

## 基于EPID宫颈癌IMRT验证的不同Gamma通过率参数影响分析

郑旭亮, 邢晓汾, 崔桐, 张军, 彭金鑫  
山西省肿瘤医院放疗技术室, 山西 太原 030013

**【摘要】目的:**使用Varian 非晶硅电子射野影像系统(EPID)对80例宫颈癌术后患者的放疗计划进行Gamma通过率验证, 分析不同机架角度、两台同型号加速器间Gamma通过率的差异;探讨3种参数设置对Gamma通过率的影响, 为计划验证提供理论依据。**方法:**对每一患者制定7野均分治疗计划并创建验证计划, 在两台相同型号的Varian Unique(1、2)加速器上进行验证并获取验证图像;通过Portal Dosimetry(PD)软件获得不同参数设置(标准剂量差异与距离符合度)下的Gamma通过率, 对其进行统计学分析。**结果:**参数设置分别为PD\_Global/PD\_Local 1%/1 mm、2%/2 mm、3%/3 mm, 剂量阈值10%。(1)当参数为PD\_Global(2%/2 mm、1%/1 mm)时, Gan=0°的Gamma通过率优于其他角度;Gan=104°、256°的Gamma通过率低与其他角度( $P<0.05$ )。参数为PD\_Local(3%/3 mm、2%/2 mm、1%/1 mm)时, Gan=0°的Gamma通过率低与其他角度( $P<0.05$ )。(2)参数为PD\_Global 1%/1 mm、PD\_Local 1%/1 mm时, Unique-2的Gamma通过率高与Unique-1 ( $P<0.05$ )。**结论:**严格的参数设置能够体现机架角度、加速器性能等对Gamma通过率的影响;针对不同部位的肿瘤需要加入相关的分析条件。为提高放疗的精确性, 物理师需要增加对射野影像装置、机架角位移、多叶准直器到位精度等设备参数的检测频率, 并通过大量数据的累积与临床相结合, 制定更严格的Gamma通过率参数与限值。

**【关键词】**宫颈癌;非晶硅电子射野影像系统;Gamma通过率

**【中图分类号】**R815.6

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2021)08-0935-05

## Effects of different parameter settings on Gamma passing rate in EPID-based IMRT verification for cervical cancer

ZHENG Xuliang, XING Xiaofen, CUI Tong, ZHANG Jun, PENG Jinxin

Department of Radiation Oncology, Shanxi Provincial Cancer Hospital, Taiyuan 030013, China

**Abstract: Objective** To verify the Gamma passing rates of radiotherapy plans in 80 patients with cervical cancer after operation using Varian electronic portal imaging device (EPID) for analyzing differences in Gamma passing rates between two accelerators and different gantry angles, and to discuss the effects of 3 different parameter settings on the Gamma passing rate, thereby providing a practical theoretical basis for plan verification. **Methods** Seven-field treatment plan was developed for each patient, and the corresponding verification plan was created. Plans were verified at two accelerators of the same type (Varian Unique 1, 2), and verification images were also obtained. Portal Dosimetry (PD) was used to obtain the Gamma passing rates under different parameter settings (standard dose difference and distance to agreement), and then the obtained Gamma passing rates were statistically analyzed. **Results** Parameter settings included PD\_Global/PD\_Local 1%/1 mm, 2%/2 mm, 3%/3 mm, with a dose threshold of 10%. (1) When the parameter was set as PD\_Global(2%/2 mm, 1%/1 mm), the Gamma passing rate of Gan=0° was the highest; and the Gamma passing rates of Gan=104°, 256° were lower than others ( $P<0.05$ ). The Gamma passing rate of Gan=0° was the lowest when adopting PD\_Local (3%/3 mm, 2%/2 mm, 1%/1 mm) ( $P<0.05$ ). (2) When the parameter was set as PD\_Global 1%/1 mm and PD\_Local 1%/1 mm, the Gamma passing rate of Unique-2 was higher than that of Unique-1 ( $P<0.05$ ). **Conclusion** Strict parameter setting can reflect the effect of gantry angle, accelerator performance on Gamma passing rate. Relevant analytical conditions should be added for different tumor sites. In order to improve radiotherapy accuracy, physicists need to increase the detection frequency of the equipment parameters such as imaging devices, gantry angular displacement, multileaf collimator positioning accuracy, and stricter parameters and limits of Gamma passing rate should be established through the accumulation of large amounts of data and combination with clinical information.

**Keywords:** cervical cancer; electronic portal imaging device; Gamma passing rate

**【收稿日期】**2021-03-15

**【作者简介】**郑旭亮, 硕士研究生, 研究方向: 医学放射物理, E-mail: zxlhappysky@163.com

**【通信作者】**邢晓汾, E-mail: tyxxf@126.com

## 前言

国内放疗患者的常规剂量验证方式是将患者的治疗计划移植到水模体或组织等效模体,采集数据,并与相应计划数据进行比较。临床上有多种剂量验证方法,如使用指形电离室测量点剂量,胶片<sup>[1-4]</sup>、二维电离室矩阵(MatriXX)、二维半导体矩阵(MapCHECK)<sup>[5-6]</sup>测量平面剂量,Compass、Delt4、非晶硅电子射野影像系统(Electronic Portal Imaging Device, EPID)<sup>[7]</sup>测量三维剂量。近年来,不管是使用二维电离室矩阵或EPID等验证工具,多采用3%/3 mm标准Gamma分析评估放疗验证计划的通过率,通过率满足计划验证要求即可实行放疗<sup>[8-9]</sup>。经过相关应用测试,EPID可有效应用于临床剂量验证,具有较好的临床应用价值<sup>[10-11]</sup>。本研究使用Varian EPID作为验证工具,分析Portal Dosimetry(PD)软件不同参数下宫颈癌计划的EPID Gamma通过率,为今后的临床及计划验证工作制定相应的Gamma通过率标准与限值。

## 1 材料与方法

### 1.1 一般资料

随机选取山西省肿瘤医院放疗技术室80例宫颈癌术后放疗患者,中位年龄42岁,病理分期均为中晚期,其中T<sub>2</sub>期29例、T<sub>3</sub>期36例、T<sub>4</sub>期15例。80例患者随机平均分到两台同型号加速器上进行治疗。

### 1.2 材料和设备

CT定位使用荷兰Philips Brilliance Big Bore;治疗计划系统为美国Varian Eclipse 13.5;加速器选用Varian Unique-1、Varian Unique-2,X射线能量6 MV;图像采集设备为aS1000型EPID,有效探测范围(30×40) cm<sup>2</sup>,像素768×1 024,像素大小0.39 mm×0.39 mm;分析软件为Eclipse软件模块PD系统。

### 1.3 CT扫描及IMRT计划制订

患者取仰卧位,腹部热塑型体模固定,行CT扫描(层厚3 mm),图像以DICOM格式通过Varian网络传入Eclipse计划系统。由同一主任医师勾画靶区与危及器官,随后固定一位资深物理师应用各向异性分析算法制订宫颈癌术后放疗7野三维适形调强(Intensity-Modulated Radiotherapy, IMRT)计划,角度取0°、52°、104°、156°、208°、256°、308°,放疗剂量46 Gy,单次剂量2 Gy,剂量率600 MU/min。

### 1.4 使用EPID进行IMRT验证及图像采集

使用Eclipse 13.5计划系统创建患者PD验证计划,设置源到EPID探测器距离SID=100 cm、机架角度(Gan)和准直器角度同治疗计划一致。通过剂量

预测软件(Portal Dose Image Prediction, PDIP)获得预测测量图像。

执行验证计划前,对加速器输出量进行校准,测试机架、多叶准直器到位精度,EPID位置以及成像精度,保证行本实验的两台加速器相关参数基本一致。在加速器上执行PD验证计划时,EPID需伸展到位且射束方向无遮挡,照射获得每个射野验证图像,数据自动上传到Eclipse PD系统并保存。

### 1.5 PD验证计划的Gamma通过率

通过PD系统,对比各角度验证图像与预测图像剂量分布差异,并取所有角度的Gamma通过率和的平均值为该验证计划的整体Gamma通过率,分析验证结果。参数(标准剂量差异、距离符合度)设置为1%/1 mm、2%/2 mm、3%/3 mm,剂量阈值设置为10%。分析条件包括Global Gamma Evaluation(PD\_Global)和Local Gamma Evaluation(PD\_Local)。PD\_Global和PD\_Local为Varian PD软件的相关选项,通常情况下,较为常用的是PD\_Global。Global简单表述即为两点间差值与处方剂量的比值;Local则为两点间差值与该点剂量的比值,因此高剂量区两点差值越大比值越低,或者剂量越低的区域比值越低,所以PD\_Local在射线边缘、低剂量区、子野衔接处、叶片缝隙等位置有更高的敏感性。

### 1.6 统计学分析

所采集数据利用SPSS19.0软件进行统计学分析,统计结果以均数±标准差表示。PD验证计划各角度Gamma通过率比较使用单因素方差分析与配对 $t$ 检验。Unique-1、2各角度Gamma通过率比较使用多因素方差分析。加速器间整体Gamma通过率比较使用配对 $t$ 检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 PD验证计划的Gamma通过率

EPID采集各角度剂量图像560例,获得不同设置参数的数据3 360个。使用PD软件分析各角度照射野平面剂量分布时,选取PD\_Global、PD\_Local的Gamma评估参数,分别为PD\_Global/PD\_Local(3%/3 mm、2%/2 mm、1%/1 mm)。EPID验证计划各角度Gamma通过率见表1、表2。

### 2.2 PD验证计划各角度Gamma通过率的分析

经单因素方差分析,比较同一台加速器各角度之间Gamma通过率。选择PD\_Global 3%/3 mm,各角度之间对比差异不显著,Unique-1( $F=1.214$ ,  $P=0.300$ )、Unique-2( $F=0.784$ ,  $P=0.584$ );在选择其他参数时, $P<0.05$ 表示差异有统计学意义(表3)。

表1 Varian Unique-1 EPID验证计划各角度Gamma通过率(%)

Tab.1 Gamma passing rate of each gantry angle of Varian Unique-1 EPID verification plan (%)

机架角度/°	PD_Global 3%/3 mm	PD_Local 3%/3 mm	PD_Global 2%/2 mm	PD_Local 2%/2 mm	PD_Global 1%/1 mm	PD_Local 1%/1 mm
0	97.80±2.11	85.41±3.19	89.18±3.96	70.63±4.71	54.87±7.53	33.20±6.87
52	97.09±1.95	88.07±5.33	88.86±4.37	75.67±3.67	53.10±5.32	42.09±4.63
104	96.66±3.06	87.48±2.70	83.82±4.70	75.06±5.05	45.07±4.60	42.36±4.65
156	96.80±1.94	85.49±3.50	86.99±3.66	74.34±4.08	49.87±9.10	35.06±5.72
208	96.73±2.69	85.91±2.95	86.91±5.42	70.67±6.82	49.51±5.46	37.38±5.26
256	96.44±1.93	88.84±2.43	83.03±2.65	75.96±4.17	44.41±7.17	39.55±3.62
308	96.83±1.85	87.63±2.62	87.82±4.27	77.05±5.20	51.31±4.20	41.30±3.55
平均值	96.91±2.27	86.97±3.56	86.66±4.71	74.20±5.40	49.73±7.28	38.71±5.97

表2 Varian Unique-2 EPID验证计划各角度Gamma通过率(%)

Tab.2 Gamma passing rates of each gantry angle of Varian Unique-2 EPID verification plan (%)

机架角度/°	PD_Global 3%/3 mm	PD_Local 3%/3 mm	PD_Global 2%/2 mm	PD_Local 2%/2 mm	PD_Global 1%/1 mm	PD_Local 1%/1 mm
0	98.99±1.03	87.57±2.59	94.93±2.76	78.03±4.00	73.72±6.96	42.68±3.17
52	98.81±1.10	90.68±2.03	94.08±4.08	83.89±4.34	71.79±5.12	60.27±6.00
104	98.46±1.25	92.13±1.70	90.48±3.13	82.59±2.67	54.98±3.87	60.95±4.33
156	98.52±1.04	88.14±2.48	93.35±2.42	76.86±3.54	62.97±5.86	45.04±6.45
208	98.51±1.03	88.61±2.32	93.17±2.87	79.24±3.56	70.97±6.46	49.21±4.50
256	98.44±1.77	90.46±2.39	92.16±3.79	84.16±2.89	57.43±4.27	57.27±7.10
308	98.65±1.61	92.08±2.31	93.49±3.17	83.02±3.29	71.19±7.06	60.25±4.96
平均值	98.62±1.29	89.95±2.83	93.10±3.44	81.11±4.44	66.15±9.08	53.67±8.99

表3 不同参数设置下各角度间Gamma通过率分析

Tab.3 Analysis of Gamma passing rates between angles under different parameter settings

设置条件	Varian Unique-1		Varian Unique-2	
	F值	P值	F值	P值
PD_Global 3%/3 mm	1.214	0.300	0.784	0.584
PD_Global 2%/2 mm	10.133	0.000	6.109	0.000
PD_Global 1%/1 mm	11.715	0.000	53.986	0.000
PD_Local 3%/3 mm	5.222	0.000	20.770	0.000
PD_Local 2%/2 mm	8.684	0.000	22.613	0.000
PD_Local 1%/1 mm	16.461	0.000	65.958	0.000

经配对 *t* 检验, 参数为 PD\_Global(2%/2 mm、1%/1 mm) 时比较同一台加速器各角度的 Gamma 通过率。当 Gan=0° 时, Gamma 通过率最高, 与其他角度差异显著 ( $P<0.05$ ); 当 Gan=104° 或 256° 时, Gamma 通过率较低, 且与其他角度差异显著 ( $P<0.05$ ), 但 Gan=104° 与 Gan=256° 相互间差异不显著 ( $P>0.05$ ); 当 Gan=52°、156°、208°、308° 时, 它们相互间差异不显著 ( $P>0.05$ )。设置条件为 PD\_Local(3%/3 mm、2%/2 mm、1%/1 mm) 比较同一台加速器各角度: 当 Gan=0° 时

Gamma 通过率低, 与其他角度差异显著 ( $P<0.05$ ), 剩余角度之间差异不显著 ( $P>0.05$ )。Gan=0° 时的验证图像、PD\_Global 3%/3 mm 和 PD\_Local 3%/3 mm 下的 Gamma 通过率图像示例见图 1、图 2。

将同一参数下 Gamma 通过率数据整合, 经多因素方差分析, 两台加速器的 Gamma 通过率差异显著 ( $P<0.05$ ), 任意相同角度之间比较, 只有 PD\_Global 3%/3 mm 参数下 Gamma 通过率差异不显著 ( $P=0.080$ ) (表 4)。

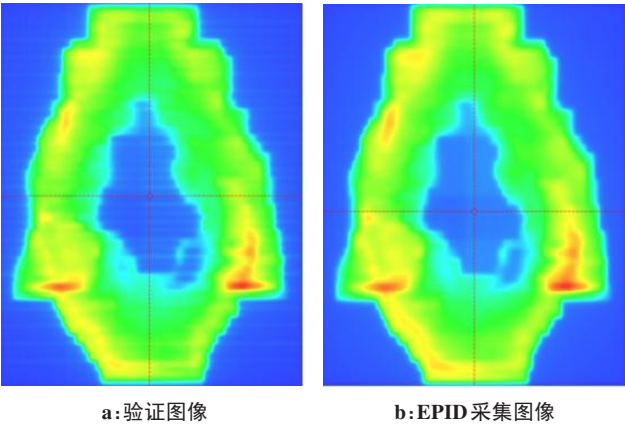


图1 验证图像及EPID采集图像

Fig.1 Verification image and image obtained by EPID



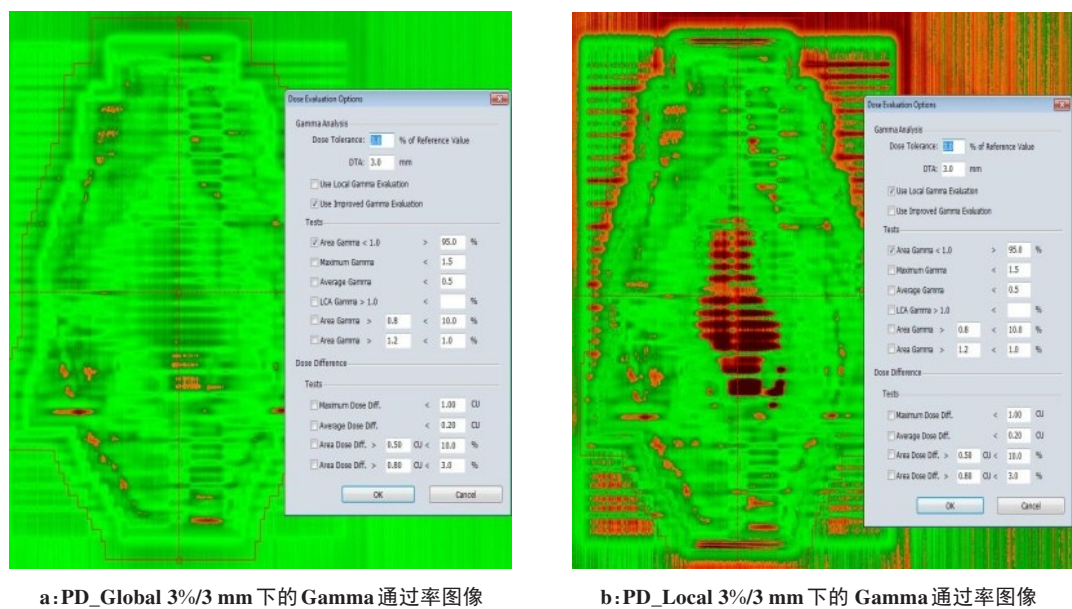


图2 PD\_Global 3%/3 mm和PD\_Local 3%/3 mm下的Gamma通过率图像  
Fig.2 Gamma passing rate images under PD\_Global 3%/3 mm and PD\_Local 3%/3 mm

表4 相同参数设置下同角度Gamma通过率分析  
Tab.4 Analysis of Gamma passing rate at the same angle and the same parameter setting

因素		PD_Global 3%/3 mm	PD_Global 2%/2 mm	PD_Global 1%/1 mm	PD_Local 3%/3 mm	PD_Local 2%/2 mm	PD_Local 1%/1 mm
加速器	<i>F</i> 值	96.117	319.039	725.048	117.937	286.597	765.374
	<i>P</i> 值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
机架角度	<i>F</i> 值	1.893	15.252	48.438	19.475	25.359	59.176
	<i>P</i> 值	0.080	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

2.3 两台加速器间PD整体Gamma通过率的分析

经配对 *t* 检验, PD 验证计划设置条件为 PD\_Global 1%/1 mm、PD\_Local 1%/1 mm时, Unique-2 的Gamma通过率高于Unique-1 (*P*<0.05), 差异显著具有统计学意义(表5)。

表5 两台加速器间整体Gamma通过率的分析  
Tab.5 Analysis of the overall Gamma passing rates between two accelerators

设置条件	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
PD_Global 3%/3 mm	1.031	0.309
PD_Global 2%/2 mm	-0.318	0.752
PD_Global 1%/1 mm	-4.828	0.000
PD_Local 3%/3 mm	0.571	0.572
PD_Local 2%/2 mm	-0.898	0.375
PD_Local 1%/1 mm	-20.210	0.000

3 讨论

IMRT 技术使靶区得到较高、较均匀的辐射剂

量,并使周围正常组织和器官避免受到不必要的照射,IMRT实施剂量准确与否关系到治疗的最终效果,为保证治疗的安全可靠,必须进行准确的剂量学验证。国内外对剂量验证方法已经有许多研究,二维电离室矩阵与EPID应用较为广泛<sup>[12-14]</sup>。

EPID能够检测大多数多叶准直器和较大的准直器误差,并且对误差的敏感度取决于Gamma容差限值<sup>[15]</sup>。本研究表明使用EPID验证,选择PD\_Global 3%/3 mm参数Gamma通过率最高,Unique-1、2分别为96.91%±2.27%、98.62%±1.29%。多个实验表明EPID于各角度的Gamma通过率测量都可以达到平均95%以上或者更高<sup>[16-18]</sup>。在讲究效率的常规验证工作中,PD\_Global 3%/3 mm条件下测得数据已经能够满足要求,继而快速执行放疗。但是通过统计学分析,PD\_Global 3%/3 mm参数下各角度之间Gamma通过率没有显著差异。而参数设置为PD\_Global(1%/1 mm、2%/2 mm)时,其中Gan=0°的Gamma通过率最高,Gan=104°、256°时Gamma通过率相对较低。重力对多叶准直器到位精度确有影响<sup>[19-20]</sup>,但是否体现在相对严格的Gamma通过率中还需进一步检验,能否通过调整小机头角度使得多叶准直器运动方向和机架角度垂直

以此提高Gamma通过率是我们下一步工作的方向。考虑到验证有两方面需求,一是保证患者治疗精确可靠,二是发现验证工作中的问题,改进方法。综合上述两种情况,笔者认为引进更严格的参数,建立更适合的限值条件,是下一步验证工作的重点。

本实验发现参数设置为PD\_Global/PD\_Local(1%/1 mm,2%/2 mm)时,Unique-1、2相同角度之间的Gamma通过率有差异;参数为PD\_Global/PD\_Local 1%/1 mm时,Unique-2的Gamma通过率高于Unique-1且具有统计学意义,在前期对加速器、EPID进行相关质控以及调试使得两台加速器相关参数指标良好的前提下,Unique-2的状态稳定性更加优秀。加速器的性能状态在倡导精确放疗的背景下是不容忽视的,相同计划在一台性能相对较差的设备上对患者实施治疗所产生的长远影响是不能完全评估的,需要更加严格地进行设备的质控。

从临床角度来看,PD\_Global/PD\_Local Gamma Evaluation的区别在于关注的区域不同,PD\_Global更关心高剂量区,PD\_Local则把关注点放在了低剂量区。本研究选取宫颈癌7野均分计划,在 $Gan=0^\circ$ 剂量平面内的低剂量区域更多,Gamma通过率最差。因此PD\_Local的Gamma通过率取决于射野内低剂量区域的面积,并且PD\_Local较PD\_Global更加严格,Gamma通过率在同一参数条件下低很多。在临床实践中,医师可能会更关注高剂量区域或者50%最大点剂量范围内的误差,往往忽略低剂量区。在本研究病例中,低剂量区域通常包括小肠、膀胱等正常组织,当需要评估该区域是否具有临床意义时,应考虑将PD\_Local Gamma Evaluation纳入验证流程。在严谨的验证工作中,需要将射野范围内的所有区域都进行相关评价,并且通过大量数据累积得出可靠的PD\_LocalGamma通过率限值。

综上所述,在EPID应用越来越广泛的同时,需要增加对射野影像装置、机架角位移、多叶准直器到位精度等设备参数的检测频率,并且通过大量数据的累积与临床相结合,针对不同部位的肿瘤加入相关的分析条件,制定更严格的Gamma通过率标准与限值,促使放疗更加精确。

## 【参考文献】

- [1] BUCCIOLINI M, BUONAMICI F B, CASATI M. Verification of IMRT fields by film dosimetry[J]. Med Phys, 2004, 31(1): 161-168.
- [2] CHILDRESS N L, ROSEN I I. Effect of processing time delay on the dose response of Kodak EDR2 film[J]. Med Phys, 2004, 31(8): 2284-2288.
- [3] JU S G, AHN Y C, HUH S J, et al. Film dosimetry for intensity modulated radiation therapy: dosimetric evaluation[J]. Med Phys, 2002, 29(3): 351-355.
- [4] ZHU X R, JURSNIC P A, GRIMM D F, et al. Evaluation of Kodak EDR2 film for dose verification of intensity modulated radiation therapy delivered by a static multileaf collimator[J]. Med Phys, 2002, 29(8): 1687-1692.
- [5] JURSNIC P A, NELMS B E. A 2-D diode array and analysis software for verification of intensity modulated radiation therapy delivery[J]. Med Phys, 2003, 30(5): 870-879.

- [6] LETOURNEAU D, GULAM M, YAN D, et al. Evaluation of a 2D diode array for IMRT quality assurance[J]. Radiother Oncol, 2004, 70(2): 199-206.
- [7] MIJNHEER B, BEDDAR S, IZEWSKA J, et al. *In vivo* dosimetry in external beam radiotherapy[J]. Med Phys, 2013, 40(7): 070903.
- [8] 刘潇,王运来,鞠忠建,等.二维电离室矩阵实时验证VMAT剂量价值研究[J].中华放射肿瘤学杂志,2015,4: 462-465.  
LIU X, WANG Y L, JU Z J, et al. Real-time patient transit dose verification of volumetric modulated arc therapy by a 2D ionization chamber array [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2015, 4: 462-465.
- [9] 郭月信,裴运通,马阳光,等. IMRT不同剂量验证技术差异性分析[J].中华放射肿瘤学杂志,2017,26(6): 657-660.  
GUO Y X, PEI Y T, MA Y G, et al. A comparative analysis of Matrixx and EPID for dosimetric verification of intensity-modulated radiotherapy[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2017, 26(6): 657-660.
- [10] 黄妙云,陈明秋,陈远贵,等.基于EPID三维剂量验证系统的物理模型测试及临床应用的初步研究[J].中华放射肿瘤学杂志,2016,25(12): 1335-1340.  
HUANG M Y, CHEN M Q, CHEN Y G, et al. A preliminary study of test and clinical application of a physical model based on the three-dimensional dose verification system using electronic portal imaging device[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2016, 25(12): 1335-1340.
- [11] 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.
- [12] 杨勇,戴建荣,胡逸民.电子照射影像装置在剂量学验证方面的研究进展[J].中华放射肿瘤学杂志,2009,9(3): 207-211.  
YANG Y, DAI J R, HU Y M. Research progress in dosimetry verification of electronic irradiation image device[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2009, 9(3): 207-211.
- [13] 张慧玲,李勤,全红,等. MatriXX在IMRT剂量验证中的应用[J].中国医学物理学杂志,2011,28(2): 2455.  
ZHANG H L, LI Q, QUAN H, et al. The application of MatriXX in IMRT dose verification [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2011, 28(2): 2455.
- [14] 陈维军,狄小云.调强放疗的剂量学验证研究进展[J].肿瘤学杂志,2011,17(1): 67-70.  
CHEN W J, DI X Y. Progress in dose verification in intensity modulated radiotherapy[J]. Journal of Chinese Oncology, 2011, 17(1): 67-70.
- [15] ALHARTHI T, ARUMUGAM S, VIAL P, et al. EPID sensitivity to delivery errors for pre-treatment verification of lung SBRT VMAT plans[J]. Phys Med, 2019, 3: 39-46.
- [16] RAMMA U, KÖHNA J, DOMINGUEZ R R, et al. Feasibility study of patient positioning verification in electron beam radiotherapy with an electronic portal imaging device (EPID)[J]. Phys Med, 2014, 30(2): 215-220.
- [17] ROXBY K J, CROSBIE J C. Pre-treatment verification of intensity modulated radiation therapy plans using a commercial electronic portal dosimetry system[J]. Australas Phys Eng Sci Med, 2010, 33(1): 51-57.
- [18] BAWAZEER O, HERATH S, SARASANANDARAJAH S, et al. Electronic portal imaging device dosimetry for IMRT: a review on commercial available solutions[C]. IFMBE Proceedings, 2015, 51: 553-556.
- [19] 蒋盛鹏,李智华.加速器机架角度对多叶准直器叶片到位精度的影响[J].中华放射肿瘤学杂志,2009,18(4): 317-320.  
JIANG S P, LI Z H. Impact of accelerator's gantry angle on multi-leaf collimator position accuracy [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2009, 18(4): 317-320.
- [20] 阮长利,徐利明,宋启斌,等.不同机架角时多叶准直器叶片对不同调强放疗剂量影响[J].中华放射肿瘤学杂志,2011,20(4): 345-347.  
RUAN C L, XU L M, SONG Q B, et al. Impact of accelerator's multi-leaf collimator leaves on the intensity modulated radiation therapy dose at different gantry angles [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2011, 20(4): 345-347.

(编辑:谭斯允)