

二维电离室矩阵中射野边界位置对调强验证 Gamma 通过率的影响

包超恩, 卢军丽, 翟福山, 曹晓辉, 刘兵, 杨永锋, 刘明, 李枫

河北医科大学第三医院肿瘤科, 河北 石家庄 050051

【摘要】目的:针对 (10×10) cm²射野,探讨改变射野边界在矩阵中的位置对测量射野大小及Gamma(γ)通过率的影响。**方法:**使用MatriXX二维电离室矩阵测量 (10×10) cm²射野剂量分布,保持射野大小不变,移动X方向准直器和在Y方向移动治疗床两种方式改变射野边界在矩阵中的位置,用OmniPro I'mRT(1.7)软件分析每次移动0.1 cm时射野边长的改变量,同时用实测剂量分布和XiO(4.40)治疗计划系统相应射野剂量分布对比,记录3%/3 mm评估标准下的 γ 通过率和 γ 为100%时的评估标准。**结果:**在矩阵电离室腔外间隙射野边长改变量低于0.1 cm,且在每两个电离室腔外间隙正中改变量最小接近0.05 cm;在电离室腔体内改变量高于0.1 cm,且在每一个电离室腔体中心接近最大值0.2 cm。3%/3 mm下的 γ 结果显示射野边界不通过点数随位置变化明显不同,在射野边长改变量最大和最小附近通过率高,全部通过的评估标准范围是2%/2 mm至6%/3 mm。**结论:**选取射野边界在矩阵电离室腔体中心或腔外间隙正中位置时,所测射野大小偏差最小。同时上述射野边界位置 γ 通过率最高,因此,在调强计划剂量分布验证中要充分考虑射野剂量梯度较大处在电离室矩阵的位置对 γ 通过率的影响,可调整剂量分布在矩阵中位置或改变不同评估标准详细分析 γ 通过率差异,从而提高 γ 通过率的有效性,对临床工作具有一定的指导作用。

【关键词】放射治疗;电离室矩阵; γ 通过率;射野边界

【中图分类号】R318.6;R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)08-0898-05

Effects of field edge position in a two-dimensional ion chamber array on Gamma passing rate

BAO Chao'en, LU Junli, ZHAI Fushan, CAO Xiaohui, LIU Bing, YANG Yongfeng, LIU Ming, LI Feng

Department of Oncology, the Third Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050051, China

Abstract: Objective To discuss the effects of the position of a (10×10) cm² field edge in ion chamber array on the measurement of field sizes and Gamma passing rates. **Methods** A two-dimensional ion chamber array detector (MatriXX) was used to measure the radiation dose distributions of a (10×10) cm² field. The position of the field edge was changed by either moving the collimator in X direction or the treatment couch in Y direction while keeping the field size constant. The length variation of the field edge after each 0.1 cm movement was recorded and analyzed with OmniPro I'mRT(1.7) software. The measured dose distribution and the corresponding radiation dose distribution in the treatment planning system of XiO (4.40) were compared. The Gamma passing rates (3% and 3mm) and the minimum acceptance criterion at 100% Gamma passing rate were recorded. **Results** The length variations of the field edge in the outer space of ion chamber cavity were less than 0.1 cm, and the minimum length variation of the field edge in the middle of two outer spaces was close to 0.05 cm. However, the length variations were larger than 0.1cm when the field edge was in the ion chamber cavity and the length variation at the center of each ion chamber cavity nearly reached the maximum value of 0.2 cm. The analysis on Gamma passing rates (3% and 3 mm) showed that the number of failure points was related to the position of field edge; and that the highest Gamma passing rates were found when the length variation of field edge was maximum or minimum; and that the range of evaluation criterion at 100% Gamma passing rate was 2%/2 mm-6%/3 mm. **Conclusion** The deviation in the measurement of field size is minimal when the field edge is in the center of the ion chamber and in the middle of two outer spaces, and the Gamma passing rate is the highest when the field edge is as above. Therefore, the effects of the position of high dose gradient area in the ion chamber array on Gamma passing rates during the dose verification of intensity-modulated radiotherapy should be comprehensively considered. It is possible to increase the effectiveness of Gamma passing rate through adjusting the position of dose distribution in the ion chamber array or selecting the optimal evaluation criterion.

Keywords: radiotherapy; ion chamber array; Gamma passing rate; beam edge

【收稿日期】2019-01-28

【基金项目】河北省卫生厅科研基金(ZD20140115)

【作者简介】包超恩,硕士研究生,主管技师,研究方向:医学物理、辐射防护、放疗质控等,E-mail: baochaoen@163.com

【通信作者】翟福山,E-mail: zhaifushan@126.com

前言

随着放射治疗新技术的发展及应用,质量保证措施需严格执行。调强计划在用于患者治疗之前必须进行剂量学验证,以此检验计算剂量与照射剂量之间的差异,确保患者治疗计划的准确实施。其中应用二维矩阵验证相对剂量分布方法具有简便、剂量学特性好、测量效率高等优点^[1-3],一般作为调强计划剂量分布验证工具。吴昊等^[4]研究表明电离室探测器灵敏区域的直径、灵敏体积以及几何形状对剂量测量的准确性有一定的影响,尤其是对高梯度区的测量结果有显著影响^[5]。王学涛等^[6]对MatriXX的剂量特性研究结果表明在射野边缘和剂量梯度大的区域,计算和测量的结果一致性较差。根据二维矩阵结构特点,电离室具有一定体积且有一定间隔,导致射野边界即剂量梯度陡峭的区域在矩阵平面不同位置测量时存在不同的偏差大小,剂量偏差对空间位置的细微变化非常敏感,这种敏感性容易导致较大的剂量偏差甚至超出剂量偏差标准,进而影响Gamma(γ)通过率。有文献报道二维矩阵摆位偏差、等中心选取等都会对计划验证结果有一定影响^[7-8],而分辨率对测量结果偏差大小的定量分析少有报道。本研究应用 (10×10) cm²射野边界在矩阵中位置改变对矩阵所测射野大小的变化规律及 γ 通过率的影响做深入探讨,有助于掌握二维电离室矩阵测量特点,提高计划验证结果的有效性,发挥矩阵测量工具的最大性能。

1 材料与方法

本实验开始前对加速器进行了严格检测,尽量减少设备对实验结果的影响,使加速器输出剂量偏差小于1%,平坦度小于3%,等中心检测小于2 mm,光野射野一致性小于1 mm,铅门到位精度小于1 mm。

1.1 设备材料

美国VARIAN IX直线加速器;IBA公司生产的二维电离室矩阵MatriXX和SP34固体水膜体(由RW3固体等效水材料制成,密度为1.045 g/cm³)。MatriXX二维电离室矩阵由1 020个通气的平行板电离室排列成32×32平面矩阵(4个顶角处无电离室)。电离室均匀分布尺寸为直径4.5 mm、高5 mm、灵敏体积0.08 cm³,相邻电离室中心间距为7.62 mm,电离室矩阵有效测量面积为 (24.4×24.4) cm²,有效测量点位于上表面下3 mm。

1.2 测量方法

按下列步骤进行:①摆位,将MatriXX系统水平放置在VARIAN IX加速器治疗床面上,MatriXX上

面和下面同时放5 cm厚RW3固体水材料,按CT扫描时的情况进行摆位,借助加速器机房内的激光定位灯与电离室面板上的中心“+”一致。设置加速器机架角为0°,准直器角为0°,通过双绞网线连接MatriXX和控制电脑。②预热,先通电预热15 min,选用6 MV-X射线,将射野开至 (25×25) cm²对MatriXX预照射1 000 MU,使其充分预热,做本底测量。③测量,预处理完毕后标称射野出束100 MU,用OmniPro I'mRT(1.7)软件分析处理测量数据,记录实测射野边长。④测量方式1,保持射野大小不变,在X方向移动准直器,使X1距离矩阵中心从4.1 cm到5.7 cm,对应的X2从5.7 cm到4.1 cm,每次移动0.1 cm。⑤测量方式2,移动治疗床改变Y方向射野边界在矩阵中的位置,射野边界在距离矩阵中心4.1 cm和5.7 cm间变化,每次间隔0.1 cm。⑥记录,两种方式分别进行,计算每次测量射野边长的改变量,同时用实测剂量分布和CMS公司XiO中心(4.40)治疗计划系统相应射野剂量分布对比,记录3%3 mm标准下的 γ 方法分析结果和100%通过时的评估标准。

2 结果

(10×10) cm²射野中心在二维电离室矩阵等中心处时如图1所示,由图1可见射野边界靠近电离室腔体中心。两种方式下分别计算出射野边界每移动0.1 cm时射野边长改变量(全部取正值),共16组。在标准3%/3 mm下, γ 分析不通过的地方集中在射野边界,每个边上不通过的电离室个数即为对应边的不通过点数(数值见表1、表2)。

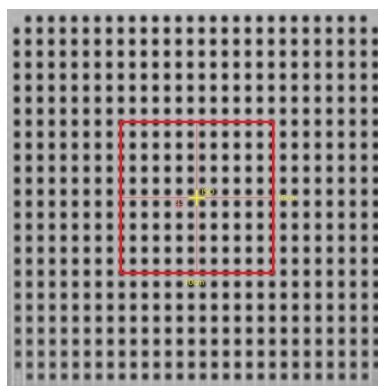


图1 在二维矩阵等中心平面的 (10×10) cm²射野
Fig.1 A (10×10) cm² field in the isocenter plane of two-dimensional array

根据表1和表2的数据变化量一栏以及对应的射野边界在二维矩阵中的位置作图, (10×10) cm²射野边界在电离室矩阵中不同位置的边长变化量如2所示。

表 1 射野 X 方向边界在二维电离室矩阵中改变时对应的变化量和通过率分析

Tab.1 Analysis of the corresponding variations and Gamma passing rates when the X-direction field edge in two-dimensional ion chamber array was changed

测量序号	射野边界位置/cm	变化量/cm		不通过点数		3 mm/3% 最大差值	100%通过最小阈值
		X1	X2	X1	X2		
1	4.2*	0.20	0.19	12	1	1.59	3 mm, 5%
2	4.3	0.14	0.09	0	12	1.39	3 mm, 4%
3	4.4	0.09	0.06	0	1	0.96	3 mm, 3%
4	4.5	0.05	0.05	0	0	0.71	3 mm, 2%
5	4.6 [#]	0.05	0.05	0	0	0.48	2 mm, 2%
6	4.7	0.06	0.09	0	0	0.89	3 mm, 3%
7	4.8	0.11	0.14	0	0	1.61	3 mm, 5%
8	4.9*	0.20	0.20	0	12	1.84	3 mm, 6%
9	5.0	0.16	0.11	11	1	1.76	3 mm, 5%
10	5.1	0.09	0.10	0	10	1.69	3 mm, 5%
11	5.2	0.07	0.06	11	0	1.15	3 mm, 4%
12	5.3 [#]	0.04	0.04	0	0	0.76	3 mm, 2%
13	5.4	0.06	0.06	0	0	1.57	3 mm, 5%
14	5.5	0.09	0.11	12	0	1.79	3 mm, 5%
15	5.6	0.11	0.17	0	0	1.78	3 mm, 5%
16	5.7*	0.17	0.18	0	0	1.65	3 mm, 5%

*表示射野边界位于或接近电离室腔体中心位置;#表示射野边界位于或接近二维矩阵电离室腔外间隙中心位置

表 2 射野 Y 方向边界在二维电离室矩阵中改变时对应的变化量和通过率分析

Tab.2 Analysis of the corresponding variations and Gamma passing rates when the Y-direction field edge in two-dimensional ion chamber array was changed

测量序号	射野边界位置/cm	变化量/cm		不通过点数		3 mm/3% 最大差值	100%通过最小阈值
		Y1	Y2	Y1	Y2		
1	4.2*	0.19	0.19	2	9	1.59	3 mm, 5%
2	4.3	0.13	0.12	6	12	1.39	3 mm, 4%
3	4.4	0.07	0.10	3	4	0.96	3 mm, 3%
4	4.5	0.06	0.07	0	0	0.71	3 mm, 2%
5	4.6 [#]	0.04	0.05	5	3	0.48	2 mm, 2%
6	4.7	0.11	0.06	0	0	0.89	3 mm, 3%
7	4.8	0.15	0.13	0	10	1.61	3 mm, 5%
8	4.9*	0.21	0.20	12	4	1.84	3 mm, 6%
9	5.0	0.17	0.16	6	0	1.76	3 mm, 5%
10	5.1	0.15	0.10	4	6	1.69	3 mm, 5%
11	5.2	0.09	0.07	0	0	1.15	3 mm, 4%
12	5.3 [#]	0.05	0.05	11	0	0.76	3 mm, 2%
13	5.4	0.06	0.06	1	3	1.57	3 mm, 5%
14	5.5	0.13	0.08	0	8	1.79	3 mm, 5%
15	5.6	0.15	0.14	0	0	1.78	3 mm, 5%
16	5.7*	0.17	0.18	17	0	1.65	3 mm, 5%

*表示射野边界位于或接近电离室腔体中心位置;#表示射野边界位于或接近二维矩阵电离室腔外间隙中心位置

从图2可以看出(10×10) cm^2 射野中心在二维矩阵中心时,射野边界接近电离室腔体中心位置,边界在4.2 cm(测量序号1)和5.7 cm(测量序号16)处时位于电离室腔体中心位置(如图2)。本实验采取方野(10×10) cm^2 ,边界从矩阵中心旁4.1 cm处到5.7 cm处每次步进0.1 cm,记录4个边长的变化量。表1和表2中射野边界一栏测量序号为5、12数据都是射野边界位于或接近二维矩阵电离室腔外间隙中心位置,测量序号为1、8、16数据射野边界位于或接近电离室腔体中心位置,可以看出,每个电离室腔体内约有3个变化量大于0.1 cm,最大接近0.2 cm,两个电离室间隙约4个变化量低于0.1 cm,最低0.05 cm。同时,在标准3%/3 mm条件下, γ 分析射野不通过点数集中在边缘,边界在电离室腔外间隙中间时几乎全部通过。图2显示射野4个边长变化量具有同样的规律,跟随电离室等间距排列射野边界步进0.1 cm的改变量具有一定周期性,在每个电离室中心都接近最大值0.2 cm,在电离室间隙中心接近最小值0.05 cm,由此可以得出在用二维矩阵测量射野大小时,射野边界在矩阵不同位置测量偏差大小也不同,一般来说边界在射野间隙中心时所显示的边长最接近实际射野边长。同时边界在矩阵电离室腔外间隙中心附近 γ 分析结果显示,3%/3 mm标准下最大差值都是小于1,即100%通过,其他位置全部通过的标准变化范围为2%/2 mm到6%/3 mm。

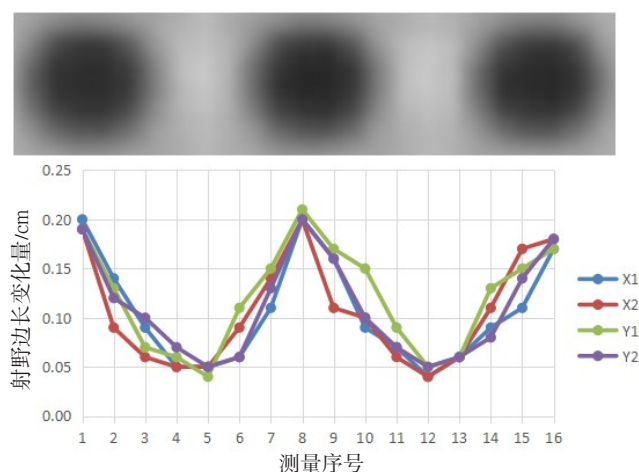


图2 (10×10) cm^2 射野边界在电离室矩阵中不同位置的边长变化量
Fig.2 Length variations of the (10×10) cm^2 field edge at different positions in ion chamber array

3 讨论

国内外已有学者对电离室矩阵的特性、加速器质控和调强计划剂量分布进行验证^[9-13]。由于电离室矩阵空间分辨率低,而且电离室测量剂量有明显的

体积平均效应^[14],电离室探测器的体积效应也降低了测量的分辨率^[15]。使得在验证射野大小和 γ 通过率时存在一定偏差,对于二维电离室矩阵,由于矩阵电离室本身的几何尺寸及间距属于间断探测方式,在检测叶片位置精度方面具有一定的局限性^[16]。Woo等^[17]报道电离室大小和电离室位于射野的位置,可能造成13%的测量误差。本研究结果显示单就矩阵本身结构特点造成的偏差具有一定的规律性。

为了减少其他因素对本测试结果的影响,本研究采取以下措施:(1)加速器设备进行了严格质控,尤其是光野射野一致性、加速器等中心校准、激光灯精度、以及平坦度对称性。(2)射野大小始终没有改变,通过两种方式改变射野边界在矩阵中的位置,即在X方向移动准直器和在Y方向移动治疗床,得出的边长变化量随边界在矩阵中位置变化规律是一样的(图2),说明准直器的到位精度和床的到位精度在本研究中可以忽略。(3)采用射野边界等间距(0.1 cm)改变时实测边长变化量间接反映了边界在矩阵不同位置剂量偏差的相对大小,由图2可明显看出,边界在电离室腔体内时所测剂量偏大,在电离室腔外间隙时所测剂量偏小,电离室测量剂量有明显的体积平均效应^[14],从电离室腔外间隙到相邻电离室腔外间隙为一个周期,剂量从偏小到偏大又从偏大到偏小。

在验证过程中,应用二维矩阵电离室实测射野中的等剂量曲线,并与治疗计划系统设计的等剂量曲线比较,观察等剂量线的一致性,记录每个射野边缘不通过点数以及最大差值。在本研究中,利用二维电离室矩阵测量射野内50%等剂量线宽度。矩阵中的电离室有一定的几何大小,在测量(10×10) cm^2 射野的过程中,对于处在射野边缘的电离室只有一部分在射野内受到照射,而另一部分在射野外没有受到照射,由于边缘效应,测量结果会受到影响。因此,用二维电离室矩阵测量射野大小的精度受到电离室矩阵的结构特点限制。即射野的边缘位于电离室矩阵中不同位置时,将产生不同的测量结果,射野边缘剂量测量误差使得测量射野大小存在偏差。因此,笔者认为在应用二维矩阵测量射野大小时,应选择边界在电离室腔外间隙中间的射野,比如(6×6)、(12×12) cm^2 等,或者按本研究方法测量一个周期数据与对应矩阵腔体位置是否存在偏移,尽量规避矩阵分辨率低带来的测量误差,使所测射野大小与真实值更接近。

本研究结果还显示,在调强剂量分布验证中,剂量梯度较大的边缘在矩阵平面不同位置时存在测量偏差,进而影响 γ 通过率。有些文献报道计划复杂度、等中心位置、摆位误差等因素影响 γ 通过率。与治疗计划系统输出的剂量平面相比较,如果靶区剂

量梯度较大的区域比较多,则调强剂量验证的通过率相对较低^[18],笔者认为这与矩阵本身结构特点有关,由表1、表2可以看出,在电离室腔外间隙位置不通过点数最少,3%/3 mm标准下最大差值最小,全部通过的评估标准最小。

二维电离室矩阵结构特点决定了其分辨率偏低,对于梯度较大处的测量误差不可忽略。在调强剂量分布验证中不通过点若集中在剂量梯度大的射野边缘区域,要充分考虑二维矩阵结构特点带来的影响,可通过查看 γ 值以及多种评估标准的结果仔细甄别,也可调整调强计划剂量分布在矩阵中位置来提高 γ 通过率有效性,对临床工作具有一定的指导作用。本研究基于方野边界在二维矩阵上的微小偏移带来的通过率变化,具体到临床调强计划剂量分布上,由于矩阵电离室体积和间隔等构造特点带来的通过率评估标准还有待进一步研究。

4 结 论

该研究结果表明,在应用二维电离室测量射野大小时,选取射野边界落在电离室腔外间隙正中位置时,所测射野大小偏差最小。在调强计划剂量分布验证中,不仅仅看通过点的百分数,还要分析 γ 直方图,查看最大值和其它的统计数据,检查不同的剂量偏差标准例如4%/3 mm,5%/3 mm,6%/3 mm等的 γ 通过率,从而提高 γ 通过率的有效性,对临床工作具有一定的指导作用。

【参考文献】

- [1] SAMINATHAN S, MANICKAM R, CHANDRARAJ V, et al. Dosimetric study of 2D ion chamber array matrix for the modern radiotherapy treatment verification[J]. J Appl Clin Med Phys, 2010, 11(2): 3076.
- [2] OINAM A S, SINGH L, GOSWAMI P, et al. SU-FF-T-201: dosimetric verification of dynamic IMRT plans using ImRT MatriXX[J]. Med Phys, 2009, 36(6): 2566-2567.
- [3] 杨瑞杰, 张喜乐, 刘路, 等. 2010例调强放疗患者计划剂量验证结果分析[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2016, 36(12): 917-921.
YANG R J, ZHANG X L, LIU L, et al. Analysis of 2010 patient-specific intensity-modulated radiation therapy dosimetric verification results[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2016, 36(12): 917-921.
- [4] 吴昊, 蒋璠, 韩树奎, 等. 常见探测器的空间分辨率比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2011, 28(2): 2501-2504.
WU H, JIANG F, HAN S K, et al. Comparison of the spatial resolution among various detectors[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2011, 28(2): 2501-2504.
- [5] 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.
- [6] 王学涛, 朱琳, 戴振晖, 等. MatriXX二维电离室阵列的剂量特性研究[J]. 医疗卫生装备, 2015, 36(6): 87-91.
WANG X T, ZHU L, DAI Z H, et al. Investigation on dose characteristics of 2D array MatriXX[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2015, 36(6): 87-91.
- [7] 孙小杨, 杨波, 庞皓文, 等. Mapcheck摆位误差对调强验证计划Gamma通过率的影响[J]. 医疗卫生装备, 2017, 38(1): 88-90.
SUN X Y, YANG B, PANG H W, et al. Effect of Mapcheck setup error on Gamma pass rate for intensity-modulated radiation therapy verification plan[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2017, 38(1): 88-90.
- [8] 解传滨, 丛小虎, 徐寿平, 等. 静态调强放疗射野等中心选择对二维电离室矩阵验证通过率的影响[J]. 中国医疗器械杂志, 2015, 39(3): 222-224.
XIE C B, CONG X H, XU S P, et al. The dose effect of isocenter selection during IMRT dose verification with the 2D chamber array[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2015, 39(3): 222-224.
- [9] AGNEW C E, IRVINE D M, HOUNSELL A R, et al. Improvement in clinical step and shoot intensity modulated radiation therapy delivery accuracy on an integrated linear accelerator control system[J]. Pract Radiat Oncol, 2014, 4(1): 43-49.
- [10] CROWE S B, KAIRN T, MIDDLEBROOK N, et al. Examination of the properties of IMRT and VMAT beams and evaluation against pre-treatment quality assurance results[J]. Phys Med Biol, 2015, 60(6): 2587-2601.
- [11] 陈利, 李宇恒, 李彦, 等. 仿真体模免洗胶片与固体水矩阵在IMRT验证中的比较[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23(4): 361-362.
CHEN L, LI Y H, LI Y, et al. The comparison of simulation model with solid water matrix in IMRT verification[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2014, 23(4): 361-362.
- [12] 乌晓礼, 王利华, 郝志龙, 等. Pinnacle³治疗计划系统中计算网格大小对剂量分布的比较研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23(3): 224-225.
WU X L, WANG L H, YU Z L, et al. The comparison of the size of the grid to the dose distribution in the Pinnacle³ treatment planning system[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2014, 23(3): 224-225.
- [13] BAILEY D, SPAANS J, KUMARASWAMY L, et al. SU-F-T-301: planar dose pass rate inflation due to the MapCHECK measurement uncertainty function[J]. Med Phys, 2016, 43(6 Part 17): 3532.
- [14] SPEZI E, ANGELINI A L, ROMANI F. Characterization of a 2D ion chamber array for the verification of radiotherapy treatments[J]. Phys Med Biol, 2005, 50(14): 3361-3373.
- [15] POPPE B, DJOUGUELA A, BLECHSCHMIDT A, et al. Spatial resolution of 2D ionization chamber arrays for IMRT dose verification: single-detector size and sampling step width[J]. Phys Med Biol, 2007, 52(10): 2921-2935.
- [16] 张国前, 张书旭, 韩鹏慧. 动态调强放射治疗滑窗技术的剂量和机械稳定性评价[J]. 中国医疗设备, 2011, 26(10): 21-24.
ZHANG G Q, ZHANG S X, HAN P H. Dosimetric and mechanical accuracy of sliding window in dynamic intensity modulated radiotherapy[J]. China Medical Devices, 2011, 26(10): 21-24.
- [17] WOO M K, NICO A. Impact of multileaf collimator leaf positioning accuracy on intensity modulation radiation therapy quality assurance ion chamber measurements[J]. Med Phys, 2005, 32(5): 1440-1445.
- [18] 任健, 高峰, 王艳菊. 二维电离室点矩阵Matrixx在调强验证中的应用[J]. 医疗装备, 2011, 24(2): 4-5.
REN J, GAO F, WANG Y J. Two-dimensional ionization chamber dot matrix Matrixx in intensity-modulated validation of application[J]. Chinese Journal of Medical Device, 2011, 24(2): 4-5.

(编辑:薛泽玲)