

# 二维电离室矩阵在放疗的质量保证体系中的应用

窦一平<sup>1</sup>, Xin Zhang<sup>2</sup>, Eun Young Han<sup>2</sup>, Yulong Yan<sup>3</sup>

(1. 南京师范大学电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

(2. Department of Radiation Oncology, University of Arkansas for Medical Sciences, Little Rock, AR 72205)

(3. Department of Radiation Oncology, University of Texas Southwestern Medical Center, Dallas, TX 75235)

**[摘要]** 肿瘤的放射治疗中, 为了检测治疗设备的性能以及确保放疗计划实施的可靠性和准确性, 必须具备完善的质量保证体系(Quality Assurance, QA). 本文研究将德国PTW公司研发的二维电离室矩阵Seven29应用到放疗的日常QA过程中, 使用Seven29和与之配套的八角体模或平板体模来测量剂量分布图, 并与治疗计划系统计算出来的剂量分布图进行比较. 对治疗设备每月的QA, 最重要的项目是检测射线性能的连续性, 检测方法是对连续两个月机器性能的参数进行比较. 采用PTW公司的软件VeriSoft和MultiCheck进行数据分析, 经大量的实验验证和比较, 结果表明二维电离室矩阵是剂量测量和分析的有效工具, 其精度高、可靠性强、使用方便, 是实现无胶片化和无纸化放疗体系的重要组成部分.

**[关键词]** 二维电离室矩阵, QA, 剂量图测量, PTW Seven29

**[中图分类号]** TH774; R815 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2015)03-0018-06

## Application of 2D Ion Chamber Array in Quality Assurance of Radiation Therapy

Dou Yiping<sup>1</sup>, Xin Zhang<sup>2</sup>, Eun Young Han<sup>2</sup>, Yulong Yan<sup>3</sup>

(1. School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

(2. Department of Radiation Oncology, University of Arkansas for Medical Sciences, Little Rock, AR 72205, USA)

(3. Department of Radiation Oncology, University of Texas Southwestern Medical Center, Dallas, TX 75235, USA)

**Abstract:** The Quality Assurance(QA) in the treatment of malignant diseases is highly required in the processes of periodical machine performance evaluation and patient-specific dose distribution verification for the safe and accurate radiation therapy. This study aims to evaluate the performance of the PTW ion chamber array Seven29 in routine QA procedures. The method for the study is to use Seven29 with the dedicated Octavius phantom and slab phantom in the dose distribution measurement for the verification of the dose map computation on the treatment planning systems. PTW software VeriSoft and MultiCheck are used for the analysis. Beam profile consistency check, one of the most important items for LINAC monthly QA, can be directly evaluated between two consecutive months. Ion chamber array has proven to be an accurate, reliable and efficient physics gadget for various dosimetry verification procedures. It is one of the essential components of a paperless and filmless radiation therapy facility.

**Key words:** 2D ion chamber array, quality assurance(QA), dose map measurement, PTW Seven29

高精度适形放疗技术, 如三维适形放疗(3D-CRT)、适形调强放疗(IMRT)、旋转调强(IMAT)、体积调强弧形放疗(VMAT)、立体定向放疗(SRS)、螺旋断层放疗(TomoTherapy)和图像引导放疗(IGRT)等, 已广泛应用于肿瘤治疗, 对相应质量保证(QA)的要求也变得愈加重要和复杂<sup>[1-5]</sup>. QA通常采用胶片或二维探测器来做日常的放疗机器检测和病人放疗计划实施前的剂量分布验证, 胶片的剂量分析法因为胶片的高空间分辨率被广泛使用. 然而, 胶片分析法花费时间较长, 且胶片分析的过程往往带有不可避免的误差因素: 如胶片的老化、冲洗过程中溶液的化学退变、胶片扫描仪的测量误差、照射胶片时定位的人为误差、胶片化学成分

收稿日期: 2014-12-13.

基金项目: 美国阿肯色大学医学院博士后研究基金(P-1-03650).

通讯联系人: 窦一平, 博士, 副教授, 研究方向: 电机、电力传动、医学物理. E-mail: douyiping@njnu.edu.cn

的微小变化等,均可能造成照射的胶片灵敏度曲线发生较大的变化.除了胶片法,数字式检测方法已经出现并呈现良好的发展势头.市场上已有不同的放射剂量探测器,在QA中比较普遍使用的有二维二极管矩阵(如瑞典的Delta<sup>4</sup>、美国的MapCheck和ArcCheck)、二维电离室矩阵(如德国的PTW Seven29和MatriXX)等.

电离室矩阵被认为是剂量探测器中的佼佼者<sup>[6-10]</sup>.Wiezorek T等人将剂量探测器法和胶片法做了比较性研究,结论是剂量探测器法有取代胶片法的潜力,特别是在实时快速剂量检测方面<sup>[11]</sup>.二维电离室矩阵作为单一电离室的扩展应用,正表现出越来越明显的优势:简单的操作方法、可靠的数字式检测,并可达到无胶片无纸张的目的.德国PTW公司的2D-ARRAY和Seven29是目前市场上较典型的两个产品,前者是16×16个电离室矩阵,后者是27×27个电离室矩阵.E Spezi等人详细研究了Seven29的特性,并验证了其在放疗计划中短期、中期和长期使用的可靠性,得出探测器短期误差在0.2%以内,中长期误差不超过1%<sup>[12]</sup>.Bjorn Poppe等人研究了二维电离室矩阵的空间分辨率问题,用数学模型说明Seven29对适形放疗中的剂量验证是合适和可靠的<sup>[13]</sup>.

本文将二维电离室矩阵Seven29、八角体模Octavius和平板体模应用于放疗中心日常的质量保证工作中.治疗计划的前期验证和机器性能验证,几乎涵盖了中心所有的QA过程.治疗计划系统包括飞利浦的Pinnacle<sup>3</sup>、TomoTherapy公司的HiArt TomoTherapy以及BrainLAB公司的BrainLAB iPlan.本文对131个治疗计划的前期验证QA进行了评估分析,包括各种不同的放疗手段,如IMRT、IMAT、SRS和TomoTherapy等,所有QA都通过了5%/5 mm伽马指数标准<sup>[14]</sup>.放疗机器的性能检测则按照美国医学物理学家协会AAPM报告TG 142的建议执行<sup>[15]</sup>,主要是每月的QA项目,对机器性能数据做连续性比较,所采用方法是对直线加速器的射野平坦度、射野对称性以及输出能量采用二维电离室矩阵Seven29测量验证,经过连续5个月的剂量分布图数据比较,Seven29电离室矩阵中99%的测量点都通过了严格的2%/2 mm伽马指数标准,射线性能连续性的误差在1%以内.

## 1 材料和方法

本文采用的二维电离室矩阵是德国PTW公司的产品Seven29,单个电离室的截面积为5 mm×5 mm,相邻电离室距离为10 mm.该电离室矩阵配有两个外形相似的专用八角体模组Octavius,一个为CT体模,另一个为直线加速器体模,CT体模用于CT扫描,得到治疗计划系统所需的图像数据;直线加速器体模中间有一空腔,放置二维电离室矩阵.二维电离室矩阵在放疗的质量保证体系中的应用过程分为如下几个步骤:(1)CT扫描;(2)图像和数据传输;(3)在治疗系统上做剂量分布图的计算;(4)剂量分布图的测量和分析.

### 1.1 CT扫描、图像和数据传输

CT扫描的机器选择飞利浦16排螺旋CT,将Seven29分别配合八角体模和平板体模进行扫描.扫描数据的后处理采用专业的图像数据处理软件DICOMan<sup>[16]</sup>.将编辑和处理过的图像和数据分别传输到3个治疗系统Pinnacle<sup>3</sup>、HiArt TomoTherapy和BrainLAB iPlan中,其中八角体模的相关数据主要用于治疗计划的前期验证,平板体模的相关数据用于机器性能的验证.图1所示为DICOMan观察、编辑和传输图像数据的某个界面图.

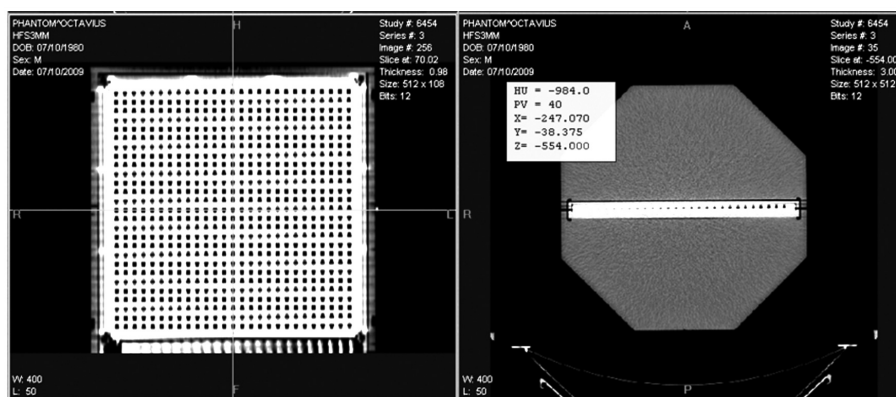


图1 DICOMan观察、编辑和传输图像数据界面图

Fig.1 Using software DICOMan to view edit and push phantom images

## 1.2 剂量分布图的计算

本文使用 Pinnacle<sup>3</sup>、HiArt TomoTherapy 和 BrainLAB iPlan 等3个治疗系统进行剂量分布图的计算. 不同放疗计划软件系统计算出来的剂量分布图的输出是有所区别的,以剂量单位为例,Pinnacle<sup>3</sup>和HiArt TomoTherapy 系统输出的剂量分布图的数字矩阵单位为 cGy, BrainLAB 系统则为 Gy. Pinnacle<sup>3</sup>系统计算的剂量分布图中, QA 靶区中心选择位于电离室矩阵中心位置,某例治疗计划的前期验证 QA 的计算结果如图2(a)所示,图2(b)所示为 BrainLAB 系统对某例治疗计划的前期验证 QA 计算出来的剂量分布图.

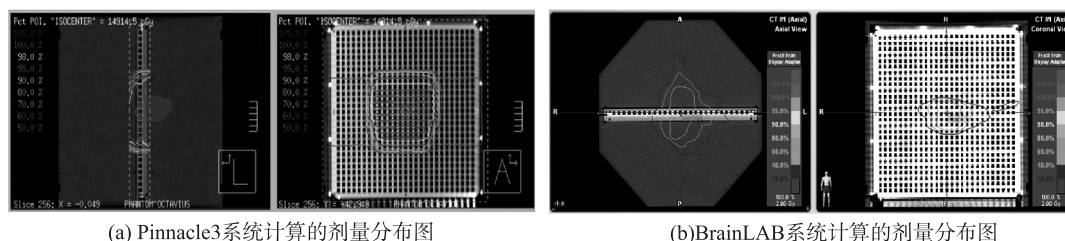


图2 计划系统计算的剂量分布图

Fig.2 Dose map computation in Pinnacle 3 and BrainLAB

## 1.3 剂量分布图的测量

如图3所示,剂量分布图的测量系统主要包含以下几个部分:二维电离室矩阵 Seven29、八角或平板体模、数字信号接口设备、安装在笔记本电脑中的信号处理和分析软件. 不同放疗计划系统的 QA 剂量分布图测量方法基本相同. 测量系统的位置设定较为简单, 二维电离室矩阵 Seven29 和八角体模平放置于治疗桌上, 并按照治疗室的红色三维激光线束定位. 数字信号接口仪是数字化射线剂量的获得和传输单元, 其通过一条串口线与治疗室外的计算机连接. 计算机中安装软件 VeriSoft 和 MultiCheck 用以实时记录并分析测量到的剂量分布图. 将测量图和计算图进行比较的过程很短, 总时间的长短主要取决于 QA 放疗计划的照射时间.

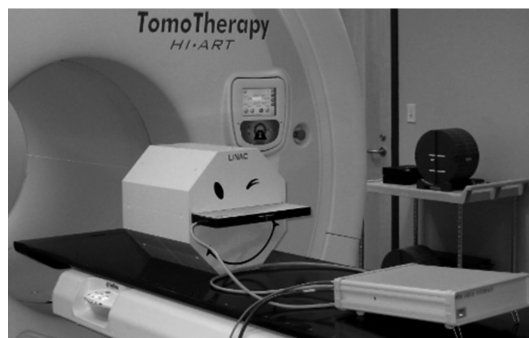


图3 二维电离室矩阵测量系统

Fig.3 Measurement system using PTW seven29

# 2 结果与分析

## 2.1 治疗计划的前期验证 QA

本文采用二维电离室矩阵测量剂量分布图,采用 PTW 公司提供的专业测量分析软件 VeriSoft 和 MultiCheck 进行剂量分布图对比分析. 详细的 QA 执行过程经放疗治疗团队的认真研究和反复修改,最后形成了严格的操作规范文件. 大量的具体案例被用以验证文件的可靠性、可行性和可操作性. 合格计划的判断需要进行以下综合考虑:至少 90% 以上的测量点都能通过伽马指数标准;对高剂量区,要查看不同角度和位置的剂量分布曲线,测量点必须与计算曲线吻合;未通过伽马指数标准的测量点只允许分布在低剂量区等.

图4所示为其中一例治疗计划的前期验证 QA 的计算和测量对比图. 该例的伽马指数标准为 3%/3 mm,左图显示,超过 95% 的测量点均通过了标准;未通过标准的测量点显示为黑方块,可以看出这些点均处于治疗靶区外围的低剂量区;右图显示,高剂量区中心位置的两条曲线测量点和计算值吻合度很好. 因此,该计划合格.

表1所示为131例治疗计划的前期验证 QA 的计算和测量对比统计结果. 从表1可以看出,常规伽马指数标准 5%/5 mm 通过率为 100%,更加严格的 3%/3 mm 通过率为 33%,究其原因主要是二维电离室矩阵探头空间分辨率的限制<sup>[13]</sup>.



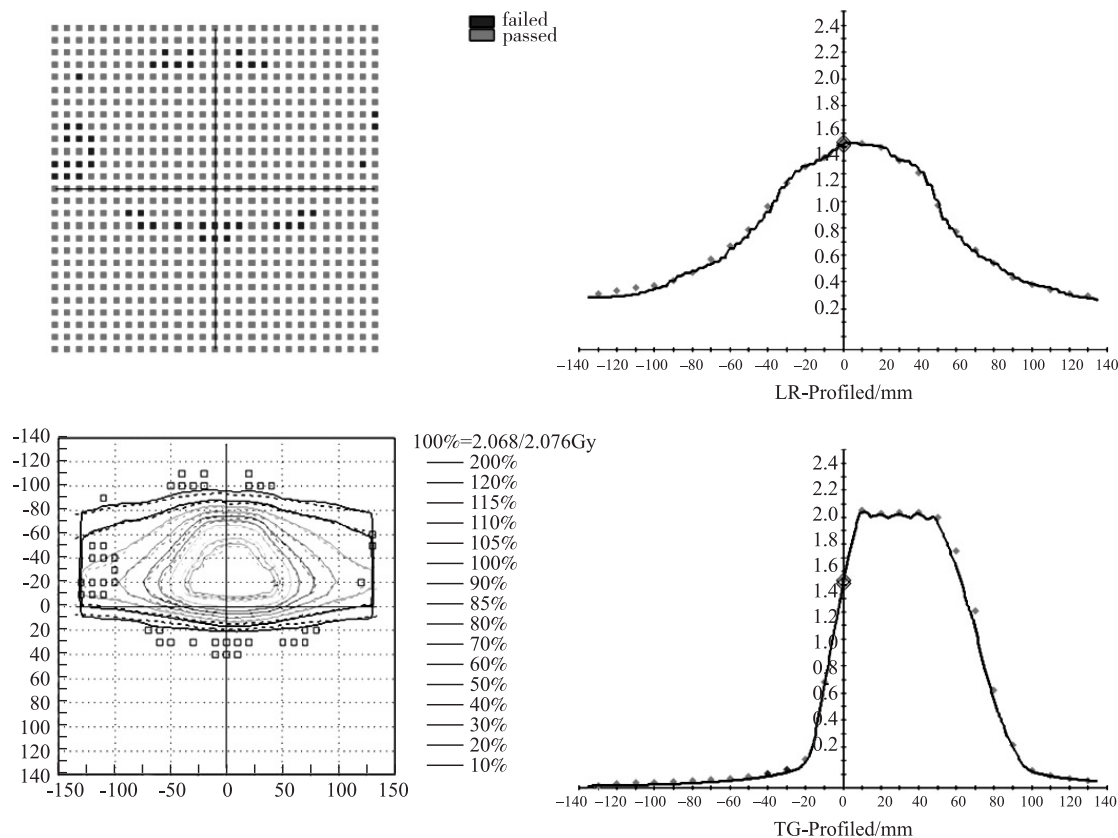


图4 某例剂量分布的计算和测量对比图

Fig.4 Dose map comparison between computation and measurement of a pretreatment QA

表1 131例治疗计划的前期验证QA的统计结果

Table 1 Statistical results for 131 pre-treatment QA plans

伽马指数	3%/3 mm	3%/5 mm	5%/5 mm
QA通过数	43	73	131
通过率(%)	33	56	100

2.2 放疗机器每月性能的QA

使用Seven29和平板体模测量方法检验放疗机器性能的QA过程,其测量过程比使用单个电离室探头的方法要简单很多.参照美国医学物理学家协会报告TG 142,每月对直线加速器的QA进行检测,主要检测加速器性能的稳定性,性能参数包括射野曲线、射野对称性和平坦度、能量和输出剂量.使用PTW公司Verisoft软件进行射野曲线及射野对称性和平坦度评估,通过采集连续月份检测的相同射线剂量参数可直接得到有关的性能连续性数据.使用PTW公司Verisoft软件进行输出剂量和剂量分布图数据的分析,参数对比的基准线可以是年度QA数据、机器的最新校验数据或上月的检测数据.

射线参数测量的设定,是将Seven29放置于平板体模中间,底部体模厚10 cm,对光子射线上部体模厚9 cm,电子射线上部体模厚取1 cm,将Seven29和平板体模一起放置于治疗桌面,将Seven29的中心设定为照射靶区中心,射野面积取20 cm×20 cm,按常规治疗的剂量率照射200 MU剂量.

对能量和输出剂量的检测,需要在平板体模上部再加一块体积为(24.3 cm×24.6 cm×8.6 cm)的透明丙烯酸体模.

射野的对称性和平坦度从二维电离室矩阵测量数据中分别按式(1)和(2)计算,两个不同月份的射线连续性误差按式(3)计算:

$$\text{Flat.} = 100\% \frac{(M_{\max} - M_{\min})}{(M_{\max} + M_{\min})}, \tag{1}$$

$$\text{Sym.} = 100\%(\frac{M_x}{M_{-x}})_{\max}, \tag{2}$$

$$\text{Err.} = 100\%|Y_n - Y_{n-1}|. \tag{3}$$

式中, Flat. 为射野平坦度; Sym. 为射野对称性;  $M$  为射野椭圆面积, 椭圆长轴取 10/13 射野长度; Err. 为连续性误差;  $Y_n$  和  $Y_{n-1}$  为连续两个月的射野平坦度或射野对称性.

直线加速器采用 Varian 公司的 Clinac 2100 EX 机器, 配有 6 MV 和 18 MV 两束光子射线和 6 e~20 e 的 5 束电子射线. 连续两个月的 6 MV 射线剂量对比如图 5 所示. 数据分析结果为两个月的剂量图对比, 显示超过 99% 的测量点都通过了严格的 2%/2 mm 的伽马指数标准.

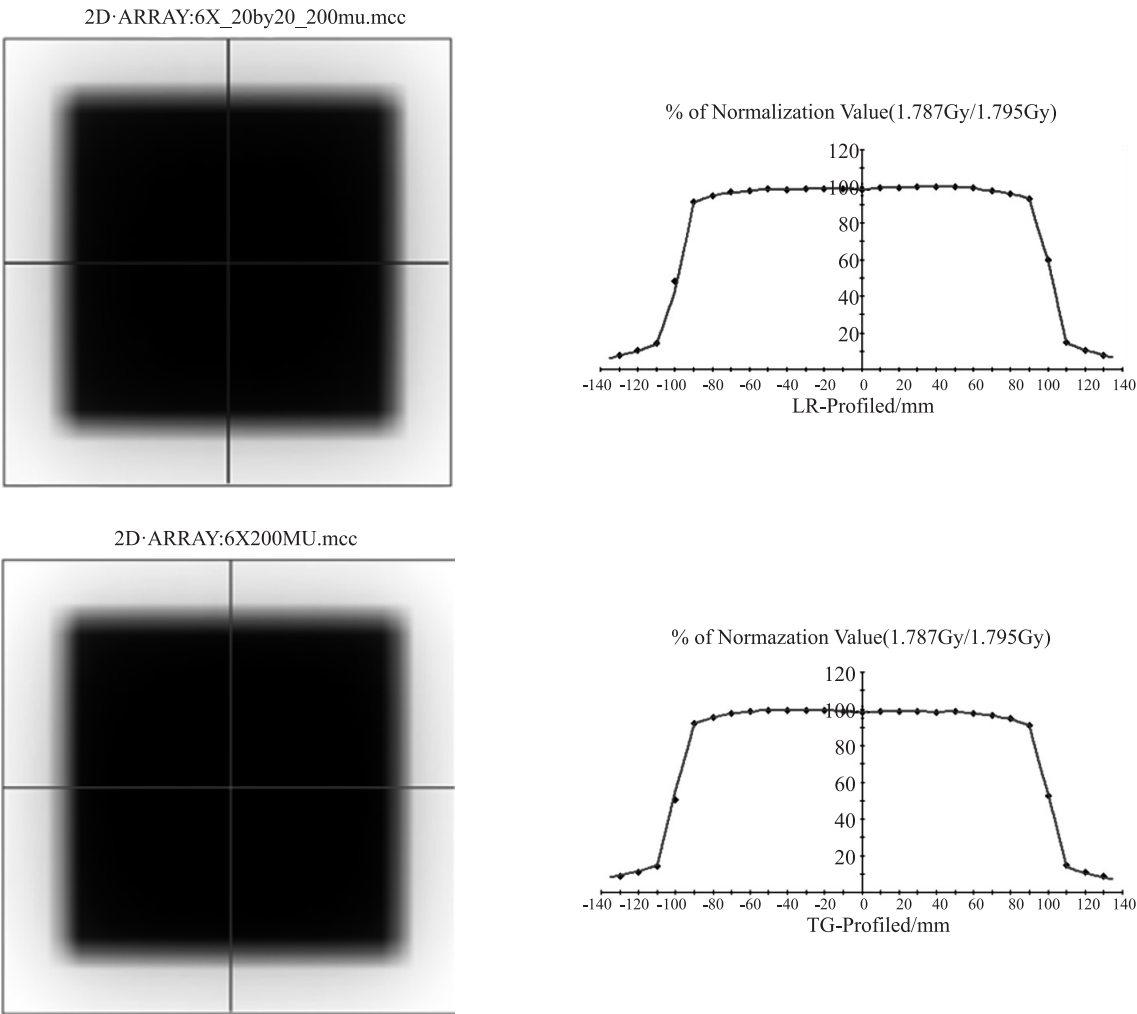


图5 直线加速器连续两个月性能连续性对比测试分析图

Fig.5 Dose map comparison between 2 months to check the profile constancy

表 2 所示为连续 5 个月的机器性能数据, 不难看出射线的连续性误差均在 1% 以内, 符合报告 TG 142 建议的标准<sup>[15]</sup>.

表 2 直线加速器连续 5 个月射野平坦度和射野对称性数据统计

Table 2    The field flatness and symmetry constancy for Linac monthly QA of 5 months										%	
每月 QA	1		2		3		4		5		
性能指标	平坦度	对称性	平坦度	对称性	平坦度	对称性	平坦度	对称性	平坦度	对称性	
射线	6X	2.42	101.20	2.20	101.49	2.15	100.95	2.11	101.04	2.31	101.17
	18X	1.73	101.74	1.77	101.97	1.74	101.50	1.73	101.56	1.66	101.40
	9e	1.77	102.47	1.51	101.95	1.41	101.42	1.45	101.77	1.39	101.66

### 3 结语

无论是治疗计划的前期验证,还是直线加速器的性能检测,电离室矩阵都被证明是剂量测量和分析的有效工具,其精度高、可靠性强、使用方便,在放疗的质量保证体系中正在发挥着越来越大的作用,是实现无纸化和无胶片化放疗体系的重要组成部分。和传统胶片计量法相比,电离室的空间分辨率限制是其唯一的弱点。在使用Seven29的过程中,出现过几例测量未通过的情形,改用胶片法重做QA以后,全部通过(具体是3例Tomotherapy治疗计划的前期验证,这3例的照射时间均过长(超过了30 min),QA未通过5%/5 mm的伽马指数标准;4例BrainLAB治疗计划的前期验证QA,失败的原因为射野太小)。

本项目得到了美国阿肯色大学医学院博士后研究基金的支持,感谢美国阿肯色大学医学院放疗中心所有工作人员的大力支持,特别是物理师、剂量师和治疗师团队的帮助和支持。

#### [参考文献](References)

- [1] 乔延伟. 肿瘤精确放疗技术发展及应用现状[J]. 中国医疗设备, 2014, 29(7): 73-76.  
Qiao Yanwei. Development and application situations of precise accurate radiotherapy techniques for tumors [J]. China Medical Devices, 2014, 29(7): 73-76. (in Chinese)
- [2] Núria Jornet, Pablo Carrasco, Mercè Beltrán, et al. Multicentre validation of IMRT pre-treatment verification: comparison of in-house and external audit[J]. Radiotherapy and Oncology, 2014, 112(3): 381-388.
- [3] Catharine H Clark, Mohammad Hussein, Yatman Tsang, et al. A multi-institutional dosimetry audit of rotational intensity-modulated radiotherapy[J]. Radiotherapy and Oncology, 2014, 113(2): 272-278.
- [4] Mohammad Hussein, Pejman Rowshanfarzad, Martin A Ebert, et al. A comparison of the gamma index analysis in various commercial IMRT/VMAT QA systems[J]. Radiotherapy and Oncology, 2013, 109(3): 370-376.
- [5] 李承军, 张爱华, 王陆洲, 等. Mapcheck的剂量学质量保证[J]. 中国医学物理学杂志, 2010, 27(3): 1 833-1 836.  
Li Chengjun, Zhang Aihua, Wang Luzhou, et al. Dosimetric quality assurance for Mapcheck [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2010, 27(3): 1 833-1 836. (in Chinese)
- [6] 孟慧鹏, 孙小喆. 剂量率和准直器角度对二维电离室矩阵调强验证Gamma通过率的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2014, 31(1): 4 608-4 611.  
Meng Huipeng, Sun Xiaozhe. The effect to Gamma pass rates of dose rate and collimator angle during the 2D chamber array IMRT verification[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2014, 31(1): 4 608-4 611. (in Chinese)
- [7] Geurts M, Gonzalez J, Serrano-Ojeda P. Longitudinal study using a diode phantom for helical tomotherapy IMRT QA[J]. Med Phys, 2009, 36(11): 4 977-4 983.
- [8] Vladimir Feygelman, Kenneth Forster, Daniel Opp, et al. Evaluation of a biplanar diode array dosimeter for quality assurance of step-and-shoot IMRT[J]. J Appl Clin Med Phys, 2009, 10(4): 64-78.
- [9] Sadagopan R, Bencomo J A, Martin R L, et al. Characterization and clinical evaluation of a novel IMRT quality assurance system[J]. J Appl Clin Med Phys, 2009, 10(2): 104-119.
- [10] Poppe B, Blechschmidt A, Djouguela A, et al. Two-dimensional ionization chamber arrays for IMRT plan verification[J]. Med Phys, 2006, 33(4): 1 005-1 015.
- [11] Tilo Wiezorek, Nico Banz, Michael Schwedas, et al. Dosimetric quality assurance for intensity-modulated radiotherapy[J]. Strahlenther Onkol, 2005(7): 468-474.
- [12] Spezi E, Angelini A L, Romani F, et al. Characterization of a 2D ion chamber array for the verification of radiotherapy treatments[J]. Phys Med Biol, 2005(50): 3 361-3 373.
- [13] 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): 2 921-2 935.
- [14] Daniel A Low, William B Harms, Sasa Mutic, et al. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions[J]. Med Phys, 1998, 25(5): 656-661.
- [15] Eric E Klein, Joseph Hanley, John Bayouth, et al. Task group 142: quality assurance of medical accelerators[J]. Med Phys, 2009, 36(9): 4 197-4 212.
- [16] Yan Y, Weng X, Ratanatharathorn V. A universal DICOM wizard to tackle incompatibility problems in the process of IMRT and IGRT[J]. Int J Radiation Oncology Biol Phys, 2008, 71(1): S657-S657.

[责任编辑: 严海琳]