

## 碳纤维床CT值对头部肿瘤放疗计划剂量分布的影响

黄唯<sup>1</sup>, 邓官华<sup>2</sup>, 张红丹<sup>1</sup>, 龙亮<sup>1</sup>, 吴其弟<sup>1</sup>, 潘毅<sup>1</sup>

1. 广东省人民医院放疗科, 广东 广州 510080; 2. 广东三九脑科医院肿瘤综合治疗中心, 广东 广州 510510

**【摘要】目的:**定量分析碳纤维床CT值对头部肿瘤放疗计划剂量分布的影响。**方法:**在Varian Eclipse 13.6计划系统中建立9种不同CT值的碳纤维床和均匀圆柱水模体模型,并将圆柱水模体放置于碳纤维床中间,在10 cm×10 cm射野下,采用6 MV X射线机架在0°~180°之间以10°为间隔行等中心照射,计算不同CT值的碳纤维床的吸收剂量差异系数。选取头部肿瘤患者15例,以Eclipse计划系统提供的默认CT值碳纤维床为基础,设计放疗计划,并将该计划保存为模板计划。随后将模板计划移植至其余8种不同CT值的碳纤维床图像中,不进行通量优化,重新计算剂量分布。记录9种不同CT值碳纤维床计划的 $D_{2\%}$ 、 $D_{50\%}$ 、 $D_{98\%}$ 、CI、HI以及GI。**结果:**在-700 HU至-300 HU内,随着Panel Surface CT值的增加,吸收剂量差异系数逐渐减小;在-1 000 HU至-900 HU内,随着Panel Interior CT值的增加,吸收剂量差异系数逐渐增大。默认CT值的碳纤维床计划与其他8种碳纤维床计划的 $D_{2\%}$ 、 $D_{50\%}$ 、 $D_{98\%}$ 以及GI差异具有统计意义( $P<0.05$ ),而HI则无统计学差异( $P>0.05$ )。**结论:**物理师在设计放疗计划时,应根据实测治疗床的CT值构建碳纤维床模型。

**【关键词】**碳纤维床;吸收剂量差异系数;头部肿瘤;剂量分布

**【中图分类号】**R815.6

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2020)08-0965-06

## Effects of CT value of carbon fiber couch on dose distribution in radiotherapy plan for intracranial tumor

HUANG Wei<sup>1</sup>, DENG Guanhua<sup>2</sup>, ZHANG Hongdan<sup>1</sup>, LONG Liang<sup>1</sup>, WU Qidi<sup>1</sup>, PAN Yi<sup>1</sup>

1. Department of Radiation Oncology, Guangdong Provincial People's Hospital, Guangzhou 510080, China; 2. Department of Oncology, Guangdong Sanjiu Brain Hospital, Guangzhou 510510, China

**Abstract: Objective** To quantitatively analyze the effects of the CT value of carbon fiber couch on the dose distribution in radiotherapy plan for intracranial tumor. **Methods** The carbon fiber couch with 9 difference CT values and an uniform cylindrical water phantom model were established in Varian Eclipse 13.6 treatment planning system (TPS), and the phantom was positioned at the center of the couch. Isocentric irradiation in the field of 10 cm×10 cm was realized by 6 MV X ray and at gantry angles from 0° to 180°, with an interval of 10°, and the absorbed dose difference coefficient  $\delta$  for the carbon fiber couch with difference CT values was calculated. A total of 15 patients with intracranial tumor were enrolled in the study. The plan which was designed by Eclipse TPS and based on carbon fiber couch with default CT value was taken as template plan. The template plan was directly transplanted to the images of 8 different couches with different CT values and no flux optimization for the recalculation of dose distribution. The  $D_{2\%}$ ,  $D_{50\%}$ ,  $D_{98\%}$ , conformity index, homogeneity index and gradient index in 9 plans based on different couches were recorded and analyzed. **Results** In the range of -700 HU to -300 HU,  $\delta$  was gradually decreased with the increase of Panel Surface CT value, while in the range of -1 000 HU to -900 HU,  $\delta$  was gradually increased with the increase of Panel Interior CT value. There were significant differences in  $D_{2\%}$ ,  $D_{50\%}$ ,  $D_{98\%}$  and gradient index between the plan based on carbon fiber couch with default CT value and the other 8 plans ( $P<0.05$ ), but no significant difference was found in homogeneity index ( $P>0.05$ ). **Conclusion** During radiotherapy planning, the carbon fiber couch model should be constructed according to the measured CT value of carbon fiber couch.

**Keywords:** carbon fiber couch; absorbed dose difference coefficient; intracranial tumor; dose distribution

**【收稿日期】**2020-05-30

**【基金项目】**广东省医学科研基金(A2019260)

**【作者简介】**黄唯, 硕士, 物理师, 研究方向: 肿瘤的早期发现及放射治疗,  
E-mail: huangwei\_0118@163.com

**【通信作者】**潘毅, 博士, 主任医师, 研究方向: 肺癌的免疫治疗与放射  
治疗的结合, E-mail: panyiff01@163.com

### 前言

碳纤维床是放射治疗实施过程中重要的辅助设备<sup>[1]</sup>,与直线加速器机架配合,使得射线束可以从多角度对肿瘤进行照射。由于床面对射线具有散射和吸收作用<sup>[2]</sup>,在设计放疗计划时,应考虑碳纤维

床对放疗剂量的影响。目前的科学文献主要侧重于研究有无碳素纤维床对放疗计划剂量分布的影响或者碳素纤维床厚度、部位对放疗计划剂量分布的影响<sup>[3-7]</sup>。付庆国等<sup>[8]</sup>通过评估碳素纤维床对三维适形计划剂量分布的影响,发现若在放疗计划系统中不考虑碳素纤维床的存在,则肿瘤的实际受照射量将被高估;甘家应等<sup>[9]</sup>测量了不同厚度的碳素纤维床的衰减因子,发现随着床板厚度的增加,穿透因子减小,在设计放疗计划时,应添加虚拟床进行剂量修正。

Varian Eclipse 计划系统提供了几种常见碳素纤维床的模型,如 BrainLAB Couch、Exact IGRT Couch thick\medium\thin 等,并给出了相应碳素纤维床的默认 CT 值。虽然花威等<sup>[10]</sup>研究指出,碳素纤维床的 CT 值可以采用 Varian Eclipse 计划系统默认 CT 值,也可以采用实际测得的碳素纤维床 CT 值,但在该文献中并没有给出两者之间的差异对放疗计划剂量分布的影响。因此,本研究以 Varian Eclipse 计划系统的 BrainLAB Couch 模型为例,利用均匀圆柱水模体进行不同 CT 值碳素纤维床的剂量学衰减研究,同时探讨不同 CT 值的碳素纤维床对头部肿瘤放疗计划剂量分布的影响,为修正碳素纤维床 CT 值对放疗剂量的影响提供参考。

1 材料与方法

1.1 设备

美国 Varian UNIQUE 直线加速器,射线能量为 6 MV X 射线,配备 60 对全自动独立 MLC,中心 40 对 MLC 宽度为 5 mm,两端各 10 对 MLC 宽度为 10 mm,采用滑窗调强运动模式,剂量率设置为 400 MU/min。放疗计划系统为 Varian Eclipse 13.6,可实现三维适形(3DCRT)、固定野调强(IMRT)和容积旋转调强计划(VMAT)。

1.2 方法

1.3 临床病例选择与放疗计划设计

选取于广东三九脑科医院治疗的头部肿瘤患者 15 例,其中胶质瘤 10 例、肺癌脑转移瘤 5 例。医生根据 RTOG 和 ICRU 62 号报告勾画计划靶区(PTV)和

Varian Eclipse 计划系统可以建立几种特定类型的碳素纤维床,本研究以 BrainLAB Couch 模型为例,构建均匀圆柱水模体,并将模体放置于 BrainLAB 碳素纤维床中间,照射中心为圆柱水模体中心,照射野大小为 10 cm×10 cm,输出剂量为 100 MU。机架角度在 0°~180°之间以 10°为间隔进行 BrainLAB 碳素纤维床剂量吸收的测量,如图 1 所示。BrainLAB Couch 模型包含 Panel Interior 和 Panel Surface 两部分,默认 CT 值(Default 组)分别为-1 000 和-300 HU。为了定量分析碳素纤维床 CT 值对放疗计划剂量分布的影响,本研究将依次改变 Panel Surface 及 Panel Interior 的 CT 值,如表 1 所示,计算不同机架角度下不同碳素纤维床与基准床(Default 组)的吸收剂量差异系数  $\delta$ ,如下所示:

$$\delta(\theta) = 100\% \times \frac{D_{\text{default}}(\theta) - D_{\text{couch}}(\theta)}{D_{\text{default}}(\theta)} \tag{1}$$

其中, $D_{\text{default}}$  为机架角度为  $\theta$  时,默认 CT 值的碳素纤维床的吸收剂量; $D_{\text{couch}}$  为特定 CT 值的碳素纤维床在机架角度为  $\theta$  的吸收剂量。本研究中 Dose Volume 采用各向异性解析算法,计算网格设置为 2.5 mm。

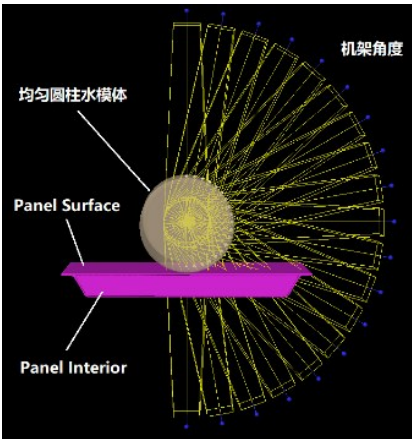


图1 碳素纤维床吸收剂量差异系数测量示意图  
Fig.1 Diagram of the measurement of absorbed dose difference coefficient for carbon fiber couch

表1 9种不同CT值的碳素纤维床(HU)  
Tab.1 Carbon fiber couches with 9 different CT values (HU)

类型	Default	A	B	C	D	E	F	G	H
Panel Surface	-300	-300	-300	-300	-300	-400	-500	-600	-700
Panel Interior	-1 000	-900	-925	-950	-975	-1 000	-1 000	-1 000	-1 000

危及器官<sup>[11]</sup>。利用 Varian Eclipse 计划系统分别设计 3DCRT、IMRT 和 VMAT。3DCRT 和 IMRT 计划均为 5 射野计划,其中 1~3 个射野为后斜野,处方剂量为 PTV 18~40 Gy/10~20 f; VMAT 计划采用 2~4 条非共

面弧,处方剂量为18~24 Gy/3~4 f。将默认CT值 (Panel Surface:-300 HU;Panel Interior:-1 000 HU)的碳纤维床计划保存为模板计划。根据表1的数据,依次改变碳纤维床的CT值,并将模板计划直接移植到特定CT值的碳纤维床图像上,治疗中心不变,不进行通量优化,重新计算剂量分布。

1.4 剂量学评价

比较9种不同CT值碳纤维床计划的PTV剂量参数。采用D<sub>2%</sub>、D<sub>50%</sub>、D<sub>98%</sub>评估PTV的剂量分布。采用适形度指数 (Conformal Index, CI)、均匀性指数 (Homogeneity Index, HI) 以及梯度跌落指数 (Gradient Index, GI)评估靶区的适形度、均匀性以及剂量跌落速度。CI、HI及GI计算公式如下<sup>[12-14]</sup>:

$$\left\{\begin{aligned} CI &= \frac{(TV_{PV})^2}{TV \times PV} \\ HI &= \frac{D_{2\%} - D_{98\%}}{D_{mean}} \times 100\% \\ GI &= \frac{V_{50\%}}{V_{100\%}} \end{aligned}\right. \quad (2)$$

其中,TV<sub>PV</sub>为处方剂量线包裹的靶区体积,TV为靶区体积,PV为处方剂量线包裹的体积,D<sub>2%</sub>为2%靶区体积的受照射剂量,D<sub>98%</sub>为98%靶区体积的受照射剂量,D<sub>mean</sub>为靶区的平均受照射剂量,V<sub>50%</sub>为50%处方剂量线包裹体积,V<sub>100%</sub>为处方剂量线包裹体积。

1.5 统计学分析

采用SPSS 21.0软件对数据进行统计学处理分析,采用Kolmogorov-Smirnov检验数据分析是否符合正态分布,符合正态分布数据用均数±标准差表示,非正态分布数据用M(Q1, Q3)表示。采用非参数

配对Wilcoxon秩和检验比较两组数据分布差异,P<0.05为差异具有统计学意义。

2 结果

图2为不同CT值碳纤维床与基准碳纤维床的剂量差异比。由图2可知,当机架角度为130°时,碳纤维床的吸收剂量差异系数达到最大,分别为3.10%(A)、2.40%(B)、1.50%(C)、0.78%(D)、-0.65%(E)、-0.90%(F)、-1.40%(G)、-1.70%(H)。

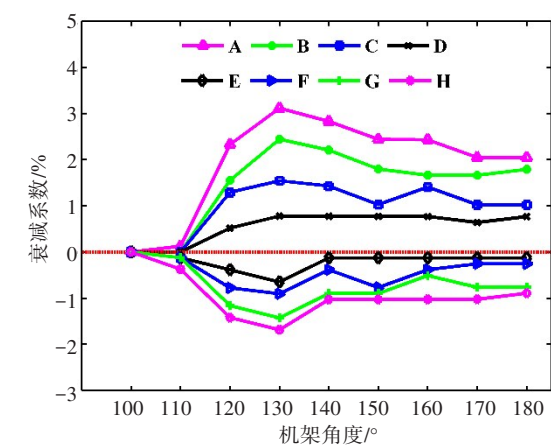


图2 不同CT值的碳纤维床对剂量的吸收剂量差异系数  
Fig.2 Absorbed dose difference coefficient of carbon fiber couches with difference CT value

3DCRT、IMRT和VMAT计划PTV的CI、HI及GI变化的箱线图如图3~图5所示。当碳纤维床CT值改变时,其GI差异具有统计学意义(P<0.05),HI则不具有统计学差异(P>0.05)。

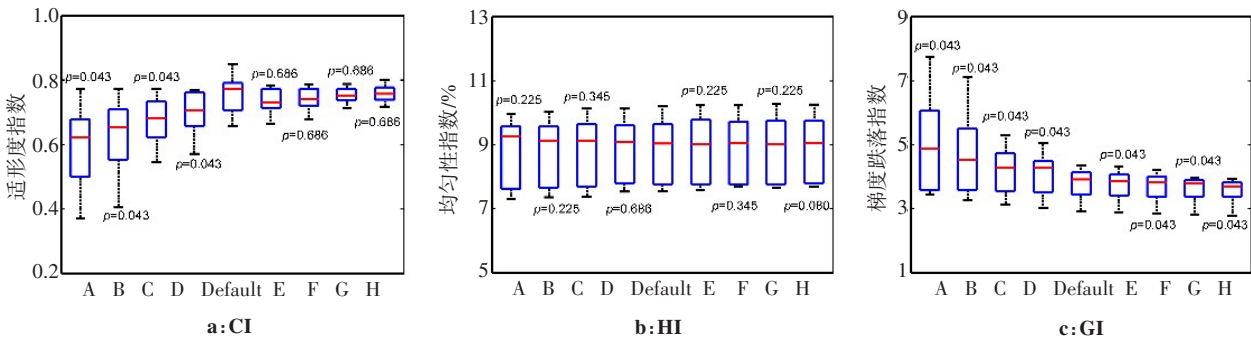


图3 不同CT值碳纤维床对3DCRT计划CI、HI及GI的影响  
Fig.3 Effects of carbon fiber couches with different CT values on CI, HI and GI for 3DCRT plan

表2为不同CT值的碳纤维床对头部肿瘤3DCRT、IMRT及VMAT计划PTV的D<sub>2%</sub>、D<sub>50%</sub>、D<sub>98%</sub>的影响。

3 讨论

目前,国内外已有许多文献报道直线加速器碳纤维床对放疗剂量的影响主要体现在后野或后侧



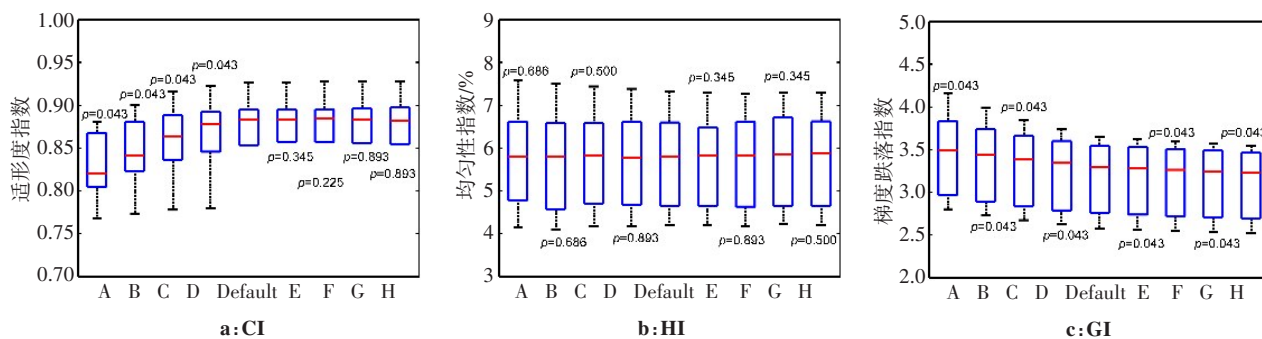


图4 不同CT值碳素纤维床对IMRT计划CI、HI及GI的影响

Fig.4 Effects of carbon fiber couches with different CT values on CI, HI and GI for IMRT plan

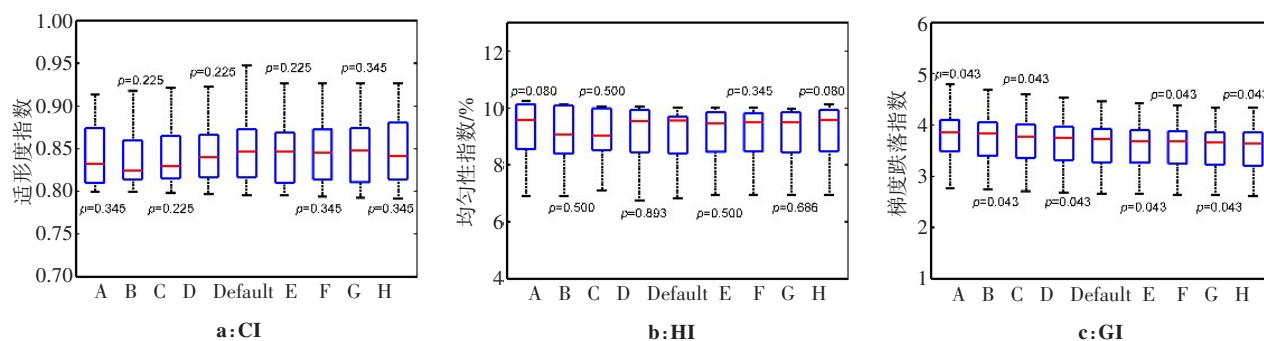


图5 不同CT值碳素纤维床对VMAT计划CI、HI及GI的影响

Fig.5 Effects of carbon fiber couches with different CT values on CI, HI and GI for VMAT plan

斜野<sup>[6, 15-16]</sup>。Tominaga等<sup>[3]</sup>和Wagner等<sup>[4]</sup>研究表明,碳素纤维床对X射线的衰减与后侧斜野的机架角度有关<sup>[17]</sup>,最大处有接近8%的变化,本研究的结果也与之相符。如图2所示,当机架角度为130°时,碳素纤维床的吸收剂量差异系数达到最大,分别为3.10%(A)、2.40%(B)、1.50%(C)、0.78%(D)、-0.65%(E)、-0.90%(F)、-1.40%(G)、-1.70%(H)。Varian Eclipse计划系统提供了几种常见碳素纤维床模型,如BrainLAB Couch、Exact IGRT Couch thick\medium\thin等,并提供了Panel Surface和Panel Interior的默认CT值。大多数物理师在设计放疗计划选取碳素纤维床模型时,常采用Eclipse计划系统提供的默认CT值,未考虑碳素纤维床默认CT值与实际CT值之间的差异对放疗剂量的影响。因此,本研究以Eclipse计划系统提供的BrainLAB Couch模型为例,利用均匀圆柱水模体探讨碳素纤维床CT值对放疗剂量的影响。如图2所示,在-700 HU至-300 HU内,随着Panel Surface CT值的增加,吸收剂量差异系数逐渐减小;在-1 000 HU至-900 HU内,随着Panel Interior CT值的增加,吸收剂量差异系数逐渐增大。本研究还发现相对于Panel Surface CT值的变化,吸收剂量差异系数对Panel Interior CT值的改变更为敏感。另外,本研究中的均匀圆柱水模体是

置于碳素纤维床中间,且照射中心为模体中心,因此可以根据0°~180°内吸收剂量差异系数推测其对称180°~360°内吸收剂量差异系数的变化规律。

关于加速器碳素纤维床对3DCRT、IMRT及VMAT计划剂量分布的影响,国内外已有大量文献报道。花威等<sup>[10]</sup>探讨了Varian直线加速器碳素纤维床对放疗剂量的影响,发现相对于IMRT和VMAT计划,物理师在设计放疗计划时,是否添加碳素纤维床对3DCRT计划剂量分布的影响更大,并提出应修正碳素纤维床对放疗剂量的影响。本研究探讨了碳素纤维床CT值对头部肿瘤患者3DCRT、IMRT及VMAT计划剂量分布的影响。如图3~图5所示,无论是在3DCRT、IMRT还是VMAT计划中,当碳素纤维床Panel Surface和Panel Interior的CT值改变时,Default组与其他组(A~H组)的GI差异具有统计学意义( $P<0.05$ ),而HI则不具有统计学差异( $P>0.05$ );如表2所示,Default组与其他组(A~H组)的 $D_{2\%}$ 、 $D_{50\%}$ 及 $D_{98\%}$ 差异具有统计学意义( $P<0.05$ )。对于不同类型和不同分期的肿瘤,会有一个最佳靶区剂量<sup>[8]</sup>。当实际照射剂量偏离最佳靶区剂量时,肿瘤的局部控制率将发生变化。肿瘤的局部控制率从50%增加至75%时,所需要靶区剂量增加的百分数为剂量响应梯度<sup>[8]</sup>。剂量响应梯度越小的肿瘤,对靶区剂量的精确

表2 PTV的剂量参数比较[M(Q1, Q3)]  
Tab.2 Comparison of dose parameters of planning target volume [M(Q1, Q3)]

类型	参数	Default	A	B	C	D	E	F	G	H
3DCRT	D <sub>2%</sub> /cGy	2043 (1717, 2346)	2016 (1689, 2311)	2022 (1696, 2328)	2034 (1709, 2336)	2046 (1720, 2348)	2046 (1720, 2348)	2049 (1723, 2349)	2052 (1726, 2354)	2056 (1729, 2361)
	P值	-	0.042	0.042	0.042	0.043	0.039	0.042	0.042	0.041
	D <sub>50%</sub> /cGy	1991 (1662, 2290)	1968 (1639, 2259)	1971 (1644, 2265)	1978 (1649, 2274)	1983 (1656, 2280)	1994 (1664, 2293)	1997 (1668, 2295)	2000 (1671, 2299)	2003 (1673, 2304)
	P值	-	0.043	0.043	0.043	0.042	0.042	0.042	0.042	0.043
	D <sub>98%</sub> /cGy	1872 (1549, 2169)	1851 (1527, 2140)	1855 (1533, 2146)	1861 (1538, 2154)	1865 (1544, 2159)	1875 (1552, 2171)	1877 (1555, 2172)	1880 (1557, 2176)	1883 (1559, 2181)
	P值	-	0.043	0.043	0.043	0.043	0.042	0.042	0.042	0.043
IMRT	D <sub>2%</sub> /cGy	4681 (4605, 4820)	4651 (4572, 4797)	4659 (4580, 4803)	4666 (4588, 4808)	4673 (4596, 4814)	4685 (4610, 4824)	4689 (4614, 4828)	4693 (4618, 4832)	4697 (4621, 4835)
	P值	-	0.043	0.043	0.043	0.043	0.039	0.041	0.041	0.041
	D <sub>50%</sub> /cGy	4571 (4504, 4708)	4540 (4474, 4679)	4548 (4481, 4686)	4555 (4489, 4693)	4563 (4497, 4699)	4576 (4508, 4714)	4579 (4512, 4717)	4583 (4515, 4721)	4587 (4519, 4725)
	P值	-	0.043	0.042	0.043	0.041	0.039	0.042	0.042	0.042
	D <sub>98%</sub> /cGy	4422 (4338, 4573)	4390 (4308, 4541)	4400 (4315, 4557)	4406 (4322, 4558)	4414 (4331, 4565)	4427 (4343, 4577)	4430 (4345, 4582)	4431 (4347, 4585)	4436 (4350, 4588)
	P值	-	0.043	0.043	0.042	0.039	0.039	0.041	0.042	0.041
VMAT	D <sub>2%</sub> /cGy	1774 (802, 2574)	1762 (796, 2554)	1764 (797, 2559)	1768 (800, 2564)	1770 (801, 2568)	1776 (803, 2576)	1778 (804, 2579)	1779 (805, 2582)	1781 (806, 2584)
	P值	-	0.043	0.042	0.042	0.043	0.039	0.043	0.043	0.043
	D <sub>50%</sub> /cGy	1715 (783, 2495)	1701 (776, 2472)	1705 (778, 2478)	1707 (780, 2483)	1711 (782, 2489)	1717 (784, 2498)	1719 (785, 2501)	1721 (786, 2503)	1723 (787, 2506)
	P值	-	0.043	0.043	0.043	0.043	0.041	0.042	0.043	0.043
	D <sub>98%</sub> /cGy	1616 (744, 2341)	1602 (737, 2321)	1606 (738, 2326)	1609 (740, 2331)	1613 (743, 2335)	1618 (745, 2344)	1620 (745, 2346)	1622 (746, 2349)	1622 (747, 2349)
	P值	-	0.043	0.043	0.043	0.042	0.041	0.042	0.042	0.043

度要求更高。ICRU 83号<sup>[18]</sup>报告指出,肿瘤根治剂量的精确度应控制在±5%以内,否则可能会增加肿瘤局部复发或并发症。虽然本研究中A~H组的D<sub>2%</sub>、D<sub>50%</sub>及D<sub>98%</sub>相对于Default组只有2%以内的变化,其精确度在±5%内,但在实际放疗过程中,存在系统误差和随机误差,如机械误差<sup>[19]</sup>、摆位误差、器官移动等,这些误差最终传递到肿瘤,可能造成超过5%的剂量偏差。因此,应尽可能消除各种误差源对放疗剂量的影响。即物理师在设置碳素纤维床CT值时应以实际测得的CT值为准,而不是采用Eclipse计划系统推荐的CT值。

综上所述,不同CT值的碳素纤维床对头部肿瘤3DCRT、IMRT及VMAT计划的剂量分布有一定的影响。在进行3DCRT、IMRT及VMAT计划设计时,应以治疗床实测CT值为基础,建立碳素纤维床模型参与剂量运算。

4 结 论

本研究以 Varian Eclipse 计划系统的 BrainLAB Couch 模型为例,定量分析不同CT值碳素纤维床对放疗计划剂量分布的影响。实验结果发现,不同CT值的碳素纤维床对头部肿瘤3DCRT、IMRT及VMAT计划的剂量分布有一定的影响,物理师在设计放疗计划时,应根据实测治疗床的CT值构建碳素纤维床模型。

【参考文献】

[1] 孔伟,叶红强,何剑莉,等. 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[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(1): 37-42.

KONG W, YE H Q, HE J L, et al. Dosimetirc effects of carbon fiber couch on volumetric modulated arc therapy of cervical cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(1): 37-42.

- [2] 沙翔燕, 王运来, 廖雄飞, 等. 全碳素纤维治疗床对吸收剂量的影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2008, 17(3): 223-225.  
SHA X Y, WANG Y L, LIAO X F, et al. Dosimetric evaluation of carbon fiber tabletop on absorbed dose [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2008, 17(3): 223-225.
- [3] TOMINAGA H, ARAKI F, SHIMOHIGASHI Y, et al. Dose impact of a carbon fiber couch for stereotactic body radiation therapy of lung tumors[J]. Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi, 2013, 69(4): 400-406.
- [4] WAGNER D, VORWERK H. Treatment couch modeling in the treatment planning system eclipse[J]. J Can Sci Ther, 2011, 3(1): 7-12.
- [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): 6150101.
- [6] MIHAYLOV I B, CORRY P, YAN Y, et al. Modeling of carbon fiber couch attenuation properties with a commercial treatment planning system[J]. Med Phys, 2008, 35: 4982-4988.
- [7] 李定宇, 刘飞, 王俊峰, 等. 医用加速器碳纤维治疗床延长板结合部对放疗剂量的影响[J]. 放射学实践, 2016, 7(31): 662-665.  
LI D Y, LIU F, WANG J F, et al. Effect of the conjunction area in accelerator carbon fiber treatment couch on radiotherapy dosage[J]. Radiologic Practice, 2016, 7(31): 662-665.
- [8] 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): 505-508.  
FU Q G, ZHU X D, YANG H M, et al. The effect of carbon fiber couch on dose distribution of conformal intensity modulated plan [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2014, 23(6): 505-508.
- [9] 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.  
GAN J Y, HU Y X, LUO Y Q, et al. Effect of the new carbon fiber bed board of Elekta Precise linear accelerator on the radiation dose[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2012, 32(4): 386-389.
- [10] 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.  
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.
- [11] STROOM J C, HEIJMEN B J. Geometrical uncertainties, radiotherapy planning margins, and the ICRU-62 report[J]. Radiother Oncol, 2002, 64(1): 75-83.
- [12] THOMAS E M, POPPLE R A, WU X, et al. Comparison of plan quality and delivery time between volumetric arc therapy (RapidArc) and Gamma Knife radiosurgery for multiple cranial metastases[J]. Neurosurgery, 2014, 75(4): 409-418.
- [13] MORRISON J, HOOD R, YIN F F, et al. Is a single isocenter sufficient for volumetric modulated arc therapy radiosurgery when multiple intracranial metastases are spatially dispersed?[J]. Med Dosim, 2016, 41(4): 285-289.
- [14] HSU F, CAROLAN H, NICHOL A, et al. Whole brain radiotherapy with hippocampal avoidance and simultaneous integrated boost for 1-3 brain metastases: a feasibility study using volumetric modulated arc therapy[J]. Int J Radiat Oncol, 2010, 76(5): 1480-1485.
- [15] GERIG L H, NIEBALA M, NYIRI B J. Dose perturbations by two carbon fiber treatment couches and the ability of a commercial treatment planning system to predict these effects[J]. Med Phys, 2010, 37(1): 322-328.
- [16] POPPE B, CHOFOR N, RUHMANN A, et al. The effect of a carbon fiber couch on the depth-dose curves and transmission properties for megavoltage photon beams[J]. Rahlenther Onkol, 2007, 183: 43-48.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 邓官华, 林正茂, 陈丽霞, 等. 机械旋转误差对多发脑转移瘤 VMAT 计划剂量分布的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2020, 37(1): 38-43.  
DENG G H, LIN Z M, CHEN L X, et al. Effect of rotational mechanical errors on dose distribution of volumetric modulated arc therapy for multiple intracranial metastases[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2020, 37(1): 38-43.

(编辑:陈丽霞)