

# 一种新型测量瓦里安碳纤维 Exact IGRT Couch HU 值的方法及临床应用

王广善<sup>1</sup>, 张同梅<sup>1</sup>, 邢彦<sup>1</sup>, 牛亦婷<sup>1</sup>, 金见悦<sup>2</sup>

1. 首都医科大学附属北京胸科医院放射治疗科, 北京 101149; 2. 首都医科大学生物医学工程学院, 北京 101149

**【摘要】目的:** 寻找一种新方法测量瓦里安 Exact IGRT Couch 表面碳纤维材料的 HU 值, 并在计划系统中创建治疗床模型, 以修正治疗床对射线剂量的衰减。**方法:** 通过两种不同的射野组合对瓦里安 Exact IGRT Couch 床头薄端和中间中等厚度处对射线剂量的衰减进行测量, 得到射线穿治疗床和不穿治疗床两种情况下的剂量偏差。在治疗计划系统(TPS)中定义多组不同的床表面材料的 HU 值, 按照与测量相同的条件计算射线穿床和不穿床两种情况下剂量差异。通过数据对比分析, 找到与实测相对应的治疗床材料的 HU 值。**结果:** 两对穿射野在薄端处的衰减为 -2.49%~-1.69%, 在中等厚度处的衰减为 -3.43%~-2.23%; 多个斜入射射野在薄端处的衰减为 -3.12%~-2.17%, 在中等厚度处的衰减为 -3.59%~-2.86%。当 TPS 中床模型表面和内部 HU 值分别定义为 -500 和 -960 时, 两对穿射野在薄端处的衰减为 -2.57%~-1.53%, 在中等厚度处的衰减为 -3.28%~-2.18%, 多个斜入射射野在薄端处的衰减为 -3.12%~-2.21%, 在中等厚度处的衰减为 -3.42%~-2.43%, 与实测数值比较吻合。40 个验证计划在薄端和中等厚度处实测点剂量与 TPS 计算剂量平均差异分别为 0.90% 和 0.89%。**结论:** 该新型测量方法可以预测 Exact IGRT Couch 表面碳纤维材料和内部泡沫材料的 HU 值, 在 TPS 中定义床模型两种材料的 HU 值为 -500 和 -960 校正治疗床对射线的衰减, 从而提高靶区和危及器官的剂量精度。

**【关键词】** Exact IGRT Couch; 治疗床; 衰减; HU 值; 床模型

**【中图分类号】** R318; R811.1

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1005-202X(2025)09-1130-06

## A novel method of measuring the HU value of Varian carbon fiber Exact IGRT Couch and its clinical application

WANG Guangshan<sup>1</sup>, ZHANG Tongmei<sup>1</sup>, XING Yan<sup>1</sup>, NIU Yiting<sup>1</sup>, JIN Jianyue<sup>2</sup>

1. Department of Radiotherapy, Beijing Chest Hospital, Capital Medical University, Beijing 101149, China; 2. School of Biomedical Engineering, Capital Medical University, Beijing 101149, China

**Abstract: Objective** To develop a novel method for measuring the Hounsfield Unit (HU) value of the surface carbon fiber material of the Varian Exact IGRT Couch, and to establish a treatment couch model in the treatment planning system (TPS) for correcting the attenuation of radiation dose caused by the treatment couch. **Methods** Two different field combinations were used to measure the radiation dose attenuation at the thin end and the middle medium-thickness part of the Varian Exact IGRT Couch. Dose deviations were measured when radiation passed through the treatment couch or not. Multiple sets of different HU values for the couch surface materials were defined in the TPS, and the dose difference between with and without couch was calculated under the same conditions as the measurements. The HU value of the treatment couch material corresponding to the actual measurements was found by data comparison and analysis. **Results** The attenuation for two interpenetrating fields was -2.49% to -1.69% at the thin end, and -3.43% to -2.23% at the medium-thickness part. The attenuation for multiple oblique incident fields ranged from -3.12% to -2.17% at the thin end, and that was -3.59% to -2.86% at the medium-thickness part. When the HU values of the couch model's surface and internal materials in the TPS were defined as -500 and -960, for two interpenetrating fields, the attenuation was -2.57% to -1.53% at the thin end, and -3.28% to -2.18% at the medium-thickness part; while for multiple oblique incident fields, the attenuation was -3.12% to -2.21% at the thin ends, and -3.42% to -2.43% at the medium-thickness part. These calculated results were consistent with the actual measurement values. For 40 verification plans, the average point dose difference between measurement and calculation in

**【收稿日期】** 2024-12-23

**【基金项目】** 首都医学科学创新中心科研专项(CX23YZ04)

**【作者简介】** 王广善, 硕士研究生, 研究方向: 放射物理学, E-mail: wang\_guangshan@163.com

TPS were 0.90% and 0.89% at the thin end and medium-thickness part, respectively. **Conclusion** This novel measurement method can measure the HU value of the surface carbon fiber material and internal foam material of Exact IGRT Couch. Defining the HU values of these two materials of the couch model in the TPS as -500 and -960 can correct the radiation dose attenuation caused by the treatment couch, thereby improving the dose accuracy of the target volume and organs-at-risk.

**Keywords:** Exact IGRT Couch; treatment couch; attenuation; Hounsfield Unit value; couch model

## 前言

肿瘤患者在放射治疗时要将病人固定于专用的治疗床上,这类治疗床大部分为碳纤维材料制成,虽然其具有密度低、强度大、无金属支撑等优点,但对射线仍有微弱的衰减<sup>[1-4]</sup>。文献研究中对床板的剂量衰减进行了多种方法的测定,普遍对剂量的衰减在2%~6%<sup>[1,5-6]</sup>,治疗床高密度材料固定组件导致更高的衰减(14%~20%)<sup>[7-8]</sup>。Vanetti等<sup>[9]</sup>报告在治疗计划系统(TPS)计算剂量时不考虑治疗床模型的话,靶区剂量差异可高达2.50 Gy。这样的剂量误差绝对不能忽略,应想办法予以校正。随着调强放疗技术的广泛应用,更多的射野穿床治疗肿瘤意味着更多射线被治疗床衰减,肿瘤接受到的剂量将会受到影响。剂量精准是肿瘤得以控制的保证,也是危及器官得以保护的关键。因此在TPS中修正治疗床对剂量的影响尤为重要。考虑影响剂量计算的每一个因素,将会进一步提高靶区和危及器官剂量的精确度。ICRU 24号报告指出,靶区剂量的准确性应好于5%,否则就可能产生肿瘤局部复发或并发症的增加<sup>[10]</sup>。AAPM 176号报告着重强调,需要通过测量验证TPS中用于独立跳数计算的治疗床模型和厂家提供的这些装置的数值<sup>[1]</sup>。瓦里安计划系统Eclipse提供多种床板模型,可以根据临床使用的类型选择对应的模型,定义不同结构的HU值,修正治疗床对射线的衰减,更加精确地计算治疗计划的剂量。

## 1 材料与方法

### 1.1 设备

瓦里安Eclipse13.6版本计划系统可以添加与实际治疗床相一致的治疗床模型,如Exact Couch with Flat panel、Exact IGRT Couch等,以修正治疗床对射束的衰减,其HU值需要根据治疗床对射线的衰减进行测量。本研究中瓦里安Trilogy加速器配备两档高能X射线,标称能量为6和10 MV。治疗床为Exact IGRT Couch,该床结构由两部分组成,内部由泡沫填充,外层为2 mm厚的碳纤维层,见图1<sup>[11]</sup>。该床在长轴方向上并不是一致厚度,床头端薄,厚度大约50 mm,中间属于过度区,平均厚度62.5 mm,床尾端最厚,约

75 mm,见图2<sup>[12]</sup>。TPS为瓦里安Eclipse,版本13.6,选用AAA剂量计算算法。



图1 Exact IGRT Couch剖面图

Figure 1 Cross-sectional view of Exact IGRT Couch

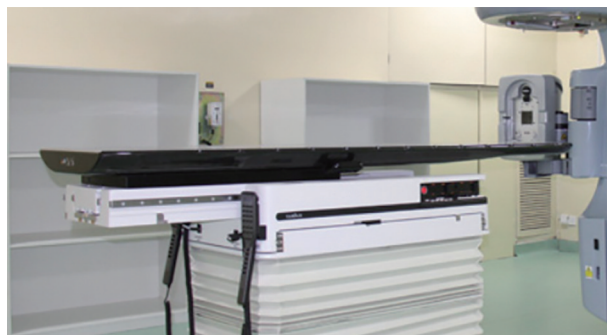


图2 Exact IGRT Couch不同位置厚度

Figure 2 Thicknesses of different positions of Exact IGRT Couch

### 1.2 测量工具

IBA DOSE1 剂量仪、CC13 电离室(灵敏体积0.125 cm<sup>3</sup>)、固体水30 cm×30 cm;统计分析软件为SPSS 17.0。

### 1.3 固体水模体CT定位扫描

将固体水模体(9 cm+2 cm电离室适配层(含电离室)+9 cm,每一片进行编号,每次摆放都按照该顺序)对准激光线摆放在CT模拟定位机定位床上进行CT模拟定位。层厚3 mm,定位CT图像传送至TPS,重建轮廓,勾画电离室气腔结构。

### 1.4 射束穿治疗床剂量与未穿治疗床剂量(参考)差异比较

临床中三维适形计划射野较少,调强计划射野较多,因此射束穿过治疗床分两种情况考虑。第1种

情况,穿床射野较少,一个后射野垂直(IEC1217坐标系,机架180°)穿床,按照CT模拟定位条件摆放固体水,参见图3,电离室插入电离室适配层摆放于机架旋转等中心处,即SDD=100 cm,此时射束穿过床的路径较短,分别在射野5 cm×5 cm、10 cm×10 cm、15 cm×15 cm、20 cm×20 cm、25 cm×25 cm、30 cm×30 cm条件下测量电离室剂量,每个射野100 MU。第2种情况,多个后斜射野穿床,本研究选取一组5个射野,机架为240°、210°、180°、150°、120°,电离室位于机架旋转等中心处,此时射束穿过治疗床的路径较长,射野大小等条件同上,测量电离室剂量。将固体水模体翻转,测量以上两种情况的射野对穿野(射线未穿床)相同条件下(射线能量、射野大小、SDD、MU等)的剂量,该剂量作为参考剂量,如机架180°的对穿野为0°。

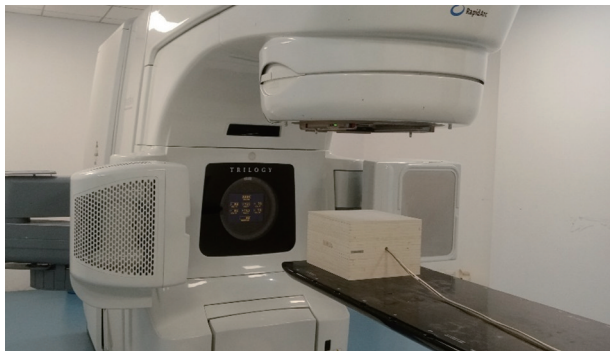


图3 固体水摆放于治疗床上  
Figure 3 Setup of solid water on treatment couch

由于床板在纵轴方向分为3个不同厚度,需要分别在以上两种射束穿床情况下测定床头薄端(Thin)和中间中等厚度(Medium)床板的衰减情况。尾部最厚的部分起支撑作用,不用于治疗<sup>[5]</sup>。

### 1.5 在TPS中定义 Exact IGRT Couch HU值并计算剂量

在固体水模体定位图像中插入 Exact IGRT Couch Thin或Medium,调整其位置贴紧固体水模体,选择与实际测量相对应的能量与照射野大小、等中心、AAA剂量计算算法、每个照射野100 MU计算剂量。根据瓦里安客户技术报告CTB及相关文献,定义interior和surface的HU值。该床内部interior为泡沫材料,HU值很低,对与其相近的泡沫材料进行CT扫描确定HU,约为-960<sup>[4,9,11,13]</sup>。只改变surface的HU值为-500、-550、-600、-650、-700、-750、-800,计算剂量。去掉Exact IGRT Couch,同加入床模型时的条件一样(射线能量、射野大小、等中心、算法、MU等),

再次计算每一次条件组合的剂量,以此作为参考值。比较有床和无床同等条件下的剂量差异,统计剂量偏差比率与1.4实测对比,从而得出合适的床板HU值。在Thin和Medium处分别计算不同床板HU时的剂量偏差。

### 1.6 床值验证

对1.4和1.5中得到的Exact IGRT Couch两个位置的HU值进行验证。两个位置分别设计20个开野计划,每个计划包含2~10个照射野不等,射野大小从2 cm×2 cm~30 cm×30 cm之间的临床常用射野中随机选取,处方剂量180~1 000 cGy,为临床常用处方剂量,射野机架角度位于100°~260°。这样射线穿过床板照射到电离室,得到TPS计算的剂量值。再对加入床模型的40个计划进行实测验证,收集电离室剂量,比较TPS加入预测HU值的床板模型的计划剂量与实测剂量之间的差异。

## 2 结果

### 2.1 治疗床薄端和中间位置处剂量衰减测量

穿床射野较少时,即机架0°(A方向)(参考)和180°(P方向)照射,在治疗床薄端(Thin)和中间中等厚度(Medium)处分别测得剂量偏差百分比,见图4和图5。两对穿射野在薄端处衰减为-2.49%~-1.69%,在中等厚度处的衰减为-3.43%~-2.23%。

多个后射野穿床时,在治疗床薄端(Thin)和中间中等厚度(Medium)处分别测量,即机架为240°、210°、180°、150°、120°为穿床射野与60°、30°、0°、330°、300°为未穿床射野(参考)剂量偏差百分比,结果见图6和图7。多个斜入射射野在薄端处的衰减为-3.12%~-2.17%,在中等厚度处的衰减为-3.59%~-2.86%。

### 2.2 在TPS中定义 IGRT Couch HU值并计算剂量(不同Couch HU值对模体剂量计算的影响)

同实测一样,在TPS中分别设计两对穿射野和多个对穿射野两种条件下治疗床对剂量的影响。将interior床值定义为-960 HU,surface分别定义为-500、-550、-600、-650、-700、-750、-800 HU。分别在不同照射野条件下,计算两对穿射野在不同床板位置(Thin和Medium)处各自的剂量差异;计算不同照射野与多个机架角度组合在不同床板位置(Thin和Medium)剂量差异,以上两种情况结果见图4~图7。比较图中数据,当TPS中床模型表面和内部HU值分别定义为-500和-960时,两对穿射野在薄端处的衰减为-2.57%~-1.53%,在中等厚度处的衰减为-3.28%~-2.18%,多个斜入射射野在薄端处的衰减为-3.12%~-2.21%,在中等厚度处的衰减为-3.42%~-2.43%,TPS模拟计算的剂量偏差比与实际测量的剂量偏差比最

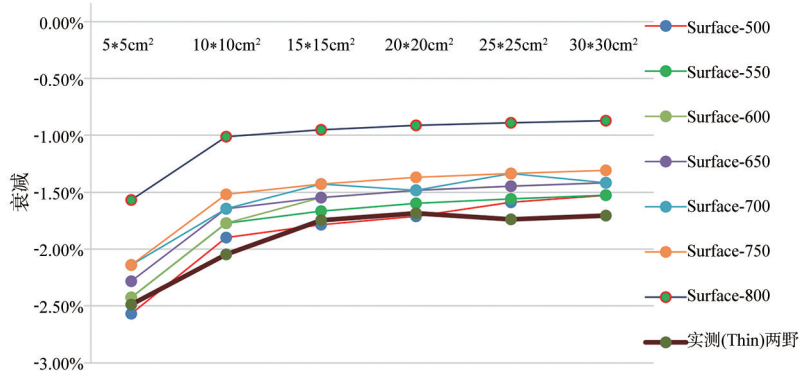


图4 两对穿野在治疗床薄端实测剂量差异与TPS中两对穿野加床(薄端)计算剂量差异  
 Figure 4 Dose differences of two interpenetrating fields at the thin end of couch and those of two interpenetrating fields in TPS calculation with thin couch model

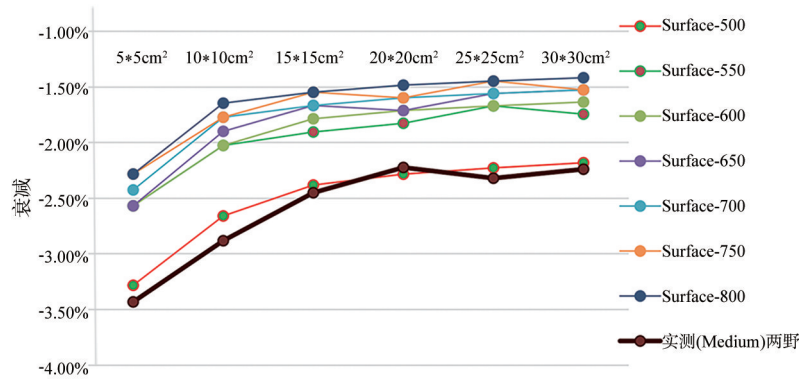


图5 两对穿野在治疗床中等厚度处实测剂量差异与TPS中两对穿野加床(中等厚度)计算剂量差异  
 Figure 5 Dose difference of two interpenetrating fields at the medium-thickness part of couch and those of two interpenetrating fields in TPS calculation with medium-thickness couch model

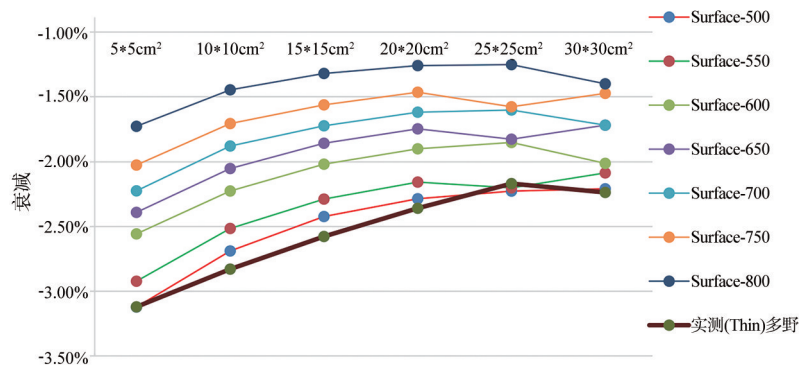


图6 多对穿野在治疗床薄端实测剂量差异与TPS中多对穿野加床(薄端)计算剂量差异  
 Figure 6 Dose difference of multi interpenetrating fields at the thin end of couch and those of multi interpenetrating fields in TPS calculation with thin couch model

吻合,且无论是两野还是多野穿床,均得到相同的结果。在床板薄端和中等厚度处的测量结果表明,不同位置的床面HU值相同,可以在计划系统插入床模型时定义相同的HU值。

### 2.3 床值验证

图8列出TPS加入Thin和Medium床板模型的

计划、实测计划相互之间的剂量差异百分比。Thin模拟床板计划与Thin床板处实测相比,剂量差异 $0.90\% \pm 0.18\%$ ,最大剂量差异1.19%,最小剂量差异0.57%,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。Medium模拟床板计划与Medium床板处实测相比,剂量差异 $0.89\% \pm 0.17\%$ ,最大剂量差异1.17%,最小剂量差异

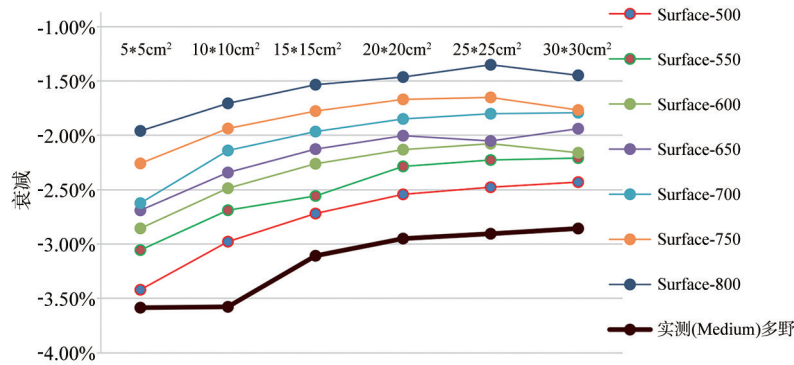


图7 多对穿野在治疗床中等厚度处实测剂量差异与TPS中多对穿野加床(中等厚度)计算剂量差异  
 Figure 7 Dose difference of multi interpenetrating fields at the medium-thickness part of couch and those of multi interpenetrating fields in TPS calculation with medium-thickness couch model

0.52%, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。由此结果可见, 将 Exact IGRT Couch 模型的 interior 床值定义

为 -960 HU、surface 定义为 -500 HU 在实测验证下得到了很好的结果。

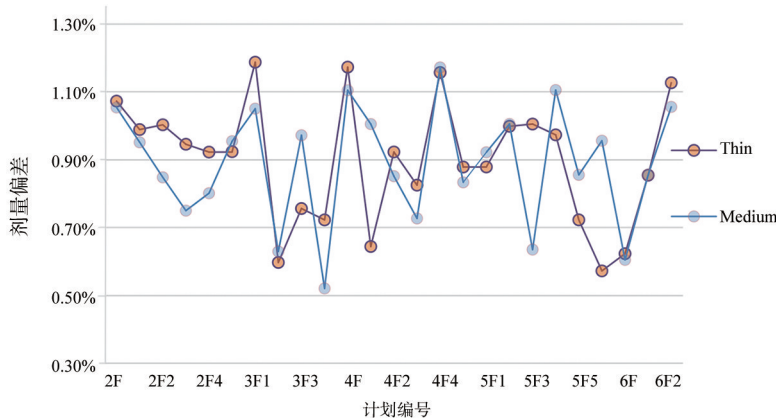


图8 TPS 加入预测 HU 值治疗床计划验证通过率  
 Figure 8 Passing rates of verification plans with predicted HU value in TPS

### 3 讨论

本研究自行设计一种测量 Exact IGRT Couch 材料 HU 值的方法, 综合考虑了射野大小、机架角度、治疗床厚度等因素, 从数据分析中得到了非常吻合的结果, 通过最后的验证试验更进一步证明了 Exact IGRT Couch 中 interior 和 surface 材料 HU 值确定的合理性与准确性。不同类型的医用直线加速器配备了不同的治疗床, 很多研究者测定其 HU 值的方法也不尽相同。Wagner 等<sup>[13]</sup>、Chyou 等<sup>[14]</sup>对治疗床进行定位 CT 扫描获取 CT 图像, 以读取内部材料的 HU 值, 该方法可以快速得到其材料 HU 值, 应用于计划系统后还需进一步验证其合理性。一些学者通过测量床板透射因子来校正治疗床引起的剂量误差, 其方法相对简单, 仅仅通过两个对穿射野(其中一个垂直穿

射床板)测量剂量差异, 计算透射因子, 测量方法简单, 但误差较大, 与临床治疗时的多个射野角度穿床情况相差甚大<sup>[15-17]</sup>。

Spezi 等<sup>[18]</sup>研究中通过内置软件将治疗床代替 CT 床。Mihaclov 等<sup>[19]</sup>在 Pinnacle 系统中通过脚本语言实现适当密度的轮廓模拟治疗床结构。Van Prooijen 等<sup>[20]</sup>基于融合工具将床结构轮廓结合到患者 CT 图像上。这些研究结果表明在 TPS 中插入治疗床模型后, 计算剂量与实测剂量之间的差异减少到 2% 以内。

床板的厚度是影响衰减的因素之一。本研究中虽然床板两个位置厚度不同, 但表面材料的厚度是相同的, 对射线的衰减主要来自表面碳纤维支撑材料。其内部低密度泡沫材料的厚度不同而已, 对射线的衰减影响甚小, 可忽略不计。van de Schoot 等<sup>[5]</sup>、

Vanetti等<sup>[9]</sup>、Bawazeer等<sup>[12]</sup>报道将治疗床分为不同厚度进行测试,床越厚对射线的衰减越多。

研究表明治疗床会增加皮肤剂量,从而引起皮肤反应或损伤<sup>[21-25]</sup>。治疗床有一定的密度,射线穿过时相当于建成层,从而剂量跌落在皮肤上,使皮肤剂量增高。如何降低由治疗床引起的皮肤剂量增加,也成为临床新的问题。Tamura等<sup>[26]</sup>通过在床板上放置5 cm厚的发泡胶板从而减少7%~9%的皮肤剂量。Mihaylov等<sup>[27]</sup>研究6和18 MV X射线的VMAT计划的皮肤剂量分别为3 800和2 940 cGy,靠近托架可使皮肤剂量增加25%~30%。接触插入物使6 MV X射线的皮肤剂量增加65%~93%,使23 MV X射线的皮肤剂量增加117%~157%<sup>[23]</sup>。

床对射线的衰减与Gantry角度存在密切的关系。Kong等<sup>[6]</sup>研究表明机架角度在110和250°时,衰减最大,计划验证显示机架120°和240°的通过率最低。同样的结果在Riis等<sup>[8]</sup>研究中也得到了印证,在机架角度112°~127°和232°~247°范围时,床的衰减达到了峰值25%。McCormack等<sup>[15]</sup>测量数据表明,后斜野的机架角度时,床对射线的衰减更大,衰减从机架接近层面的2%,到斜入射角度的9%,这可能在要求后斜野入射的靶区治疗中引起严重的并发症。Hu等<sup>[16]</sup>也对机架斜入射时的衰减进行测量,其结果为剂量衰减8.7%。

本研究参考多篇文献发现床板对不同能量的射线衰减能力不同<sup>[21-22]</sup>。在Tuğrul<sup>[22]</sup>研究中,对于不同的照射野,6 MV X射线的衰减分别为0.52%、0.69%、0.33%和0.25%,而15 MV X射线的衰减分别为0.95%、0.27%、0.20%和0.05%。Sedaghatian等<sup>[21]</sup>研究治疗床对6和18 MV X射线的衰减测量数据,发现治疗床对6 MV X射线的衰减更大。本研究设计方案以6 MV为例,对治疗床碳纤维材料HU值进行探讨性测量,如结果满足临床剂量学要求,证明该方法的可行性,后续再进行该床板对10 MV X射线的衰减影响。

没有引入调强计划的原因,考虑到调强计划复杂程度高,实测及TPS中均受MLC穿射因子、DLG、运动误差等因素影响,剂量梯度变化大,对剂量测量带来误差。

CT定位时,FOV过小或者扫描床太低时,在TPS加入治疗床模型会超出FOV视野,导致后续计划设计步骤中部分射野不能真正穿过治疗床,从而造成剂量计算误差。因此在定位扫描时应根据治疗床的宽度,选择合适的FOV大小,进一步减少治疗床衰减引起的剂量偏差。

## 【参考文献】

[1] Olch AJ, 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.

- [2] Sheykhoo A, Abdollahi S, Hadizadeh Yazdi MH, 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 Radiother, 2017, 22(1): 19-28.
- [3] Palanivelu D, Khanna D, Mohandass P, et al. A study to analyze impact of treatment couch and immobilization devices on surface dose for megavoltage photon beams[J]. Asian Pac J Cancer Prev, 2023, 24(12): 4133-4138.
- [4] Jiang DZ, Cao Z, Wei YC, et al. Radiation dosimetry effect evaluation of a carbon fiber couch on novel uRT-linac 506c accelerator[J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 13504.
- [5] van de Schoot AJ, Hoffmans D, van Ingen KM, et al. Characterization of ethos therapy systems for adaptive radiation therapy: a multi-machine comparison[J]. J Appl Clin Med Phys, 2023, 24(5): e13905.
- [6] Kong FT, Lu MT, Dong J, et al. Effect of linear accelerator carbon fiber couch on radiotherapy dose[J]. PLoS One, 2022, 17(11): e0277332.
- [7] Vaithianathan H, Harris B. Transmission study of the abdominal compression plate (BodyFIX Diaphragm Control) for abdominal and stereotactic body radiotherapy[J]. J Appl Clin Med Phys, 2021, 22(9): 232-241.
- [8] Riis HL, Christiansen RL, Tilly N, et al. Dosimetric validation of the couch and coil model for high-field MR-linac treatment planning[J]. Z Med Phys, 2023, 33(4): 567-577.
- [9] 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.
- [10] Shalek RJ. Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or gamma rays in radiotherapy procedures[J]. Med Phys, 1977, 4(5): 461.
- [11] Varian. IGRT Couch Top Inspection. Customer technical bulletin[Z].
- [12] Bawazeer O, Herath S, Sarasanandarajah S, et al. A simple and efficient method to measure beam attenuation through a radiotherapy treatment couch and immobilization devices[J]. Australas Phys Eng Sci Med, 2019, 42(4): 1183-1189.
- [13] Wagner D, Vorwerk H. Treatment couch modeling in the treatment planning system eclipse[J]. J Cancer Sci Ther, 2011, 3(1): 7-12.
- [14] Chyou TY, Lorenz F. Couch modelling for volumetric modulated arc therapy (VMAT) [J]. Australas Phys Eng Sci Med, 2017, 40(2): 471-480.
- [15] 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.
- [16] Hu ZH, Dai JR, 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): 3561.
- [17] Zhang RH, Gao YL, Bai WW. Quantification and comparison the dosimetric impact of two treatment couch model in VMAT[J]. J Appl Clin Med Phys, 2018, 19(1): 10-16.
- [18] Spezi E, Angelini AL, Romani F, et al. Evaluating the influence of the Siemens IGRT carbon fibre tabletop in head and neck IMRT[J]. Radiother Oncol, 2008, 89(1): 114-122.
- [19] Mihaylov IB, Corry P, Yan Y, et al. Modeling of carbon fiber couch attenuation properties with a commercial treatment planning system [J]. Med Phys, 2008, 35(11): 4982-4988.
- [20] 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.
- [21] Sedaghatian T, Momenzad M, Rasta SH, et al. An update of couch effect on the attenuation of megavoltage radiotherapy beam and the variation of absorbed dose in the build-up region[J]. J Biomed Phys Eng, 2017, 7(3): 279-288.
- [22] Tuğrul T. Absorption ratio of treatment couch and effect on surface and build-up region doses[J]. Rep Pract Oncol Radiother, 2018, 23(1): 1-5.
- [23] Lau A, Salerno KE, Ma TJ, et al. Dosimetric impact and modeling of prone breast positioning device and couch structures[J]. Med Dosim, 2021, 46(3): 219-228.
- [24] Akbas U, Donmez Kesen N, Koksak C, et al. Surface and buildup region dose measurements with Markus parallel-plate ionization chamber, GafChromic EBT3 film, and MOSFET detector for high-energy photon beams[J]. Adv High Energy Phys, 2016, 2016(1): 8361028.
- [25] Gursoy G, Eser E, Yigitoglu I, et al. Investigation of the effects of a carbon-fiber tabletop on the surface dose and attenuation dose for megavoltage photon beams[J]. Int J Radiat Res, 2018, 16(2): 235-241.
- [26] Tamura M, Monzen H, Matsumoto K, et al. Reduction of potential risk for skin toxicity in megavoltage radiotherapy using a novel rigid couch [J]. In Vivo, 2018, 32(3): 531-536.
- [27] Mihaylov IB, Bzdusek K, Kaus M. Carbon fiber couch effects on skin dose for volumetric modulated arcs[J]. Med Phys, 2011, 38(5): 2419-2423.