

Varian 23EX 加速器固定剂量率旋转调强技术的 Portal Dosimetry 验证

王杰¹, 邵凯南², 陈鹏¹, 曾嵘¹, 姜琦¹, 郑士明², 闵旭红¹

1. 安徽省胸科医院肿瘤放疗科, 安徽 合肥 230022; 2. 浙江省肿瘤医院放射物理室, 浙江 杭州 310022

【摘要】目的:应用 Varian 公司的 Portal Dosimetry 系统和 ScandiDos 公司的 Delta4 三维半导体阵列对 Varian 23EX 加速器固定剂量率旋转调强(CDR-VMAT)计划进行验证并对比分析。**方法:**随机选取 10 例头颈部肿瘤患者、10 例胸部肿瘤患者和 10 例腹部肿瘤患者,采用 RayStation 计划系统在 Varian 23EX 加速器上设计 CDR-VMAT。照射野根据肿瘤部位合理设计,射线能量为 6 MV X 线,每个弧的剂量率和机架转速恒定并由计划系统优化给出。据此分别生成适用 23EX 自带 EPID 的 Portal Dosimetry 验证计划和适用 Delta4 的验证计划,按照 3 mm DTA、3% Dose 标准分析其 Gamma 通过率,并进行配对 *t* 检验。**结果:**10 例头颈部肿瘤 CDR-VMAT 计划 Portal Dosimetry 验证和 Delta4 验证的 Gamma 通过率分别为 $(97.9 \pm 1.1)\%$ 和 $(99.9 \pm 0.2)\%$, $P < 0.05$ 。10 例胸部肿瘤 CDR-VMAT 计划的 Gamma 通过率分别为 $(99.5 \pm 0.7)\%$ 和 $(99.7 \pm 0.4)\%$, $P = 0.09$ 。10 例腹部肿瘤 CDR-VMAT 计划的 Gamma 通过率分别为 $(99.5 \pm 0.3)\%$ 和 $(99.7 \pm 0.4)\%$, $P = 0.19$ 。**结论:**CDR-VMAT 技术作为 Varian 23EX 加速器一种可选的放射治疗技术能够有效提高机器的计划执行效率,配合 Varian Portal Dosimetry 系统可以方便地对 23EX 加速器上的 CDR-VMAT 计划进行验证。通过与 Delta4 进行比较,对胸部和腹部肿瘤计划,其 Gamma 通过率均大于 95% 且无显著差异,对于头颈部肿瘤计划 Gamma 通过率有差异,但均满足大于 95% 的要求。

【关键词】加速器;固定剂量率;旋转调强;电子射野影像系统;剂量验证

【中图分类号】R811.1;R312

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)10-1134-05

Dose verification of constant dose rate-volumetric modulated arc therapy plan based on Varian 23EX accelerator via Portal Dosimetry

WANG Jie¹, SHAO Kainan², CHEN Peng¹, ZENG Rong¹, JIANG Qi¹, ZHENG Shiming², MIN Xuhong¹

1. Department of Radiation Oncology, Anhui Chest Hospital, Hefei 230022, China; 2. Department of Radiation Physics, Zhejiang Cancer Hospital, Hangzhou 310022, China

Abstract: Objective To verify and comparatively analyze the doses of constant dose rate-volumetric modulated arc therapy (CDR-VMAT) plan based on Varian 23EX accelerator using Varian Portal Dosimetry system and ScandiDos Delta4 three-dimensional semiconductor array. **Methods** RayStation treatment planning system was used to design CDR-VMAT plans based on Varian 23EX accelerator for randomly selected 10 head and neck cancer patients, 10 chest cancer patients and 10 abdominal cancer patients. Radiation fields were designed according to tumor location, and 6 MV X ray was adopted. The constant dose rate of each arc and constant gantry speed were optimized by treatment planning system. Every CDR-VMAT plan was used to generate two verification plans, with one for Portal Dosimetry system of electronic portal imaging device of 23EX and the other for Delta4 chamber array detector. Gamma passing rate was analyzed based on the criteria of 3 mm DTA and 3% Dose, and the results were analyzed with paired *t* test. **Results** For 10 cases of head and neck cancer, the Gamma passing rates of CDR-VMAT plan verified with Portal Dosimetry system and Delta4 were $(97.9 \pm 1.1)\%$ and $(99.9 \pm 0.2)\%$, respectively ($P < 0.05$). For 10 cases of chest cancer, the Gamma passing rates were $(99.5 \pm 0.7)\%$ and $(99.7 \pm 0.4)\%$, respectively ($P = 0.09$). For 10 cases of abdominal cancer, the Gamma pass rates were $(99.5 \pm 0.3)\%$ and $(99.7 \pm 0.4)\%$, respectively ($P = 0.19$). **Conclusion** CDR-VMAT as an additional radiotherapy option for Varian 23EX accelerator can effectively improve delivery efficiency. The combination of CDR-VMAT and Varian Portal

【收稿日期】2019-04-13

【基金项目】国家卫生计生委医药卫生科技发展研究中心项目(W2015XR28)

【作者简介】王杰, 硕士, 研究方向: 肿瘤放射物理, E-mail: jeas@mail.ustc.edu.cn

【通信作者】闵旭红, 副主任医师, 研究方向: 肿瘤综合治疗, E-mail: 1320722827@qq.com

Dosimetry system can easily achieve the verification of CDR-VMAT plan based on 23EX accelerator. The comparative analysis on Gamma passing rates show that both the Gamma passing rates of CDR-VMAT plans for chest cancer and abdominal cancer are higher than 95%, without statistical differences, while there is difference in Gamma passing rate of CDR-VMAT plans for head and neck cancer, but both the Gamma passing rates are still above 95%, satisfying clinical requirements

Keywords: accelerator; constant dose rate; volumetric modulated arc therapy; electronic portal imaging device; dose verification

前言

调强放射治疗目前已经成为我国大部分医院针对恶性肿瘤的主要治疗方式之一。旋转调强或容积调强技术(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)因能够获得更好的剂量分布和更高的执行效率,逐渐成为目前的主流趋势。VMAT技术可分为固定剂量率旋转调强(Constant Dose Rate VMAT, CDR-VMAT)和可变剂量率旋转调强(Variable Dose Rate VMAT, VDR-VMAT)^[1]。CDR-VMAT相较于VDR-VMAT可调制参数少,计划质量和执行效率略差,但在靶区适形度、剂量均匀性和执行效率上仍然优于IMRT技术^[2]。相对于VDR-VMAT,CDR-VMAT对加速器硬件要求低,成为一些发布较早的机器开展旋转治疗更为经济有效的选择,如笔者所在单位使用的Varian 23EX。Varian 23EX是Varian公司2002年发布的一款较为成熟稳定的放疗直线加速器,目前在国内市场保有量较大,可支持ss-IMRT、dIMRT和CDR-VMAT。开展CDR-VMAT的同时必须保证治疗计划的绝对剂量验证工作^[3-4]。目前对于VMAT技术的剂量验证,三维半导体阵列Delta4和ArcCheck等已成为主要的第三方验证工具。近年来随着非晶硅电子射野影像系统(Amorphous Silicon Electronic Portal Imaging Device, a-Si EPID)的发展,其具有成像分辨率高、采集数据快、图像便于处理、摆位方便等优点,因此现在被越来越多地应用在剂量验证上^[5]。尤其以Varian Portal Dosimetry系统的发布,使得采用EPID进行剂量验证更加简便易行^[6]。

由于目前尚未见有使用EPID和Portal Dosimetry进行CDR-VMAT剂量验证的相关报道,本研究基于Varian 23EX加速器实现CDR-VMAT计划,采用Varian公司的Portal Dosimetry系统和a-Si EPID对30例CDR-VMAT计划(包括头、胸、腹部肿瘤各10例)进行绝对剂量验证,并与Delta4的验证结果进行对比分析,讨论其在临床计划设计及验证中的意义,有效提高Varian 23EX加速器在实际使用中的计划执行效率。

1 资料与方法

1.1 仪器设备

采用笔者所在单位的Varian 23EX作为执行加速器,能量为6 MV X线。23EX支持剂量率为100、200、300、400、500、600 MU/min的CDR-VMAT,实际使用数值由计划系统优化给出。该加速器选配了aSi1000型EPID,可配合Varian Portal Dosimetry 11.0实现绝对剂量验证和Gamma通过率分析工作。加速器剂量校准工具采用PTW的0.6cc指形电离室。ScandiDos公司的Delta4三维半导体阵列和配套软件作为对比工具进行计划验证。

1.2 临床病例选择

随机选取2017年1月~2018年8月期间接受治疗的10例头颈部肿瘤患者、10例胸部肿瘤患者和10例腹部肿瘤患者。每个患者的放疗靶区和处方剂量均经审核通过。

1.3 计划设计与验证

采用RayStation4.5计划系统对每个患者设计CDR-VMAT计划,选取23EX作为执行机器,X射线能量为6 MV。剂量率和机架转速恒定,并由计划系统优化给出。采用卷积叠加算法,每2°一个控制点,单次优化迭代60次。对于头颈部肿瘤设计181°~179°对偶双弧计划。胸部肿瘤根据靶区位置合理选择对偶双弧、4弧或6弧,保证靶区受量的同时尽量降低肺的受照体积。腹部肿瘤均设计230°~130°的对偶双弧计划。经过RayStation设计好的计划采用Delta4三维半导体阵列作为模体生成验证计划并导出至加速器执行。同时计划传输至已经配置了PDIP算法的Eclipse11.0系统,生成适用于aSi1000 EPID的Portal Dosimetry验证计划。

在进行计划验证之前采用PTW 0.6cc指形电离室和水箱对加速器进行剂量校准,确保其输出的稳定性。此外对Delta4三维半导体阵列应进行绝对剂量校准工作。对于EPID,需要进行暗野、泛野、坏点、机械等相关校准和修正。

1.4 评估方法

对所有的验证结果采用3 mm DTA、3% Dose标准进行绝对剂量Gamma通过率分析。Gamma通过率大于95%可认为验证通过。鉴于目前采用的Portal Dosimetry11.0系统无法完成多野合成分析,本

研究对每个射野进行 Gamma 通过率分析,包括头颈部20个射野、胸部42个射野和腹部20个射野。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 22.0 软件对两种验证方式的 Gamma 通过率进行统计学分析,数据用均数 \pm 标准差表示,进行配对样本 t 检验, $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

两种验证方法所有射野的 Gamma 通过率如图1~3所示,可见所有射野的 Gamma 通过率均大于95%。Portal Dosimetry 和 Delta4 典型的验证结果如图4所示。头颈部、胸部和腹部计划的验证数据和配对 t 检验结果如表1所示。从验证结果可看出,头颈部、胸部和腹部 CDR-VMAT 计划的 Gamma 通过率均满足要求 ($>95\%$)。对于头颈部计划,Portal Dosimetry 的 Gamma 通过率明显小于 Delta4,且具有统计学差异,但也达到了95%以上,20个射野中最小 Gamma 通过率为95.6%。对于胸部和腹部计划,两种验证方法的 Gamma 通过率无统计学差异。

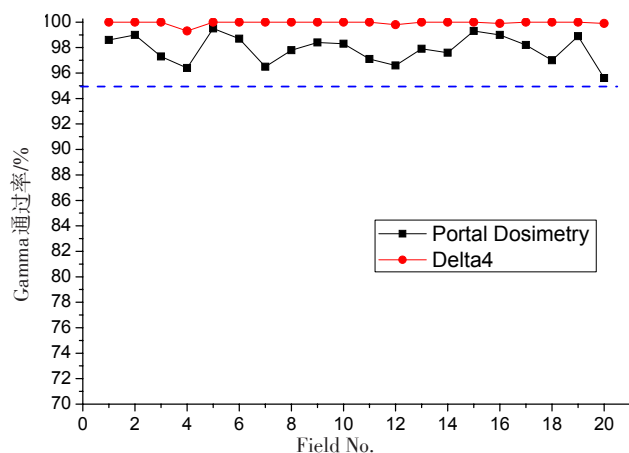


图1 头颈部肿瘤 CDR-VMAT 计划 Gamma 通过率

Fig.1 Comparison of Gamma passing rates of CDR-VMAT plans for head and neck cancer

3 讨论

VMAT 作为一种先进的治疗方式,在靶区适形度、执行效率等方面优于固定野调强技术(IMRT)已经得到共识^[7]。同时为保证 VMAT 计划的执行质量,第三方验证工具(以三维半导体阵列为主)已经成为开展 VMAT 技术的必备条件^[3]。由于开展 VDR-VMAT 技术所要求的加速器条件更高,目前国内可用机器较少,且第三方三维剂量验证工具价格偏高,对于多数国内基层医院来说开展 VDR-VMAT 技术代

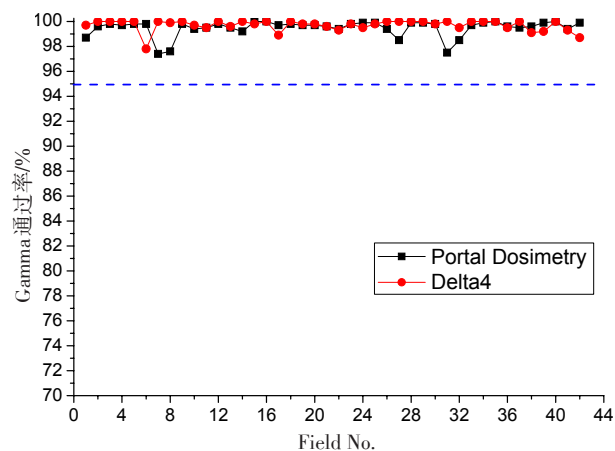


图2 胸部肿瘤 CDR-VMAT 计划 Gamma 通过率

Fig.2 Comparison of Gamma passing rates of CDR-VMAT plans for chest cancer

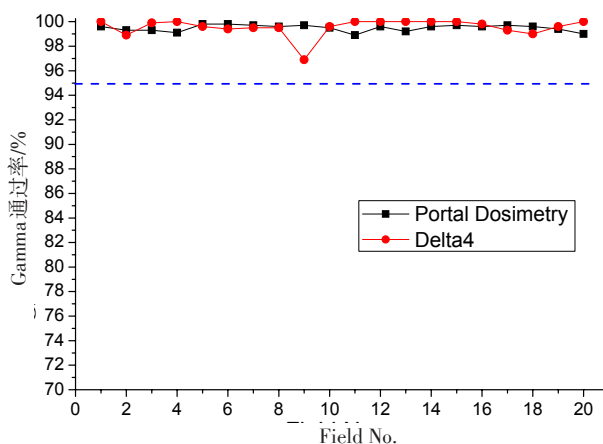


图3 腹部肿瘤 CDR-VMAT 计划 Gamma 通过率

Fig.3 Comparison of Gamma passing rates of CDR-VMAT plans for abdominal cancer

价较高。CDR-VMAT 相对于 VDR-VMAT 初始成本更低,是一个更为经济而有用的选择^[8]。Didona 等^[9]通过对 15 例头颈部 CDR-VMAT 和 IMRT 计划的研究分析,CDR-VMAT 在靶区适形性、均匀性和执行时间上均优于 IMRT。Zhang 等^[10]对 18 例胸段食管癌 Varian 23EX 上的 CDR-VMAT 计划分析得出,其计划质量与 IMRT 相同或者更优,治疗时间则明显缩短。Yang 等^[11]对 9 例腹部肿瘤患者研究分析了 VDR-VMAT、CDR-VMAT 和 9F-IMRT 计划,结果表明 CDR-VMAT 和 VDR-VMAT 的剂量分布十分相似,计划质量高于 IMRT,并且验证通过率均在 95% 以上。相关研究结果均表明 CDR-VMAT 能够有效提高加速器治疗效率,开展 CDR-VMAT 具有重要现实意义。

在剂量验证方面,Varian Portal Dosimetry 配合 EPID 验证 VMAT 能够进一步降低开展 CDR-VMAT 技术的代价。Bakhtiari 等^[12]证实 EPID 在旋转调强计划 QA 上应用的可行性。Mohamed 等^[13]采用 EPID 完

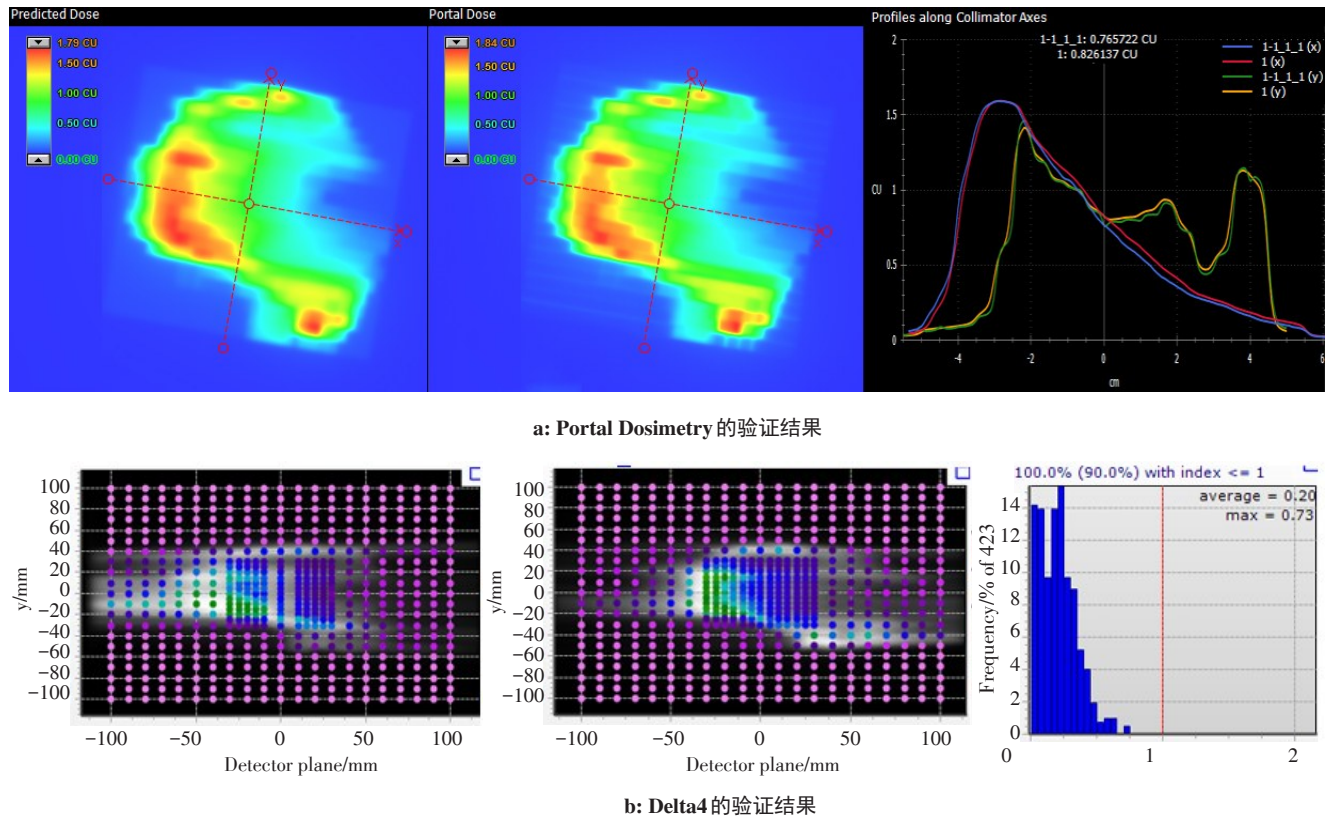


图4 两种方法绝对剂量验证示例

Fig.4 Typical examples of dose verification with two methods

表1 两种验证方法 Gamma 通过率和 t 检验结果
Tab.1 Comparison of Gamma passing rates between two verification methods and t test results

计划	Gamma 通过率/%		P 值
	Portal Dosimetry	Delta4	
头颈部肿瘤	97.9±1.1	99.9±0.2	<0.05
胸部肿瘤	99.5±0.7	99.7±0.4	0.09
腹部肿瘤	99.5±0.3	99.7±0.4	0.19

成了24例VMAT计划的剂量验证工作,3 mm/3% Gamma通过率均在97%以上。Maroote等^[14]开展了Portal Dosimetry联合EPID与Delta4在RapidArc剂量验证上的对比分析,结果表明两种验证方式可以相互佐证。Van Uytven等^[15]研究了基于EPID图像实现患者体内的三维剂量重建,不仅能完成治疗前的绝对剂量验证,并且能够实现治疗中的三维剂量验证。Kavuma等^[16]对EPID的响应参数进行了研究分析,提出实际用于剂量验证中需要修正的参数。本研究中对所使用的EPID亦进行了必要的修正。

从本文研究结果来看,Varian Portal Dosimetry联合a-Si EPID能够有效完成对CDR-VMAT计划的绝对剂量验证,所有的验证Gamma通过率均满足临床

要求,大于95%。Portal Dosimetry的通过率要低于Delta4,以头颈部最为突出,这主要是因为本研究采用的aSi1000 EPID有效探测面积为40 cm×30 cm,有效分辨率为0.39 mm,远高于Delta4 5 mm的分辨率。同时头颈部靶区一般包括颈部淋巴结及引流区,范围较大,靶区内要求的剂量梯度也比较大,易产生不通过的检测点,因此Portal Dosimetry的验证结果相对更为可靠。对于胸部和腹部计划来说,两种验证方法完全可以做到相互替代。目前绝大多数加速器均配备了EPID,可方便地开展验证工作,并且EPID的有效探测面积大、分辨率高能够有效确保验证的准确性。此外采用Portal Dosimetry和EPID进行CDR-VMAT剂量验证免去了第三方验证模体的摆位时间,并在一定程度上避免了不同验证人员摆位的差异。

在实际工作中,使用Portal Dosimetry和EPID验证CDR-VMAT计划也存在一定缺点。首先笔者目前使用的Portal Dosimetry和EPID尚不能实现多野合成计算,仅可进行单野剂量验证;其次EPID在伸缩和随机架的转动过程中不可避免地出现位置偏移,需要经常进行机械修正;最后目前版本的Portal Dosimetry需要在Eclipse计划系统内配置,对于其他TPS的计划需要传输至Eclipse后方可生成验证计

划。后续应开展相关工作克服这些问题,进一步完善采用 Portal Dosimetry 和 EPID 实现绝对剂量验证工作。

总之,本研究结果说明在 Varian 23EX 直线加速器上开展 CDR-VMAT 技术,并采用 Portal Dosimetry 系统完成对 CDR-VMAT 计划的绝对剂量验证工作是可行的,能够有效降低开展 VMAT 计划的代价,提高 Varian 23EX 在实际使用中的计划执行效率。

【参考文献】

- [1] YU W, SHANG H, XIE C, et al. Feasibility of constant dose rate VMAT in the treatment of nasopharyngeal cancer patients [J]. Radiat Oncol, 2014, 9(1): 235.
- [2] PENG F, JIANG S B, ROMEIJN H E, et al. VMATc: VMAT with constant gantry speed and dose rate[J]. Phys Med Biol, 2015, 60(7): 2955-2979.
- [3] 国家肿瘤诊疗质控中心放疗质控专家委员会, 赫捷, 王绿化, 等. 放射治疗质量控制基本指南[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2018, 27(4): 335-342.
Committee of Quality Control in Radiotherapy, National Cancer Diagnosis and Treatment Quality Control Center, HE J, WANG L H, et al. Basic guidelines of quality control for radiotherapy[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2018, 27(4): 335-342.
- [4] 杜锋磊, 赵凯, 史国栋, 等. Varian Clinical 23EX 加速器固定剂量率容积调强技术的 MapCheck 剂量验证[J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 34(8): 776-782.
DU F L, ZHAO K, SHI G D, et al. Dose verification of constant dose rate-volumetric modulated arc therapy plan on Varian Clinical 23EX linear accelerator through MapCheck phantom[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 34(8): 776-782.
- [5] FOGLIATA A, CLIVIO A, FENOGLIETTO P, et al. Quality assurance of RapidArc in clinical practice using portal dosimetry[J]. Br J Radiol, 2011, 84(1002): 534-545.
- [6] NIJSTEN S, MINKEN A W, LAMBIN P, et al. Verification of treatment parameter transfer by means of electronic portal dosimetry[J]. Med Phys, 2004, 31(2): 341-347.
- [7] GAUTAM B. Literature review on IMRT and VMAT for prostate cancer[J]. Am J Cancer Rev, 2014, 2(1): 1-5.
- [8] TANG G, EARL M A, YU C X. Variable dose rate single-arc IMAT delivered with a constant dose rate and variable angular spacing[J]. Phys Med Biol, 2009, 54(21): 6439-6456.
- [9] DIDONA A, ZUCCHETTI C, ARISTEI C, et al. A comparative plan analysis: constant dose rate VMAT and step-and-shoot IMRT in head and neck cancer[J]. Phys Med, 2016, 32: 20.
- [10] ZHANG R, FAN X, BAI W, et al. Poster-Thur Eve-36: implementation of constant dose rate and gantry speed arc therapy (CDR-CAS-IMAT) for thoracic esophageal carcinoma on Varian 23EX[J]. Med Phys, 2014, 41(8 Part 2): 14.
- [11] YANG R, WANG J, XU F, et al. Feasibility study of volumetric modulated arc therapy with constant dose rate for endometrial cancer [J]. Med Dosim, 2013, 38(3): 351-355.
- [12] BAKHTIARI M, KUMARASWAMY L, BAILEY D W, et al. Using an EPID for patient-specific VMAT quality assurance[J]. Med Phys, 2011, 38(3): 1366-1373.
- [13] MOHAMED I E, IBRAHIM A G, ZIDAN H M, et al. Physical dosimetry of volumetric modulated arc therapy (VMAT) using EPID and 2D array for quality assurance[J]. Egypt J Radiol Nucl Med, 2018, 49(2): 477-484.
- [14] MAROOTE J, DERDOURIA A, COUTTE A. Comparative study of three pre-treatment verification methods for RapidArc: Portal Dosimetry, Delta4 and Epiqa[J]. Cancer Radiother, 2014, 18(5-6): 610-611.
- [15] VAN UYTVEN E, VAN BEEK T, MCCOWAN P M, et al. Validation of a method for *in vivo* 3D dose reconstruction for IMRT and VMAT treatments using on-treatment EPID images and a model-based forward-calculation algorithm[J]. Med Phys, 2015, 42(12): 6945-6954.
- [16] KAVUMA A, GLEGG M, CURRIE G, et al. Assessment of dosimetrical performance in 11 Varian a-Si500 electronic portal imaging devices[J]. Phys Med Biol, 2008, 53(23): 6893-6909.

(编辑:黄开颜)