

食管癌调强计划中钨门锁定和钨门跟随技术剂量学比较

陈艳¹, 黄宇亮², 吴昊², 贾冬¹, 贾霖¹, 韩建军¹, 李晨光², 张艺宝²

1. 绵阳市第三人民医院/四川省精神卫生中心, 四川 绵阳 621000; 2. 北京大学肿瘤医院暨北京市肿瘤防治研究所放疗科/恶性淋巴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:比较研究食管癌调强计划中使用钨门锁定和钨门跟随技术对于计划设计质量尤其是肺受量的影响。**方法:**回顾性选取48例IV期食管癌患者, PTV体积为 $(542 \pm 192) \text{ cm}^3$ 。基于Eclipse 10.0系统为每例患者设计7野调强计划, 并通过归一使95% PTV剂量达到50.4 Gy。在保持布野、优化条件等其他参数不变的情况下, 通过改变钨门设置分别生成钨门跟随(Tracking)组和钨门锁定(Fixed)组, 并对Fixed组计划进行热点处理以确保其满足临床要求(Modified)。分析3种不同设计方法48例患者计划的剂量-体积参数绘制平均DVH图进行比较。**结果:**Fixed组比Tracking组心脏 $V_{30 \text{ Gy}}$ 、 $V_{40 \text{ Gy}}$ 、 D_{mean} 分别平均降低了0.68%、1.89%、1.77%; 肺 $V_{5 \text{ Gy}}$ 、 $V_{20 \text{ Gy}}$ 、 D_{mean} 分别平均降低了6.84%、1.50%、4.06%; 但脊髓的 D_{max} 和全局热点分别增加了0.58%和2.14%, 在去除热点后得到了解决, Modified组脊髓 D_{max} 和全局热点均显著低于Tracking组($P < 0.001$), 降幅分别为1.92%和2.38%, 且心脏 $V_{30 \text{ Gy}}$ 、 $V_{40 \text{ Gy}}$ 、 D_{mean} 和肺 $V_{5 \text{ Gy}}$ 、 $V_{20 \text{ Gy}}$ 、 D_{mean} 等降幅分别为7.69%、2.00%、2.42%和6.56%、1.33%、3.73%, 差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。**结论:**钨门锁定技术在特殊情况下比钨门跟随技术更能够有效保护心脏、肺等重要器官, 在设计食管癌固定野调强放疗计划时, 应在临床实践中予以充分考虑。

【关键词】食管癌; 钨门锁定; 钨门跟随; 调强放射治疗

【中图分类号】R730.55; R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)03-0249-05

Dosimetric comparison of fixed jaw and jaw tracking applied in intensity-modulated radiotherapy for esophageal cancer

CHEN Yan¹, HUANG Yuliang², WU Hao², JIA Dong¹, JIA Lin¹, HAN Jianjun¹, LI Chenguang², ZHANG Yibao²

1. Sichuan Mental Health Center, the Third Hospital of Mianyang, Mianyang 621000, China; 2. 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 compare the dosimetric effects of jaw tracking and fixed jaw techniques on intensity-modulated radiotherapy (IMRT) for esophageal cancer, especially on the lung dose. **Methods** The clinical data of 48 patients with stage IV esophageal cancers were analyzed retrospectively. The mean planning target volume of all 48 patients was $(542 \pm 192) \text{ cm}^3$. Based on Eclipse 10.0 treatment planning system, 7-field IMRT plan was designed for each patient. Moreover, 95% of planning target volume was irradiated by at least 50.4 Gy. Keeping beam geometry and optimization conditions unchanged, the plans were optimized using jaw tracking (Tracking group) or fixed jaw techniques (Fixed group). Subsequently, the hotspots of Fixed group were post-processed to ensure that the plans meet clinical requirements (Modified group). Finally, the dose-volume histogram was used to compare the dosimetric effects of jaw tracking and fixed jaw techniques on IMRT for esophageal cancer in 48 patients. **Results** Compared with those in Tracking group, the $V_{30 \text{ Gy}}$, $V_{40 \text{ Gy}}$, D_{mean} of heart and the $V_{5 \text{ Gy}}$, $V_{20 \text{ Gy}}$, D_{mean} of lungs in Fixed group were reduced by an average of 0.68%, 1.89%, 1.77%, and 6.84%, 1.50%, 4.06%, respectively. However, the D_{max} of spinal cord and global D_{max} in Fixed group were increased by 0.58% and 2.14%, respectively. After hotspot post-processing, the issues were well resolved. The D_{max} of spinal cord and global D_{max} in Modified group were 1.92% and 2.38% lower than those

【收稿日期】2018-11-21

【基金项目】北京市自然科学基金(7172048, 1174016); 北京市卫生和计划生育委员会首都卫生发展科研专项(首发2018-4-1027); 国家自然科学基金(11505012); 四川省科技计划项目(2018HH0099); 北京市属医院科研培育计划项目(PX2019042, PX2016060); 北京市医院管理局“青苗”计划专项经费(QML20171104)

【作者简介】陈艳, 助理工程师, 研究方向: 医学物理, E-mail: chenyan200707@126.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

in Tracking group ($P<0.001$). Moreover, the $V_{30\text{ Gy}}$, $V_{40\text{ Gy}}$, D_{mean} of heart and the $V_5\text{ Gy}$, $V_{20\text{ Gy}}$, D_{mean} of lungs in Modified group were reduced by 7.69%, 2.00%, 2.42%, and 6.56%, 1.33%, 3.73%, respectively, with statistical differences (all $P<0.05$). **Conclusion** For special cases, the fixed jaw technique is superior to jaw tracking technique in protecting organs-at-risk, such as heart and lungs, which should be taken into full consideration during the IMRT for esophageal cancers.

Keywords: esophageal cancer; fixed jaw; jaw tracking; intensity-modulated radiotherapy

前言

多叶准直器(Multi-Leaf Collimators, MLC)是实现调强放疗的关键设备^[1]。作为瓦里安加速器的第三级准直系统,MLC的透漏率随射线能量的不同可达0.9%~7.0%^[2-3],但如果配合钨门使用则可将透漏率降低至0.1%以下^[4]。Wu等^[5]和Feng等^[6]分别报道了利用钨门跟随技术(Jaw Tracking)在容积调强(Volumetric Arc Therapy, VMAT)和固定野调强(Intensity-Modulated Radiation Therapy, IMRT)中有效降低MLC透漏剂量的应用。Chen等^[7]的研究却发现,钨门锁定(Fixed Jaw)有时能够更好地保护腹盆部的危及器官。相对于腹盆部的放射性器官损伤风险,低剂量导致的放射性肺炎在临床上更为常见。作为通过放疗计划预测和防范放射性肺炎的主要剂量学指标,肺平均剂量(D_{mean})^[8-9]、剂量高于5 Gy和20 Gy的肺体积($V_{5\text{ Gy}}$ 和 $V_{20\text{ Gy}}$)等^[10],均对MLC透漏线十分敏感。钨门锁定技术在相关部位的研究报道尚显不足。

本工作基于食管癌IMRT技术,研究比较钨门锁定和钨门跟随技术在靶区剂量覆盖和危及器官保护方面的剂量学优劣,以期临床决策提供数据和方法参考。

1 材料与方法

1.1 病例选择

回顾性选取2017年1月~2018年3月在绵阳市第三人民医院放射治疗中心接受固定野调强放疗的48例患者放疗计划数据,男43人,女5人,TNM分期Ⅳ期(均有锁骨上转移),患者其他基本情况统计如表1所示。

表1 入组的48例食管癌患者基本情况统计
Tab.1 Clinical data of 48 patients with esophageal cancer

项目	均值±标准差	最小值	最大值	95%置信区间
年龄/岁	63±8	47	78	61~65
CTV 体积 /cm ³	309±123	72	661	273~345
PTV 体积 /cm ³	542±192	188	1 052	487~598

其中,临床靶区(Clinical Target Volume, CTV)涵盖瘤床及相应淋巴引流区,包括下颈、锁骨上、气管食管旁、中上纵膈(2、4、5、7区),下界至隆突下3 cm,若病灶或吻合口位于胸中下段,则下界位于瘤床下缘3.0 cm,胸下段食管癌包括上腹部胃左动脉区域淋巴结。计划靶区(Planning Target Volume, PTV)为CTV外放0.5~0.8 cm^[11-12]。

1.2 计划设计和优化目标

考虑到靶区和危及器官相对位置特点,所有计划均采用7个固定野设计:第1、3、4、5、7 5个野的机架分别取160°、40°、0°、320°、200°,除第4野(0°)为保护心脏覆盖部分靶区外,其余射野大小均与靶区适形;而第2、6野为降低肺受量,则只关注下颈和锁骨上部分区域,机架角度分别为70°和290°,如图1所示。准直器旋转角度以MLC运动幅度范围最小为标准进行个体化调整。在钨门锁定计划(Fixed)组,7个射野的钨门均锁定;钨门跟随计划(Tracking)组中,只有第2和第6野锁定(否则射野会过大),其余5野均选择跟随。除了钨门设置外,两组计划的其他布野条件、优化参数等均一致。计划设计均在瓦里安Eclipse 10.0系统上,基于Clinac-ix加速器6 MV光子、Millennium 120 MLC完成。IMRT优化算法和剂量体积算法分别采用DVO-100282和AAA-100282。

所有的病例处方剂量均为:95%的PTV体积在28次治疗中接受不低于50.4 Gy剂量。各计划在计算完毕后先以此标准进行归一,以便在足够的靶区覆盖前提下进行危及器官受量比较。优化目标分别为:双肺 $V_{20\text{ Gy}}<30\%$ (最好 $<25\%$), $V_5\text{ Gy}<65\%$ (最好 $<60\%$);心脏 $V_{30\text{ Gy}}<40\%$ 、 $V_{40\text{ Gy}}<30\%$,并尽量降低平均剂量;脊髓最大剂量点 $D_{\text{max}}<40\text{ Gy}$;全局热点尽量保持在110%以内(即55.44 Gy),若确有困难则尽量将热点控制在靶区范围并避开重要危及器官^[13]。处理热点的方法包括:将等剂量线转化为辅助结构并赋予高权重压制热点,手工修改主要贡献野的通量图等^[14]。为确保锁定组计划最终可以满足临床要求,在其他优化条件不变的情况下,对其进行热点处理,成为修改(Modified)组。

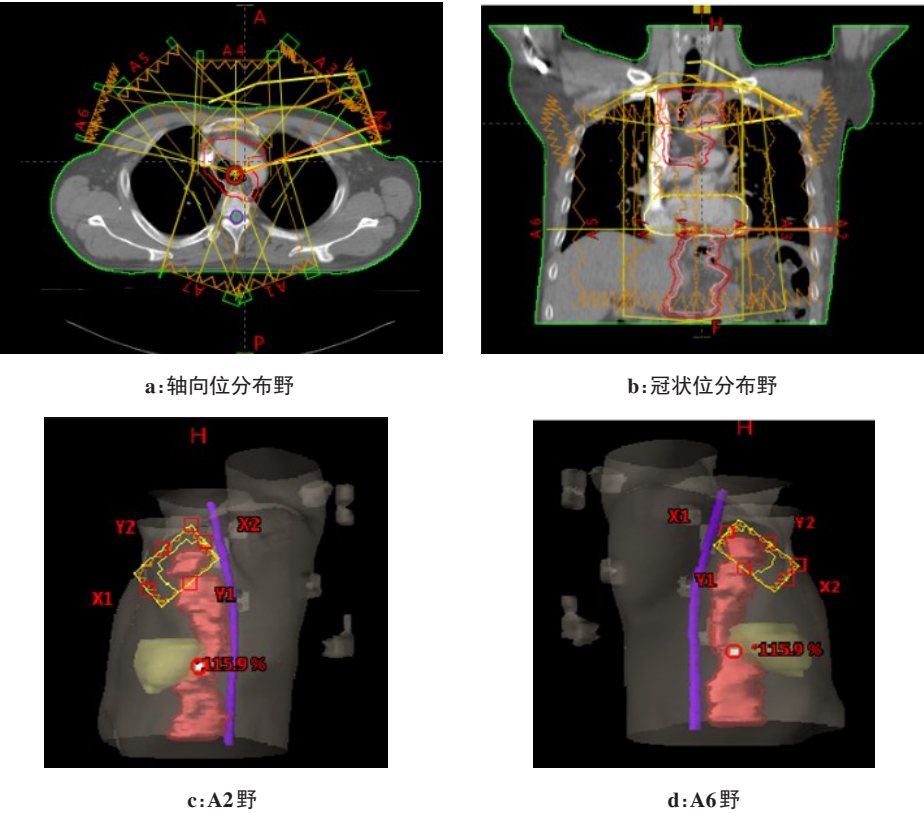


图1 典型食管癌患者的布野示意图
Fig.1 Beam geometry in a patient with esophageal cancer

1.3 剂量学分析和比较

为避免手工获取剂量-体积参数可能发生的错误并提高分析效率,本工作采用自动提取方法^[15]。所有计划的表格式DVH数据(DVH in tabular format)以0.10 Gy的间隔导出,用自编程序从中批量读取靶区体积(用于填写表2中的部分数据),脊髓D_{max},全局D_{max},心脏V_{30 Gy}、V_{40 Gy}、D_{mean},双肺V_{5 Gy}、V_{20 Gy}和D_{mean},适形度指数和均匀性指数^[16-17]等。基于同样数据,编写程序为Fixed组和Tracking组分别计算30例患者的平均DVH值并用SigmaPlot 10.0软件(Systat Software, Inc., San Jose, CA)绘制成图进行比较。

1.4 统计学方法

基于SPSS 21.0软件,对于符合正态分布的数据采用配对t检验,不符合的则采用Wilcoxon秩和检验。正态分布检验方法为Shapiro-Wilk法。设P<0.05为结果有统计学差异。

2 结果

2.1 剂量学参数统计

表2展示了48例患者在优化条件和布野角度相同、仅仅改变钨门准直器设置的情况下,Tracking组、Fixed组和Modified组计划的剂量学参数统计结果。

表2 不同钨门设置组48例食管癌患者固定野调强计划的剂量学参数比较($\bar{x} \pm s$)

Tab.2 Dosimetric comparison of intensity-modulated radiotherapy (IMRT) with different jaw settings for esophageal cancers in 48 patients (Mean±SD)

参数	Tracking组	Fixed组	Modified组	P值*
脊髓D _{max} /Gy	36.42±0.68	36.63±0.91	35.72±1.25	<0.001 [†]
全局D _{max} /Gy	59.22±1.48	60.49±1.87	57.81±1.51	<0.001
心脏				
V _{30 Gy} /%	23.68±18.09	23.52±18.10	21.86±16.61	<0.001
V _{40 Gy} /%	9.51±7.67	9.33±7.52	9.32±7.44	0.046
D _{mean} /Gy	16.93±10.19	16.63±10.10	16.52±9.96	<0.001
肺				
V _{5 Gy} /%	56.69±13.33	52.81±12.28	52.97±12.33	<0.001 [†]
V _{20 Gy} /%	23.98±6.08	23.62±6.45	23.66±6.29	<0.001
D _{mean} /Gy	12.06±2.66	11.57±2.68	11.61±2.66	<0.001
适形度指数	1.27±0.09	1.32±0.11	1.30±0.09	<0.001
均匀性指数	0.14±0.02	0.15±0.02	0.11±0.02	<0.001 [†]

* Tracking组 vs Modified组, [†]表示数据符合正态分布,检验方法为配对t检验;其余的检验方法为Wilcoxon秩和检验。

2.2 平均DVH图比较

为更加直观展示3种钨门设置方法对于食管癌IMRT计划的剂量学影响,图2绘制了48例患者的平

均DVH图,其中,断线、实线和点线分别代表了Tracking组、Fixed组和Modified组。

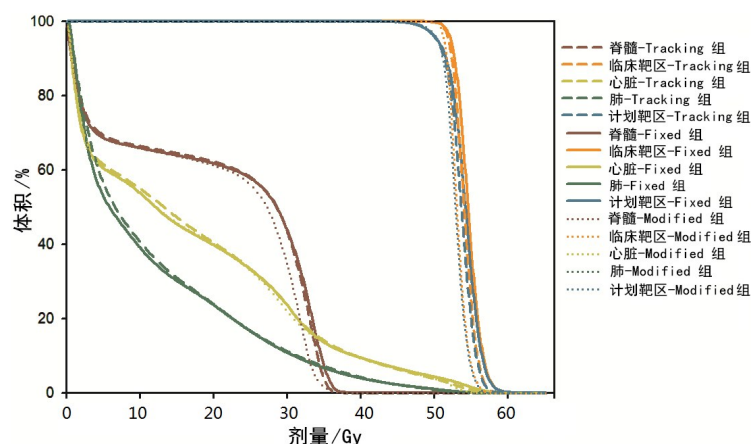


图2 不同钨门设置条件下48例食管癌患者IMRT计划的平均DVH图

Fig.2 Mean dose-volume histogram of IMRT plans optimized with different jaw settings for 48 esophageal cancer patients

3 讨论

如表2所示,相较于Tracking组,Fixed组能够更好地保护心脏和肺组织。其中,心脏的 $V_{30\text{ Gy}}$ 、 $V_{40\text{ Gy}}$ 、 D_{mean} 分别平均降低了0.16%(0.68%)、0.18%(1.89%)、0.30 Gy(1.77%);而肺的 $V_5\text{ Gy}$ 、 $V_{20\text{ Gy}}$ 、 D_{mean} 则分别平均降低了3.88%(6.84%)、0.36%(1.50%)、0.49 Gy(4.06%)。适形度指数和均匀性指数均值的变化幅度均不大,分别为0.05和0.01。然而作为代价,Fixed组脊髓的 D_{max} 和全局热点分别增加了0.21 Gy(0.58%)和1.27 Gy(2.14%),但是可以在后续热点处理过程中得到解决(Modified组),由于IMRT的射野角度有限性导致其产生热点难以避免,依赖人工后处理进行降低或消除的做法是临床的常规手段。在保持Fixed组计划其他条件不变的情况下,消除热点后得到的Modified组脊髓 D_{max} 和全局热点均显著低于Tracking组($P<0.001$),降幅分别为0.70 Gy(1.92%)和1.41 Gy(2.38%)。其原因可能是全局热点经常分布在脊柱旁,在人工对其进行后处理的同时,脊髓的 D_{max} 也会得到一定程度的降低,如图3示例。与此同时,Modified组在心脏和肺保护方面得到了很好的保持,心脏 $V_{30\text{ Gy}}$ 、 $V_{40\text{ Gy}}$ 、 D_{mean} ;肺 $V_5\text{ Gy}$ 、 $V_{20\text{ Gy}}$ 、 D_{mean} 等降幅分别为1.82%(7.69%)、0.19%(2.00%)、0.41 Gy(2.42%);3.72%(6.56%)、0.32%(1.33%)、0.45 Gy(3.73%),差异均具有统计学意义($P<0.05$)。其中,心脏 $V_{30\text{ Gy}}$ 、 $V_{40\text{ Gy}}$ 、 D_{mean} 等参数的降幅进一步增大,降幅进一步降低的程度分别为7.01%、0.11%和0.65%。此外,Modified组因靶区外热区部分被消除等原因,适

形指数与Tracking组的差异进一步缩小。同样因为热点控制的原因,靶区的均匀性指数甚至好于Tracking组,且差异均具有统计学意义。

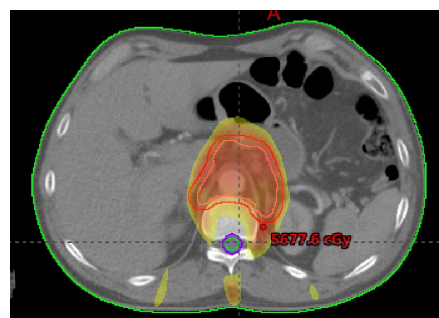


图3 Modified组患者在处理热点的同时压低了脊髓 D_{max}

Fig.3 Spinal cord D_{max} in a patient from Modified group was reduced when processing the hotspot.

由于归一的原因,图2所示3组计划的平均CTV和PTV曲线均能够满足处方要求。其中,Modified组在靶区剂量跌落和脊髓剂量等方面优势明显,而心脏和肺与Fixed组相当,且均明显好于Tracking组。上述观察均与表2提示的数据相符。

表2和图2均证明了钨门锁定技术在特殊情况下比钨门跟随技术更能够有效保护心脏、肺等重要器官。其原因可能是,虽然钨门跟随技术可以降低闭合MLC的透漏线,但受到优化算法的限制,MLC形成的射野形状可能过大。利用钨门锁定技术适当限制某些射野的大小,利用主准直器遮挡重要危及器官能够降低重要敏感器官的低剂量区,使其得到更好地保护。

4 结 论

在设计食管癌固定野调强放疗计划时,合理使用钨门锁定技术遮挡重要危及器官,结合对热点必要的人工后处理,可以取得比钨门跟随技术更好的剂量学效果,在保证靶区剂量覆盖的情况下,可以显著降低肺、脊髓和心脏等剂量,应在临床实践中予以充分考虑。

【参考文献】

- [1] BOYER A L, YU C X. Intensity-modulated radiation therapy with dynamic multileaf collimators[J]. *Semin Radiat Oncol*, 1999, 9(1): 48-59.
- [2] MOHAN R, JAYESH K, JOSHI R C, et al. Dosimetric evaluation of 120-leaf multileaf collimator in a varian linear accelerator with 6-MV and 18-MV photon beams[J]. *J Med Phys*, 2008, 33(3): 114-118.
- [3] VARIAN MEDICAL SYSTEMS. Millennium MLC systems and maintenance guide[Z]. Palo Alto, CA: Varian Medical Systems, 2001.
- [4] CADMAN P, MCNUTT T, BZDUSEK K. Validation of physics improvements for IMRT with a commercial treatment-planning system [J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2005, 6(2): 74-86.
- [5] WU H, JIANG F, YUE H, et al. A comparative study of identical VMAT plans with and without jaw tracking technique[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2016, 17(5): 133-141.
- [6] FENG Z, HAO W, ZHANG Y, et al. Dosimetric comparison between jaw tracking and static jaw techniques in intensity-modulated radiotherapy[J]. *Radiat Oncol*, 2015, 10(1): 28.
- [7] CHEN J, CHEN X, HUANG M, et al. A fixed-jaw method to protect critical organs during intensity-modulated radiotherapy [J]. *Med Dosim*, 2014, 39(4): 325-329.
- [8] KWA S L, LEBESQUE J V, THEUWS J C, et al. Radiation pneumonitis as a function of mean lung dose: an analysis of pooled data of 540 patients[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1998, 42(1): 1-9.
- [9] HATAYAMA Y, AOKI M, KONDO H, et al. Mean lung dose: a practical index for evaluation of radiation pneumonitis[J]. *Jpn J Lung Cancer*, 2007, 47(6): 695-700.
- [10] PIOTROWSKI T, MATECKANOWAK M, MILECKI P. Prediction of radiation pneumonitis: dose-volume histogram analysis in 62 patients with non-small cell lung cancer after three-dimensional conformal radiotherapy[J]. *Neoplasma*, 2005, 52(1): 56-62.
- [11] ANTOLAK J A, ROSEN I I. Planning target volumes for radiotherapy: how much margin is needed?[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1999, 44(5): 1165-1170.
- [12] VAN HERK M. Errors and margins in radiotherapy[J]. *Semin Radiat Oncol*, 2004, 14(1): 52-64.
- [13] ACOSTA R, BRICK W, HANNA A, et al. radiotherapy optimal design: an academic radiotherapy treatment design system [D]. State University of New York at Buffalo, 2009.
- [14] COOK J T, TOBLER M, LEAVITT D D, et al. IMRT fluence map editing to control hot and cold spots[J]. *Med Dosim*, 2005, 30(4): 201-204.
- [15] PYAKURYAL A, MYINT W K, GOPALAKRISHNAN M, et al. A computational tool for the efficient analysis of dose-volume histograms from radiation therapy treatment plans[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2010, 11(1): 3013.
- [16] PADDICK I. A simple scoring ratio to index the conformity of radiosurgical treatment plans. Technical note[J]. *J Neurosurg*, 2000, 93(Suppl 3): 219-222.
- [17] 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.

(编辑:薛泽玲)