

# VMAT计划中计算网格尺寸对宫颈癌放疗剂量的影响

魏敏, 陈长建, 葛双, 郝会珍, 程锦绣, 魏鹏, 朱培军, 叶书成

济宁医学院附属医院 放疗科, 山东 济宁 272000

**[摘要]** 目的 探究在Monaco计划系统中使用容积弧形调强放射治疗 (Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT) 计划时计算网格尺寸对于宫颈癌病例优化的影响。方法 选择在我院Monaco系统进行宫颈癌放疗的15例患者的CT图像, 计划采用Monaco计划系统中VMAT旋转治疗方式, 通过仅改变计划设计参数中计算网格尺寸 (2、3、4、5、6、7、8 mm), 得到计划的结果, 并对此进行靶区和危及器官的受量分析。结果 以计算网格尺寸2 mm为参考, 计划靶区剂量的 $D_{98}$ 、 $D_{mean}$ 、 $D_2$ 和均匀指数 (Homogeneity Index, HI) 在计算网格尺寸为3 mm时出现明显差异 ( $P<0.05$ ), 随着计算网格尺寸增大,  $D_{mean}$ 、 $D_2$ 和HI仍差异显著 ( $P<0.05$ )。当计算网格尺寸为5 mm时, 小肠的 $V_{40}$ 和结肠的 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 出现显著性差异 ( $P<0.05$ ); 计算网格尺寸为4 mm时, 膀胱的 $V_{45}$ 出现显著差异 ( $P<0.05$ ); 计算网格尺寸为8 mm时, 左股骨头出现显著性差异 ( $P<0.05$ )。结论 在Monaco计划系统中, 对于宫颈癌患者计算网格尺寸为3 mm时是合适的选择, 可为临床计划的设计提供一定的参考。在满足治疗效果的同时可提高治疗的效率。

**[关键词]** 计算网格尺寸; 宫颈癌; 容积弧形调强放射治疗; 放疗剂量

## Effect of Calculation Grid Size on Radiotherapy Dose of Cervical Cancer in VMAT Planning

WEI Min, CHEN Changjian, GE Shuang, XI Huizhen, CHENG Jinxiu, WEI Peng, ZHU Peijun, YE Shucheng

Department of Tumor Radiotherapy, Affiliated Hospital of Jining Medical University, Jining Shandong 272000, China

**Abstract:** Objective To explore the effect of calculating grid size on cervical cancer case optimization when using volumetric modulated arc therapy (VMAT) plan in Monaco planning system. **Methods** CT images of 15 cervical patients who received radiotherapy in our hospital in Monaco system were selected, and the plan was optimized using the rotational treatment method of VMAT in Monaco planning system. The planned results were obtained by only changing the grid size (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 mm) in the planning design parameters. The target area and organs at risk were analyzed. **Results** Using 2 mm calculation grid size as reference, the  $D_{98}$ ,  $D_{mean}$ ,  $D_2$  and homogeneity index (HI) of PTV were statistically significant differences when the calculation grid was 3 mm ( $P<0.05$ ). As the calculation grid increased, the difference of  $D_{mean}$ ,  $D_2$  and HI were still statistically significant ( $P<0.05$ ). When the calculation grid increased to 5 mm, for organs at risk, there was significant difference between the  $V_{40}$  of the small intestine and the  $V_{30}$  and  $V_{40}$  of the colon ( $P<0.05$ ). When the calculation grid was 4 mm, the  $V_{45}$  of the bladder had significant difference ( $P<0.05$ ). When the calculation grid was 8 mm, the left femoral head was significantly difference ( $P<0.05$ ). **Conclusion** In Monaco planning system, the mesh size of 3 mm is an appropriate choice for cervical cancer patients, which can provide a certain reference for the design of clinical planning. This will not only improve the efficiency of treatment, but also satisfy the therapeutic effect.

**Key words:** calculation grid size; cervical cancer; volumetric modulated arc therapy; radiation dose

[中图分类号] R730.55; R737.33

[文献标识码] A

doi: 10.3969/j.issn.1674-1633.2022.11.009

[文章编号] 1674-1633(2022)11-0043-04

## 引言

容积弧形调强放射治疗 (Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT) 作为一种新的调强放疗技术, 能够在 $360^\circ$ 的射野方向上调动各种因素来实现快速准确的放射治疗, 与传统放疗方式相比, VMAT不仅具有较好的剂量学优势, 而且能更好地保护靶区周围危及器官<sup>[1-3]</sup>。宫颈

癌的靶区体积较大且较狭长, 当计算网格尺寸改变时, 由于计算点插值算法和体积平均效应的影响, 导致计算误差可能增大<sup>[4-8]</sup>。研究表明, 剂量梯度与计算网格的尺寸有关<sup>[9]</sup>。本研究旨在通过设计不同计算网格尺寸下宫颈癌VMAT计划来分析计算网格的尺寸对放疗剂量的影响, 以期确定合适的计算网格尺寸, 为宫颈癌的计划设计提供参考。

收稿日期: 2021-12-14

基金项目: 中华国际医学交流基金会肿瘤精准放疗星火计划科研项目 (2019-N-11-12); 济宁医学院附属医院苗圃科研计划 (MP-2018-024)。

通信作者: 叶书成, 主任医师, 主要研究方向为肿瘤放射学。

通信作者邮箱: 18678766862@163.com

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

选取2018年3月至2020年6月在我院进行放疗的15例

宫颈癌患者的 CT 图像, 患者均为女性, 年龄 36~65 岁, 中位年龄 55 岁, 所有患者均经病理确诊, 均为首次接受放疗, 均接受处方剂量为 50 Gy/25f (每周 5 次) 的剂量照射。

### 1.2 CT 定位

采用大孔径 CT 模拟机 (飞利浦, 荷兰) 进行定位扫描, 将定位获得的 5 mm 层厚的 CT 图像传至 Monaco5.1 计划系统进行三维重建。患者取仰卧位, 热塑体膜进行固定。医生根据 ICRU 83 号报告<sup>[10]</sup>进行靶区勾画。放疗计划选用医科达 Versa HD 具有 80 对多叶光栅的直线加速器进行照射, 能量为 6 MV X 线。所有 VAMT 计划选择旋转弧数均为 2, 进行 360°全弧照射, 射束增量为 30°, 小机头 (Collimator) 角度为 15°; 每个弧的最大控制点数均为 180; 计划的不确定度为 1%; 最小子野宽度均为 1 cm。计算网格分别为 2、3、4、5、6、7、8 mm。

### 1.3 VMAT 计划的设计

保持 Monaco 计划系统其他条件不变 (旋转弧度、最小子野宽度等), 只改变计算网格尺寸的数值大小对计划进行优化, 即每个病例得到 7 个计划, 优化结束后, 将剂量归一到满足包绕处方剂量 95% 的剂量要求。

### 1.4 评价指标

ICRU 83 号报告<sup>[10]</sup>指出, 最小剂量定义为 98% 的计划靶区 (Planning Target Volume, PTV) 受到的剂量 ( $D_{98}$ ), 最大剂量定义为 2% 的 PTV 受到的剂量照射 ( $D_2$ )。根据计算的剂量体积直方图 (Dose-Volume Histogram, DVH) 可得, 评价指标还包括 PTV 的均匀指数 (Homogeneity Index, HI)、适形指数 (Conformity Index, CI) 以及不同计算网格尺寸下计划的机器跳数 (Monitor Unit, MU), 其中 PTV 的 HI 越接近 1, 表明 PTV 剂量分布的 DVH 曲线梯度越陡, PTV 剂量分布越均匀; CI 越接近 1, 表明优化结果的剂量分布与 PTV 几何形状间的适形度越好。

危及器官的评价: 小肠  $V_{30}$ 、 $V_{40}$  ( $V_{30}$  为 30 Gy 包绕的小肠体积,  $V_{40}$  为 40 Gy 包绕的小肠体积), 结肠  $V_{30}$ 、 $V_{40}$ , 直肠  $V_{45}$ , 膀胱  $V_{45}$ , 左股骨头  $D_{mean}$  ( $D_{mean}$  为所照射剂量的平均值), 右股骨头  $D_{mean}$ 。

### 1.5 统计学分析

采用 SPSS 22.0 软件进行数据分析, 服从正态分布的计量资料采用  $\bar{x} \pm s$  表示, 进行配对  $t$  检验, 以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 不同计算网格尺寸条件下 PTV 的受量分析

不同计算网格尺寸条件下 PTV 的评价指标如表 1 所示, 以计算网格尺寸 2 mm 为参考, 对于 PTV 剂量  $D_{98}$ , 计算网格尺寸为 3 mm 时差异显著 ( $t = -2.425$ 、 $P = 0.029$ ); 对于 PTV 的  $D_{mean}$  和  $D_2$ , 计算网格尺寸为 3 mm 时出现明显差异 ( $t = 2.772$ 、 $P = 0.015$ ,  $t = 3.313$ 、 $P = 0.005$ ), 且随着计算网格尺寸的数值增大, 差异依然存在。计算网格尺寸为 3 mm 时,  $D_2$  剂量低于计算网格尺寸为 2 mm 和 4 mm 的剂

量。对于 PTV 的 HI, 计算网格尺寸为 3 mm 时, 与 2 mm 的相比有明显差异 ( $t = 3.292$ 、 $P = 0.005$ ), 随着计算网格尺寸数值的改变, 差异显著 ( $t = 3.292$ 、 $P = 0.05$ )。计算网格尺寸增大为 6 mm 时, PTV 的 CI 较 2 mm 时出现显著差异, 且随着计算网格尺寸值越大, 差异越显著 ( $t = 4.496$ 、 $P = 0.001$ ,  $t = 6.675$ 、 $P < 0.001$ ,  $t = 7.506$ 、 $P < 0.001$ )。对于计划的 MU, 计算网格尺寸为 3 mm 时, MU 低于计算网格尺寸为 2 mm 和 4 mm 的, 计算网格尺寸为 4 mm 时, PTV 较 2 mm 时出现显著性差异 ( $t = -3.071$ 、 $P < 0.05$ )。

表1 不同计算网格尺寸条件下靶区PTV的受量评价 ( $\bar{x} \pm s$ , Gy)

计算网格尺寸	$D_{98}$	$D_{mean}$	$D_2$	HI	CI	MU
2 mm	49.061	52.006	53.867	1.07	0.871	998.645
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	0.307	0.465	0.713	0.013	0.018	111.054
3 mm	49.214	51.747	53.366	1.062	0.865	984.313
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	0.204 <sup>a</sup>	0.336 <sup>b</sup>	0.440 <sup>c</sup>	0.009 <sup>d</sup>	0.032	129.590
4 mm	49.130	51.825	53.523	1.064	0.873	1057.655
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	0.192	0.361 <sup>b</sup>	0.583 <sup>c</sup>	0.011 <sup>d</sup>	0.016	135.426 <sup>f</sup>
5 mm	49.139	51.715	53.327	1.060	0.865	1058.523
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	0.167	0.334 <sup>b</sup>	0.535 <sup>c</sup>	0.010 <sup>d</sup>	0.020	137.160 <sup>f</sup>
6 mm	49.167	51.703	53.330	1.061	0.839	1078.753
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	0.198	0.335 <sup>b</sup>	0.521 <sup>c</sup>	0.0104 <sup>d</sup>	0.027 <sup>e</sup>	168.439
7 mm	48.942	51.818	53.472	1.061	0.814	1084.135
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	0.409	0.458	0.660	0.016 <sup>d</sup>	0.030 <sup>e</sup>	179.586 <sup>f</sup>
8 mm	49.101	51.735	53.368	1.062	0.803	1049.659
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	0.264	0.451 <sup>b</sup>	0.685 <sup>c</sup>	0.014 <sup>d</sup>	0.034 <sup>e</sup>	160.321

注: <sup>a</sup>表示  $D_{98}$  与最小计算网格尺寸为 2 mm 相比较:  $t = -2.425$ 、 $P = 0.029$ ; <sup>b</sup>表示  $D_{mean}$  与最小计算网格尺寸为 2 mm 相比较:  $t = 2.772$ 、 $P = 0.015$ ,  $t = 2.419$ 、 $P = 0.030$ ,  $t = 3.322$ 、 $P = 0.005$ ,  $t = 3.372$ 、 $P = 0.005$ ,  $t = 2.340$ 、 $P = 0.035$ ; <sup>c</sup>表示  $D_2$  与最小计算网格尺寸为 2 mm 相比较:  $t = 3.313$ 、 $P = 0.005$ ,  $t = 2.865$ 、 $P = 0.012$ ,  $t = 4.191$ 、 $P = 0.001$ ,  $t = 3.899$ 、 $P = 0.002$ ,  $t = 2.910$ 、 $P = 0.011$ ; <sup>d</sup>表示 HI 与最小计算网格尺寸 2 mm 相比较:  $t = 3.292$ 、 $P = 0.005$ ,  $t = 3.154$ 、 $P = 0.007$ ,  $t = 5.123$ 、 $P < 0.001$ ,  $t = 3.389$ 、 $P = 0.004$ ,  $t = 2.694$ 、 $P = 0.017$ ,  $t = 2.256$ 、 $P = 0.041$ ; <sup>e</sup>表示 CI 与最小计算网格尺寸为 2 mm 相比较:  $t = 4.496$ 、 $P = 0.001$ ,  $t = 6.675$ 、 $P < 0.001$ ,  $t = 7.506$ 、 $P < 0.001$ ; <sup>f</sup>表示 MU 与最小计算网格尺寸为 2 mm 相比较:  $t = -3.071$ 、 $P = 0.008$ ,  $t = -2.697$ 、 $P = 0.017$ ,  $t = -2.228$ 、 $P = 0.043$ 。

### 2.2 不同计算网格尺寸条件下危及器官的受量分析

不同计算网格尺寸条件下危及器官的剂量比较如表 2 所示, 与同列最小计算网格尺寸为 2 mm 时比较, 当计算网格尺寸增大为 5 mm 时, 小肠的  $V_{40}$  和结肠的  $V_{30}$ 、 $V_{40}$  出现显著性差异 ( $t = -2.184$ 、 $P = 0.047$ ,  $t = -3.558$ 、 $P = 0.003$ ,  $t = -2.404$ 、 $P = 0.031$ ); 计算网格尺寸增加为 7 mm 时, 直肠的  $V_{45}$  出现显著性差异 ( $t = -2.652$ 、 $P = 0.019$ ); 计算网格尺寸为 4 mm 时, 膀胱的  $V_{45}$  出现显著性差异 ( $t = -2.570$ 、 $P = 0.022$ ); 不同的计算网格尺寸优化条件对右股骨头的  $D_{mean}$  无显著性差异 ( $t = 2.135$ 、 $P = 0.610$ ); 对于左股骨头的  $D_{mean}$ , 计算网格尺寸为 8 mm 时出现显著性差异 ( $t = -3.106$ 、 $P = 0.008$ )。

表2 不同计算网格尺寸条件下危及器官的受量评价 ( $\bar{x} \pm s$ , Gy)

计算网格尺寸	小肠V <sub>30</sub>	小肠V <sub>40</sub>	结肠V <sub>30</sub>	结肠V <sub>40</sub>	直肠V <sub>45</sub>	膀胱V <sub>45</sub>	右股骨头D <sub>mean</sub>	左股骨头D <sub>mean</sub>
2 mm	34.335	18.526	35.312	25.769	51.957	45.931	16.559	16.545
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	10.415	9.063	11.596	10.325	17.475	10.252	2.225	2.272
3 mm	35.455	19.341	36.000	26.294	53.935	47.811	15.332	16.922
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	9.469	8.609	11.423	10.434	13.689	10.691	4.858	2.560
4 mm	34.321	18.987	35.377	25.593	51.849	47.169	15.929	16.539
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	10.387	8.905	11.267	9.888	14.836	10.773 <sup>c</sup>	2.591	2.871
5 mm	34.933	19.482	37.056	26.687	54.976	47.939	16.313	16.657
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	10.333	8.865 <sup>a</sup>	12.168 <sup>b</sup>	10.359 <sup>c</sup>	13.578	10.195 <sup>c</sup>	2.453	2.719
6 mm	34.930	19.768	36.956	26.989	57.672	48.567	16.741	16.828
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	10.501	9.091 <sup>a</sup>	12.215 <sup>b</sup>	10.358 <sup>c</sup>	12.763	9.893 <sup>c</sup>	2.474	2.979
7 mm	34.799	19.713	37.251	26.849	61.254	49.267	17.041	17.157
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	9.627	8.684 <sup>a</sup>	12.369 <sup>b</sup>	10.505	12.089 <sup>d</sup>	9.780 <sup>c</sup>	2.788	3.250
8 mm	35.265	20.081	38.170	27.429	61.247	49.895	17.284	17.778
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	10.375	9.085 <sup>a</sup>	12.708 <sup>b</sup>	10.757 <sup>c</sup>	13.843	8.638 <sup>c</sup>	2.608	3.242 <sup>f</sup>

注：<sup>a</sup>表示小肠V<sub>40</sub>与为最小计算网格尺寸为2 mm相比较： $t=-2.184$ 、 $P=0.047$ ， $t=-2.253$ 、 $P=0.041$ ， $t=-2.424$ 、 $P=0.029$ ， $t=-3.309$ 、 $P=0.005$ ；<sup>b</sup>表示结肠V<sub>30</sub>与最小计算网格尺寸为2 mm相比较： $t=-3.558$ 、 $P=0.003$ ， $t=-2.608$ 、 $P=0.021$ ， $t=-2.336$ 、 $P=0.035$ ， $t=-3.320$ 、 $P=0.005$ ；<sup>c</sup>表示结肠V<sub>40</sub>与最小计算网格尺寸为2 mm相比较： $t=-2.404$ 、 $P=0.031$ ， $t=-2.902$ 、 $P=0.012$ ， $t=-5.013$ 、 $P<0.001$ ；<sup>d</sup>表示直肠V<sub>45</sub>与最小计算网格尺寸为2 mm相比较： $t=-2.652$ 、 $P=0.019$ ；<sup>e</sup>表示膀胱V<sub>45</sub>与最小计算网格尺寸为2 mm相比较： $t=-2.570$ 、 $P=0.022$ ， $t=-2.407$ 、 $P=0.030$ ， $t=-2.910$ 、 $P=0.011$ ， $t=-3.667$ 、 $P=0.003$ ， $t=-3.128$ 、 $P=0.007$ ；<sup>f</sup>表示左股骨头D<sub>mean</sub>与最小计算网格尺寸为2 mm相比较： $t=-3.106$ 、 $P=0.008$ 。

### 2.3 不同计算网格尺寸下1例VMAT计划的优化时间分析

选取1例典型病例（患者51岁，女性）的VMAT计划优化的时间进行分析，2、3、4、5、6、7、8 mm计算网格尺寸下计划优化时间分别为1732、965、703、623、562、400、356 s，分析发现，计算网格尺寸为2 mm时，计划耗时为计算网格尺寸为3 mm时的1.7倍，且随着计算网格尺寸值的增大，计划的计算耗时呈现逐渐减少的趋势。

## 3 讨论

本研究比较了Monaco计划系统中7种不同计算网格尺寸条件下的计划方案，并以计算网格尺寸2 mm为参考，结果表明，随着计算网格尺寸数值的改变，PTV和危及器官的剂量也发生变化。计算网格尺寸的改变会影响剂量的计算，对于宫颈癌患者来说，虽然PTV体积较大，但危及器官也相对较多，计算网格尺寸的改变对PTV和危及器官产生的影响也会造成剂量的差异<sup>[11]</sup>。在计算中发现，对于PTV周围的肠道存在部分空腔的计划，计算网格尺寸的改变对PTV剂量影响较大<sup>[12]</sup>。空腔的存在会影响剂量的沉积，计算网格尺寸的改变在进行插值计算时由于计算点插值和体积平均效应的影响会导致计算误差增大<sup>[13]</sup>。表明计算网格尺寸的大小对密度均匀的模体影响相对较小；对于宫颈癌患者来说，不仅有可能存在肠道空腔的影响，还有造影剂造成相对电子密度的改变，以及骨骼等使模体产生不均匀的客观条件，都会造成在改变计算网格尺寸时剂量的明显改变<sup>[14]</sup>。本研究中计算网格尺寸在3 mm时MU数相对降低，MU数的降低理论上减少了治疗出束的时间<sup>[15]</sup>，对

于治疗前需要饮水的患者来说，治疗时间的缩短也会减少治疗过程中的憋尿时间。MU数的明显减少，可以降低加速器辐射头内的散射线，从理论上讲，降低了二次致癌的概率<sup>[16-18]</sup>。

计算网格尺寸对放疗计划的计算和精度有重要的影响。郭栓栓等<sup>[11]</sup>在网格精度对不同肿瘤放疗计划影响中得出，对腹部肿瘤建议使用的计算网格尺寸为2~3 mm，与本研究结论相似。戴宛庭等<sup>[18]</sup>在肝癌立体定向放疗（Stereotactic Body Radiationtherapy, SBRT）研究中得出计算网格尺寸为2 mm时最佳。宫颈癌病例中危及器官体积较大，且多为并联危及器官，与SBRT的高精度要求相比，宫颈癌的最大剂量限值的权重相对较低。裴运通等<sup>[9]</sup>在Monaco计划系统中研究计算网格尺寸对头颈部肿瘤的影响时也得出，计算网格尺寸为3 mm时对计划的优化是合适的，兼顾了计算精度与计算效率。

计划计算耗时也是体现工作效率的指标之一<sup>[19-22]</sup>。本研究中，计算网格尺寸越小，计划耗时越长。计划系统中计算网格尺寸值为1~8 mm，由于计算网格尺寸采用1 mm时计算耗时太长，不适用于临床实际工作，因此，本研究未对计算网格尺寸为1 mm进行统计计算，从计划设计以及可实行角度，计算网格尺寸为3 mm时对于宫颈肿瘤较合适，这与郭栓栓等<sup>[11]</sup>在网格精度对不同肿瘤放疗计划影响报道中得到的结论类似。

## 4 结论

PTV和危及器官的评价指标随着计算网格尺寸的改变



表现出统计学差异性,因此,在 Monaco 计划系统中设计宫颈癌 VMAT 计划时需对计算网格尺寸加以选择。本研究中计算网格尺寸为 3 mm 时,既能满足 PTV 的各项评价指标 ( $D_{98}$ 、 $D_{mean}$ 、 $D_2$ 、MU、HI、CI),也能符合临床对危及器官的限制要求。因此,在 Monaco 计划系统中对宫颈癌进行 VMAT 优化时采用计算网格尺寸为 3 mm 是可行的,在满足临床剂量要求的同时提高了工作效率。

#### [参考文献]

- [1] Pyshniak V, Fotina I, Zverava A, et al. Efficiency of biological versus physical optimization for single arc VMAT for prostate and head and neck cases[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2014, 15(4): 4514.
- [2] Chan M, Wong M, Leung R, et al. Optimizing the prescription isodose level in stereotactic volumetric-modulated arc radiotherapy of lung lesions as a potential for dose de-escalation[J]. *Radiat Oncol*, 2018, 13(1): 24.
- [3] Srivastava SP, Cheng CW, Das IJ. The dosimetric and radiobiological impact of calculation grid size on head and neck IMRT[J]. *Pract Radiat Oncol*, 2017, 7(3): 209-217.
- [4] Chowj C, Jiang R, Markel D. Dosimetric variations in Calculation grid size in prostate VMAT: a dose-volume histogram analysis using the Gaussian error function[J]. *J Radiother Pract*, 2018, 17(2): 162-170.
- [5] 林涛,高留刚,睦建锋,等.子野数目对宫颈癌术后调强放疗计划剂量分布的影响[J]. *肿瘤基础与临床*, 2017, 30(6): 493-496.
- [6] Park JY, Kim S, Park HJ, et al. Optimal set of grid size and angular increment for practical dose calculation using the dynamic conformal arc technique: a systematic evaluation of the dosimetric effects in lung stereotactic body radiation therapy[J]. *Radiat Oncol*, 2014, 9: 5.
- [7] Srivastava SP, Cheng CW, Das IJ. The dosimetric and radiobiological impact of calculation grid size on head and neck IMRT[J]. *Pract Radiation Oncol*, 2017, 7(3): 209-217.
- [8] Kim KH, Chung JB, Suht S, et al. Dosimetric and radiobiological comparison in different dose calculation grid sizes between acuros XB and anisotropic analytical algorithm for prostate VMAT[J]. *PLoS One*, 2018, 13(11): e0207232.
- [9] 裴运通,胡金炎,马阳光,等. Monaco计划系统计算网格对头颈部肿瘤小体积危及器官的剂量学影响[J]. *中国医学物理学杂志*, 2019, 36(10): 1145-1151.
- [10] Hodapp N. The ICRU Report 83: prescribing, recording and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT)[J]. *Strahlenther Onkol*, 2012, 188(1): 97-99.
- [11] 郭栓栓,姜仁伟,丁秋娥,等.网格精度对不同肿瘤放疗计划影响[J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2017, 24(20): 1465-1468.
- [12] 吴建亭,狄慧,施春明,等.两种算法在宫颈癌术后调强放疗中的剂量学比较研究[J]. *肿瘤预防与治疗*, 2017, 30(1): 39-42.
- [13] 陈华,徐义果,庄志邈,等.放疗计划系统中空腔边缘剂量计算准确性研究[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2017, 26(1): 69-73.
- [14] 魏敏,牛振洋,刘苓苓,等.最小子野宽度对肺癌容积调强弧形治疗计划质量的影响[J]. *中国医学物理学杂志*, 2020, 37(3): 277-281.
- [15] 李军.基于Varian clinac-IX直线加速器放疗系统的技术分析和临床剂量学研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2016.
- [16] 王文婷,李勤,梁志文,等.计算网格改变对鼻咽癌调强放疗计算精度的影响[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2009(6): 494-495.
- [17] 葛双,王寻,叶书成,等.宫颈癌双弧容积旋转调强放射治疗中两种优化模式的剂量学比较研究[J]. *中国医学装备*, 2020, 17(10): 40-45.
- [18] 戴宛庭,李向斌,全红,等.网格精度对肝癌立体定向放射治疗计划的剂量学影响[J]. *中国医学物理学杂志*, 2021, 38(9): 1057-1060.
- [19] 陈飞虎,李一江,柏晗,等.宫颈癌放疗中计算网格尺寸对物理剂量和生物剂量的影响[J]. *中国医学物理学杂志*, 2020, 37(8): 971-976.
- [20] 于德洋,杨姗姗,云惟康,等.宫颈癌术后容积弧形调强与固定野动态调强放疗技术的剂量学比较[J]. *实用肿瘤学杂志*, 2017, 31(2): 152-155.
- [21] 吴哲,庞亚,刘可,等.计算网格大小对肝癌放疗剂量学和放射生物学参数的影响研究[J]. *肿瘤预防与治疗*, 2021, 34(1): 83-88.
- [22] Kim KH, Chung JB, Suh TS, et al. Dosimetric and radiobiological comparison in different dose calculation grid sizes between acuros XB and anisotropic analytical algorithm for prostate VMAT[J]. *PLoS One*, 2018, 13(11): e0207232.

本文编辑 盛伟