaco treatment planning system; Dose attenuation

Fund program: Project Funded by the Introduction of Overseas Students of Hebei Province (C2015005006)

碳纤维治疗床由于坚固轻便且对射线衰减少而被广泛用于患者放疗^[1-3]。高剂量照射的肿瘤通常

紧邻重要 OAR, 为保证照射剂量准确, 正确评估治疗床吸收剂量显得更为重要。采用 IMRT 技术增加

了照射野数目,所以治疗床对剂量吸收作用显得更加明显,尤其是 VMAT 技术提出了更高要求^[4]。笔者提出在 Monaco TPS 中构建单一均匀治疗床模型和两层非均匀治疗床模型,并分析比较哪种治疗床模型可以更好量化治疗床在不同入射角度对放疗剂量的影响,进而提高放疗精度。

材料与amp;方法

1. 测量设备:瑞典医科达 Synergy 2349 医用电子直线加速器,射线为 6 MV 光子线,治疗床组件延长板 iBEAM[®] evo Extension 415。剂量仪采用为德国 PTW 公司的 UNIDOS E 型剂量仪。电离室采用 0.125 cm³ 敏感体积的高空间分辨率指形电离室 31010(PTW, Freiburg, 德国)进行绝对剂量等中心测量,考虑其敏感体积为圆形所以在不同角度测量时电离室角度响应可忽略。测量模体采用 IMRT 头颈模体模型 T40015(德国 PTW Freiburg),其中电离室中心点位于模体几何中心,电离室中心点距上下表面均为 10 cm,直接测量治疗床对放疗剂量影响。在 Monaco Version 3.3TPS 中对 iBEAM[®] evo Extension 415 治疗床延长板进行模拟构建。

2. 剂量测量模式:头颈部肿瘤通常采用 A、B、C、D、E、F 枕进行头模体位固定。故该研究将测量模体放在两侧圆形枕槽中,距离治疗床表面 7 cm。将模体置于治疗床的中间进行测量。电离室等中心放于均匀圆柱形测量模体中使其位于加速器机械等中心,保证机架在不同射野角度照射过程中源到电离室距离恒定。以机架角度 0°时没有床板作用的剂量为参考剂量。同时测量机架角度在 180°~122.8°中以 10°为间隔进行测量床板对剂量的吸收作用。不同机架角度的床板衰减系数(δ)采用公式(1)进行计算。

$$\delta = \frac{D_{nc} - D_{pc}}{D} \times 100\% \quad (1)$$

D_{nc} 代表机架在 0°时没有床板衰减所测量的值, D_{pc} 代表射野穿射治疗床所测得剂量值。

3. 在 Monaco TPS 中构建治疗床模型:将均匀圆柱模体 T40015 放置于 iBEAM[®] evo Extension 415 治疗床的中心进行 CT 扫描,同时将 CT 图像序列导入 Monaco TPS,并勾画治疗床内层炭泡沫区域和外层碳纤维层面并将其保存为治疗床模型(图 1)。在 Monaco 计划系统中分别采用推荐的最小计算体积元计算网格(2 mm)和最大体积元计算网格大小(5 mm)进行计算,优化时最小方差要求 $\leq 0.5\%$,去验

证治疗床模型在不同计算网格时的计算精度。通过加速器实际测量值与 Monaco TPS 计算的相对误差(ε)评估模拟治疗床模型的精度,计算公式见(2)。

$$\varepsilon = \frac{D_{cal} - D_{meas}}{D} \times 100\% \quad (2)$$

D_{cal} 代表 Monaco 计划系统计算的值, D_{meas} 代表相同条件下在加速器上所测模体相同点的剂量值。

结果

1. 不同射野角度治疗床的衰减值:iBEAM[®] evo Extension 415 治疗床对于 6 MV 光子线的衰减值为 1.5%^[5],笔者在不同射野角度测量其衰减值最大可达 2.51%,该误差超出了 Venselaar 等^[6]建议的对 TPS 2 mm 计算网格可接受的 $\leq \pm 2\%$ 误差范围,其他不同射野角度治疗床衰减值见图 2。

2. Monaco 计划系统中两种治疗床模型在不同计算网格下计算值和实际测量值的相对误差比较结果:iBEAM[®] evo Extension 415 治疗床延长板在不同机架角度的无模型和有模型后的相对误差见表 1。从表 1 可见无模型时采用计算网格 2、5 mm 进行优化计算时最大剂量相对误差分别可达 3.95%、4.01%,而采用模型 A 和模型 B 均可将计算和测量的最大相对误差降低在 1.88%内,但模型 A 要优于模型 B。

表 1 不同机架角下不同计算网格有无治疗床模型的相对误差(%)

机架 (°)	2 mm 网格			5 mm 网格		
	模型 A	模型 B	无模型	模型 A	模型 B	无模型
180	-0.68	-0.8	3.16	0.80	1.24	3.77
170	-0.25	-0.19	3.11	0.12	0.44	3.79
160	-1.62	-1.06	3.05	1.00	1	2.74
150	-0.12	0	2.37	0.75	1.56	3.43
140	-0.56	-1.19	2.38	0.25	-0.13	4.01
130	-0.63	-1.51	2.82	-1.88	0.88	3.95
129.3	-0.00	-0.82	3.95	-0.19	0.94	0.25
122.8	0.99	-1.11	1.54	-0.68	1.17	1.05
绝对平均 相对误差	0.61	0.84	2.80	0.71	0.92	2.87

注:122.8°是加速器等中心刚好落在床板的边缘,用来验证在 Monaco TPS 中床板与模体相对位置和测量时摆位是否一致。计算的绝对平均相对误差不包括该机架角度

3. 两种治疗床模型模拟治疗床衰减系数和实际测量治疗床衰减系数的比较:计划系统模拟治疗床模型 A 和模型 B 和实际测量治疗床衰减指数将三数值进行绘图比较见图 2,结果显示对于在 Monaco 计划系统模拟的治疗床模型 A (采用均匀电子密度

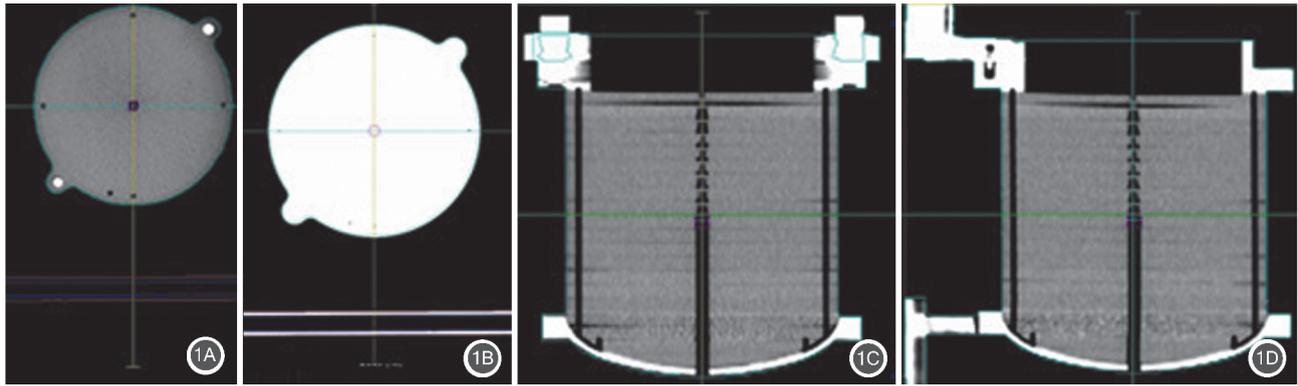


图1 在 Monaco TPS 中构建治疗床模型图示(1A 为 CT 序列勾画 iBEAM[®] evo Extension 415 结构,1B 为 iBEAM[®] evo Extension 415 和模体扫描的 CT 序列,1C 为模体 CT 序列冠状位图,1D 为模体 CT 序列矢状位图)

ED=0.25)比采用治疗模型 B (外层碳纤维电子密度 0.5 和内层炭泡沫电子密度)更接近实际测量值。

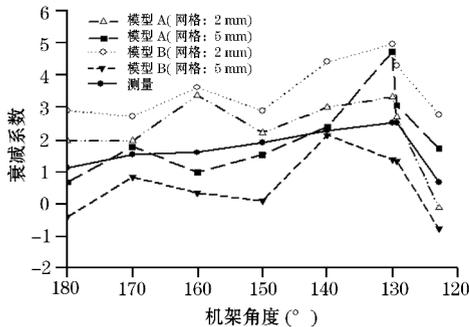


图2 实际测量的和计划系统计算的治疗床在不同机架角度的治疗衰减系数

讨论

2005 年,McCormack 等^[7]对穿过治疗床固定角度的后斜射野提出了基于治疗床修正因子的简单方法,通过不同角度的修正因子修改机器跳数进而减少治疗床对放疗剂量影响。该方法对简单的二维、三维治疗计划很容易实施,但对目前复杂的静态 IMRT、VMAT 模式无法实现,因为其都是采用 MLC 生成一系列复杂的小子野和不同射野权重去达到靶区所需均匀剂量。首先,该方法只能粗略修正治疗床对剂量的影响,尤其是当仅有一半射野穿射治疗床时通过固定机架角度治疗床修正因子修正机器跳数,将提高没有通过治疗床的射野部分照射剂量进而引入较大误差。其次,治疗床修正因子不是恒定的,会随着靶区位置改变而变化,尤其对大角度后斜射野如 130°入射野最大可相差 4%,而当模体位于治疗床远端(左侧或右侧)时衰减系数修正因子相差会更大。因此,通过修正因子简单调整射野机器跳数考虑治疗床对剂量的影响,可能低估或高估剂

量的影响。甘家应等^[8]研究医科达 Precise 直线加速器新型全碳素纤维治疗床延长板得出结论,碳素纤维治疗床延长板对 6 MV 光子线放疗剂量的衰减在 0.5%~3.3%。该误差范围超出了 Venselaar 等^[6]建议的对 TPS 2 mm 计算网格可接受的 $\leq \pm 2\%$ 误差范围。付庆国等^[9]在 Pinnacle8.0m 计划系统中建立治疗床模型,研究治疗床对鼻咽癌、宫颈癌和胸肺部放疗计划后斜入射野的剂量影响,得出若 TPS 剂量计算时不考虑治疗床存在则靶区所受剂量将被高估, D_{95} 的相对偏差为 1%~3%。

本研究提出了在 Monaco TPS 构建均匀治疗床模型 A 和两层非均匀治疗床模型 B,通过不同射野入射角度和射野与治疗床相互作用证明了该治疗床模型的精确性。考虑到 Monaco 计划系统在进行优化和剂量计算过程中,勾画结构必须首先转换为三维体素然后在进行剂量运算。而治疗床结构为非规则箱形,所以当只有部分三维体素包含在勾画结构中时,Monaco TPS 需要决定该体素是否视为该勾画结构的一部分,进而引入计算误差。因此,为了精确验证治疗床模型的精确性,减少计算网格边缘化对床板模型验证结果的影响,分别采用 2、5 mm 计算网格进行剂量运算。结果显示采用单层均匀密度模型测量与计算的相对误差值小于采用两层治疗床模型。本研究结果显示,在 TPS 中引入 iBEAM[®] evo Extension 415 治疗床模型可将测量和计算的最大相对误差从 4.1%降至 1.88%,该精度满足 Venselaar 等^[6]建议对 TPS 采用 2 mm 计算网格可接受的 $\leq \pm 2\%$ 误差范围;同时优于 Var Prooijen 等^[10]在 Pinnacle (Philips, v 8.0 h) TPS 采用 2.5 mm 计算网格模拟西门子治疗床模型最大相对误差 2.3%。本研究还显示,在 Monaco TPS 中采用统一均匀电子密度治疗床模型,采用 2、5 mm 计算网格均优于两层

不同电子密度治疗床模型。因为治疗床结构外层为超薄高密度碳纤维而中间层为低密度炭泡沫,当引入两层非均匀治疗床模型 B 时,体素化过程中采用两层治疗床模型 B 引入计算误差要大于采用低密度均匀密度模型。

在使用治疗床模型时需注意 iBEAM[®] evo extension 415 治疗床顶端宽度为 53 cm,因此使用扫描 CT 孔径<53 cm 时当射野边缘超出治疗床 CT 序列边缘时计算过程中治疗床模型将会被剪除,而不能正确构建。虽然在 MonacoTPS 中引入治疗床模型可增加准确性,但由于优化过程中增加了计算体积,因而增加了治疗计划设计时间。

总之,在 MonacoTPS 进行不同计算网格进行剂量优化时引入均匀电子密度治疗床模型可更好量化不同机架角度时治疗床对放疗剂量的影响。在计划优化时使用均匀治疗床模型能降低治疗床对剂量影响,保证患者得到最佳治疗计划。

参 考 文 献

[1] De Mooy LG. The use of carbon fibres in radiotherapy [J]. *Radiother Oncol*, 1991, 22(2): 140-142. DOI: 10.1016/0167-8140(91)90010-E.

[2] De Ost B, Vanregemorter J, Schaeken B, et al. 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. DOI: 10.1016/S0167-8140(97)00118-7.

[3] Meara SJP, Langmack KA. An investigation into the use of carbon

fibre for megavoltage radiotherapy applications [J]. *Phys Med Biol*, 1998, 43(5): 1359-1366. DOI: 10.1088/0031-9155/43/5/025.

[4] Pulliam KB, Howell RM, Followill D, et al. The clinical impact of the couch top and rails on IMRT and arc therapy [J]. *Phys Med Biol*, 2006, 56(23): 7435-7447. DOI: 10.1088/0031-9155/56/23/007.

[5] Elekta Company. Radiation oncology accessories catalog [M]. Stockholm: Elekta Company, 2013.

[6] Venselaar J, Welleweerd H, Mijnheer B. Tolerances for the accuracy of photon beam dose calculations of treatment planning systems [J]. *Radiother Oncol*, 2001, 60(2): 191-201. DOI: 10.1016/S0167-8140(01)00377-2.

[7] 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. DOI: 10.1118/1.1852792.

[8] 甘家应, 胡银祥, 罗元强, 等. Elekta Precise 直线加速器新型全碳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*, 2012, 32(4): 386-389. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2012.04.013.

Gan JY, Hu YX, Luo YQ, et al. Effect of the new carbon fiber bed board of Elekta Precise linear accelerator on the radiation dose [J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2012, 32(4): 386-389. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2012.04.013.

[9] 付庆国, 朱小东, 杨海明, 等. 加速器碳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. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2014.06.012.

Fu QG, Zhu XD, Yang HM, et al. The effect of carbon fiber couch on dose distribution of conformal intensity modulated plan [J]. *Chin J Radiat Oncol*, 2014, 23(6): 505-509. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2014.06.012.

[10] Van Prooijen M, Kanesalingam T, Islam MK, et al. Assessment and management of radiotherapy beam intersections with the treatment couch [J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2010, 11(2): 3171.

(收稿日期: 2015-03-30)