

## 应用 Detector729 的两种 IMRT 剂量验证方法比较

翟贺争 刘辉 李卫星 齐伟华 袁继龙 李明生 阮书州 王小春

**【摘要】目的** 比较、分析 Detector729 用于 IMRT 质量控制的两种剂量验证方法。**方法** 用 Pinnacle 8.0 m 计划系统对 13 例肿瘤患者做 IMRT 治疗计划, 根据 Detector729 的 CT 扫描图像, 分别做出实际机架角和 0°机架角的验证计划, 并在 Varian 23EX 加速器上实施剂量验证; 依据剂量偏差(距离偏差)分别为 3%(3 mm)、3%(4 mm)和 4%(4 mm)的判定标准, 得到两种验证方法的  $\gamma$  验证通过率, 采用 SAS 统计学软件对验证结果进行分析。**结果** Detector729 两次测量的重复性均 < 0.3%; 应用 Detector729 对 IMRT 实际机架角验证 3%(3 mm)、3%(4 mm)和 4%(4 mm)的平均通过率分别为 91.2%、92.4%和 95.6%, 较 0°机架角计划验证通过率分别低了 2.2%( $t=-2.04$ ,  $P=0.053$ )、2.2%( $t=-2.02$ ,  $P=0.055$ ) 和 1.4%( $t=-1.97$ ,  $P=0.060$ ), 两种剂量验证方法的通过率差异无统计学意义。**结论** Detector729 测量结果可信、准确; 实际照射剂量验证和 0°机架角剂量验证均与验证计划剂量分布基本一致; 建议医疗机构采取符合实际治疗情况的剂量验证方法。

**【关键词】** 质量控制; 放射疗法, 调强适形; Detector729; 剂量验证

**Comparison of two dosimetric verification methods of IMRT using Detector729** Zhai Hezheng\*, Liu Hui, Li Weixing, Qi Weihua, Yuan Jilong, Li Mingsheng, Ruan Shuzhou, Wang Xiaochun. \*Tianjin Key Laboratory of Radiation Medicine and Molecular Nuclear Medicine, Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Science, Tianjin 300192, China

Corresponding author: Wang Xiaochun, Email: wxc3188@126.com

**【Abstract】 Objective** To compare and analyze the dose distribution of IMRT between fixed-gantry and unfixed-gantry dosimetric verification. **Methods** Thirteen patients treated by IMRT were chosen randomly for this study. For each case, 2 different plans (fixed-gantry plan and unfixed-gantry plan) were worked out with Pinnacle 8.0 m planning system. The dose verification for each plan was carried out with Varian 23EX by using Detector729 with the octagonal phantom OCTAVIUS. The verification results of the dose distribution between the treatment planning system calculation and the measurement were done by the gamma analysis quantization with dose difference and distance to agreement of 3%(3 mm), 3%(4 mm) and 4%(4 mm) respectively, and the data were analyzed by Statistical Analysis System. **Results** The repeatability of Detector729 was within 0.3%. According to the gamma analysis, the overall average passing rate of unfixed-gantry verification for the dosimetric deviation of 3%(3 mm), 3%(4 mm) and 4%(4 mm) were 91.2%, 92.4% and 95.6%, which were slightly lower compared with the passing rate of fixed-gantry verification of 2.2%( $t=-2.04$ ,  $P=0.053$ ), 2.2%( $t=-2.02$ ,  $P=0.055$ ) and 1.4%( $t=-1.97$ ,  $P=0.060$ ) respectively, and the difference between the two verification methods was not statistically significant. **Conclusions** The Detector729 is a reliable and accurate dosimeter. The two dosimetric verification methods of IMRT by using Detector729 are efficient and valuable. The radiotherapy department should select suitable and available dosimetric verification method for radiotherapy.

DOI: 10. 3760 / cma. j. issn. 1673-4114. 2014. 05. 002

**基金项目:** 国家自然科学基金(81272511); 中国医学科学院放射医学研究所基金(所开 1427)

**作者单位:** 300192 天津, 中国医学科学院放射医学研究所, 天津市放射医学与分子核医学重点实验室(翟贺争, 阮书州, 王小春); 100088 北京, 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所(刘辉, 袁继龙, 李明生); 030012, 山西省太原市疾病预防控制中心(李卫星); 100071 北京, 中国人民解放军军事医学科学院附属医院(齐伟华)

**通信作者:** 王小春(Email: wxc3188@126.com)

**【Key words】** Quality control; Radiotherapy, intensity-modulated; Detector729; Dosimetric verification

近年来, IMRT 质量保证的新型剂量验证工具——二维矩阵探测器<sup>[1]</sup>, 能够实现对照射野中感兴趣点剂量(绝对测量)和平面剂量(相对剂量)的测量, 并与治疗计划系统计算出的剂量相比较, 由于数据的采集和分析全部由计算机控制, 所以操作误差较小且验证效率较高。学者 Van Esch 等<sup>[2]</sup>和 Syamkumar 等<sup>[3]</sup>曾用二维矩阵探测器进行实际机架角 IMRT 质量控制剂量验证, 另有学者 Poppe 等<sup>[4]</sup>和 Hussein 等<sup>[5]</sup>进行过 0°机架角的剂量验证, 均取得了良好的效果。然而, 目前对实际机架角和 0°机架角两种剂量验证方法比较的研究报道较少。因此, 本研究首先对二维矩阵探测器 Detector729 剂量测量校准, 然后进行实际机架角和 0°机架角 IMRT 治疗计划剂量验证, 并对两种剂量验证结果进行比较, 以期为 IMRT 治疗计划的准确实施提供可靠的保障。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

采用美国 Varian 23EX 医用电子直线加速器(6MV 档位的 X 射线, 剂量率为 300 cGy/min, 机头内置 60 对多叶准直器)及 Pinnacle 8.0 m 三维治疗计划系统;  $\gamma$  射线由中国疾病预防控制中心辐射安全所国家二级标准剂量学实验室的 <sup>60</sup>Co 远距离治疗机产生; 采用由中国计量院刻度过的德国 PTW 放疗剂量仪及 TW30013 0.6 cm<sup>3</sup> 电离室进行剂量测量和校准工作, 并将电离室选作参考电离室; 使用美国 GE Discovery 16 排双螺旋 CT 仪采集影像资料(扫描层厚 2.5 mm); 采用不同厚度、30 cm×30 cm 的密度为 1.045 g/cm<sup>3</sup> 的 RW3 固体水作为剂量学模体。

验证系统由德国 PTW OCAVIUS Detector729 二维电离室矩阵、八角模体及分析软件组成: 矩阵平板重约 3.2 kg, 有效测量面积为 27 cm×27 cm, 包含了相邻间距为 10 mm、灵敏体积为 0.125 cm<sup>3</sup> 的 729 个柱形空气电离室, 剂量率的测量范围为 0.1~10 Gy/min, 剂量测量重复性为 0.2%~1%, 在 2~500 cGy 的剂量范围内线性良好。

### 1.2 临床资料

随机选择在中国人民解放军军事医学科学院附属医院放疗科就诊的 13 例经病理证实的头颈部、

体部肿瘤患者, 且均为首程放疗。所有患者或其家属均于检查前签署了知情同意书。用 Pinnacle 8.0m 治疗计划系统进行直接子野优化算法制定 IMRT 治疗计划。

### 1.3 Detector729 的剂量测量重复性及校准

将 Detector729 的中心电离室放置在 <sup>60</sup>Co 远距离治疗机射野 20 cm×20 cm 的中心, 源皮距为 80 cm, 将温度、气压值输入到 Verisoft 软件中, 设定测量时间为 60 s, 测量 6 次; 6 h 后, 再以同样的方式测量 6 次。

在 6 MV X 射线、源皮距为 100 cm、射野为 10 cm×10 cm、出束 100 cGy 的条件下, 将二维电离室矩阵面板放在 5.0 cm 厚的固体水上面, 使中心电离室有效测量中心点放置在固体水下 5.0 cm 射野中心轴上, 测量 5 次; 在同样条件下将 0.6 cm<sup>3</sup> 参考电离室测量 5 次。根据两种剂量计的测量结果完成对矩阵电离室的剂量测量校准。

### 1.4 IMRT 剂量验证

对 13 例患者进行治疗体位定位 CT 扫描, 扫描图像经网络传输到治疗计划系统, 放疗物理师根据图像做出 IMRT 治疗计划(图 1)。将患者的治疗计划转移到 Detector729 及八角模体的 CT 扫描图上, 保留所有的计划参数不变, 做出两种验证计划: 一种是实际机架角照射治疗计划, 一种是所有机架角归一到 0°的治疗计划(图 2), 并重新分别计算 Detector729 有效测量点所在面的剂量, 得到两种验证计划的平面剂量分布。将每例患者的两个治疗计划移植到加速器治疗系统中, 对 Detector729 及八角模体进行照射, 用分析软件 Verisoft 采集矩阵有效测量平面的剂量分布, 从而得到两种验证剂

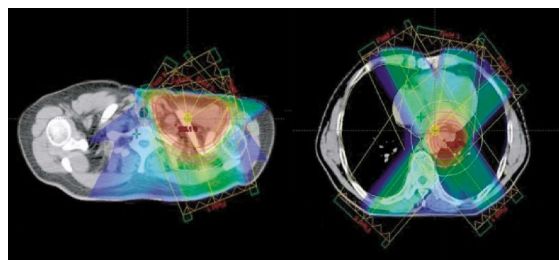


图 1 肿瘤患者体部(左)和颈部(右)治疗计划  
Fig.1 Patients' body(left) and neck(right) treatment planning

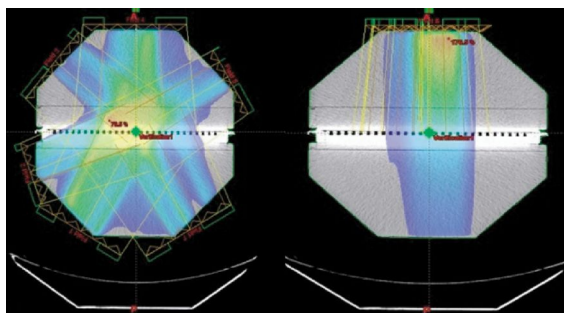


图2 实际机架角(左)和0°机架角(右)的验证计划图  
Fig.2 Unfixed-gantry (left) and fixed-gantry (right) verification planning

量与计划剂量的符合程度。

### 1.5 Gamma(γ)分析方法

对二维矩阵探测器及配套软件测量剂量分布与IMRT计划系统算出的剂量分布进行比较,目前应用较广的是γ分析方法<sup>[6]</sup>。Low和Dempsey<sup>[7]</sup>将γ分析方法与剂量偏差(dose difference, DD)和位置偏差(distance to agreement, DTA,也叫等剂量距离偏差)组成复合判断标准,较科学地得到IMRT计划和实际测量差异的量化值,γ验证通过率随着判断标准数据的增加而升高。计算γ值的公式如下:

$$\gamma(r_m) = \min\{\Gamma(r_m, r_c)\} \forall \{r_c\}$$

其中:  $r(r_m, r_c) = |r_c - r_m|$ ;  $\delta(r_m, r_c) = D_c(r_c) - D_m(r_m)$ ;

$$\Gamma(r_m, r_c) = \sqrt{\frac{r^2(r_m, r_c)}{\Delta d_m^2} + \frac{\delta^2(r_m, r_c)}{\Delta D_m^2}}$$

式中:  $r_m$ 为测量点的位置;  $r_c$ 为计算相对点的空间位置;  $\Delta d_m$ 为设定位置偏差距离;  $\Delta D_m$ 为设定剂量误差;  $D_c(r_c)$ 为在  $r_c$ 处计算的剂量;  $D_m(r_m)$ 为在  $r_m$ 处测量的剂量。

美国医学物理学家协会的报告<sup>[8]</sup>和部分学者<sup>[9]</sup>推荐使用DD 3%(DTA 3 mm)或DD 4%(DTA 4 mm)作为判定标准,本试验测量时选择了DD 3%(DTA 3 mm)、DD 3%(DTA 4 mm)和DD 4%(DTA 4 mm)3种DD和DTA作为判定标准,分别得到了γ验证通过率。验证通过的标准是:验证点的 $\gamma \leq 1$ 时,验证点通过。如果平面剂量验证所有点的通过率>90%,说明验证计划通过,可以实施治疗。

### 1.6 统计学分析

用统计学软件SAS 9.3对数据进行分析。首先检验3种DD和DTA的γ验证通过率是否符合正态性,然后用成组t检验分析各种验证通过率差异是否具有统计学意义,  $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 测量重复性及刻度

Detector729在<sup>60</sup>Co γ射线下两次测量重复性均<0.3%,表示测量结果具有良好的一致性。矩阵中心电离室和参考电离室在同样的条件下测量的平均值分别是880.1 mGy和863.6 mGy,计算出参考电离室对中心电离室的校准因子为0.981,将此系数输入到二维矩阵探测器的测量软件系统中,则其测量值即为校准过的吸收剂量。

### 2.2 IMRT剂量验证

从3种DD和DTA的验证通过率来看,两种剂量验证方法通过率大部分在90%以上,总体来说实际机架角计划验证通过率均较0°机架角计划验证通过率低。实际机架角IMRT验证计划的3%(3 mm)、3%(4 mm)和4%(4 mm)的平均通过率分别为91.2%、92.4%和95.6%,较0°机架角计划的3%(3 mm)、3%(4 mm)和4%(4 mm)的通过率分别低了2.2%( $t = -2.04, P = 0.053$ )、2.2%( $t = -2.02, P = 0.055$ )和1.4%( $t = -1.97, P = 0.060$ ),两种剂量验证通过率相比较差异无统计学意义(表1)。

表1 实际机架角与0°机架角两种验证方法在不同剂量偏差和距离偏差下的γ验证通过率(%)

Table 1 Gamma passing rate of different dose difference and distance to agreement between unfixed-gantry and fixed-gantry verification methods(%)

患者序号	3%(3 mm)		3%(4 mm)		4%(4 mm)	
	实际机架角	0°机架角	实际机架角	0°机架角	实际机架角	0°机架角
1	91.5	93.4	93.5	94.8	98.3	97.0
2	91.9	92.6	97.0	95.0	98.0	99.0
3	86.3	90.2	86.3	99.1	94.5	99.1
4	85.4	95.4	90.9	96.9	91.4	98.5
5	97.2	93.0	97.0	94.0	98.0	95.8
6	91.6	93.3	93.2	94.7	97.6	99.2
7	85.0	92.5	86.9	95.8	92.2	97.2
8	91.7	93.4	92.3	92.3	96.1	96.2
9	93.3	94.5	93.8	94.1	95.6	95.7
10	94.6	95.2	92.8	93.2	94.8	95.0
11	93.2	95.0	94.1	94.3	95.1	96.2
12	92.6	93.8	93.5	93.8	95.2	95.4
13	90.8	91.4	90.4	91.2	95.4	96.4
平均值	91.2	93.4	92.4	94.6	95.6	97.0
t值	-2.04		-2.02		-1.97	
P值	0.053		0.055		0.060	

### 3 讨论

剂量测量重复性是放疗剂量计的一个重要剂量学特性指标,表示测量结果的一致性、可信度。Detector729 电离室在短期内剂量测量重复性 $<0.3\%$ ,与相关研究结果基本一致<sup>[3,10]</sup>,满足 IEC60731-2011《医用电气设备:电离室剂量计检定规范》<sup>[11]</sup>对测量剂量仪重复性的要求。为了保证不同电离室测量结果的准确和统一,厂家采用 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 射线统一对729个电离室进行了校准,校准因子以文件的形式储存在分析软件中,在剂量测量过程中将会自动调用。为了保证量值测量的准确性,在相应的射线质下对矩阵进行剂量测量校准非常必要。

本研究采用 Detector729 及其配套八角模体进行实际机架角验证和 $0^\circ$ 机架角计划验证,结果显示两种方法的通过率基本上都在90%以上,实际照射剂量验证和 $0^\circ$ 机架角剂量验证均与验证计划剂量分布基本一致,说明二维矩阵探测器适合应用于IMRT剂量验证工作。IMRT治疗计划复杂,在照射野中剂量梯度变化大,国外学者研究发现使用方野照射,在不同角度照射与垂直照射的通过率有所不同<sup>[12]</sup>。本研究选取的13例治疗计划由于治疗部位和子野合成野的不同而导致在同一判定标准下的验证通过率并不相同。在不同的判定标准下,各组的通过率数据符合正态性,对 $0^\circ$ 验证计划与实际验证计划的通过率进行统计学分析,结果发现各组通过率的差异无统计学意义,因此不能认为两种剂量验证方法的通过率有所不同。实际机架角剂量验证能够考虑到治疗照射的多角度性、加速器自身剂量学特性及多叶准直器受重力影响而导致DD<sup>[13]</sup>等因素,因此,实际机架角剂量验证结果更加符合放疗的真实情况。

综上所述,Detector729 测量结果可信,可以应用到IMRT质量控制剂量验证工作中,鉴于目前对IMRT质量控制剂量验证具有严格的要求,建议医疗机构选择实际机架角进行剂量验证;分析两种剂量验证方法,确保治疗计划的准确实施,对促进我国放射治疗质量保证和质量控制工作的广泛开展具有重要意义。

### 参 考 文 献

- [1] Low DA, Moran JM, Dempsey JF, et al. Dosimetry tools and techniques for IMRT[J]. *Med Phys*, 2011, 38(3): 1313-1338.
- [2] Van Esch A, Clermont C, Devillers M, et al. On-line quality assurance of rotational radiotherapy treatment delivery by means of a 2D ion chamber array and the Octavius phantom[J]. *Med Phys*, 2007, 34(10): 3825-3837.
- [3] Syamkumar SA, Padmanabhan S, Sukumar P, et al. Characterization of responses of 2d array seven29 detector and its combined use with octavius phantom for the patient-specific quality assurance in rapidarc treatment delivery[J]. *Med Dosim*, 2012, 37(1): 53-60.
- [4] Poppe B, Blechschmidt A, Djouguela A, et al. Two-dimensional ionization chamber arrays for IMRT plan verification[J]. *Med Phys*, 2006, 33(4): 1005-1015.
- [5] Hussein M, Adams EJ, Jordan TJ, et al. A critical evaluation of the PTW 2D-ARRAY seven29 and OCTAVIUS II phantom for IMRT and VMAT verification[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2013, 14(6): 274-292.
- [6] Low DA, Harms WB, Mutic S, et al. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions[J]. *Med Phys*, 1998, 25(5): 656-661.
- [7] Low DA, Dempsey JF. Evaluation of the gamma dose distribution comparison method[J]. *Med Phys*, 2003, 30(9): 2455-2464.
- [8] Fraass B, Doppke K, Hunt M, et al. American Association of Physicists in Medicine Radiation Therapy Committee Task Group 53: quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning[J]. *Med Phys*, 1998, 25(10): 1773-1829.
- [9] 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): 116-127.
- [10] Spezi E, Angelini AL, Romani F, et al. Characterization of a 2D ion chamber array for the verification of radiotherapy treatments [J]. *Phys Med Biol*, 2005, 50(14): 3361-3373.
- [11] International Electrotechnical Commission. Medical electrical equipment—Dosimeters with ionization chambers as used in radiotherapy Paperback[S]. Geneva: IEC, 2011.
- [12] Shimohigashi Y, Araki F, Tominaga H, et al. Angular dependence correction of MatriXX and its application to composite dose verification[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2012, 13(5): 198-214.
- [13] Bayouth JE. Siemens multileaf collimator characterization and quality assurance approaches for intensity-modulated radiotherapy [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2008, 71(Suppl 1): S93-97.

(收稿日期: 2014-01-20)