

国产NT-AD200型三维水箱射束扫描性能验证

胡金有¹, 谢朝¹, 刘湘乡¹, 殷云鹏¹, 邹炼^{1,2}

1. 四川省人民医院肿瘤中心, 四川 成都 610072; 2. 中国科学院深圳先进技术研究院医疗机器人与微创手术器械研究中心, 广东深圳 518055

【摘要】目的:全面了解中国测试技术研究院NT-AD200型三维水箱的射束扫描精度与性能。**方法:**以德国IBA公司Blue Phantom 2三维水箱为参照, 分别使用NT-AD200型三维水箱与Blue Phantom 2三维水箱对美国瓦里安公司TrueBeam医用直线加速器进行6 MV光子线剂量学数据采集。测量源皮距为100 cm和不同射野大小条件下的百分深度剂量(PDD)曲线, 比较分析各相同射野条件下不同深度的离轴比(OAR)曲线。**结果:**与进口设备相比, 在机械控制及易用性方面, NT-AD200还存在着一定的差距。在射束扫描性能方面, 以Blue Phantom 2数据为基准, PDD建成区以外剂量偏差均值均小于1%, 标准差小于0.3%, 建成区最大剂量偏差出现在(3×3) cm²射野大小, 为-5.23%±7.41%。OAR曲线80%射野大小范围内偏差均值均小于1%, 标准差小于0.3%; 80%~120%射野大小范围内(半影区)剂量偏差均值均小于1%, 但标准差为0.51%~1.31%; 120%射野大小范围以外NT-AD200型水箱的OAR比Blue Phantom 2水箱均偏大1%左右。**结论:**NT-AD200型三维水箱与Blue Phantom 2三维水箱采集的剂量学数据有很好的 consistency, 射束扫描性能与进口设备相当。

【关键词】NT-AD200; Blue Phantom 2; 三维水箱; PDD; OAR 曲线

【中图分类号】R312; R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)02-0125-05

Beam scanning performance verification of domestic NT-AD200 three-dimensional water tank

HU Jinyou¹, XIE Zhao¹, LIU Xiangxiang¹, YIN Yunpeng¹, ZOU Lian^{1,2}

1. Cancer Center, Sichuan Provincial People's Hospital, Chengdu 610072, China; 2. Research Center for Medical Robotics and Minimally Invasive Surgical Devices, Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China

Abstract: Objective To comprehensively understand the beam scanning accuracy and performance of domestic NT-AD200 three-dimensional water tank (National Institute of Measurement and Testing Technology of China). **Methods** Blue Phantom 2 three-dimensional water tank (IBA Dosimetry GmbH) was used as reference. The 6 MV photon dosimetry data of TrueBeam medical linear accelerator (Varian Medical Systems, Inc.) were separately collected with NT-AD200 three-dimensional water tank and Blue Phantom 2 three-dimensional water tank. The percent depth dose (PDD) curves with source-to-surface distance of 100 cm and different field sizes were obtained, and off-axis ratio (OAR) curves of different depths under the same field conditions were measured. **Results** NT-AD200 was inferior to imported equipment in terms of mechanical control and ease of use. For beam scanning performance, based on the baseline of Blue Phantom 2, the mean dose deviation outside the PDD built-up area was less than 1%, and the standard deviation was less than 0.3%. The maximum dose deviation in the built-up area appeared in the irradiation field of (3×3) cm², which was -5.23%±7.41%. The average deviation of the OAR curve within 80% of the field size was less than 1%, and the standard deviation was less than 0.3%. The mean dose deviation within 80%-120% of the field size (penumbra area) was less than 1%, but the standard deviation was 0.51-1.31%. The OAR of NT-AD200 water tank was about 1% larger than that of Blue Phantom 2 water tank at the outside of 120% of the field size. **Conclusion** The dosimetric data collected with NT-AD200 three-dimensional water tank and Blue Phantom 2 three-dimensional water tank have a good agreement, and the beam scanning performance of domestic NT-AD200 3D water tank is close to that of imported equipment.

Keywords: NT-AD200; Blue Phantom 2; three-dimensional water tank; percent depth dose; off-axis ratio curve

【收稿日期】2018-07-16

【基金项目】国家重点研发计划(2016YFC0105107)

【作者简介】胡金有, 助理工程师, 研究方向: 医学物理, E-mail: hujinyou@med.uestc.edu.cn; 谢朝, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 医学物理, E-mail: xz0242024028@126.com (胡金有与谢朝为共同第一作者)

【通信作者】邹炼, 博士, 高级工程师, 研究方向: 图像引导放射治疗, E-mail: zoulian_medphy@sina.com

前言

放射治疗作为肿瘤治疗的3种最主要手段之一,其方法是通过大型医用放射治疗设备(如直线加速器等)产生的射线照射到患者的肿瘤区域,从而达到杀死癌细胞的目的^[1]。在肿瘤精确放射治疗中,放射治疗计划系统剂量计算方法的精确度直接影响肿瘤靶区与正常组织的剂量分布,对放射治疗的成败起到关键性的作用^[2]。计划系统剂量算法是基于模型的,而模型参数是通过三维水箱测量的数据,通过数学拟合得到。因此三维水箱射束扫描性能的好坏将直接影响数据拟合的好坏,进而影响后续所有在计划系统计算的剂量精度和准确度。此外,放射治疗设备在投入使用前都必须检测其剂量学性能,并且在使用过程中对其进行质量保证,监督其变化,以保证放射治疗投照剂量精准,这直接关系到放射治疗的质量甚至患者的生命安危。对于直线加速器,国家质监局发布的《医用电子加速器辐射源检定规程(JJG 589-2008)》明确规定新安装、使用中和对影响射线剂量值准确性的部件修理后的医用电子加速器辐射源的首次检定、后续检定和使用中检验需要使用射线束分析仪(即二维或三维水箱)。射线束分析仪是测量辐射质、辐射野均整度、辐射野对称性等计量性能的仪器^[3]。

三维水箱通过传动机构携带着电离室在盛满水的箱体中按照事先设定好的程序沿X、Y、Z这3个方向运动以测量特定区域的剂量学数据^[4]。国内外有许多关于三维水箱的研究报道。美国医学物理协会第106号报告(AAPM-TG 106)详细叙述了三维水箱在使用过程中的注意事项以及详细的使用和参数设定方法、数据分析方法^[5]。吴湘阳等^[6]研究了步进速度、步距等不同测试条件对三维水箱数据采集结果的影响。李云鹏等^[7]提出了一种校准水箱单轴移位精度的方法,使其精度能够达到0.01 mm级别。Akino等^[8]比较了4款国外常见的三维水箱在同一台加速器下测得的剂量学数据,指出不同的三维水箱间采集的剂量学数据差异微乎其微,采购三维水箱只需考虑易用性、个人软硬件偏好等因素。Saenz等^[9]比较了同样4款水箱因扫描速度、扫描方向等水箱自身扫描参数设置不同带来的采集的剂量学数据差异,指出不同厂家的三维水箱虽对自身参数设置有一定的依赖但均能达到较高的测量精度,不同三维水箱间建成区域外百分深度剂量(Percent Depth Dose, PDD)差异在0.6%以内,射野中心区域内离轴比(Off-Axis Ratio, OAR)曲线差异在0.5%以内。

相对于在国内外均有诸多研究的进口设备,针对国产设备的研究还相当匮乏。因此,本研究对比了中国测试技术研究院NT-AD200型三维水箱与德国IBA公司Blue Phantom 2三维水箱在同一加速器下采集的剂量学数据差异,旨在对国产NT-AD200型三维水箱射束扫描性能有全面的把握与直观的了解。

1 材料与方法

1.1 所用材料

本研究采用的辐照设备为瓦里安TrueBeam高性能数字医用直线加速器,吴丽丽等^[10]研究了其光子束的长期稳定性,表明其具有非常稳定的剂量输出特性。研究对象为中国测试技术研究院NT-AD200型三维水箱,参照水箱为在业内得到广泛认可的德国IBA公司Blue Phantom 2型三维水箱,有研究表明Blue Phantom是一种高效、可重复和精确的扫描系统,能够提供可靠的光束数据^[11],该水箱作为一个优秀的医用辐照设备的剂量扫描装置,其强大的功能、方便的操作以及多种TPS接口使得其成为当今最优秀的三维剂量扫描系统之一^[12]。两水箱的参数及所用主要配套附件见表1。

1.2 研究方法

在正式开始数据采集前,先对加速器进行全面的 质量保证,以使加速器处于最佳的状态^[13]。对三维水箱进行质量保证,测量三维水箱各方位走位精度,练习三维水箱摆位。在6 MV能量,源皮距为100 cm以及(10×10) cm²标准射野下,设置不同的参数,如扫描速度、驻留时间、步距等,找到各自的最佳扫描条件。在此过程中,我们发现NT-AD200型水箱对于20 cm以上的水平走位精度和重复性较差,并随走位时间的增加有增大趋势,误差可达1 mm左右,这可能与用户对电机的参数设置有关。我们尝试修改电机脉冲参数但并没有达到满意的效果,因此测量过程中对(10×10) cm²以上的射野,每扫描一个深度的OAR,我们都进机房确认一次中心位置以保证数据质量。在准备工作就绪后,开始正式采集数据,分别使用两种水箱采集6 MV能量,源皮距为100 cm,射野大小为(3×3)、(10×10)、(30×30) cm²的PDD数据及相同条件下 d_{\max} 、5和10 cm深度的OAR曲线数据,由于NT-AD200扫描范围限制,(30×30) cm²射野OAR曲线只采集右半野。对于小于(4×4) cm²的射野OAR扫描,NT-AD200走位前进过程中会突然出现往回走一段距离再继续前进的现象,在数据处理时我们人为去除多余的数据。由于NT-AD200与Blue

表1 所用水箱及配套附件参数
Tab.1 Parameters of the water tank and its accessories

Parameter	Manufacturer	
	National Institute of Measurement and Testing Technology of China	IBA
Model	NT-AD200	Blue Phantom 2
Effective scan size (length×width×high)	About 400 mm×400 mm×400 mm	478 mm×478 mm×410 mm
Positioning accuracy	±0.5 mm	±0.1 mm
Repeatability	±0.5 mm	±0.1 mm
Control unit	NT-AD202F dose scanner	CCU
Reference probe	PIN semiconductor probe	CC13 finger ionization chamber
Field probe	Waterproof finger ionization chamber	CC13 finger ionization chamber
Field probe sensitive volume	0.15 cc	0.13 cc
Control and analysis software	NT-AD beam analysis system	OmniPro-Accept

Phantom 2数据收集点有微差异,为了便于分析,本研究以NT-AD200数据收集点为基准,对Blue Phantom 2数据进行线性插值。对于PDD将最大剂量点归一到100%,OAR曲线中心点归一到100%,然后将NT-AD200采集的数据直接减去Blue Phantom 2的数据得到PDD建成区域外、内剂量差异,OAR曲线80%射野大小范围内、80%~120%射野大小区域(半影区内)、120%射野大小外的剂量差异。

2 结果

对于PDD数据,两水箱在建成区差异较大,最大差异出现在(3×3) cm²的小野测量中,差异均值为-5.23%±7.41%。建成区以外PDD差异均值均在1%以内,标准差小于0.3%。图1为(10×10) cm²标准野PDD及其差异,其余两射野的数据图形与标准野类似。表2为所有射野大小PDD建成区域内外差异的统计数据。

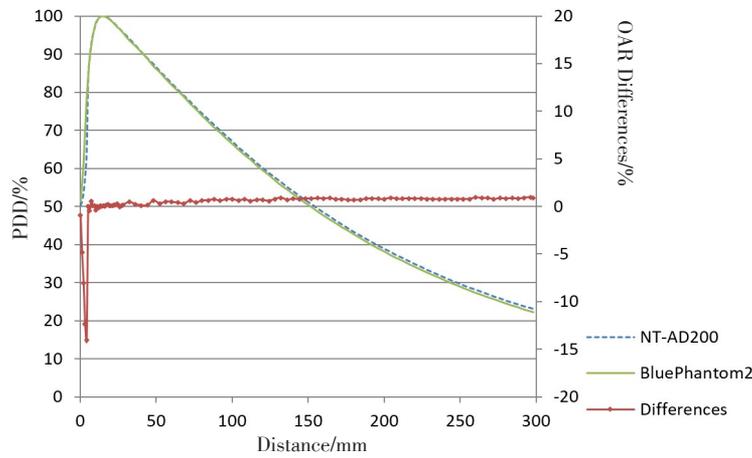


图1 两水箱(10×10) cm²射野PDD及其差异

Fig.1 Percent depth dose (PDD) curves of (10×10) cm² field in two tanks and their differences

表2 两水箱PDD建成区域内外差异的统计数据($\bar{x} \pm s$)

Tab.2 PDD differences between two tanks in built-up area or outside built-up area (Mean±SD)

Field size/cm ²	Differences in built-up area /%	Differences outside the built-up area/%
3×3	-5.23±7.41	0.30±0.14
10×10	-2.38±4.63	0.61±0.27
30×30	-2.47±3.71	0.67±0.22

OAR曲线数据,两水箱在80%~120%射野大小范围的半影区差异较大,数据较为分散,最大差异出现在(30×30) cm²的大野测量中,差异均值为0.96%±1.31%。在80%射野大小范围内的剂量平坦区域差异很小,在0.3%以内。在大于120%射野大小的区域NT-AD200型水箱均比Blue Phantom 2偏大1%左右。图2为(10×10) cm²标准野5 cm深度OAR曲线及其差异,表3为不同射野大小不同深度OAR曲线分区域差异的统计数据。

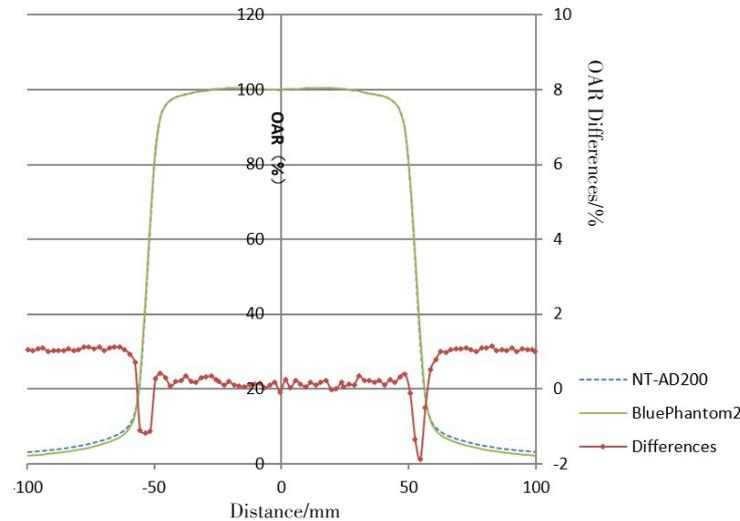


图2 两水箱(10×10) cm²射野5 cm深度OAR曲线及其差异

Fig.2 Off-axis ratio (OAR) curves and their differences of two water tanks in a (10×10) cm² field at 5 cm depth

表3 两水箱不同射野大小不同深度OAR曲线分区域差异的统计数据($\bar{x} \pm s$)

Tab.3 Statistics of OAR differences between two tanks in different areas of different field sizes and depths (Mean±SD)

Field size/cm ²	Depth/mm	Difference within 80% of the field size/%	Difference within 80%-120% of the field size/%	Difference outside 120% of the field size/%
3×3	d_{max}	0.09±0.25	0.11±0.51	0.90±0.19
	50	0.29±0.22	0.69±0.63	1.09±0.24
	100	0.15±0.17	0.91±0.53	1.49±0.19
10×10	d_{max}	0.01±0.08	-0.16±0.87	0.98±0.05
	50	0.16±0.10	-0.13±0.78	1.05±0.06
	100	-0.12±0.10	-0.27±0.41	1.29±0.12
30×30	d_{max}	-0.07±0.09	0.96±1.31	0.89±0.07
	50	-0.06±0.12	0.79±1.03	0.82±0.06
	100	0.03±0.11	0.95±1.14	1.12±0.06

3 讨论

在射束扫描性能方面,由以上测量结果可看出两水箱数据差异主要表现在建成区和半影区剂量急剧变化区域,这与Akino等^[8]及Saenz等^[9]的研究结论相一致。在Akino等^[8]研究中,只测量了(10×10) cm²标准射野条件下不同水箱的PDD数据差异及相同条件下不同深度的OAR曲线数据差异,得到差异最大的两组水箱建成区差异均值为2.60%±3.55%,不同深度OAR曲线半影区最大差异普遍可达5%,除此之外其余位置差异均值普遍在0.5%以内。而在本研究中,对于(10×10) cm²射野,建成区差异均值为-2.38%±4.63%,不同深度OAR曲线半影区最大差异在2%以内,与Akino等^[8]研究结果不同的是在120%射野大小以外的区域,本研究得到的差异普遍在1%左右,在此区域NT-AD200型水箱测量的数据比Blue Phantom 2的偏大,这可能与其本底测量值大小相关。

在建成区、半影区等剂量梯度大的地方差异也较大,可能与探头的选择有关。国内外相关研究表明探测器的空间分辨率对高剂量梯度区的测量结果有显著影响,小野测量时建议使用半导体探头或者小体积电离室,PDD曲线测量建议使用电离室探头,而使用半导体探头测量OAR曲线可以测得较好的射野半影区^[14-19]。除此以外,这些差异可能还与在此区域的步进距离、扫描速度以及数据分析时使用了插值算法有关^[20]。后续有待使用同一型号的探头并减小步进距离(增加测量点)以对这些区域进行进一步的研究。虽然不同水箱不同探头等在测量结果上有一定的差异,但分别使用这些数据在计划系统建模后对临床计算结果有无影响,或者造成临床上多大的剂量差异与影响还有待研究,这也将是本研究后续研究的重点。

在机械控制及易用性方面,使用过程中我们发现NT-AD200型水箱与Blue phantom 2还存在着一定的差距。NT-AD200不支持连续扫描模式,这在一定程度上

增加了数据采集时间,其走步电机需用户根据实际走位精度调整脉冲参数且过程繁琐,若用户始终找不到合适的参数则只能寻求别的办法来保证数据采集质量。对于小野回测现象,目前我们还没找到合理的原因,这可能与控制系统有关,也可能与电机有关。此外,NT-AD200型水箱控制软件虽然支持多任务OAR扫描模式,但若任务数过多则会出现后面测量的数据覆盖前面数据的情况,因此每扫描完成一个多任务需将此任务采集的数据拷贝出来以防丢失。

三维水箱因其严苛的技术要求、高昂的价格,目前国内放疗机构配备得很少,一般只有大型肿瘤放疗中心、加速器厂家才会配置,且以进口产品为主。小型放疗机构的数据采集工作不得不求助于第三方。但随着我国放疗事业的不断发展,放疗质控的不断规范化、标准化,各放疗机构配备属于自己的三维水箱已为大势所趋。易用性虽有不足,但射束扫描性能差异不大、价格相对低廉的国产设备或许能成为许多放疗机构的选择。

4 结论

本研究通过对比国产NT-AD200型水箱与进口Blue Phantom 2型水箱在相同条件下的使用过程及测得的剂量学数据,表明在机械控制及易用性方面,NT-AD200与进口设备相比还存在着一定的差距,还有待进一步提高。在射束测量方面,两型水箱的测量结果在高剂量梯度区有一定的差异,其余位置差异较小,与国外类似研究的结论一致,这说明NT-AD200型水箱与Blue Phantom 2型水箱的测量结果有很好的-一致性,射束扫描性能相当。尽管国产设备在机械控制及易用性等方面还不及进口产品精细,但作为进口产品的低成本替代品,其相对友好的价格及相当的射束数据采集质量在保障基层放疗质量及提高放疗水平等方面有着积极的作用。

【参考文献】

- [1] 胡逸民. 肿瘤放射物理学[M]. 北京: 原子能出版社, 1999.
HU Y M. Tumor radiation physics[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1999.
- [2] 李小波, 邓小武, 徐本华, 等. 组织不均匀条件对调强计划系统计算模型精度的影响[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2015, 35(8): 628-631.
LI X B, DENG X W, XU B H, et al. Effect of inhomogeneity on accuracy of various IMRT dose calculation models [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2015, 35(8): 628-631.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. JJG589-2008 医用电子加速器辐射源检定规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. JJG589-2008 medical electron accelerator radiation source verification procedures [S]. Beijing: China Standard Press, 2008.
- [4] 苏毅. 用三维水箱检定医用电子加速器的摆位方法[J]. 中国辐射

- 卫生, 2012, 21(4): 448-449.
SU Y. Using a three-dimensional water tank to verify the positioning method of a medical electron accelerator [J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2012, 21(4): 448-449.
- [5] DAS I J, CHENG C W, WATTS R J, et al. Accelerator beam data commissioning equipment and procedures: report of the TG-106 of the Therapy Physics Committee of the AAPM [J]. Med Phys, 2008, 35(9): 4186-4215.
- [6] 吴湘阳, 张坤, 常晓斌, 等. 三维水箱不同测试条件对数据采集结果的影响和分析[J]. 现代肿瘤医学, 2015, 23(22): 3322-3326.
WU X Y, ZHANG K, CHANG X B, et al. Three-dimensional water phantom system data acquisition result and analysis of different test conditions [J]. Journal of Modern Oncology, 2015, 23(22): 3322-3326.
- [7] 李云鹏, 郭天太, 赵军, 等. 射线束分析仪的单轴位移精确度校准研究[J]. 中国计量大学学报, 2017, 28(3): 282-286.
LI Y P, GUO T T, ZHAO J, et al. Research on calibration of single-axis displacement precision of beam analyzers [J]. Journal of China University of Metrology, 2017, 28(3): 282-286.
- [8] AKINO Y, GIBBONS J P, NECK D W, et al. Intra- and intervariability in beam data commissioning among water phantom scanning systems [J]. J Appl Clin Med Phys, 2014, 15(4): 4850.
- [9] SAENZ D, RORING J, CRUZ W, et al. Commissioning and cross-comparison of four scanning water tanks [J]. Int J Cancer Ther Oncol, 2016, 1(4): 1-9.
- [10] 吴丽丽, 林浩, 陈泓. 医用加速器 TrueBeam 剂量输出长期稳定性研究[J]. 中国医学装备, 2014, 11(6): 34-36.
WU L L, LIN H, CHEN H. Evaluation of dose delivery stability of a new linear accelerator TrueBeam [J]. China Medical Equipment, 2014, 11(6): 34-36.
- [11] PENG J, ASHENAFI M, MCDONALD D, et al. Assessment of systematic uncertainties on beam data collection using blue phantom HelixTM tomotherapy scanning system [J]. Med Phys, 2013, 40(6): 216.
- [12] 杜翔, 王进, 余宁乐. Blue Phantom 三维水箱在医用电子加速器质控检测中的应用[J]. 中国辐射卫生, 2012, 21(3): 330-331.
DU X, WANG J, YU N L. Application of Blue Phantom three-dimensional water tank in quality control of medical electron accelerator [J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2012, 21(3): 330-331.
- [13] ERIC E K, JOSEPH H, JOHN B, et al. Task Group 142 report: quality assurance of medical accelerators [J]. Med Phys, 2009, 36(9): 4197-4212.
- [14] BUCCIOLINI M, BUONAMICI F B, MAZZOCCHI S, et al. Diamond detector versus silicon diode and ion chamber in photon beams of different energy and field size [J]. Med Phys, 2003, 30(8): 2149-2154.
- [15] MARTENS C, WAGTER C D, NEVE W D. The value of the PinPoint ion chamber for characterization of small field segments used in intensity-modulated radiotherapy [J]. Phys Med Biol, 2000, 45(9): 2519-2530.
- [16] RUSTGI, SURENDRA N. Evaluation of the dosimetric characteristics of a diamond detector for photon beam measurements [J]. Med Phys, 1995, 22(5): 567.
- [17] CRANMER-SARGISON G, WESTON S, SIDHU N P, et al. Experimental small field 6 MV output ratio analysis for various diode detector and accelerator combinations [J]. Radiother Oncol, 2011, 100(3): 429-435.
- [18] LAUB W U, WONG T. The volume effect of detectors in the dosimetry of small fields used in IMRT [J]. Med Phys, 2003, 30(3): 341.
- [19] 陈利, 陈立新, 孙洪强, 等. 直线加速器小照野物理数据的测量和比较[J]. 癌症, 2009, 28(3): 328-332.
CHEN L, CHEN L X, SUN H Q, et al. Measurements and comparisons for data of small beams of linear accelerator [J]. Chinese Journal of Cancer, 2009, 28(3): 328-332.
- [20] 杨军. 影响三维水箱数据采集结果的关键性因素研究[D]. 北京: 清华大学, 2015.
YANG J. A study of the key affecting factors about 3D water tank scanning system data acquisition [D]. Beijing: Tsinghua University, 2015.

(编辑: 谭斯允)