

WS531-2017《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》的实施及评价

程晓龙, 刘吉平, 杨双燕, 时建芳
浙江省肿瘤医院放射物理室, 浙江 杭州 310022

【摘要】目的:依据 WS531-2017《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》,对浙江省首台螺旋断层治疗系统(Tomotherapy, TOMO)进行年度系统稳定性检测,进一步规范质量控制操作,明确系统的各项性能,保证临床放射治疗的准确实施。**方法:**利用8通道计量仪(TomoElectrometer)、电离室 A1SL (Standing Imaging, USA)和 A17 (Standing Imaging, USA)、圆柱形模体(Cheese Phantom)、等效矩形固体水、二维水箱、EBT3胶片和 Vidar胶片分析仪,按照 WS531-2017要求,对TOMO的10个关键指标进行检测。**结果:**设备静态输出剂量偏差为-0.6%;旋转输出剂量偏差为1.4%。射线质与计划值偏差为0.8%。射野横向剂量曲线的对称性为-1.2%。射野纵向剂量曲线半高宽偏差为0.7 mm。多叶准直器横向偏移为-0.6 mm。绿激光灯在虚拟等中心横断面偏移为0.08 mm、矢状面和冠状面的偏移为0.2 mm;红激光灯指示偏差-0.4 mm。治疗床的移动偏差为0.3 mm。治疗床和机架旋转同步性偏差为-0.6 mm。**结论:**TOMO的10项关键指标均满足WS531-2017的评价标准,建议TOMO年检时适当增加必要检测项目,如MVCT图像质量检测等,以确保系统的正常工作及良好的稳定性。

【关键词】螺旋断层治疗装置;质量控制;放射治疗剂量;偏差

【中图分类号】R318.6

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)09-1012-05

Implementation and evaluation of WS531-2017 "specification for testing of quality control in helical tomotherapy unit"

CHENG Xiaolong, LIU Jiping, YANG Shuangyan, SHI Jianfang
Department of Radiation Physics, Zhejiang Cancer Hospital, Hangzhou 310022, China

Abstract: Objective To perform an annual test on the system stability of the first helical tomotherapy unit (Tomotherapy, TOMO) in Zhejiang province according to WS531-2017 "specification for testing of quality control in helical tomotherapy unit", and to further standardize the quality control operation, understand the properties of the system and ensure the accurate implementation of clinical radiotherapy. **Methods** According to the requirements of WS531-2017, 8-channel measurement instrument (TomoElectrometer), ionization chamber A1SL (Standing Imaging, USA) and A17 (Standing Imaging, USA), cylindrical phantom (Cheese Phantom), equivalent rectangular solid water, two-dimensional water tank, EBT3 film, and Vidar film analyzer were used to detect 10 key indicators of TOMO. **Results** The static output dose deviation was -0.6%, and the rotational output dose deviation was 1.4%. The difference between beam quality and planned value was 0.8%. The symmetry of the horizontal dose curve of the radiation field was -1.2%; and the full width at half-maximum deviation of the longitudinal dose curve of the radiation field was 0.7 mm. The horizontal offset of multi-leaf collimator was -0.6 mm. The green laser offset in axial plane, sagittal plane and coronal plane were 0.08, 0.2 and 0.2 mm to the virtual isocenter. The red laser offset was -0.4 mm. The movement deviation of the treatment couch was 0.3 mm; and the synchronous deviation of the rotation of the treatment couch and gantry was -0.6 mm. **Conclusion** All 10 key indicators of TOMO meet the requirements of WS531-2017. Some necessary testing items, such as MVCT image quality verification, should be added to the annual TOMO quality control in order to ensure the good stability and normal working of system.

Keywords: helical tomotherapy unit; quality control; radiotherapy dose; deviation

【收稿日期】2018-05-29

【基金项目】浙江省医药卫生技术成果项目(2018PY004)

【作者简介】程晓龙, 硕士, 工程师, 研究方向:螺旋断层放射治疗及后装治疗技术应用, E-mail: chengxl@zjcc.org.cn

【通信作者】刘吉平, 副主任技师, 研究方向:放射治疗信息化平台技术, E-mail: liujp@zjcc.org.cn

前言

螺旋断层治疗装置(Tomotherapy, TOMO)是将直线加速器安装在滑环机架上,应用逆向CT成像原理,采用调强的扇形射束,以螺旋旋转的方式进行放射治疗的装置^[1]。TOMO独有兆伏级CT成像技术,成像源和照射源相同,机械精度相同,成像精度和照射精度都是 ± 0.1 mm,远远高于传统加速器的 ± 1 mm,且可确保每次治疗进行摆位验证,确保放射治疗计划对肿瘤靶区的精确照射。TOMO每个螺旋周期中有51个弧形照射野,每个弧形照射野都有64个可调节的子野,每个子野都有100级强度可调,其单位剂量率达到850 MU/min,可减少单次治疗时间^[2]。机架的机械等中心精度为 ± 0.1 mm,床的机械等中心精度为 ± 0.1 mm,多叶光栅漏射率 $< 0.3\%$,治疗最大靶区范围可达到60 cm \times 160 cm,从临床上TOMO重新定义了放疗“能治”和“不能治”^[3-4]。

国外已装机数百台,我国也装机四十多台,TOMO的成功推广及应用与其本身的质量控制紧密相关。TOMO的质量控制检测包括验收检测、状态检测和稳定性检测。2010年,美国医学物理协会(AAPM)发布了TG148号报告,对TOMO系统的质量控制做了全面论述,由于该报告对应检测项目繁多、步骤繁琐,仅在TOMO系统的验收检测阶段和状态检测阶段应用^[5]。国内仅对TOMO系统剂量学参数测量、床移动准确性、图像质量检测及多叶准直器(MLC)机械性能检测进行相关独立报道^[6-8];国外对于质量控制的报道多在于电离室的应用、探测器优化、多叶光栅性能测试、TOMO系统整体稳定性分析等方面^[9-11],但均未详细阐明各项检测内容的具体操作步骤和误差分析。WS531-2017《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》的实施为我国TOMO系统的质量控制提供了标准,本研究结合该标准对浙江省首台TOMO进行稳定性检测,对各个检测项目的规范化操作、误差及数据分析进行阐述,为该标准的推广提供技术支持。

1 材料及实施方法

1.1 仪器设备

HI-ART Tomotherapy装置,包括配套的控制终端(Operator Station, OS)、计划终端(Planning Station, PS);等效水圆柱形模体(Cheese Phantom);8通道计量仪(TomoElectrometer);等效矩形固体水;二维水箱;A1SL电离室(Standing Imaging, USA);A17电离室(Standing Imaging, USA);Vidar胶片扫描仪;分析记录电脑;EDT3免洗胶片;工具包。所有仪器设备均经中国计量院检验。

1.2 实施方法

1.2.1 静态输出剂量 设置机架角度固定 0° 、照射野40 cm \times 5 cm。固体水模按照虚拟等中心摆位(图1),源皮距为85 cm,将电离室插入模体,确保剂量参考点位于模体表面下1.5 cm处。电离室与静电计连接,预热并进行温度和气压校正,保证仪器功能正常。调用机器程序,记录静电计测量数据并计算出模体参考点的吸收剂量,与标称值进行比较,偏差应在 $\pm 2.0\%$ 内。

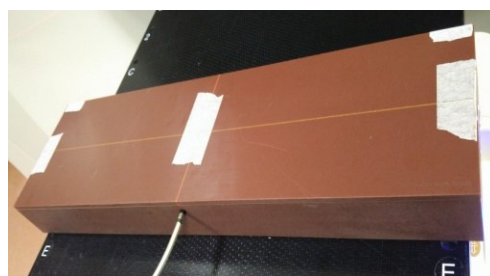


图1 静态输出剂量检测摆位图

Fig.1 Setup for static output dose detection

1.2.2 旋转输出剂量 在TomoPhantom圆柱形模体上设计适形调强放射治疗计划,调取设置的计划,按照计划的条件对模体进行摆位,并将电离室插入模体内拟测量位置(图2)。实施计划,按照静态输出剂量测量的方法读取并计算吸收剂量,与治疗计划的剂量值进行比较,偏差应在 $\pm 4.0\%$ 内。



图2 旋转输出剂量检测摆位图

Fig.2 Setup for rotational output dose detection

1.2.3 射线质(百分深度剂量, PDD) 设置机架角度固定 0° ,照射野40 cm \times 5 cm。将固体水模按照图3摆位,源皮距为85 cm。将两个电离室插入固体水模孔中,一个电离室位置固定测量固体水模下1.5 cm的剂量,另一个电离室自上而下测量模体表面下10 cm和20 cm的剂量,该电离室每向下移动就用插棒插入上层孔中。实施机器程序,按照静态输出剂量测量的方法读取并计算吸收剂量。按固体水模下1.5 cm深

度处的剂量进行归一,分别计算模体表面下 10 cm 和 20 cm 处的百分深度剂量 PDD_{10} 和 PDD_{20} ,与金标的 PDD 进行比较,偏差应在 $\pm 3.0\%$ 内。



图3 射线质检测摆位图

Fig.3 Setup for beam quality testing

1.2.4 射野横向、纵向剂量分布 连接二维水箱相关的控制设备,往水箱内加入一定量的去离子水并固定电离室。设置机架角度固定 0° ,照射野 $40\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ 。将固体水模按照图4摆位,源皮距为 85 cm。调用机器程序,在分析记录电脑上操作 Electrometer Measurement software 软件,测量出水表面下 1.5 cm 深度处的横向剂量分布曲线。旋转二维水箱 180° ,按照同样操作测量出距水表面 1.5 cm 深度处的纵向剂量分布曲线。在分析软件上确定横向截面剂量分布曲线的对称性偏差应在 $\pm 3.0\%$ 内,纵向截面剂量分布曲线的半高宽与计划的照射野宽度偏差应在 $\pm 1.0\text{ mm}$ 内。

1.2.5 MLC 横向偏移 将固体水模置于虚拟等中心,

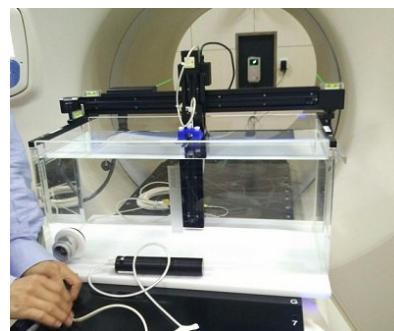
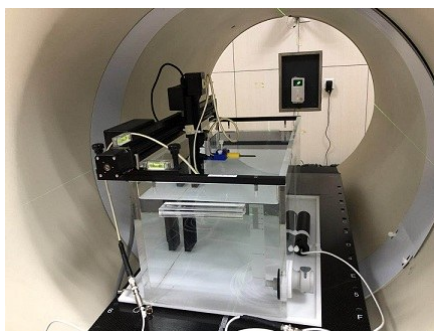


图4 水箱检测摆位图

Fig.4 Setup for water tank testing

同时胶片长对角线与 X 轴激光灯重合,胶片放置于机架等中心,源轴距为 85 cm,按照图5摆位。调用机器程序,使机架角度为 0° 时,MLC 的 32~33 号叶片和 27~28 号叶片打开照射一次;机架角度为 180° 时,只打开 27~28 号叶片再照射一次。确定中间及两侧射野的中心点,读取胶片并在分析软件上测量两侧照射野中心点与中间射野中心点的距离,偏差应在 $\pm 1.5\text{ mm}$ 内。

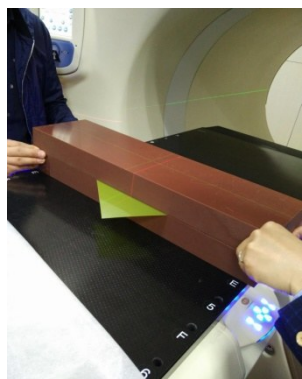


图5 多叶准直器摆位图

Fig.5 Setup of multi-leaf collimator

1.2.6 绿激光灯指示虚拟等中心的准确性 将模体中心与绿激光灯对齐,MVCT 扫描后进行配准,通过软件确定绿激光灯在 Z 轴和 X 轴方向上的偏移。固体水模在虚拟灯中心摆位,胶片对角与头顶绿激光灯重合,并在胶片两端标记,然后进床 70 cm,调用机器程序进行照射。照射时,Y 轴照射野宽度为 1 cm,读取胶片并用分析软件测量绿激光灯在 Y 轴方向的偏移,偏移距离应在 $\pm 1.0\text{ mm}$ 内,摆位如图6所示。

1.2.7 红激光灯指示准确性 将红激光灯置于初始位置,距离虚拟等中心 $\pm 20\text{ cm}$ 范围内,用坐标纸检查其与绿激光灯的重合度偏差应在 $\pm 1.0\text{ mm}$ 内。

1.2.8 治疗床移动准确性 在治疗床均匀负重 70 kg 的条件下,在治疗床上确认虚拟等中心的位置并标识出该标记点。操作摆位控制面板,将治疗床进出 20 cm 和升降 20 cm,同时观察并用直尺分别测量标记点偏离绿激光灯的距离,偏移距离应在 $\pm 1.0\text{ mm}$ 内。

1.2.9 床移动和机架旋转同步性 调整治疗床面使 Z 轴绿激光掠过表面,在虚拟等中心处平铺一张胶片,标记激光灯的位置。调用机器程序,在 Y 轴方向照射野宽度为 1 cm 时,对胶片进行旋转照射。机架旋转

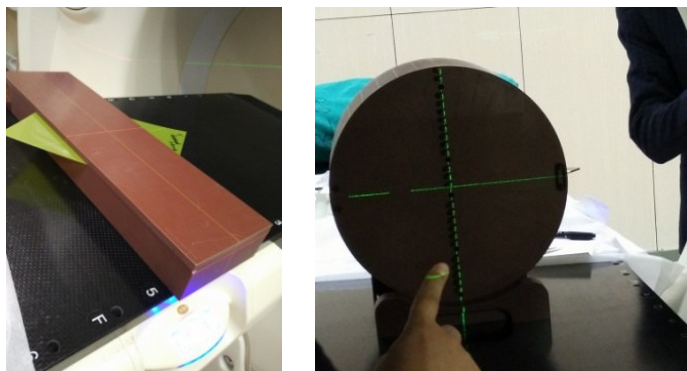


图6 绿激光灯指示准确性摆位图

Fig.6 Setup for testing green laser alignment accuracy

周期为20 s/圈,共旋转13圈,床速0.5 cm/s。在第2、7和12圈,机架为270°~90°时,打开所有叶片,读取胶片并用分析软件测量相邻照射野中心之间的距离,与设定床移动距离进行比较,偏差应在±1.0 mm内。

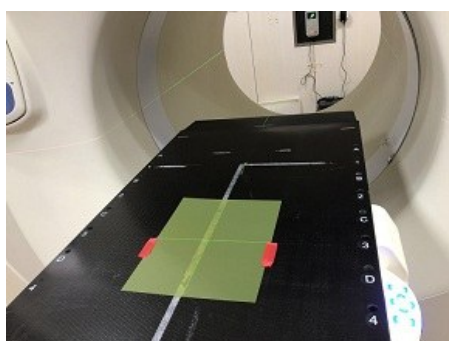


图7 床移动和机架旋转同步性

Fig.7 Synchronism of couch movement and gantry rotation

2 结果

按照标准的技术要求及AAPM TG148报告的指导进行质量控制检测,结果表明,浙江省肿瘤医院TOMO的10项关键指标均符合WS531-2017标准的限值要求,具体结果见表1。

3 讨论

静态输出剂量、旋转输出剂量和红激光灯指示准确性检测是TOMO的日检内容。剂量输出检测采用AAPM TG51号报告^[12],按照电荷剂量转换公式: $D_{cGy} = P_{ctp} \cdot C \cdot C_{cf} \cdot E_{cf}$, P_{ctp} 为温度气压校准因子即 $P_{ctp} = \left(\frac{273.2 + C_{degree}}{295.2} \right) \left(\frac{101.33}{P_{bar}} \right)$ 。其中, D_{cGy} 是计算出的剂量值,单位cGy; C 是静电计读出数据,单位nC; C_{cf} 是电离室转换因子,单位cGy/C (5.766 E10 cGy/C); E_{cf} 是静电计修正因子(0.998); C_{degree} 是机房温度,单位℃; P_{bar} 是机房气压,单位kPa。机器出束60 s,得

表1 螺旋断层治疗装置的检测项目结果与评价值对比表

Tab.1 Comparison of test results and evaluation values of TOMO

Serial number	Item	Evaluation value	Test value
1	Static output dose	-2.0%-2.0%	-0.6%
2	Rotational output dose	-4.0%-4.0%	1.4%
3	Beam quality (percent deep dose)	-3.0%-3.0%	0.8%
4	Transverse profile in beam field	-3.0%-3.0%	-1.2%
5	Longitudinal profile in beam field	-1.5 mm-1.5 mm	0.7 mm
6	Lateral offset of multi- leaf collimator	-1.5 mm-1.5 mm	-0.6 mm
7	Green laser alignment accuracy	-1.0 mm-1.0 mm	0.08 mm
8	Red laser alignment accuracy	-1.0 mm-1.0 mm	-0.4 mm
9	Couch movement	-1.0 mm-1.0 mm	0.3 mm
10	Synchronism of couch movement and gantry rotation	-1.0 mm-1.0 mm	-0.6 mm

出相应的静态输出剂量数值,重复5次取平均值与标称值作比较。对于旋转输出剂量的测量,国家标准推荐的方法是通过圆柱形模体扫描做计划来验证,实际多是利用患者的放疗计划治疗保证(QA),比较测量值与计划值的偏差,使患者QA与旋转剂量验证同时进行,提高效率。如果静态输出和旋转输出的测量结果偏差超过限定范围,那么考虑可能的原因有:(1)射线质出现偏差;(2)MLC开关出现延迟,包括气压变化、灰尘附着、生锈、叶片磨损等。解决方案可采取:(1)调整射线质;(2)调整空压机气压,增加除湿设备,进行MLC保养更换以及重新测量MLC延迟数据。红激光灯需要每天测量,验收后,在治疗室的墙上预先标记作为基准,如果测量偏差

超过限定值,则需要通过调整激光灯装置的3个螺母及遥控平移来确保指示准确性。

射线质、绿激光灯指示虚拟等中心准确性和治疗床移动准确性是TOMO月检内容。射线质(PDD)的最佳测量方式是采用二维水箱,探头自上而下步进2 mm,连续对1至20 cm范围进行测量,导出数据,于1.5 cm归一,将归一化结果与标称值进行比较。这种方式推荐在年检中进行,月检一般利用等效固体水,测量距表面1.5、10.0和20.0 cm的剂量,如果剂量偏差超过限定值,则采取上文输出剂量的分析及解决方法来进行调整。绿激光灯分为机架激光灯和天花板激光灯,分别通过MVCT图像配准和胶片读取来进行准确性检测,如果偏差超过限定值,则通过蓝牙遥控设备,进行人工调整。床体负重70 kg是必要条件,重物应自床头A点到J点均匀放置,直尺也可换为更为清晰的坐标纸,如检测治疗床移动偏差超过限定值,则需要联系厂家工程师进行调整。

射野横、纵向截面剂量分布,MLC横向偏移,床移动和机架旋转同步性是TOMO年检内容。射线横、纵剂量分布的测量是TOMO年检中的“大活儿”,主要原因是目前的二维水箱配备的附件可操控性较差:(1)扫描臂(2D Scanning Arm)的水平靠两端的螺栓调整,螺栓与螺母间的机械间隙较小,很难旋入旋出,调节水平很困难;(2)扫描臂的电离室固定装置简陋,只有一个压紧螺栓,在固定好电离室的同时很难保证电离室不上下左右偏移;(3)操控电离室步进的控制盒(Tomoscaner Controller Box)不能输入移动距离实现自动控制步进,给电离室高度的准确调整造成困难。经验表明,该项检测的4/5时间都用于这3个方面。TOMO的核心专利技术是二元气动MLC,与常规加速器的区别是没有均整器、源皮距小、输出剂量率高,这些独特的剂量学特性和设计决定了加速器源位置、铅门位置以及MLC的位置准确性会直接影响照射野准确性和剂量参数。如果检测结果偏差超过限定值,则需要立即停止治疗,并及时联系厂家工程师来进行检测和调整。标准中对床移动和机架旋转同步性的检测条件是空床,和厂家工程师沟通并结合工作经验,认为该项检测在床均匀负重70 kg的条件下会更准确全面。

4 结 论

国家卫生标准WS531-2017《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》基于AAPM TG148报告,精简了质量控制项目和内容,在保证检测TOMO系统核心技术指标的基础上大大提高了质量控制的效率。

本研究对TOMO的10项关键技术指标进行了检测,结果均满足标准的技术要求。同时也发现一些问题,目前业内将TOMO系统的质量控制分为:几何精度、射

线输出和剂量学、系统同步性、图像质量及配准精度,但该标准没有包括图像质量检测方面的内容,并且对于MLC这一核心部分的检测偏少,应增加叶片的凸凹槽效应和铅门的位置准确性、运动对称性及旋转偏移的检测项目。TOMO作为图像引导调强放射治疗中的一种新型治疗技术,集调强计划优化、治疗实施和验证为一体,由于其治疗方式具有独特的动态特性及其结构的复杂性,确保系统的正常工作及良好的稳定性至关重要^[13],建议各家单位在做TOMO年检时,应在该标准基础上适当增加必要检测项目。

【参考文献】

- [1] 李玉,徐慧军.现代肿瘤放射物理学[M].北京:中国原子能出版社,2015.
LI Y, XU H J. The modern physics of radiation oncology[M]. Beijing: China Atomic Energy Press, 2015.
- [2] 马林,王连元,周桂霞,等. TomoTherapy肿瘤断层放射治疗[M]. 成都:四川科学技术出版社,2010.
MA L, WANG L Y, ZHOU G X, et al. Tomotherapy[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Publishing House, 2010.
- [3] MACKIE T R. History of tomotherapy[J]. Phys Med Biol, 2006, 51 (13): R427-R453.
- [4] LANGEN K M, PAPANIKOLAOU N, BALOG J, et al. QA for helical tomotherapy: report of the AAPM Task Group 148[J]. Med Phys, 2010, 37(9): 4817-4853.
- [5] 翟自坡,翟贺争,马永忠,等.螺旋断层治疗系统质量控制检测与评价[J].辐射研究与辐射工艺学报,2016,34(4): 55-60.
ZHAI Z P, ZHAI H Z, MA Y Z, et al. Quality control test and assessment of helical tomotherapy unit[J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2016, 34(4): 55-60.
- [6] 黄永杰,王运来,解传滨,等. Hi-ART螺旋断层加速器治疗床自动移位准确性的验证[J].中国医疗器械杂志,2013,37(2): 143-145.
HUANG Y J, WANG Y L, XIE C B, et al. Verification of the couch automatic movement accuracy for Hi-ART tomotherapy[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2013, 37(2): 143-145.
- [7] 王运来,沙翔燕,戴相坤,等. Hi-ART螺旋断层治疗机剂量学参数的测量[J].中华放射肿瘤学杂志,2008,17(2): 226-230.
WANG Y L, SHA X Y, DAI X K, et al. Measurement of dosimetric parameters for Hi-ART helical tomotherapy unit[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2008, 17(2): 226-230.
- [8] 戴相昆,王运来,徐寿平,等.螺旋断层放射治疗机MVCT影像质量的测量分析[J].中国医疗器械杂志,2010,34(6): 55-59.
DAI X K, WANG Y L, XU S P, et al. Analysis of megavoltage computed tomography imaging on a helical tomotherapy unit[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2010, 34(6): 55-59.
- [9] ZEVEERINO M, AGOSTINELLI S, PUPILLO F, et al. Determination of the correction factors for different ionization chambers used for the calibration of the helical tomotherapy static beam[J]. Radiother Oncol, 2011, 100(3): 424-428.
- [10] MIKOŁAJCZYK K, PIOTROWSKI T. Development of cylindrical stepwedge phantom for routine quality controls of a helical tomotherapy machine[J]. Phys Med, 2013, 29(1): 91-98.
- [11] LISSNER S, SCHUBERT K, KLÜTER S, et al. A method for testing the performance and the accuracy of the binary MLC used in helical tomotherapy[J]. Z Med Phys, 2013, 23(2): 153-161.
- [12] ALMOND P R, BIGGS P J, COURSY B M, et al. AAPM's TG51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams[J]. Med Phys, 1999, 26(9): 1847-1870.
- [13] 崔念基,卢泰祥,邓小武,等.实用临床放射肿瘤学[M].广州:中山大学出版社,2005.
CUI N J, LU T X, DENG X W, et al. Practical clinical radiation oncology[M]. Guangzhou: Sun Yat-sen University Press, 2005.

(编辑:谭斯允)