

PTW729和ArcCheck探测器在调强放射治疗剂量验证中的应用

吴爱林,吴爱东,耿国星,周解平,武星蕾,刘浩武,钱立庭

安徽省肿瘤医院(省立西区),安徽 合肥 230031

【摘要】目的:探索在适形调强放疗(IMRT)剂量验证中应用三维探测器 ArcCheck 替代二维探测器 PTW729 的可行性和优越性,分析影响 PTW729、ArcCheck 进行 IMRT 计划剂量验证通过率的主要因素。**方法:**分别使用 ArcCheck 和 PTW729 对 IMRT 计划进行验证测量,基于不同标准参数进行 Gamma 分析,采用两两比较的配对 t 检验对相同标准参数下的两种验证工具的 γ 通过率进行统计学分析,再利用非线性拟合的方法分析不同标准参数对两种工具验证结果的影响。**结果:**在临床常用标准参数下(剂量偏差 $>2\%$,距离偏差 $>2\text{ mm}$,TH10),ArcCheck 与 PTW729 对 IMRT 计划的剂量验证结果差异无统计学意义($P>0.05$);影响上述两种验证工具 γ 通过率的主要因素分别是剂量偏差和距离偏差。**结论:**在临床常用标准参数范围内,三维验证系统 ArcCheck 是一种理想的 IMRT 剂量验证工具,其验证结果能更全面准确地反映实际治疗的各种信息。

【关键词】强调放射治疗;剂量验证;ArcCheck;PTW729;Gamma 分析法;标准参数

【中图分类号】R815.6

【文献标识码】A

【文章编号】1005-202X(2016)05-0473-05

Application of PTW729 and ArcCheck detector in dose verification of intensity modulated radiotherapy

WU Ai-lin, WU Ai-dong, GENG Guo-xing, ZHOU Jie-ping, WU Xing-lei, LIU Hao-wu, QIAN Li-ting

Anhui Provincial Cancer Hospital (West Branch of Anhui Provincial Hospital), Hefei 230031, China

Abstract: Objective To explore the feasibility and superiority of applying three-dimensional detector ArcCheck to replace two-dimensional detector PTW729 in the dose verification of intensity-modulated radiotherapy; to analyze the main factors influencing the Gamma pass rates of intensity modulated radiotherapy (IMRT) plans based on PTW729 and ArcCheck. **Methods** ArcCheck and PTW729 were respectively applied to verify and measure the IMRT plans. Based on the Gamma analysis with different standard parameters, the Gamma pass rates of the two verification methods with the same standard parameters were compared by using the paired t -test. The non-linear fitting method was used to discuss on the effects of different standard parameters on the verification results of two methods. **Results** Based on the usual clinical standard parameters (dose deviation is greater than 2% ; distance deviation is greater than 2 mm ; threshold parameter is 10), the verification results of PTW729 and ArcCheck didn't show any statistical differences ($P>0.05$). The dose deviation and distance deviation were the main factors influencing Gamma pass rates of IMRT plans. **Conclusion** Within the range of usual clinical parameters, three-dimensional system ArcCheck is an ideal tool for the dose verification of IMRT plans, and the results reflect the information of actual treatment more comprehensively and accurately.

Key words: intensity modulated radiotherapy; dose verification; ArcCheck; PTW729; Gamma analysis; standard parameter

前言

适形调强放射治疗(Intensity Modulated Radiotherapy, IMRT)以其高度适形且均匀的剂量分布特

性,已成为应用最为广泛的放射治疗技术之一。该技术可通过两种方式实现:一为 Sliding Window 技术,即在加速器连续出束条件下调整叶片运动速度和剂量率来实现动态调强;二为 Step and Shot 技术,即一系列子野依次照射实现计划要求的强度分布,而小子野间隔期间加速器不出束,它要求叶片位置的高精度和加速器具有小跳数性能,是一种静态调强技术。不难看出,两种实现技术对叶片运动精度具有较高的要求。为保证放疗安全,对 IMRT 计划的

【收稿日期】2015-12-16

【项目基金】安徽省高校省级自然科学基金项目(KJ2010B380)

【作者简介】吴爱林(1985-),女,博士,工程师,主要研究方向:肿瘤放射物理学,放疗质控技术等,E-mail: wuailing_2012@126.com。

【通信作者】吴爱东,博士,硕士生导师,高级工程师,E-mail: aidong-wu@21cn.com。

剂量学验证工作变得尤为重要^[1]。伴随着IMRT技术广泛应用,尤其是容积旋转调强放疗技术(Volumetric Intensity Modulated Arc Therapy, VMAT)顺利开展,剂量验证工具和方法也随之不断进步^[2]。目前常用平面剂量验证设备大致可分为两种:一种是二维验证系统,如胶片,PTW729^[3](德国PTW公司),Map-Check(美国Sun Nuclear公司),MatriXX(德国IBA公司)等;另一种为三维验证系统,如Delta⁴(瑞典ScandiDos公司),ArcCheck^[4](美国Sun Nuclear公司)等。本研究随机选取12例IMRT计划(宫颈癌、食管癌),分别使用二维验证系统PTW729与三维验证系统ArcCheck进行剂量学验证,现将结果报告如下。

1 材料与方法

1.1 病例选择及治疗计划

选取本科2014~2015年收治的12例宫颈癌、食管癌患者行5野步进式(Step and Shoot)逆向IMRT计划,采用Pinnacle³9.0治疗计划系统的直接子野优化DMPO计算模块完成计划设计。

1.2 加速器及验证设备

实验测量基于美国瓦里安公司Trilogy型号医用直线加速器的6 MV-X射线,剂量率为400 MU/min。验证设备选用二维验证系统PTW729,由729个立方体电离室组成,每个电离室尺寸为(5×5×5) mm³,中心间隔为1 cm,有效测量范围为(27×27) cm²。三维验证工具ArcCheck为长圆柱形,其模体的长为21 cm,由1386个(0.8×0.8) mm²的硅二极管探测器沿着圆柱中心轴的2.9 cm物理深度处螺旋形排列,探头间隔也为1 cm。

1.3 实验设计和数据分析方法

PTW验证:按照验证计划要求放置二维验证矩阵PTW729和固体水模体,将激光线对准验证矩阵的十字线。IMRT计划的全部射野角度归零,垂直照射模体,完成平面剂量测量;ArcCheck验证:将激光线对准圆柱形模体的十字线,完成模体正确摆位,对ArcCheck进行本底校准、矩阵校准和绝对剂量校准工作,执行IMRT计划,测量并生成剂量分布测量结果。这两种方法的验证结果均采用相对剂量Gamma分析法进行分析。在不同的标准参数下,比较计划系统计算的剂量分布与实际测量结果的相对剂量通过率差异。采用Matlab软件的非线性拟合工具箱拟合出剂量偏差(Dose Deviation/%)、距离偏差(Distance deviation/mm)、阈值参数(Threshold, TH/%)与 γ 平均通过率的函数关系,以分析选取不同标准参数对两种工具验证通过率的影响。

1.4 统计学方法

采用SPSS22.0软件对相同标准参数下两种验证工具的验证结果做配对 t 检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 ArcCheck替代PTW729进行IMRT剂量验证的可行性分析

在临床IMRT计划验证中,人们更关注高剂量区的误差,而对射野外或一些低剂量区域可以不做考虑,因此常采用阈值参数TH10(TH10表示只有那些点剂量超过最大剂量10%的点才会在Gamma分析中予以考虑)。表1给出了在距离偏差3 mm、阈值参数TH10时,不同的剂量偏差下两种验证工具 γ 通过率的配对 t 检验结果。可见当剂量偏差大于等于2%时,分别使用三维验证工具ArcCheck与二维验证矩阵PTW729的IMRT验证计划 γ 通过率差异不具有统计学意义,即表明此时两种验证工具对同一个IMRT计划的验证结果的评价是近似的。

表1 不同剂量偏差下(3 mm/TH10)PTW729与ArcCheck γ 通过率的配对 t 检验结果

Tab.1 Paired t -test results of γ pass rate of PTW729 and ArcCheck with different dose deviations (3 mm/TH10)

Dose deviation (%)	t	P value
1	4.605	0.001
2	1.729	0.112
3	0.805	0.438
4	-0.756	0.465
5	-0.629	0.542

表2给出了在剂量偏差3%、阈值参数TH10时,不同距离偏差下两种方法 γ 通过率的配对 t 检验结果。当距离偏差大于等于2 mm时,检验结果的 $P>0.05$,说明两种验证工具的 γ 通过率统计差异不明显。

表2 不同距离偏差下(3%/TH10)PTW729与ArcCheck γ 通过率的配对 t 检验结果

Tab.2 Paired t -test results of γ pass rate of PTW729 and ArcCheck with different distance deviations (3%/TH10)

Distance deviation (mm)	t	P value
1	-9.630	0.000
2	-2.071	0.063
3	0.719	0.487
4	0.493	0.632
5	0.541	0.599

2.2 PTW729 验证 γ 通过率的影响因素分析

与百分剂量偏差法(Dose Difference, DD)和距离符合度(Distance-To-Agreement, DTA)分析法相比, Gamma分析法不论对于剂量分布平缓区还是剂量梯度较大的陡峭区,其计算值不会过大,相对误差较小,是国际普遍的临床剂量验证方法^[5]。因此,对两种工具的验证结果均采用Gamma分析法进行分析,而影响其验证平均通过率的标准因素有剂量偏差(%)、距离偏差(mm)和阈值参数TH(%) (表3)。

在Matlab软件中,使用曲线拟合工具箱cftool,根据上述结果拟合出剂量偏差、距离偏差和阈值参数与 γ 平均通过率的变化曲线(图1),三种标准参数与 γ 通过率符合幂函数公式 $Y=aX^b+c$,各曲线对应的拟合方程如下所示:

$$Y = \begin{cases} -10.96X^{-1.541} + 100.3 & (\text{Dose deviation}) \\ -36.1X^{-2.347} + 100.2 & (\text{Distance deviation}) \\ -29.62X^{-2.114} + 98.0 & (\text{Threshold}) \end{cases}$$

从图1可知,当剂量偏差小于3%(或距离偏差小于3 mm或阈值参数TH小于3%)时,改变距离偏差对PTW729验证 γ 通过率影响最大;而当标准参数高于上述值时(剂量偏差大于3%或距离偏差大于3 mm或阈值参数TH大于3%),改变剂量偏差、距离偏差和阈值参数中的任一项数值对 γ 通过率产生影响几乎相同;当剂量偏差大于5%(或距离偏差大于5 mm或阈值参数TH大于5%)时,继续增大某个标准参数对 γ 通过率产生影响几乎可以忽略。表3中的3列数值分别为先固定两个标准参数,然后改变第3个标准参数时通过率的平均值,如PTW729(3 mm/TH10)表

表3 不同标准参数时PTW729验证下 γ 平均通过率(%)

Tab.3 Average γ pass rates of IMRT plans verified by PTW729 with different standard parameters (%)

%mm/TH	PTW- γ		
	3 mm/TH10	3%/TH10	3%/3 mm
1	89.300±4.749	64.175±8.753	68.367±8.860
2	96.608±1.997	92.633±3.894	91.250±5.345
3	98.292±1.086	98.242±1.124	95.408±2.588
4	98.775±1.034	99.108±0.614	96.183±2.910
5	99.350±0.630	99.492±0.574	96.542±2.369
6	99.533±0.596	99.625±0.550	96.958±1.712
7	99.717±0.388	99.683±0.461	97.275±1.325
8	99.925±0.260	99.817±0.292	97.808±1.071
9	99.950±0.173	99.933±0.161	98.050±1.257
10	100.000±0.000	99.933±0.161	98.242±1.124

IMRT: Intensity modulated radiotherapy

The data of three rows were the mean value of γ pass rates when two standard parameters were fixed and the third standard parameter was changed. For example, PTW729 (3 mm/TH10) showed the mean value of γ pass rates when dose deviation changed from 1% to 10%, with distance deviation of 3 mm and threshold parameter of 10.

示距离偏差为3 mm,阈值参数TH10,剂量偏差从1%改变至10%时12例IMRT计划的 γ 平均通过率。

2.3 ArcCheck 验证 γ 通过率的影响分析

表4给出在ArcCheck验证下,固定两个标准参数,改变第3个标准参数时,12例患者IMRT计划 γ 平均通过率。

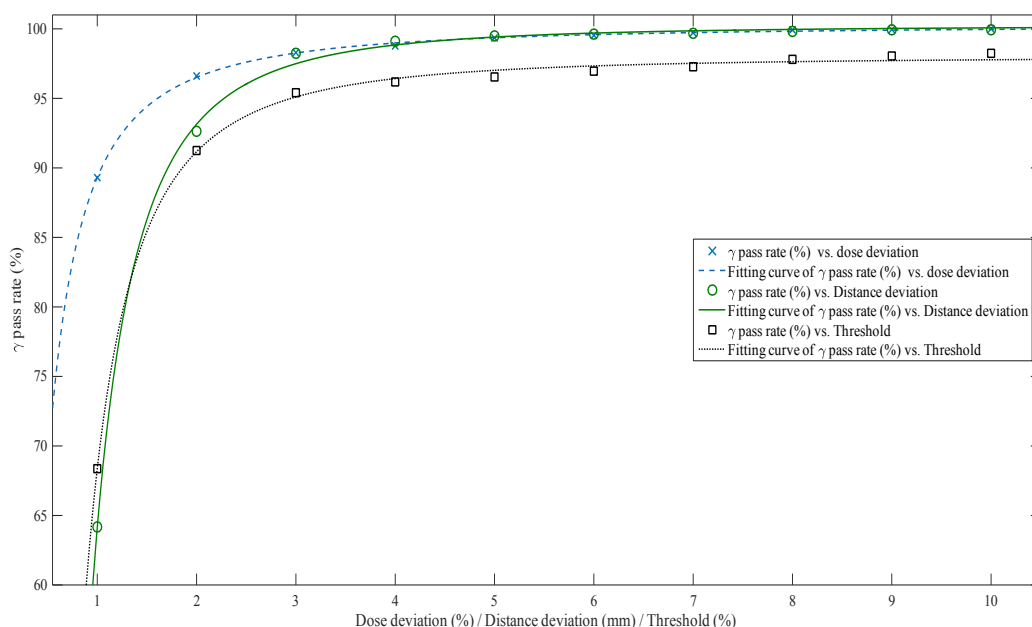


图1 三类标准参数与PTW729验证 γ 通过率的变化关系

Fig.1 Relationship between three standard parameters and γ pass rate verified by PTW729

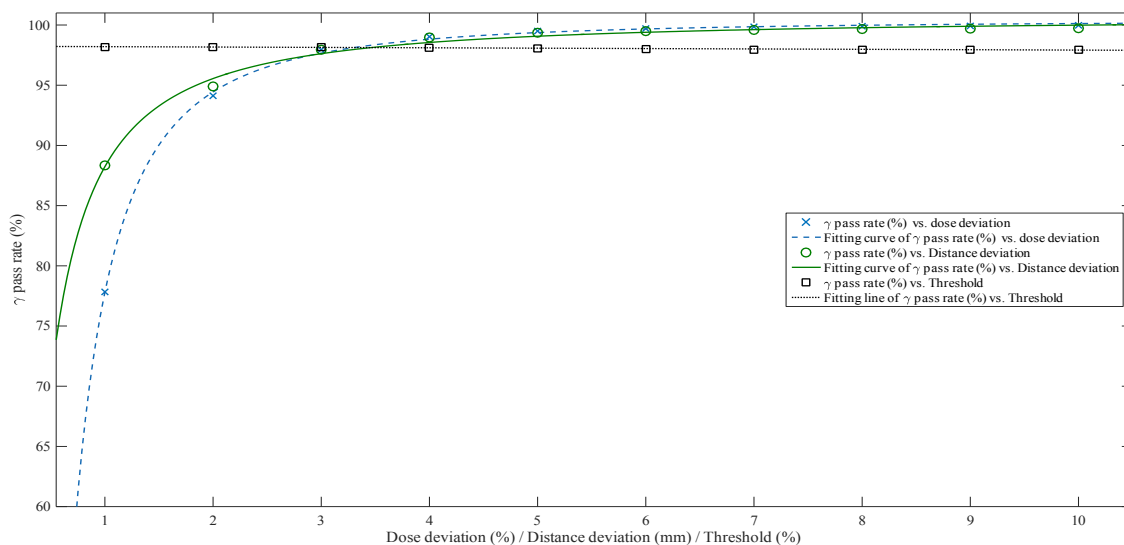
表4 不同标准参数时ArcCheck验证下 γ 平均通过率(%)Tab.4 Average γ pass rates of IMRT plans verified by ArcCheck with different standard parameters (%)

%mm/TH	ArcCheck- γ		
	3 mm/TH10	3%/TH10	3%/3 mm
1	77.833±8.245	88.342±1.572	98.192±1.019
2	94.125±4.634	94.900±1.342	98.192±1.019
3	97.950±0.947	97.950±0.947	98.167±1.004
4	99.033±0.345	98.967±0.797	98.117±0.980
5	99.500±0.289	99.358±0.708	98.067±0.960
6	99.708±0.193	99.492±0.640	98.025±0.960
7	99.850±0.157	99.592±0.574	97.967±0.937
8	99.900±0.085	99.667±0.531	97.967±0.937
9	99.925±0.075	99.700±0.484	97.967±0.937
10	99.925±0.045	99.733±0.431	97.950±0.947

The data of three rows were the mean value of γ pass rates when two standard parameters were fixed and the third standard parameter was changed. For example, ArcCheck (3 mm/TH10) showed the mean value of γ pass rates when dose deviation changed from 1% to 10%, with distance deviation of 3 mm and threshold parameter of 10.

基于表4的结果,利用Matlab软件曲线拟合工具箱cftool拟合出 γ 平均通过率随着不同标准参数变化的曲线。结果如图2所示,剂量偏差和距离偏差两个参数与Gamma通过率符合幂函数 $Y=aX^b+c$ (见下式),而阈值参数对通过率影响较小,符合线性函数关系 $Y=aX+b$:

$$Y = \begin{cases} -22.59X^{-1.924} + 100.4 & (\text{Dose deviation}) \\ -12.39X^{-1.289} + 100.6 & (\text{Distance deviation}) \\ -0.03177X + 98.24 & (\text{Threshold}) \end{cases}$$

图2 三类标准参数与ArcCheck验证 γ 通过率的变化关系Fig.2 Relationship between three standard parameters and γ pass rate verified by ArcCheck

由表4和图2可知,采用ArcCheck对IMRT计划进行剂量验证, γ 通过率对阈值参数TH的敏感度较小。当剂量偏差小于3%(或距离偏差小于3 mm)时,改变剂量偏差的数值将会使得 γ 通过率发生更大的变化;而当剂量偏差大于3%(或距离偏差大于3 mm)时,改变剂量偏差或距离偏差对IMRT的 γ 通过率的影响近似相同;而进一步增大剂量偏差(>5%)或距离偏差(>5 mm)将不会明显影响验证结果的通过率。

3 讨论

随着VMAT的推广,针对旋转照射的剂量测量工具得到了广泛应用,而将这些三维验证工具应用于IMRT计划验证需要进一步实验分析。如文献[6]采用DD方法和DTA方法比较了MapCheck和Delta⁴用于IMRT计划的验证结果,说明Detla⁴可以更全面地模拟实际放疗过程,完全满足临床对IMRT的验证要求。人们还对ArcCheck工作特性进行了深入研究,如Kozelka等^[7]和Feygelman等^[8]分析了射野尺寸、角度位置等因素对ArcCheck验证结果的影响,Petoukhova等^[9]认为TPS的剂量计算方法也会影响验证结果。在文献[10]中,针对10例不同部位、不同难易程度的肿瘤病例设计了IMRT计划、单弧/双弧VMAT计划,分析研究了ArcCheck进行绝对剂量测量、计划剂量验证的精确性及影响因素,结果表明由于验证时ArcCheck的探头始终与射野方向垂直,可以忽略射野方向对于ArcCheck二极管测量的影响。除了鼻咽癌复杂计划外,两种计划的通过率和绝对剂量测量偏差均无统计学差异,表明相对于简单病例,IMRT和VMAT计划的TPS计算与加速器计划实施精度无显著差异。

与上述文献报道的研究不同,本文首先通过统计学方法验证了三维验证系统 ArcCheck 用于临床简单 IMRT 计划(宫颈癌、食管癌)剂量验证的可行性。结果显示,在临床常用的标准参数下(剂量偏差 $>2\%$,距离偏差 $>2\text{ mm}$,TH10),ArcCheck 与 PTW729 的验证结果差异无统计学意义($P>0.05$),这说明,可以使用 ArcCheck 替代 PTW729 进行临床简单 IMRT 计划的剂量验证。

其次,讨论了 3 类标准参数对 PTW729 和 ArcCheck 验证结果 γ 通过率的影响。由图 1 可以得知,3 个标准参数中其中两个取临床常用值时,距离偏差的改变对 PTW729 验证通过率的影响最大,即微小的位置偏移将影响整个 IMRT 剂量验证的评价结果,这对验证模体摆位等工作提出了更加严格的要求。分析其原因可能由于 PTW729 电离室尺寸为($5\times 5\times 5$) mm,当设定的距离偏差小于该尺寸,则很难在小距离偏差范围内(尤其对剂量陡峭区)寻找到满足剂量偏差 3%条件下的 TPS 计算的剂量值。

接着,对三维验证系统 ArcCheck 验证下 γ 通过率的分析发现, γ 通过率对阈值参数 TH 的改变不敏感,这反映 ArcCheck 验证的通过率受低剂量区采样点数量的影响不大。由图 2 可知,当剂量偏差小于 3%(或距离偏差小于 3 mm)时,对 IMRT 计划验证 γ 通过率影响最大的标准参数是剂量偏移,而非距离偏差。这可能是由于:(1)半导体探测器灵敏度易受温度、照射野大小、剂量率等因素影响;(2)在非零度的实际治疗机架角度下进行验证,多叶准直器受重力作用而无法精确到位易造成一定的剂量偏差;(3)ArcCheck 每个半导体探头尺寸很小($0.8\text{ mm}\times 0.8\text{ mm}$),在相对 PTW729 较大的距离偏差内更容易找到符合剂量偏差 TPS 计算的剂量值;(4)在设备验证过程中配有自动校正摆位误差的功能。综合相对 PTW729, ArcCheck 受到的人为因素影响较小。

最后,PTW729 在进行 IMRT 剂量验证时,只能将所有射野角度归零,该验证过程忽略了治疗床的影响、以及重力对 Gantry 和 MLC 到位精度的影响,这与实际治疗情况存在较大差异。有研究表明这种方法实际上提高了剂量验证的通过率^[6,11],而无法准确进行实际照射条件的治疗验证评估。ArcCheck 采用的是射野实际角度的验证,当治疗床角度为零时, ArcCheck 中半导体探头具有各向同性的物理特性,无角度依赖影响性,可以从任何机架角度的精确探测。同时,这种射野实际角度的验证也将治疗床对治疗的影响考虑在内,验证过

程更加接近真实治疗。此外,在临床工作中,只需使用三维验证系统即可对 VMAT 计划和 IMRT 计划进行剂量验证,节约了精确完成二维验证模体摆位、修改原有机架角度等工作所耗费的时间。

综上所述,在临床常用的标准参数下,使用 ArcCheck 可以替代 PTW729 进行 IMRT 计划做剂量验证,这不仅提高了验证效率,还能为全面模拟 IMRT 实际实施过程提供更多的临床治疗信息。ArcCheck 作为性能良好、功能全面的三维剂量验证系统,能满足临床对 IMRT 计划剂量验证的要求。

【参考文献】

- [1] EZZELL G A, GALVIN J M, LOW D, et al. Guidance document on delivery, treatment planning and clinical implementation of IMRT: report of the IMRT subcommittee of the AAPM radiation therapy committee[J]. Med Phys, 2003, 30(8): 2089-2115.
- [2] CHANDARAJ V, STATHAKIS S, MANICKAM R, et al. Comparison of four commercial devices for RapidArc and sliding window IMRT QA[J]. J Appl Clin Med Phys, 2011, 12: 338-349.
- [3] POPPE B, BLECHSCHMIDT A, DJOUGUELA A, et al. Two-dimensional ionization chamber arrays for IMRT plan verification [J]. Med Phys, 2006, 33: 1005-1015.
- [4] LETOURNEAU D, PUBLICOVER J, KOZELKA J, et al. Novel dosimetric phantom for quality assurance of volumetric modulated arc therapy[J]. Med Phys, 2009, 36(5): 1813-1821.
- [5] LOW D A, HARMS W B, MUTIC S, et al. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions [J]. Med Phys, 1998, 25(5): 656-661.
- [6] 张伟,马照,邵鹏,等. Delta4 的临床应用研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2010, 9(1): 48-51.
ZHANG W, MA Z, SHAO P, et al. Clinical application of Delta4 [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2010, 19(1): 48-51.
- [7] KOZELKA J, ROBINSON J, NELMS B, et al. Optimizing the accuracy of a helical diode array dosimeter: a comprehensive calibration methodology coupled with a novel virtual inclinometer [J]. Med Phys, 2011, 38(9): 5021-5032.
- [8] FEYGELMAN V, ZHANG G, STEVENS C, et al. Evaluation of a new VMAT QA device, or the "X" and "O" array geometries[J]. J Appl Clin Med Phys, 2011, 12(2): 146-168.
- [9] PETOUKHOVA A, EGMOND J, EENINK M, et al. The ArcCheck diode array for dosimetric verification of HybridArc[J]. Phys Med Biol, 2011, 56: 5411-5428.
- [10] LI G J, ZHANG Y J, JIANG X Q, et al. Evaluation of the ArcCheck QA system for IMRT and VMAT verification[J]. Phys Med, 2013, 29: 295-303.
- [11] 戴越,胡春红,李小东,等. MatriXX 两种调强放疗剂量验证方法的比较分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2013, 22(4): 312-314.
DAI Y, HU C H, LI X D, et al. Analyse two kinds of intensity-modulated radiotherapy verification methods comparatively by using the MatriXX [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2013, 22(4): 312-314.

(编辑:薛泽玲)