

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2023.06.002

医学放射物理

基于胸部仿真模体研究CT层厚对射波刀放疗靶区剂量分布的影响

赵瑞¹, 曹洋森², 高行新¹, 王震岳¹, 李莎¹, 田种泽¹

1. 联勤保障部队第940医院放疗科, 甘肃 兰州 730050; 2. 海军军医大学附属上海长海医院放疗科, 上海 200433

【摘要】目的:研究不同CT层厚对射波刀放疗靶区剂量分布的影响。**方法:**①使用胸部仿真模体对不同大小模拟肿瘤TUMOR01~TUMOR05以1.0~5.0 mm CT层厚行常规CT模拟定位和重建;②使用各模拟肿瘤不同层厚CT序列以固定Auto-Shells、处方剂量、处方剂量线及限光筒制定射波刀放疗计划,记录放疗靶区计算结果;③分别将各模拟肿瘤不同CT层厚放疗计划移植至1.0 mm CT层厚放疗计划,记录放疗计划移植后放疗靶区变化结果;④比较各模拟肿瘤不同CT层厚放疗计划移植前后放疗靶区的变化情况。**结果:**除模拟肿瘤TUMOR01放疗靶区最大剂量(D_{\max})与CT层厚表现为弱相关性($|r|=0.20$)外,模拟肿瘤TUMOR02~TUMOR05放疗靶区 D_{\max} 及各模拟肿瘤放疗靶区最小剂量(D_{\min})、适形度指数(CI)、新适形度指数(nCI)、覆盖率Coverage与CT层厚均表现为强相关性($|r|>0.70$),各模拟肿瘤放疗靶区 D_{\min} 、覆盖率Coverage与CT层厚呈负相关,放疗靶区 D_{\max} 、CI、nCI与CT层厚呈正相关,其相关显著性水平不同;当模拟肿瘤TUMOR01 CT层厚 >2 mm时,放疗靶区 D_{\min} 、nCI、覆盖率Coverage数值变化尤为明显,其变化范围分别为9.89~15.29 Gy、0.19~0.76、11.44%~29.94%。**结论:**CT层厚显著影响射波刀放疗靶区剂量分布,对体积较小肿瘤的影响尤为明显。

【关键词】胸部仿真模体;射波刀;CT层厚;治疗计划;剂量

【中图分类号】R318;R815

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2023)06-0667-05

Analysis of effects of CT slice thickness on target dose distribution in Cyberknife radiotherapy using chest phantom

ZHAO Rui¹, CAO Yangsen², GAO Xingxin¹, WANG Zhenyue¹, LI Sha¹, TIAN Zhongze¹

1. Department of Radiation Oncology, the 940th Hospital of Joint Logistics Force, Lanzhou 730050, China; 2. Department of Radiation Oncology, Changhai Hospital, Naval Medical University, Shanghai 200433, China

Abstract: Objective To study the effects of CT slice thickness on the target dose distribution in Cyberknife radiotherapy. **Methods** The conventional CT locating and reconstruction were carried out on the chest phantom for the simulated tumors TUMOR01-TUMOR05 with CT slice thicknesses of 1.0-5.0 mm. For each simulated tumor, the Cyberknife radiotherapy plans of the CT sequences with different slice thicknesses were made with the fixed Auto-Shells, prescription dose, prescription dose line and collimator, and the calculation results were recorded. Then the treatment plans with different CT slice thicknesses were transplanted to the treatment plan with 1.0 mm slice thickness, and the dosimetric changes after plan transplantation were recorded. The changes in the radiotherapy target area before and after transplantation of radiotherapy plans of different CT slice thicknesses were compared. **Results** Except that the D_{\max} of the TUMOR01 target area showed a weak correlation to the CT slice thickness ($|r|=0.20$), the D_{\max} of the TUMOR02-TUMOR05 target areas, and the D_{\min} , CI, nCI and coverage of TUMOR01-TUMOR05 target areas had strong correlations to the CT slice thickness ($|r|>0.70$). The D_{\min} and the coverage of TUMOR01-TUMOR05 target areas were negatively correlated to the CT slice thickness, while the D_{\max} , CI and nCI were positively correlated to the CT slice thickness, and their significance levels were different. The D_{\min} , nCI and coverage of the TUMOR01 target area were changed significantly with the slice thickness larger than 2 mm, and their changed ranges were 9.89-15.29 Gy, 0.19-0.76 and 11.44%-29.94%, respectively. **Conclusion** CT slice thickness affects the target dose distribution in Cyberknife radiotherapy significantly, and it is extremely significant for the smaller tumor.

Keywords: chest phantom; Cyberknife; CT slice thickness; treatment plan; dose

【收稿日期】2023-02-10

【基金项目】上海申康临床“五新”创新研发项目(SHDC2020CR3087B)

【作者简介】赵瑞,副主任技师,主要从事放射技术方面的研究,E-mail: zrzn1318@sina.com

【通信作者】曹洋森,副主任技师,主要从事肿瘤放射物理工作,E-mail: caoyangsen@163.com

前言

放疗计划系统需要将CT值转换为电子密度后方能进行剂量计算^[1-3],CT值是放疗计划剂量计算的关键因素。有研究表明,在CT模拟定位条件中管电压对CT值的影响最为显著,而管电流、CT层厚等对CT值的影响则不明显^[4-8]。奚惠等^[9]对CT模拟定位条件中管电压、管电流对射波刀(Cyberknife)放疗剂量的影响进行了研究,证明管电压对放疗靶区剂量分布的影响较大,而管电流对放疗靶区剂量分布影响则不显著。在放疗临床工作中,出于对肿瘤位置、放疗剂量及时间次数因素的考虑,时有将普通放疗转换为射波刀放疗的病例,普通放疗CT模拟定位扫描条件相对于射波刀放疗要求其CT层厚的选择存在一定差异^[10]。本研究以胸部仿真模体为实验对象,分析不同重建CT层厚对射波刀放疗靶区剂量分布的影响。

1 材料与方法

1.1 实验器材

美国 Accuray 公司 G4 射波刀、放疗计划系统 MultePlan 4.0,美国 CIRS 公司 008A 胸部仿真模体(图1)(弃用活动部件),德国 Siemens 公司 64 排 128 层 CT 扫描仪,模拟肿瘤(图2)。



图1 CIRS 公司 008A 胸部仿真模体
Figure 1 Chest phantom 008A of CIRS



图2 模拟肿瘤
Figure 2 Simulated tumors

1.2 模体CT扫描与重建

将直径分别为 2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 cm 的模拟肿瘤分别用泡沫棉包裹,按照由小至大顺序分别进行编号(TUMOR01~05)。将模拟肿瘤依次填塞入 TUMOR 胸部模体孔洞中部,并使用 CT 扫描条件

120 kV、400 mAs、1.0 mm 层厚对各模拟肿瘤进行放疗模拟定位扫描并以 2.0~5.0 mm 层厚(以 1 mm 递增)进行 CT 图像重建,其 CT 图像序列分别按照模拟肿瘤编号命名,并将各 CT 图像序列导入至射波刀数据管理系统。

1.3 模拟肿瘤放疗计划制定

将模拟肿瘤 TUMOR01 的 5.0 mm CT 层厚序列导入射波刀治疗计划系统,采用球体模式识别模拟肿瘤放疗靶区并进行逐层修改,采用肺追踪影像定位模式,放疗计划优化采用顺序优化。放疗计划准直器采用放疗计划系统推荐准直器,限量环对称使用 1、5、10、20、30、40 mm 共 6 个^[11-12],肿瘤靶区及限量环限定最大剂量分别为 40、35、30、25、20、15、10 Gy,优化算法为 Ray-Tracking,肿瘤靶区行 OCO (Optimize Coverage) 进一步优化(优化剂量 40 Gy),要求处方剂量线(Prescription Isodose Line, PIDL) > 70%、靶区覆盖率 > 90%,采用高分辨率计算后记录放疗靶区计算结果(处方剂量 40 Gy),根据 CT 层厚(5.0 mm)将放疗计划存储为 TUMOR0105 并进行传输。

将前述放疗计划优化方案命名为 T-4000,作为本研究放疗计划优化模板。按照相同步骤及要求,将编号为 TUMOR01 的模拟肿瘤 1.0~4.0 mm CT 层厚序列分别导入计划系统,同前述要求进行放疗靶区勾画,以 T-4000 为放疗计划优化模板分别制定 TUMOR0101~TUMOR0104(以相应 CT 层厚命名)放疗计划存储并传输,记录最终放疗靶区计算结果(处方剂量 40 Gy)。

按照与模拟肿瘤 TUMOR01 相同的方法及要求对模拟肿瘤 TUMOR02~TUMOR05 按照 CT 层厚由大到小的顺序分别制定其射波刀放疗计划,放疗计划优化均采用 T-4000 模板,其放疗计划均根据模拟肿瘤序列编号及 CT 层厚命名、存储和传输,并记录最终放疗靶区计算结果(处方剂量 40 Gy)。

1.4 模拟肿瘤放疗计划移植

打开 new QA plan 程序,选择放疗计划 TUMOR0105 为患者计划,选择放疗计划 TUMOR0101 为模板计划,使用“CT Image Center”进行配准并进行高分辨率剂量计算,记录其放疗靶区计算结果。按照相同步骤及方法,依次选择放疗计划 TUMOR0104~TUMOR0102,均以放疗计划 TUMOR0101 为模板计划进行相同方式配准并进行高分辨率剂量计算,最后记录放疗靶区计算结果。

采用与模拟肿瘤 TUMOR01 各放疗计划相同步骤及方法,分别对模拟肿瘤 TUMOR02~TUMOR05 不同 CT 层厚的放疗计划进行计划移植和剂量计算,最后记录其相应放疗靶区计算结果。

1.5 放疗计划评估

评估参数包括放疗靶区体积、最小剂量(D_{min})、最大剂量(D_{max})、适形度指数(Conformity Index, CI)、新适度指数(new Conformity Index, nCI)、覆盖率Coverage。CI=PIV/TIV, nCI=CI/Coverage, Coverage=TIV/TV, 其中, PIV为处方剂量所包绕的组织体积, TIV为处方剂量所包绕的靶区体积, TV为靶区体积。各模拟肿瘤不同CT层厚(2.0~5.0 mm)靶区体积均以其相应的1.0 mm CT层厚所勾画肿瘤靶区体积为基准, 以百分比的形式进行评估。不同CT层厚(2.0~5.0 mm)各模拟肿瘤放疗靶区 D_{min} 、 D_{max} 、CI、nCI、覆盖率Coverage均以其相应1.0 mm CT层厚放疗靶区计算结果为基准, 对放疗计划移植后计算差值进行评估, 数值变大记为正值、变小记为负值。

1.6 统计学方法

使用SPSS13.0统计学软件, 采用SPEARMAN相关性分析: $|r|$ 值为0.0~0.2代表极弱相关、0.20~0.40代表弱相关、0.40~0.70代表中等程序相关、0.70~1.00代表强相关。 $P<0.05$ 为相关性显著、 $P<0.01$ 为相关性非常显著。

2 结果

2.1 模拟肿瘤放疗靶区体积的变化

以1.0 mm CT层厚所勾画肿瘤靶区体积为基准, 不同CT层厚模拟肿瘤靶区体积变化如表1所示, 各模拟肿瘤靶区体积与CT层厚均呈强负相关($|r|>0.70$), 且相关性水平非常显著($P=0.00$), 靶区体积具有随着CT层厚的增加而减小的趋势。

表1 不同CT层厚模拟肿瘤靶区体积的变化(%)
Table 1 Volume changes of simulated tumors at different CT slice thicknesses (%)

层厚	TUMOR01	TUMOR02	TUMOR03	TUMOR04	TUMOR05
2.0 mm	0.96	0.97	0.98	1.00	0.99
3.0 mm	0.94	0.94	0.95	0.97	0.98
4.0 mm	0.93	0.91	0.94	0.96	0.97
5.0 mm	0.93	0.89	0.92	0.94	0.94
r 值	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
P 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

2.2 模拟肿瘤放疗靶区 D_{min} 的变化

以1.0 mm CT层厚所勾画放疗靶区 D_{min} 为基准, 不同CT层厚模拟肿瘤放疗靶区 D_{min} 变化如表2所示, 各模拟肿瘤放疗靶区 D_{min} 与CT层厚均呈强负相

关($|r| \geq 0.80$), 具有随着CT层厚的增加而减小的趋势。模拟肿瘤TUMOR01放疗靶区 D_{min} 与CT层厚相关性水平不显著($P=0.10$), 模拟肿瘤TUMOR02~TUMOR05放疗靶区 D_{min} 与CT层厚相关性水平非常显著($P=0.00$)。各模拟肿瘤放疗靶区 D_{min} 变化最大可达17.24 Gy, 模拟肿瘤TUMOR01放疗靶区 D_{min} 变化平均值均高于其它模拟肿瘤。

表2 不同CT层厚模拟肿瘤放疗靶区 D_{min} 的变化(Gy)
Table 2 D_{min} changes of simulated tumors at different CT slice thicknesses (Gy)

层厚	TUMOR01	TUMOR02	TUMOR03	TUMOR04	TUMOR05
2.0 mm	-0.91	-0.34	0.60	-0.12	0.09
3.0 mm	-13.17	-5.71	-5.61	-5.01	-4.65
4.0 mm	-9.89	-8.77	-5.80	-5.65	-5.82
5.0 mm	-15.29	-17.24	-14.37	-8.79	-7.11
r 值	-0.80	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
P 值	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00

2.3 模拟肿瘤放疗靶区 D_{max} 的变化

以1.0 mm CT层厚所勾画放疗靶区 D_{max} 为基准, 不同CT层厚模拟肿瘤放疗靶区 D_{max} 的变化如表3所示, 各模拟肿瘤放疗靶区 D_{max} 与CT层厚呈正相关, 具有随着CT层厚的增加而增大的趋势。除模拟肿瘤TUMOR01放疗靶区 D_{max} 与CT层厚表现为弱相关性($|r|=0.20$)外, 模拟肿瘤TUMOR02~TUMOR05放疗靶区 D_{max} 与CT层厚均呈强相关性($|r| \geq 0.80$)。除模拟肿瘤TUMOR05放疗靶区 D_{max} 与CT层厚其相关性水平非常显著($P=0.00$)外, 其余模拟肿瘤相关性水平不显著($P>0.05$)。各模拟肿瘤放疗靶区 D_{max} 变化最大不超过2.94 Gy, 模拟肿瘤TUMOR01放疗靶区 D_{max} 变化平均值均高于其它模拟肿瘤。

表3 不同CT层厚模拟肿瘤放疗靶区 D_{max} 的变化(Gy)
Table 3 D_{max} changes of simulated tumors at different CT slice thicknesses (Gy)

层厚	TUMOR01	TUMOR02	TUMOR03	TUMOR04	TUMOR05
2.0 mm	1.08	-0.21	-0.05	0.12	0.22
3.0 mm	0.30	0.52	0.12	0.05	0.35
4.0 mm	-0.15	0.25	-0.02	1.36	0.66
5.0 mm	2.94	2.24	0.44	1.84	0.85
r 值	0.20	0.80	0.80	0.80	1.00
P 值	0.40	0.10	0.10	0.10	0.00

2.4 模拟肿瘤放疗靶区 CI 的变化

以 1.0 mm CT 层厚所勾画放疗靶区 CI 为基准,不同 CT 层厚模拟肿瘤放疗靶区 CI 的变化如表 4 所示,各模拟肿瘤放疗靶区 CI 与 CT 层厚均呈强正相关($|r| \geq 0.80$),具有随着 CT 层厚的增加而增大的趋势。模拟肿瘤 TUMOR01、TUMOR02 放疗靶区 CI 与 CT 层厚相关性水平不显著($P > 0.05$),模拟肿瘤 TUMOR03 放疗靶区 CI 与 CT 层厚相关性水平非常显著($P = 0.00$),模拟肿瘤 TUMOR04、TUMOR05 放疗靶区 CI 与 CT 层厚相关性水平显著($P = 0.03$)。除模拟肿瘤 TUMOR01 放疗靶区 CI 随 CT 层厚的变化相对明显外,其余模拟肿瘤放疗靶区 CI 变化微小,最大均不超过 0.11。

表 4 不同 CT 层厚模拟肿瘤放疗靶区 CI 的变化
Table 4 CI changes of simulated tumors at different CT slice thicknesses

层厚	TUMOR01	TUMOR02	TUMOR03	TUMOR04	TUMOR05
2.0 mm	-0.13	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02
3.0 mm	0.08	-0.04	0.01	0.01	-0.01
4.0 mm	0.03	-0.01	0.03	0.01	-0.01
5.0 mm	0.11	0.01	0.04	0.02	0.01
r 值	0.80	0.80	1.00	0.95	0.95
P 值	0.10	0.10	0.00	0.03	0.03

2.5 模拟肿瘤放疗靶区 nCI 的变化

以 1.0 mm CT 层厚所勾画放疗靶区 nCI 为基准,不同 CT 层厚模拟肿瘤放疗靶区 nCI 的变化如表 5 所示,各模拟肿瘤放疗靶区 nCI 与 CT 层厚均呈强正相关($|r| \geq 0.80$),具有随着 CT 层厚的增加而变大的趋势。模拟肿瘤 TUMOR01 放疗靶区 nCI 与 CT 层厚相关性水平不显著($P = 0.10$),模拟肿瘤 TUMOR02~TUMOR05 放疗靶区 nCI 与 CT 层厚相关性水平非常显著($P = 0.00$)。各模拟肿瘤放疗靶区 nCI 随 CT 层厚的变化十分明显,尤其是模拟肿瘤 TUMOR01 放疗靶区 nCI 数值变化最为突出,最高可达 0.76。

2.6 模拟肿瘤放疗靶区覆盖率 Coverage 的变化

以 1.0 mm CT 层厚所勾画放疗靶区覆盖率 Coverage 为基准,不同 CT 层厚模拟肿瘤放疗靶区覆盖率 Coverage 如表 6 所示,各模拟肿瘤放疗靶区覆盖率 Coverage 与 CT 层厚均呈强负相关($|r| \geq 0.80$),具有随着 CT 层厚的增加而变小的趋势。模拟肿瘤 TUMOR01 放疗靶区覆盖率 Coverage 与 CT 层厚相关性水平不显著($P = 0.10$),模拟肿瘤 TUMOR02~TUMOR05 放疗靶区覆盖率 Coverage 与 CT 层厚相关性水平非常显著($P = 0.00$)。模拟肿瘤

TUMOR01 放疗靶区覆盖率 Coverage 随 CT 层厚变化最为明显,最高可达 29.94%。

表 5 不同 CT 层厚模拟肿瘤放疗靶区 nCI 的变化
Table 5 nCI changes of simulated tumors at different CT slice thicknesses

层厚	TUMOR01	TUMOR02	TUMOR03	TUMOR04	TUMOR05
2.0 mm	-0.12	-0.03	-0.03	-0.02	-0.03
3.0 mm	0.32	0.03	0.08	0.04	0.04
4.0 mm	0.19	0.11	0.15	0.09	0.05
5.0 mm	0.76	0.41	0.23	0.17	0.12
r 值	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00
P 值	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00

表 6 不同 CT 层厚模拟肿瘤放疗靶区覆盖率 Coverage 的变化(%)
Table 6 Coverage changes of simulated tumors at different CT slice thickness (%)

层厚	TUMOR01	TUMOR02	TUMOR03	TUMOR04	TUMOR05
2.0 mm	-1.11	-0.01	0.22	0.00	0.11
3.0 mm	-13.97	-4.85	-5.58	-2.94	-3.50
4.0 mm	-11.44	-8.67	-9.00	-6.30	-4.87
5.0 mm	-29.94	-23.77	-12.40	-10.92	-8.99
r 值	-0.80	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
P 值	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00

3 讨论

CT 层厚反映了被扫描体 Z 轴方向影像分辨率的大小,层厚越小则 CT 图像 Z 轴方向影像分辨率越高,受容积效应的影响越小,越能够真实反映被扫描体表面及内部解剖结构^[13]。本研究所用模拟肿瘤制造工艺粗糙、标称直径不准确,本研究中未采用公式计算的方式获得各模拟肿瘤固有体积,将 1.0 mm CT 层厚模拟肿瘤靶区勾画体积作为各模拟肿瘤固有(实际)靶区体积。本研究模拟肿瘤靶区体积与 CT 层厚的关系变化规律与国内外学者研究报道基本相同^[14-19]。

从模拟肿瘤 TUMOR01 研究结果上看,模拟肿瘤 TUMOR01 放疗靶区结果变化平均值明显高于其他模拟肿瘤。模拟肿瘤 TUMOR01 除其靶区 D_{max} 与 CT 层厚表现为弱相关外,其靶区 D_{min} 、CI、nCI、覆盖率 Coverage 均表现出与 CT 层厚存在强相关性,且相关性水平均不显著,是因靶区 D_{min} 、CI、nCI、覆盖率 Coverage 数据过度跳跃所致,经分析与模拟肿瘤 TUMOR01 固有体积较小、CT 层厚对靶区勾画体积的影响较大有关。当模拟肿瘤 TUMOR01 CT 层厚

大于2.0 mm时,放疗靶区 D_{\min} 变化区间为9.89~15.29 Gy、nCI变化区间为0.19~0.76、靶区覆盖率Coverage变化区间为11.44%~29.94%。

一般来说,CI指数主要用于评价靶区外正常组织的受照情况^[20],nCI指数不仅能够反映靶区外正常组织的受照情况,而且还能够反映肿瘤靶区的受照情况,亦即处方剂量对肿瘤靶区的覆盖情况,相关文献指出其用于放疗计划质量评估较CI指数更为严格和科学^[21-23]。从本研究结果看,受CT层厚的影响模拟肿瘤放疗靶区nCI指数的(增大)变化明显高于CI指数的(增大)变化,同时本研究模拟肿瘤放疗靶区覆盖率Coverage亦随CT层厚增加出现明显降低,亦说明了放疗靶区nCI指数在放疗计划评估中的重要性和科学性。

本研究单个模拟肿瘤CT图像重建层厚样本数量偏少,对于规律的总结具有一定影响,但从本文不同大小模拟肿瘤的研究结果看,各个模拟肿瘤放疗靶区剂量分布变化规律基本一致。本研究模拟肿瘤所使用准直器及放疗计划所生成射束集不同,加之模拟肿瘤在胸部仿真模体位置及PIDL的不同,致使放疗靶区 D_{\min} 、 D_{\max} 、CI、nCI、覆盖率Coverage衡量无法做到严格意义上的一致,因此本文未对相同CT层厚不同大小模拟肿瘤放疗靶区变化结果进行分析。另外,本研究采用的胸部仿真模体组织密度差异大,不同CT层厚对组织密度差别较小的腹盆腔及头颈部放疗靶区剂量影响如何,有待进一步研究。

综上所述,CT层厚显著影响胸部射波刀放疗计划剂量分布,尤其是肿瘤体积较小时其影响更为严重,在放疗计划制定时应引起足够重视。

【参考文献】

- [1] 吴先想,郭红博,费振乐,等. CT值相对电子密度转换关系影响因素及其对剂量计算的影响分析[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(2): 157-162.
Wu XX, Guo HB, Fei ZL, et al. Influence factors of CT value-relative electron density conversion and its effects on dose calculation[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(2): 157-162.
- [2] Kry SF, Bednarz B, Howell RM, et al. AAPM TG158: measurement and calculation of doses outside the treated volume from external-beam radiation therapy[J]. Med Phys, 2017, 44(10): e391-e429.
- [3] 廖雄飞,黎杰,王培. CT模拟定位机的扫描参数对放疗计划系统剂量计算的影响[J]. 肿瘤预防与治疗, 2015, 28(1): 49-51.
Liao XF, Li J, Wang P. The influence of the scanning parameters of the CT simulation positioning machine on the dose calculation of the radiotherapy planning system[J]. Cancer Prevention and Treatment, 2015, 28(1): 49-51.
- [4] 张国前,张书旭,余辉,等. 放疗定位扫描条件对CT值的影响[J]. 中国医疗设备, 2015, 30(3): 13-16.
Zhang GQ, Zhang SX, Yu H, et al. Influence of scanning conditions on CT values in radiotherapy simulation positioning[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2015, 30(3): 13-16.
- [5] 周丁屹,蒋大振,全红,等. 四维CT扫描参数和扫描模式对CT值的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2016, 33(9): 919-923.
Zhou DY, Jiang DZ, Quan H, et al. Influence of four dimensional CT scanning parameters and modes on CT values[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2016, 33(9): 919-923.
- [6] 时飞跃,任军,吴正参,等. 西门子Sensation Open CT模拟机CT值稳定性分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017, 26(12): 1407-1410.
Shi FY, Ren J, Wu ZS, et al. Study on constancy of CT numbers of SIEMENS sensation open CT-simulator[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2017, 26(12): 1407-1410.
- [7] 郑庆增,鞠忠建,邵莹,等. 模拟定位CT的机型及扫描参数对CT值和噪声的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 34(5): 439-444.
Zheng QZ, Ju ZJ, Shao Y, et al. Impact of different CT simulators and scanning parameters on CT value and image noise[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 34(5): 439-444.
- [8] 彭文献,彭天舟,叶小琴,等. CT扫描参数对人体组织CT值影响的研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2010, 30(1): 79-81.
Peng WX, Peng TZ, Ye XQ, et al. Effect of CT scanning parameters on CT number[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2010, 30(1): 79-81.
- [9] 奚惠,景生华,陈倩,等. 不同扫描条件对射波刀剂量计算的影响[J]. 医疗卫生装备, 2021, 42(10): 40-43.
Xi H, Jing SH, Chen Q, et al. Effects of different scanning conditions on dose calculation of CyberKnife[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2021, 42(10): 40-43.
- [10] 石梅,马林,周振山. 肿瘤放射治疗新技术及临床实践[M]. 西安: 第四军医大学出版社, 2015: 195-335.
Shi M, Ma L, Zhou ZS. New technology and clinical practice of tumor radiotherapy[M]. Xi'an: the Fourth Military Medical University Press, 2015: 195-335.
- [11] 曹洋森,李健,于春山,等. 胰腺癌射波刀治疗计划中不同Auto-Shells及优化步骤的应用[J]. 中华胰腺病杂志, 2018, 18(1): 35-38.
Cao YS, Li J, Yu CS, et al. The application of different Auto-Shells and optimization steps of Cyberknife treatment plans for pancreatic cancer[J]. Chinese Journal of Pancreatology, 2018, 18(1): 35-38.
- [12] 高行新,陆军,李莎,等. 射波刀治疗计划中定位中心的改变对靶区剂量分布影响研究[J]. 中国医学装备, 2016, 13(3): 28-31.
Gao XX, Lu J, Li S, et al. Research on influence of target dose distribution with the changes of align center of Cyberknife treatment planning[J]. China Medical Equipment, 2016, 13(3): 28-31.
- [13] 陈国梁,赵瑞,李俊杰,等. 射波刀放疗中相关螺旋CT定位条件的探讨[J]. 中国医疗设备, 2018, 33(5): 90-92.
Chen GL, Zhao R, Li JJ, et al. Discussion of the location conditions of spiral CT in Cyberknife radiotherapy[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2018, 33(5): 90-92.
- [14] 何亚男,罗焕丽,靳富,等. 不同重建方式下CT层厚对胸部肿瘤体积和剂量的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(3): 250-255.
He YN, Luo HL, Jin F, et al. Effects of computed tomography slice thickness on clinical target volume and dose in intensity[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(3): 250-255.
- [15] Prionas ND, Ray S, Boone JM. Volume assessment accuracy in computed tomography: a phantom study[J]. J Appl Clin Med Phys, 2010, 11(2): 3037.
- [16] 侯洪涛,张峰,曹玉林,等. CT扫描不同层厚及范围对扫描靶点的影响研究[J]. 中国医学装备, 2016, 13(2): 29-32.
Hou HT, Zhang F, Cao YL, et al. Research on effects on the targets due to changing slice thickness or scanner field of CT scanning[J]. China Medical Equipment, 2016, 13(2): 29-32.
- [17] 姚原,吴国华,吴旭东,等. CT模拟定位中扫描层厚对肿瘤靶区体积的影响[J]. 实用癌症杂志, 2001, 16(4): 410-411.
Yao Y, Wu GH, Wu XD, et al. The effect of CT scans slice thickness on gross target volume in CT simulation[J]. The Practical Journal of Cancer, 2001, 16(4): 410-411.
- [18] Somigliana A, Zonca G, Loi G, et al. How thick should CT/MR slices to plan conformal radiotherapy? A study on the accuracy of three-dimensional volume reconstruction[J]. Tumori, 1996, 82(5): 470-472.
- [19] Srivastava SP, Cheng CW, Das IJ. The effect of slice thickness on target and organs at risk volumes, dosimetric coverage and radiobiological impact in IMRT planning[J]. Clin Transl Oncol, 2016, 18(5): 469-479.
- [20] 杨玉刚,齐洪志,许林,等. 适形指数在宫颈癌放疗评价中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(3): 265-270.
Yang YG, Qi HZ, Xu L, et al. Application of conformity index in the evaluation of radiotherapy for cervical carcinoma[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(3): 265-270.
- [21] Paddick I. A simple scoring ratio to index the conformity of radiosurgical treatment plans[J]. J Neurosurg, 2000, 93(Suppl 3): 219-222.
- [22] Wagner TH, Bova FJ, Friedman WA, et al. A simple and reliable index for scoring rival stereotactic radiosurgery plans[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2003, 57(4): 1141-1149.
- [23] 张建平,王琳,徐本华,等. 新适形指数对肺癌立体定向放疗治疗计划质量的影响[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2018, 38(6): 424-428.
Zhang JP, Wang L, Xu BH, et al. Effects of the new conformity index on planning quality of lung cancer SBRT[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2018, 38(6): 424-428.

(编辑:薛泽玲)