

非晶硅电子射野影像装置在直线加速器日检中的应用

闫冰, 吴爱东

安徽医科大学附属医院放疗科, 安徽 合肥 230001

【摘要】目的:在分析非晶硅电子射野影像系统(a-Si EPID)的剂量学基础上,利用开发的软件自动分析每日采集的射野影像,获取直线加速器的输出剂量、平坦度、对称性及射野尺寸等参数,使a-Si EPID成为加速器的快速日检工具。**方法:**首先对a-Si EPID进行校准,并将其分成16个大小为10 cm×10 cm的子区域,移动a-Si EPID依次照射,截取中心轴附近10 cm×10 cm(SSD 160 cm)的区域相互叠加获取增益影像,并进行输出剂量校准。随后通过自编软件根据校准数据分析每天标准射野影像得出加速器日检参数:输出剂量、射野尺寸、平坦度、对称性,并将结果与指形电离室及三维水箱数据进行比较。**结果:**加速器出束从97 MU至103 MU,模拟剂量偏差±3%。结果显示a-Si EPID中心轴灰度剂量呈高度线性,与指形电离室的最大偏差为小于1%。平坦度、对称性两个参数的基线偏离与三维水箱高度一致,结果均分别小于±0.5%和±1.5%。**结论:**因测量准确性及便利性,可以利用自编软件及a-Si EPID用于加速器日检。

【关键词】非晶硅电子射野影像系统;日检;直线加速器;放射治疗剂量

【中图分类号】R197.39

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)10-0988-05

Application of amorphous silicon electronic portal imaging device in daily quality assurance of linear accelerator

YAN Bing, WU Aidong

Department of Radiation Oncology, Anhui Provincial Hospital, Anhui Medical University, Hefei 230001, China

Abstract: Objective Based on the dose analysis of amorphous silicon electronic portal imaging device (a-Si EPID), the parameters of the linear accelerator (Linac), such as the output dose, flatness, symmetry and field size, were obtained by automatically analyzing the daily collected field images with the self-made software. The possibility of a-Si EPID to achieve a quick daily quality assurance (QA) of Linac is verified in the study. **Methods** The a-Si EPID was firstly calibrated and the plate was divided into 16 subareas at a size of 10 cm×10 cm which were radiated successively by moving a-Si EPID. Multiple field image after gain correction was obtained by overlapping the areas of 10 cm×10 cm (SSD 160 cm) near the center axis. The output dose was also calibrated. According to the calibrated data, we used self-made software to analyze the daily QA parameters of Linac obtained from standard field images, such as output dose, field size, flatness, symmetry, which were also compared with those measured with ion chamber and three-dimensional water phantom. **Results** The beams delivered by Linac ranged from 97 MU to 103 MU and the simulated dose deviation varied from -3% to +3% simultaneously. A high linear relationship was found between central axis dose of a-Si EPID and MU, and the maximum deviation of output dose measured by a-Si EPID and that measured by ion chamber was less than 1%. The baseline deviations of flatness and symmetry from a-Si EPID were consistent with those three-dimensional 3D water phantom, and the deviations were less than ±0.5% and ±1.5%, respectively. **Conclusion** Because of the accuracy and convenience of measurement, the self-made software and a-Si EPID can be used for the daily QA of Linac.

Keywords: amorphous silicon electronic portal imaging device; daily quality assurance; linear accelerator; radiotherapy dosage

前言

【收稿日期】2017-04-17

【基金项目】安徽省公益性技术应用联动计划项目(1604f0804014)

【作者简介】闫冰, 硕士, 工程师, 研究方向: 医学物理, E-mail: cpreo@126.com

【通信作者】吴爱东, 博士, 正高级工程师, 研究方向: 医学物理, E-mail: flkaidongwu@163.com

随着放疗技术的不断飞速发展,直线加速器的质量保证在日检方面的要求不断提高。传统的日检方法采用专用设备进行摆位测量,验证过程繁琐且耗时,已经不能满足加速器日检快速性的要求。作为目前加速器的主流配置之一的非晶硅电子射野影像系统(Amorphous Silicon Based Electronic Portal Imaging Device, a-Si EPID),因其具有更大的成像面积及较好的影像质量,被广泛应用于患者的摆位验

证^[1]。有学者指出 a-Si EPID 在成像功能的基础上,更具有良好的剂量学特性,因此利用 a-Si EPID 进行剂量学检测特别是对加速器进行日检将成为未来的热点。更有学者指出在未来十年,a-Si EPID 可能会取代目前主流的加速器的日检方法^[2]。本文根据 a-Si EPID 的剂量学特性对其采集的射野影像数据进行校准及刻度,并将其剂量学曲线与三维水箱的扫描数据进行对比分析,证实它完全可以替代专用的二维平板或电离室检验的方式对加速器进行日检。在此基础上编写软件自动分析每日采集的射野影像,显示并记录加速器的剂量准确性、平坦度、对称性及射野尺寸等参数,利用 a-Si EPID 作为直线加速器快速日检的工具。

1 材料与方法

1.1 材料

硬件:电子直线加速器(synergy, ELEKTA)使用 6 MV-X 线。选取直线加速器配置的 a-Si EPID(Perkin-Elmer)进行实验,该 a-Si EPID 有效测量面积为 41 cm×41 cm,分辨率为 1 024×1 024,其表面覆盖有 1 mm 铜用于建成,探测器平面距源 160 cm^[3]。剂量验证采用 0.6 cc 指形电离室(PTW, 30013)及三维水箱(PTW MP3,灵敏体积 0.125 cc)

软件:影像采集软件 XIS(Perkin-Elmer),采用连续累加模式采集 50 帧平均后输出,扫描频率 320 ms/帧。数据处理软件及编程采用 MATLAB(v2010b, Math Works)。

1.2 方法

1.2.1 a-Si EPID 校准 (1)本底校准采集 50 帧无辐射影像 DF(Dark Field Image)作为本底数据,减少暗电流对结果的影响;(2)增益校准,首先均整射野,选择 10 cm×10 cm 射野,将 PTW729 二维探测器的有效测量平面放置距源 160 cm 处,表面覆盖不同厚度的固体水测量其射野平坦度,实验发现表面覆盖 1 cm 厚固体水时,在射野中心轴附近 6 cm×6 cm 区域平坦度优于 1.5%。将整个尺寸为 41 cm×41 cm 的 a-Si EPID 平板按照最大可移动范围,划分为大小 10 cm×10 cm 的 16 个子区域。在 a-Si EPID 表面覆盖 1 cm 厚固体水,照射野 10 cm×10 cm 和 100 MU 照射剂量条件下,经本底校准后依次移动 a-Si EPID 平板,保证这些子区域的中心点与射野中心轴重合(SFD=160 cm)。分别采集 16 幅 EPID 影像,截取这些影像中心点附近 10 cm×10 cm 区域的影像数据相互拼接,即得到覆盖整个 a-Si EPID 面积的多幅增益影像 MF(Multiple Field);(3)输出剂量校准测量前校准加速器绝对剂

量,a-Si EPID 上覆盖 0.5 cm 固体水用于建成,选择 10 cm×10 cm 标准野,分别照射 10、20、50、100、200 MU,获取中心轴附近 25×25 像素灰度值进行拟合得出输出剂量校准因子 AF(Absolute Factor)。

通过本底、增益及离轴响应校准,灰度影像可修正为剂量影像:

$$\text{Corrected}_{\text{image}(x,y)} = \frac{\text{Raw_image}(x,y) - \text{DF}(x,y)}{\text{MF}(x,y)} \times \text{AF} \quad (1)$$

1.2.2 软件分析与验证 自编软件基于 MATLAB GUI 编写,功能包括:(1)EPID 校准向导模块,以界面化模式提示用户校准 EPID;(2)日检射野影像导入及结果输出模块;(3)日检数据回看模块。在每天日检中,由技师采集射野影像并导入至软件中,软件比较当前日期与校准数据日期,若日期超出限值,要求更新校准数据。随后对已导入射野影像校准,影像中心区域 25×25 像素、50%等剂量线区域分别作为绝对剂量及射野大小。计算 G-T 方向及 A-B 方向平坦度(Flatness)、对称性(Symmetry)并于软件存储的基线(Base Line)进行比较,平坦度、对称性定义如下:

$$\text{Flatness} = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max} + D_{\min}} \times 100 \% \quad (2)$$

$$\text{Symmetry} = \frac{\max(D_{\text{left}} - D_{\text{right}})}{D_{\text{center}}} \times 100 \% \quad (3)$$

其中, D_{\max} 和 D_{\min} 指在 80%射野宽度内的最大及最小剂量, D_{left} 及 D_{right} 指在整个射野宽度内偏离中心轴对称两点的剂量, D_{center} 指中心轴剂量。若输出剂量偏差±3%,射野大小偏差±1 mm,平坦度、对称性与基线偏差±3%时触发报警,并依据日期保存数据。

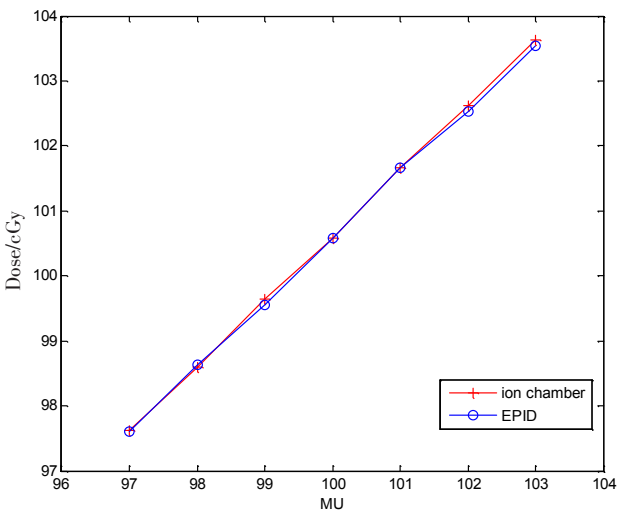
为检验自编软件测量的正确性,本文作如下验证:(1)输出剂量验证:为评估 a-Si EPID 测量直线加速器输出剂量的准确性,采用 10 cm×10 cm 照射野,不同 MU(97、98、99、100、101、102、103)分别照射电离室及 a-Si EPID。其中电离室放置于固体水下 5 cm 处,固体水表面距源 100 cm,换算得出最大剂量点的吸收剂量,由于 a-Si EPID 表面覆盖有 1 mm 铜片,因此添加 0.5 cm 固体水保证与电离室相同的剂量深度。(2)射野尺寸验证:将 EBT3 免洗胶片置于治疗床上,距源 100 cm,表面覆盖固体水用以剂量建成,以 10 cm×10 cm 照射野出束 200 MU,验证射野尺寸与加速器读数偏差小于 1 mm。在此加速器条件下,以 10 cm×10 cm 照射野为基准,以 0.1 cm 步长分别改变 X、Y 两个方向上的射野大小,照射 a-Si EPID,验证 a-Si EPID 测量射野尺寸的准确性。(3)平坦度、对称性验证:三维水箱探头置于水下 1.5 cm 源皮距 158.5 cm, a-Si EPID 表面覆盖 0.5 cm 建成。分别测量三维水箱

及a-Si EPID在加速器运行良好状况下G-T和A-B方向的离轴剂量曲线,并以此曲线作为两种设备的测量基线。调节加速器G-T和A-B两个方向的平坦度使其离轴剂量曲线失谐,在此条件下测量a-Si EPID对平坦度、对称性基线偏离的敏感度。

2 结果

2.1 a-Si EPID与指形电离室输出剂量的对比

加速器出束从97 MU至103 MU,模拟剂量偏差±3%。结果显示EPID中心轴灰度剂量呈高度线性,与指形电离室的最大偏差为小于1%(图1)。



EPID: Electronic portal imaging device; MU: Monitor unit

图1 EPID与指形电离室得到的加速器输出剂量对比
Fig.1 Comparison of output dose of linear accelerator (Linac) measured by EPID and ion chamber

2.2 a-Si EPID对射野尺寸的敏感度

EPID测量射野尺寸结果与加速器实际显示结果高度符合,如表1所示。在钨门X方向,测量结果偏差小于0.05 mm;在钨门Y方向,测量结果偏差小于0.10 mm,较X方向稍大。

2.3 a-Si EPID对平坦度、对称性的敏感度

三维水箱与EPID在A-B、G-T方向的剂量曲线即测量基线如图2所示,两者在剂量隆起区域与半影区误差稍大,但在靠近中心轴附近的高剂量区域误差小于0.3%。三维水箱与EPID两者基线的平坦度分别为:G-T方向0.76%、0.74%,A-B方向0.98%、1.00%;对称性分别为:G-T方向1.30%、2.00%,A-B方向1.88%、1.58%。分别将G-T、A-B两方向失谐,其离轴剂量曲线如图3所示。A-B方向失谐时,三维水箱与EPID的平坦度分别为3.69%、3.63%,对称性分

表1 EPID对射野尺寸敏感性(mm)
Tab.1 Sensitivity of EPID to field size (mm)

Jaw	Setting value	EPID	Linac	Error
X-direction	9.7	9.68	9.69	0.01
	9.8	9.75	9.78	0.03
	9.9	9.88	9.85	0.03
	10.0	9.95	9.98	0.03
	10.1	10.07	10.05	0.02
	10.2	10.18	10.15	0.03
	10.3	10.28	10.25	0.03
Y-direction	9.7	9.66	9.71	0.05
	9.8	9.75	9.80	0.05
	9.9	9.85	9.85	0.00
	10.0	9.95	9.95	0.00
	10.1	10.08	10.09	0.01
	10.2	10.15	10.19	0.04
	10.3	10.25	10.32	0.07

别为8.53%、9.35%。G-T方向失谐时,三维水箱与EPID的平坦度分别为2.51%、2.86,对称性分别为5.02%、5.03%。三维水箱与EPID偏离各自基线如表2所示。

3 讨论

a-Si EPID因其便利性、高分辨率及稳定可靠的物理学品质,目前已越来越多应用于直线加速器的质量保证中。许多研究已证实a-Si EPID可应用于多叶准直器校准^[4-5]、调强放疗计划质量保证^[6]、光野射野一致性^[7]、加速器机械精度^[8-9]等质量保证工作,但应用于加速器日检目前还较少报道。

a-Si EPID应用于加速器日检首先需要对其进行剂量学校准,特别是增益校准^[10]。剂量学增益校准与用于指导摆位的影像模式的增益校准方法不同,用于指导摆位的影像模式时,增益校准通过选择覆盖整个探测器平面的无衰减射线进行照射,使得探测器内的每一个像素单元具有相同的信号输出,因此患者的解剖影像更加清晰,但同样会消除了射野马鞍形剂量曲线的隆起。为避免剂量曲线失真,国内外许多学者进行了相关研究。Siebers等^[11]利用固体水均整覆盖整个探测器平面的射野进行增益校准。Zhu等^[12]利用解卷积及卷积的方法修正a-Si EPID,并将剂量投影至等中心平面与二维电离室矩阵相

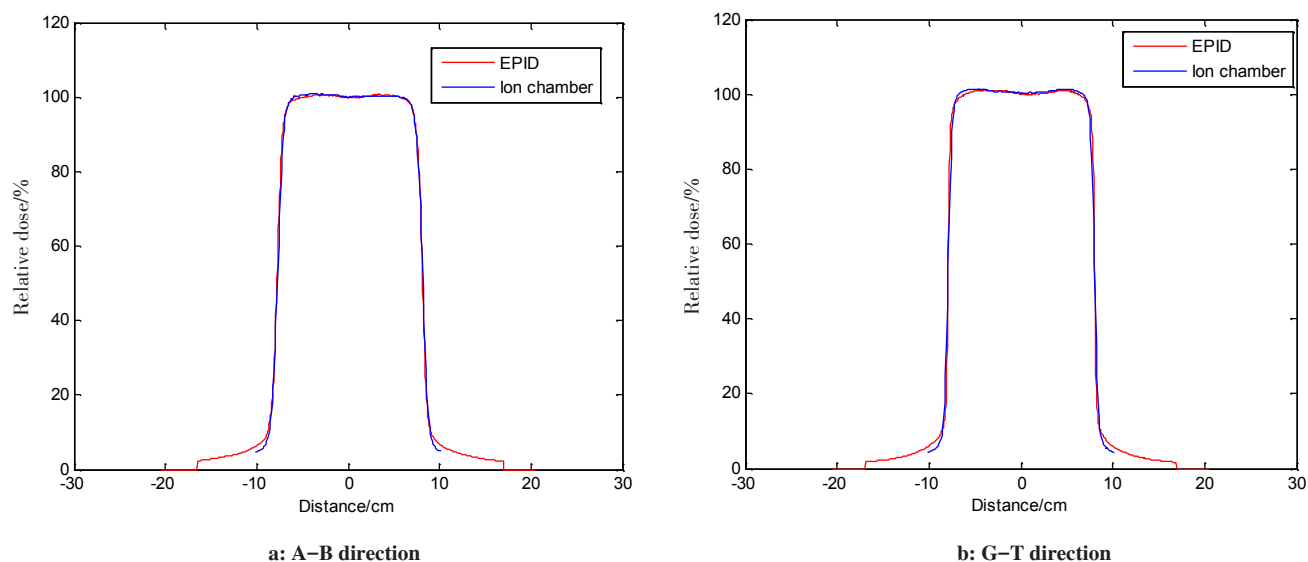


图2 三维水箱与EPID基线比较

Fig.2 Comparison of base-line profile obtained from three-dimensional (3D) water phantom and EPID

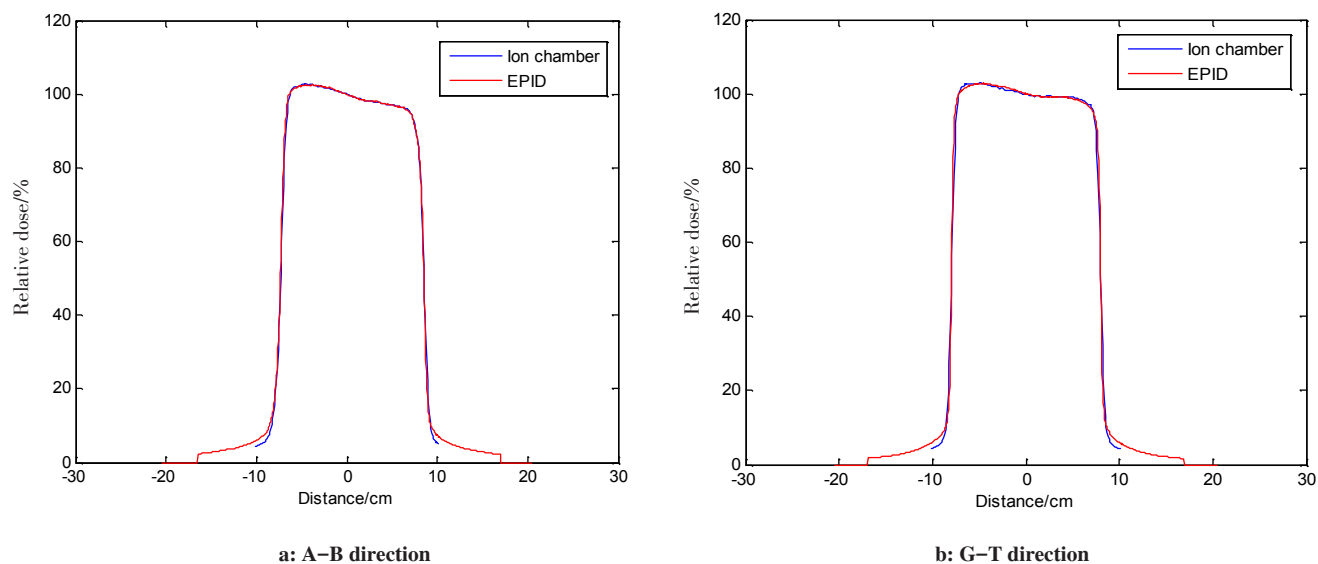


图3 失谐水箱与EPID比较

Fig.3 Comparison of base-line profile measured with detuned water phantom and EPID

表2 三维水箱与EPID平坦度、对称性比较(%)

Tab.2 Flatness and symmetry calculated with 3D water phantom and EPID (%)

Parameter	3D water phantom				EPID			
	Flatness	Error	Symmetry	Error	Flatness	Error	Symmetry	Error
Baseline G-T	0.76	-	1.30	-	0.74	-	2.00	-
Baseline A-B	0.98	-	1.88	-	1.00	-	1.58	-
Detuned G-T	2.51	1.75	5.02	3.72	2.86	2.12	5.03	3.03
Detuned A-B	3.69	2.71	8.53	6.65	3.63	2.63	9.35	7.77

比,在半影区具有较好的一致性。陈明伟等^[13]采用多个均整小野叠加的方式修正 a-Si EPID 增益,但仅

在 A-B 方向将 EPID 划分为 5 个区域进行修正,并未涉及 G-T 方向。本文中 EPID 校准在参考陈明伟方法

的基础上,将整个a-Si EPID在G-T方向和A-B方向各划分4个区域共计16个区域逐一校准,与三维水箱离轴剂量曲线对比符合性较好。

本文利用a-Si EPID对直线加速器进行日检,在输出剂量及射野大小方面检测结果符合性较好。在平坦度及对称性方面,人为调整加速器参数使离轴曲线偏离正常值,结果与三维水箱基线偏离值符合性较好,仅在A-B方向,a-Si EPID与三维水箱相比基线偏离1%,这可能由于在人为调整加速器参数偏离基准时,对称性调整过大,误差相互叠加造成。在临床使用过程中,一般不会出现如此大的偏差,因此可认为a-Si EPID与三维水箱相比基线偏离小于1%。

目前商用日检工具主要有QICKCHECK(PTW公司)和Daily QA3(SUN NUCLEAR公司)^[14],两种日检仪通过嵌入其中的一个中心电离室和周边等距离嵌入的电离室或半导体探测器测量加速器的各项参数,如:输出量、平坦度、对称性、射野尺寸及能量等。本文只利用了三维水箱进行验证,在进一步研究中,将利用商用日检工具,验证a-Si EPID用于日检的长期稳定性。总之,利用基于a-Si EPID对直线加速器进行日检,与其它测量工具相比具有很好的符合度,且测量方法简单方便、分辨率高^[15],因此利用a-Si EPID对直线加速器进行日检是有效可行的。

【参考文献】

- [1] 胡志纲,张红,任建,等. 130例放疗病人摆位误差分析[J]. 现代肿瘤医学, 2015, 23(17): 2500-2502.
HU Z G, ZHANG H, REN J, et al. Analysis of setup errors for 130 patients treated with radiotherapy[J]. Journal of Modern Oncology, 2015, 23(17): 2500-2502.
- [2] MUTIC S, PAWLICKI T, ORTON C G. EPID-based daily quality assurance of linear accelerators will likely replace other methods within the next ten years[J]. Med Phys, 2016, 43(6): 2691-2693.
- [3] DESHPANDE S, XING A, HOLLOWAY L, et al. Dose calibration of EPIDs for segmented IMRT dosimetry[J]. J Appl Clin Med Phys, 2014, 15(6): 4895.
- [4] MAMALUI-HUNTER M, LI H, LOW D A. MLC quality assurance using EPID: a fitting technique with subpixel precision[J]. Med Phys, 2008, 35(6): 2347-2355.
- [5] ZWAN B J, BARNES M P, FUANGROD T, et al. An EPID-based system for gantry-resolved MLC quality assurance for VMAT[J]. J Appl Clin Med Phys, 2016, 17(5): 1-18.
- [6] 朱金汉,陈立新,靳光华,等. 基于电子射野影像装置的容积调强弧形治疗二维剂量验证研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2012, 21(6): 550-553.
ZHU J H, CHEN L X, JIN G H, et al. The study of two-dimensional dosimetric verifications of volumetric intensity modulated arc therapy based on electronic portal imaging devices[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2012, 21(6): 550-553.
- [7] POLAK W, O'DOHERTY J, JONES M. Automated X-ray/light field congruence using the LINAC EPID panel[J]. Med Phys, 2013, 40(3): 031718.
- [8] YADDANAPUDI S, CAI B, HARRY T, et al. Rapid acceptance testing of modern linac using on-board MV and kV imaging systems[J]. Med Phys, 2017, 44(7): 3393-3406.
- [9] BARNES M P, GREER P B. Evaluation of the TrueBeam machine performance check (MPC): mechanical and collimation checks[J]. J Appl Clin Med Phys, 2017, 18(3): 56-66.
- [10] 孙彦泽,谈友恒,文万信. 非晶硅电子射野影像系统用于加速器照射野剂量学特性的研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2012, 32(4): 395-398.
SUN Y Z, TAN Y H, WEN W X. Study on the dosimetry characteristics of LINAC based on amorphous silicon electronic portal imaging devices [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2012, 32(4): 395-398.
- [11] SIEBERS J V, KIM J O, KO L, et al. Monte Carlo computation of dosimetric amorphous silicon electronic portal images[J]. Med Phys, 2004, 31(7): 2135.
- [12] ZHU J H, CHEN L X, CHEN A L, et al. Fast 3D dosimetric verifications based on an electronic portal imaging device using a GPU calculation engine[J]. Radiat Oncol, 2015, 10(1): 85.
- [13] 陈明伟,邓小武,黄劲敏,等. 非晶硅平板电子射野影像用于放射治疗剂量学质量控制检验的应用[J]. 癌症, 2007, 26(11): 1272-1275.
CHEN M W, DENG X W, HUANG Z M, et al. Application of amorphous silicon electronic portal imaging device (a-si EPID) to dosimetry quality assurance of radiation therapy [J]. Chinese Journal of Cancer, 2007, 26(11): 1272-1275.
- [14] 胡俏俏,张艺宝,刘卓伦,等. 四种常见加速器晨检仪的性能比较[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2015, 35(7): 532-535.
HU Q Q, ZHANG Y B, LIU Z L, et al. Performance comparison of four common LINAC daily QA instruments[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2015, 35(7): 532-535.
- [15] SALEH Z, TANG X, SONG Y, et al. SU-G-TeP2-01: can EPID based measurement replace traditional daily output QA on megavoltage Linac?[J]. Med Phys, 2016, 43(6): 3663.

(编辑:陈丽霞)