

## Eclipse 新光子优化算法中优化分辨率对放疗计划的影响

李莎<sup>1,3</sup>, 王美娇<sup>2,3</sup>, 岳海振<sup>3</sup>, 黄宇亮<sup>3</sup>, 刘卓伦<sup>3</sup>, 张健<sup>3</sup>, 高嵩<sup>1</sup>, 张艺宝<sup>3</sup>

1. 北京大学医学部医学物理系, 北京 100191; 2. 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所, 北京 100088; 3. 北京大学肿瘤医院暨北京市肿瘤防治研究所放疗科/恶性肿瘤发病机制及转化研究教育部重点实验室, 北京 100142

**【摘要】目的:**研究 Eclipse 新光子优化算法(Photon Optimizer, PO)不同优化分辨率对直肠癌术前同步推量容积调强计划靶区(PTV)和危及器官受量的影响,指导临床选取合适的优化分辨率,保证计划质量,提高效率。**方法:**利用 RapidPlan 模型,分别在 1.25、2.50 和 5.00 mm 优化分辨率设置下预测剂量体积直方图(DVH),通过 Application Programming Interface 脚本输出。用不同优化分辨率对 20 例患者进行计划设计,导出各计划表单 DVH 并用自编的 MATLAB 程序计算平均 DVH,用 SigmaPlot 和 SPSS 软件绘图和统计分析。记录并比较各分辨率 DVH 的预测、计划优化时间。**结果:**不同优化分辨率生成的 DVH 预测区间及优化参数完全相同,且预测时间差异不大,但使用 1.25 mm 分辨率完成计划优化大约是 2.50 和 5.00 mm 分辨率的 3~4 倍。3 种优化分辨率均能满足临床处方剂量,PTV 和计划肿瘤靶区(PGTV)的适形度指数、PTV 的均匀性指数差异均没有统计学意义。PGTV 的均匀性指数存在统计学差异,但差异幅度在 0.01 以内,无临床意义。1.25 mm 分辨率并不总能取得最好的危及器官保护,平均 DVH 图差异也十分微小。**结论:**靶区和危及器官剂量受优化分辨率影响很小,但时间差异明显。2.50 mm 优化分辨率的性价比最高。

**【关键词】**新光子优化算法;优化分辨率;RapidPlan;放疗

**【中图分类号】**R312

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2017)11-1081-05

## Dosimetric impact of optimization resolutions of the new photon optimizer in Eclipse treatment planning system

LI Sha<sup>1,3</sup>, WANG Meijiao<sup>2,3</sup>, YUE Haizhen<sup>3</sup>, HUANG Yuliang<sup>3</sup>, LIU Zhuolun<sup>3</sup>, ZHANG Jian<sup>3</sup>, GAO Song<sup>1</sup>, ZHANG Yibao<sup>3</sup>

1. Department of Medical Physics, Peking University Health Science Center, Beijing 100191, China; 2. National Institute for Radiological Protection, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100088, China; 3. Key Laboratory of Carcinogenesis and Translational Research (Ministry of Education/Beijing), Department of Radiation Oncology, Peking University Cancer Hospital & Institute, Beijing 100142, China

**Abstract: Objective** To investigate the effect of optimization resolutions of new photon optimizer in Eclipse treatment planning system on the dose to planning target volume (PTV) and organs-at-risk (OAR) of preoperational simultaneous-integrated-boosting volumetric modulated arc therapy plans for patients with rectal cancer, and provide clinical guidelines of resolution selection to strike a balance between plan quality and efficiency. **Methods** After the RapidPlan model applied in the research was set with a resolution of 1.25, 2.50 and 5.00 mm, respectively, the dose-volume histogram (DVH) were estimated, respectively, and Application Programming Interface (API) script was used to export these data for comparison. Herein, 3 plans using different resolutions were generated for 20 patients, and their DVH was exported. We applied the in-house MATLAB code to calculate the mean DVH, and SigmaPlot and SPSS software for plotting and statistical analysis. Time for DVH estimation and optimization were also recorded and analyzed. **Results** According to the API exportation, the DVH estimation and optimized parameters acquired by various resolutions were exactly the same. However, the optimization time using a resolution of 1.25 mm was about 3-4 times of that using the resolution of 2.50 and 5.00 mm. All the resolutions satisfied clinical requirements for target dose coverage. The differences in the conformity index of PTV and planning gross tumor volume, and the homogeneity index of PTV

**【收稿日期】**2017-06-17

**【基金项目】**国家自然科学基金(11505012, 61671026);北京市自然科学基金(7172048, 1174016, 7162112);北京市医院管理局“青苗”计划专项(QML20151004);质检公益性行业科研专项(201510001-02)

**【作者简介】**李莎,硕士研究生,研究方向:医学物理, E-mail: 1446352137@qq.com

**【通信作者】**张艺宝,博士,高级工程师,硕士生导师,研究方向:医学物理, E-mail: ybzhang66@163.com

were not statistically significant ( $P>0.05$ ). Though the homogeneity index of planning gross tumor volume was significantly different among 3 plans, the magnitude of deviations was within 0.01, which was considered clinically negligible. Relative to the resolutions of 2.50 and 5.00 mm, 1.25 mm did not always guarantee the best OAR sparing. The differences in mean DVH were marginal. **Conclusion** The impacts of optimization resolutions on the dose to target areas and OAR are trivial, but the differences in optimization time are dramatic. The plan with a resolution of 2.50 mm was most cost-effective.

**Keywords:** new photon optimizer; optimization resolution; RapidPlan; radiotherapy

## 前言

RapidPlan是瓦里安Eclipse计划系统在13.5版本及以后版本中提供的一个可选模块,通过先验知识拟合的剂量-体积模型辅助生成患者个体化的优化条件,从而实现半自动计划设计<sup>[1-2]</sup>。文献提示RapidPlan可以有效提高计划设计效率<sup>[3]</sup>,保持甚至改善剂量分布<sup>[4]</sup>,且通过减少人工干预从而显著提高计划间的质量一致性<sup>[5-6]</sup>。值得一提的是,RapidPlan采用了全新的光子优化算法(Photon Optimizer, PO),它不仅合并了先前用于优化容积调强(VMAT)的PRO(Progressive Resolution Optimizer)算法和用于优化固定野调强(IMRT)的DVO(Dose Volume Optimizer)算法,而且摒弃了PRO和DVO所采用的传统点云模型<sup>[7-8]</sup>,转而使用全新的体积模型,即结构,剂量体积直方图(DVH)计算和剂量采样通过在空间上使用图像的一个单一矩阵定义。这一重大改变也引出了一个新的优化条件,即优化分辨率。与DVO和PRO可以针对每一个结构设置任意不同分辨率,PO只允许对全局设置唯一的优化分辨率,且只有3档可选,分别是Fine(1.25 mm)、Normal(2.50 mm)和Low(5.00 mm)。

我们已发表的工作表明,无论是否使用RapidPlan,新的PO算法较PRO都能得到更好的VMAT计划,但这一工作只采用了2.50 mm的优化分辨率<sup>[9]</sup>。国内外也暂未见针对PO算法优化分辨率的比较报道。本工作将系统评估PO算法的3个优化分辨率对于DVH模型预测数据、剂量学结果和计划优化效率的影响,为临床取得最佳时间/计划质量平衡提供决策依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 DVH预测模型

模型建立的详细过程和验证结果可参见已发表的论文<sup>[3, 10-13]</sup>。该模型利用81例历史优质直肠癌术前同步推量VMAT计划,基于Eclipse 13.5版RapidPlan平台在体素水平将剂量与几何结构的相互关系拟合成数学模型,分22次使95%计划肿瘤靶区(PGTV)和95%计划靶区(PTV)分别达到50.6和41.8 Gy的处方

剂量<sup>[14]</sup>。经200多例测试病例验证,该模型可以显著降低传统临床计划的危及器官剂量,且质量一致性更好。

### 1.2 分辨率对DVH预测的影响

另选20例同类型历史临床病例作为测试计划,在1.25、2.50和5.00 mm分辨率条件下,利用上述模型预测各器官可能实现的DVH区间,再通过Eclipse的Application Programming Interface(API)脚本,输出每个区间的上下限,同时输出依据预测区间下限自动生成的各优化条件。人工记录每个分辨率下预测DVH所耗时间。

### 1.3 分辨率对优化结果的影响

采用相同的射线、布野、优化参数等条件,分别在3个分辨率设置下对20例测试计划进行优化,并利用相同剂量-体积模型和网格计算最终剂量分布。人工记录每个分辨率下计划优化所耗时间。参照RTOG-0822标准,提取并比较相同患者不同优化分辨率结果中股骨头 $V_{40\text{ Gy}}$ 、 $V_{45\text{ Gy}}$ 、平均剂量( $D_{\text{mean}}$ );膀胱 $V_{40\text{ Gy}}$ 、 $V_{45\text{ Gy}}$ 、 $D_{\text{mean}}$ ;小肠 $V_{35\text{ Gy}}$ 、 $V_{40\text{ Gy}}$ 、 $V_{45\text{ Gy}}$ 和 $D_{\text{mean}}$ 等参数,其中, $V_{x\text{ Gy}}$ 表示该器官受到 $x\text{ Gy}$ 及以上剂量的相对体积。计算并比较靶区的均匀性指数(HI): $HI=(D_{2\%}-D_{98\%})/D_{50\%}$ 和适形度指数(CI): $CI=V_{\text{Rx}}/V_{\text{target}}$ ,其中, $D_{x\%}$ 、 $V_{\text{Rx}}$ 和 $V_{\text{target}}$ 分别表示 $x\%$ 体积所受剂量、受到处方及以上剂量的体积、靶区的体积。利用自编MATLAB程序分析从Eclipse中导出的表单形式DVH数据,计算并利用SigmaPlot V10.0软件绘制20例测试计划平均DVH,比较不同优化分辨率产生的剂量学差异。

### 1.4 统计学方法

用SPSS 21.0软件对数据进行统计学分析,对于符合及不符合正态分布的数据分别采用配对 $t$ 检验和非参数统计方法, $P<0.05$ 为统计学有显著意义。

## 2 结果

### 2.1 时间效率

利用DVH模型预测评估计划并生成个体化优化参数的时间只有10~20 s,且不同优化分辨率之间的差异不大。但是分辨率对整体优化时间的影响十分

明显,例如在 Intel<sup>®</sup> Xeon<sup>®</sup> 64-bit 操作系统、CPU 3.00 GHz(2 processors)、128 GB(RAM)硬件条件下,使用 1.25 mm 分辨率完成 17 484 cm<sup>3</sup> Body 体积的优化时间大约为 892.37 s(不含剂量-体积计算时间),分别大约是使用 2.50 mm 分辨率的 3 倍和使用 5.00 mm 分辨率的 4 倍。

## 2.2 RapidPlan 模型预测结果

API 输出的结果显示,使用不同优化分辨率得到的

DVH 预测区间以及由此生成的优化参数完全相同。

## 2.3 剂量学结果

表 1 和表 2 分别展示了在相同优化参数下,不同优化分辨率对于靶区剂量和危及器官剂量影响的统计分析。图 1 展示了 20 例测试计划的平均 DVH 图,其中图 1a 比较了靶区的剂量分布,图 1b~图 1d 分别用实线、短线和点线绘制了 1.25、2.50 和 5.00 mm 分辨率下,股骨头、膀胱和小肠的 DVH 优化结果。

表 1 不同分辨率之间的靶区剂量比较

Tab.1 Dose analysis of target areas in 3 plans with different optimization resolutions

Evaluation items	Resolutions/mm	PTV			PGTV		
		Mean±SD	95%CI	P value	Mean±SD	95%CI	P value
CI	1.25	1.04±0.02	1.03-1.05	Firedman test $P>0.05$	1.09±0.07	1.06-1.12	Firedman test $P>0.05$
	2.50	1.05±0.01	1.04-1.05		1.07±0.06	1.05-1.10	
	5.00	1.06±0.02	1.05-1.07		1.09±0.05	1.06-1.11	
HI	1.25	0.26±0.01	0.26-0.27	ANOVA $P>0.05$	0.05±0.01	0.05-0.05	0.03 <sup>①</sup>
	2.50	0.26±0.01	0.26-0.26		0.05±0.00	0.04-0.05	<0.01 <sup>②</sup>
	5.00	0.26±0.01	0.26-0.27		0.06±0.01	0.06-0.06	<0.01 <sup>③</sup>

PTV: Planning target volume; PGTV: Planning gross tumor volume; CI: Conformity index; HI: Homogeneity index; SD: Standard deviation; 95%CI: 95% confidence interval; <sup>①</sup>: Comparing 1.25 mm with 2.50 mm; <sup>②</sup>: Comparing 1.25 mm with 5.00 mm; <sup>③</sup>: Comparing 2.50 mm with 5.00 mm

表 2 不同分辨率之间的危及器官剂量比较

Tab.2 Dose analysis of organs-at-risk in 3 plans with different optimization resolutions

Resolutions/mm	Femoral head				Bladder				Small bowel				
	V <sub>40</sub> /%	V <sub>45</sub> /%	D <sub>mean</sub> /Gy	P* value	V <sub>40</sub> /%	V <sub>45</sub> /%	D <sub>mean</sub> /Gy	P* value	V <sub>35</sub> /%	V <sub>40</sub> /%	V <sub>45</sub> /%	D <sub>mean</sub> /Gy	P* value
1.25	0.00	0.00	11.64	ANOVA $P>0.05$	12.93	3.52	22.71	Firedman test $P>0.05$	6.43	0.66	0.00	22.10	ANOVA $P>0.05$
2.50	0.00	0.00	11.78		13.01	3.13	22.77		6.39	0.57	0.00	21.76	
5.00	0.00	0.00	11.85		13.21	3.22	22.75		6.84	0.63	0.00	22.16	

P\* value is based on mean dose.

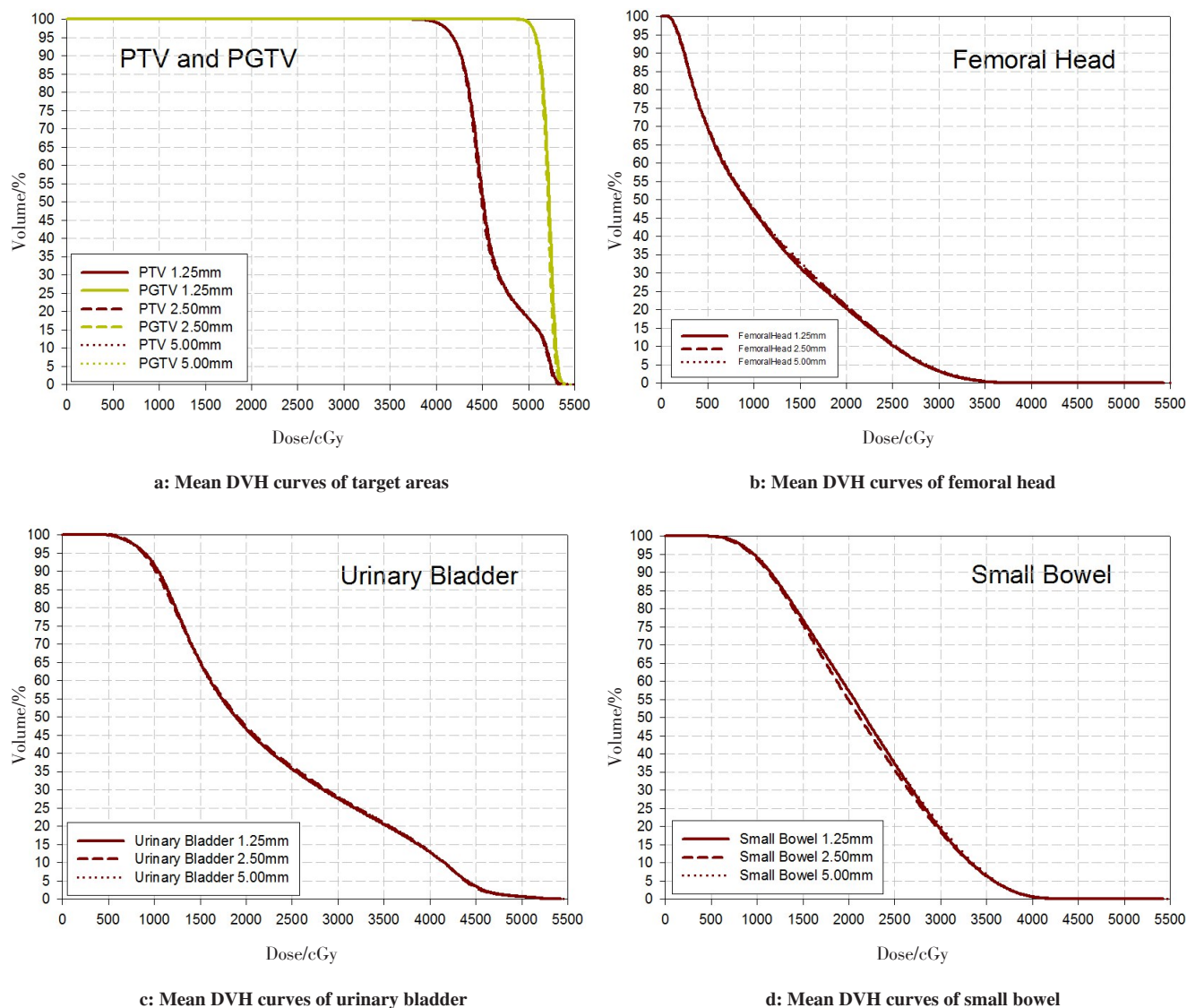
## 3 讨论

RapidPlan 模型使用不同的分辨率对相同病例进行 DVH 评估,其消耗时间、预测结果及生成的优化参数均相同,由此推断,DVH 预测模型的运行未将用户设置的分辨率纳入计算。此外优化分辨率也有别于剂量-体积计算过程中的网格大小<sup>[15]</sup>,后者对于计算时间和精度也具有显著影响,故本工作采用相同的网格和算法予以避免。

对于靶区而言,使用 3 种优化分辨率均能达到临

床满意的处方剂量覆盖,PTV 和 PGTV 的 CI 和 PTV 的 HI 差异均没有统计学意义。虽然 PGTV 的 HI 存在统计学差异,但差异幅度在 0.01 以内,无临床意义。图 1 中显示的不同分辨率得到的靶区 DVH 线基本重合,呼应了表 1 中的数据结论。从图 1 可以看出,不同优化分辨率下,股骨头、膀胱和小肠的平均 DVH 均有微小差异,其中 1.25 mm 分辨率下股骨头和膀胱的 DVH 最理想,而小肠在 2.50 mm 分辨率时 DVH 曲线最优。这些现象与表 2 显示的 D<sub>mean</sub> 结果一致,但 D<sub>mean</sub> 差异均无统计学意义。





DVH: Dose-volume histogram; the solid, short dash and dotted lines indicated the plan with the resolution of 1.25, 2.50 and 5.00 mm, respectively.

图1 20例测试计划的平均DVH图  
Fig.1 Mean DVH curves of 20 testing plans

对表2的结果进行分类汇总,除了3组无明显差异参数外,1.25 mm分辨率共取得3项最优结果,包括股骨头  $D_{\text{mean}}$ 、膀胱  $V_{40 \text{ Gy}}$  和  $D_{\text{mean}}$ ; 2.50 mm分辨率共取得4项最优结果,包括膀胱  $V_{45 \text{ Gy}}$ 、小肠  $V_{35 \text{ Gy}}$ 、 $V_{40 \text{ Gy}}$  和  $D_{\text{mean}}$ ; 除3项中等表现外,5.00 mm分辨率的其他结果均最差,但所有差异均无统计学意义。

本研究的不足之处在于直肠癌计划的靶区和危及器官体积均较大,优化分辨率的敏感性可能因此不明显。而对于更为精细的结构,如头颈部肿瘤的晶体,1.25 mm优化分辨率可能具有潜在优势,待笔者的头颈部RapidPlan模型调试完毕后再做进一步研究探索。

#### 4 结论

虽然1.25 mm优化分辨率耗时最多,但并不总能得到最优的计划质量。2.50 mm分辨率能在效率和质量之间达到最好平衡,应作为临床首选。而5.00 mm分辨率的表现也无明显不足,可在硬件条件有限的情况下优先选择。

#### 【参考文献】

- [1] SHIRAIISHI S, MOORE K L. Knowledge-based prediction of three-dimensional dose distributions for external beam radiotherapy[J]. Med Phys, 2016, 43(1): 378-387.
- [2] ZAREPISHEH M, LONG T, LI N, et al. A DVH-guided IMRT optimization algorithm for automatic treatment planning and adaptive radiotherapy replanning[J]. Med Phys, 2014, 41(6): 061711.
- [3] WU H, JIANG F, YUE H, et al. A dosimetric evaluation of knowledge-based VMAT planning with simultaneous integrated boosting for rectal cancer patients[J]. J Appl Clin Med Phys, 2016, 17(6): 78-85.

- [4] HUSSEIN M, SOUTH C P, BARRY M A, et al. Clinical validation and benchmarking of knowledge-based IMRT and VMAT treatment planning in pelvic anatomy[J]. *Radiother Oncol*, 2016, 120(3): 473-479.
- [5] ZHU X, GE Y, LI T, et al. A planning quality evaluation tool for prostate adaptive IMRT based on machine learning[J]. *Med Phys*, 2011, 38(2): 719.
- [6] BERRY S L, MA R, BOCZKOWSKI A, et al. Evaluating inter-campus plan consistency using a knowledge based planning model[J]. *Radiother Oncol*, 2016, 120(2): 349-355.
- [7] VANETTI E, NICOLINI G, NORD J, et al. On the role of the optimization algorithm of RapidArc<sup>®</sup> volumetric modulated arc therapy on plan quality and efficiency[J]. *Med Phys*, 2011, 38(11): 5844-5856.
- [8] COZZI L, DINSHAW K A, SHRIVASTAVA S K, et al. A treatment planning study comparing volumetric arc modulation with RapidArc and fixed field IMRT for cervix uteri radiotherapy[J]. *Radiother Oncol*, 2008, 89(2): 180-191.
- [9] JIANG F, WU H, YUE H, et al. Photon optimizer (PO) prevails over progressive resolution optimizer (PRO) for VMAT planning with or without knowledge-based solution[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2017, 18(2): 9-14.
- [10] HAO W, FAN J, YUE H, et al. Applying a RapidPlan model trained on a technique and orientation to another: a feasibility and dosimetric evaluation[J]. *Radiat Oncol*, 2016, 11(1): 108.
- [11] 张艺宝, 蒋璠, 岳海振, 等. 利用 VMAT 模型基于知识 IMRT 计划半自动优化[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2017, 26(2): 178-181.
- ZHANG Y B, JIANG F, YUE H Z, et al. Knowledge-based semi-automated optimization of intensity-modulated radiotherapy plans using a volume modulated arc therapy-configured model[J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2017, 26(2): 178-181.
- [12] 吴昊, 蒋璠, 岳海振, 等. 瓦里安 RapidPlan 模型训练中统计离群值的处理及其剂量学影响[J]. *中国医学物理学杂志*, 2016, 33(7): 649-653.
- WU H, JIANG F, YUE H Z, et al. Statistical outlier processing and dosimetric effect in Varian RapidPlan model verification[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2016, 33(7): 649-653.
- [13] 蒋璠, 张艺宝, 岳海振, 等. 基于经验的放疗计划模型训练及其初步应用[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2016, 25(11): 1223-1227.
- JIANG F, ZHANG Y B, YUE H Z, et al. The model training of knowledge-based radiotherapy treatment planning and its preliminary application[J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2016, 25(11): 1223-1227.
- [14] LI J L, JI J F, CAI Y, et al. Preoperative concomitant boost intensity-modulated radiotherapy with oral capecitabine in locally advanced mid-low rectal cancer: a phase II trial[J]. *Radiother Oncol*, 2012, 102(1): 4-9.
- [15] 刘翔宇, 柳先锋, 何亚男, 等. 计算网格大小对 Eclipse 治疗计划系统剂量计算的影响[J]. *吉林大学学报(医学版)*, 2011, 37(5): 843-847.
- LIU X Y, LIU X F, HE Y N, et al. Effects of different calculation grids on dose calculation in treatment plan system of Eclipse[J]. *Journal of Jilin University (Medicine Edition)*, 2011, 37(5): 843-847.

(编辑:陈丽霞)