

射野大小对全脑调强放疗计划 EPID 验证结果的影响

张瑾¹, 聂鑫², 熊祎³

1. 武汉大学中南医院药学部, 湖北 武汉 430071; 2. 华中科技大学同济医学院附属协和医院肿瘤中心, 湖北 武汉 430022; 3. 武汉大学物理科学与技术学院, 湖北 武汉 430072

【摘要】目的:利用电子射野影像系统(EPID)对全脑调强放疗计划进行 γ 测试,寻找计划设计对测试结果的影响,以此分析如何优化全脑调强计划以及推测EPID在剂量验证方面的局限性。**方法:**选取67例全脑放疗患者,对其放疗计划用加速器自带的EPID进行计划验证,对于容积旋转调强放疗(VMAT)计划统计并分析X方向射野大小与 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 通过率的关系,对于调强放疗(IMRT)对比分析大野调强和分野调强计划 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 通过率的差异。**结果:**VMAT计划验证结果发现X方向小于15 cm的射野 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 通过率普遍优于大于等于15 cm的射野,利用SPSS软件进行 t 检验,发现结果具有统计学意义($t=-3.828, P<0.05$);IMRT验证结果发现,X方向大于等于15 cm的射野会包含两个子野,合野验证时其交叠部分 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 通过率较差,而采用分野验证时,由于无交叠则通过率普遍较好。**结论:**全脑放疗VMAT计划将X方向射野控制在15 cm以内可以提升多叶准直器调节能力,并提高EPID验证的 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 通过率;EPID原件对低剂量区的响应偏差会导致全脑IMRT大野调强计划两子野交叠处 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 通过率较差,改用分野验证可以显著消除这种影响。

【关键词】电子射野影像系统;调强放疗;射野;全脑;计划验证

【中图分类号】R312;R815

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2020)06-0661-05

Effect of field size on EPID verification of whole-brain radiotherapy plan

ZHANG Jin¹, NIE Xin², XIONG Yi³

1. Department of Pharmacy, Zhongnan Hospital of Wuhan University, Wuhan 430071, China; 2. Cancer Center, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, China; 3. School of Physics and Technology, Wuhan University, Wuhan 430072, China

Abstract: Objective To verify whole-brain radiotherapy plan by electronic portal imaging device (EPID) using γ test for discussing the effects of plan design on test results, thereby analyzing how to optimize whole-brain radiotherapy plans and speculating the limitations of EPID in dose verification. **Methods** Sixty-seven patients scheduling for whole-brain radiotherapy were selected and their radiotherapy plans were verified by EPID on the accelerator. For volumetric modulated arc therapy (VMAT) plans, the relationship between X-direction field size and $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ passing rate was statistically analyzed. For intensity-modulated radiotherapy (IMRT) plans, the differences in $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ passing rate between whole-field and split-field plans were analyzed. **Results** The result of VMAT plan verification showed that the $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ passing rates of plans with X-direction field size less than 15 cm were generally superior to the ones with their X-direction field size greater than or equal to 15 cm, and the results of t -test by SPSS software also verified that the results had statistical significance ($t=-3.828, P<0.05$). The result of IMRT plan verification showed that the radiation fields with X-direction greater than or equal to 15 cm contained two sub-fields. The $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ passing rate was lower in their overlapping areas, while splitting these fields could gain a much better results for the elimination of overlapping areas. **Conclusion** For whole-brain VMAT plans, controlling the X-direction field size within 15 cm can improve the adjusting ability of multi-leaf collimators, thus improving $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ passing rate of EPID verification. Meanwhile, the deviation of the response of EPID to low dose area will lead to a lower $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ passing rate at the overlapping areas of two sub-fields inside the radiation field of whole-brain IMRT plans, but using split-field verification can significantly eliminate the effect. **Keywords:** electronic portal imaging device; intensity-modulated radiotherapy; radiation field; whole brain; plan verification

【收稿日期】2019-12-21

【基金项目】国家重点研发计划数字化诊疗装备研发专项(2016YFC0106701)

【作者简介】张瑾, 硕士, 主管药师, 研究方向: 中药联合放化疗治疗技术, E-mail: zhanghangjoy@126.com

【通信作者】聂鑫, 博士, 主管技师, 研究方向: 放射治疗技术, E-mail: orange_nx@163.com

前言

为了在放射治疗射野验证中实现无胶片化, Andrews等^[1]于1958年设计了第一个可用于MV级X射线的射野验证系统,即电子射野影像系统(Electronic Portal Imaging Device, EPID)的前身。20世纪80年代,研究者将固体探测器和液体探测器陆续添加进EPID的设计中,使其通过荧光显像系统获得MV级传输图像的能力逐渐增强,随后成功应用于放射治疗的质量保证和质量控制之中^[2-3]。经过多年的发展,EPID已经成为集图像引导、设备质控和剂量验证于一体的多功能验证系统,并在近年开始应用于实时图像和剂量引导放疗的研究^[4-5]。全脑放疗通常用于预防和治疗脑转移肿瘤,早期采用两野对穿照射,近年来为了减少副反应,通常对全脑放疗采用调强放疗(IMRT)和容积旋转调强放疗(VMAT)技术。本研究使用Varian aS1000型EPID对67例患者的VMAT或IMRT计划进行剂量分布的 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 通过率测试,研究分析射野大小对验证结果的影响,并以此对计划设计和验证方式给出合理的建议,以期能对全脑放疗的精确设计和质控提供参考。

1 资料与方法

本研究采用Varian公司Eclipse13.6版本计划系统为67例患者设计全脑放疗计划。由于VMAT技术较普通IMRT技术计划适形性更好,治疗时间更短,因此研究者为59例患者设计了VMAT计划,平均2~3射野,全弧照射;余下8例患者,由于特殊要求而设计IMRT计划,均为7射野,360°平均分布。计划设计完成并通过医生确认后,研究者设计了验证计划。为了方便测量并排除重力的干扰因素,对于VMAT计划,研究者将准直器归0进行计划验证;对于IMRT计划,研究者将机架和准直器均归0进行计划验证。随后在Varian Trilogy加速器上执行,利用加速器自带的AS1000型EPID记录后通过Varian portal dosimetry软件对结果逐野按 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 标准进行验证。统计验证结果,对于结果较差的计划寻找问题后,改用Sunnuclear公司Arccheck模体进行剂量验证或修改验证计划后重新用EPID进行测量,最终保证所有病人计划均达到验证标准。

2 测试结果

2.1 全脑VMAT计划验证结果

59例VMAT计划共158个射野逐野按 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 标准测试,统计X方向射野大小和 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 通过率的关系,结果如图1所示。

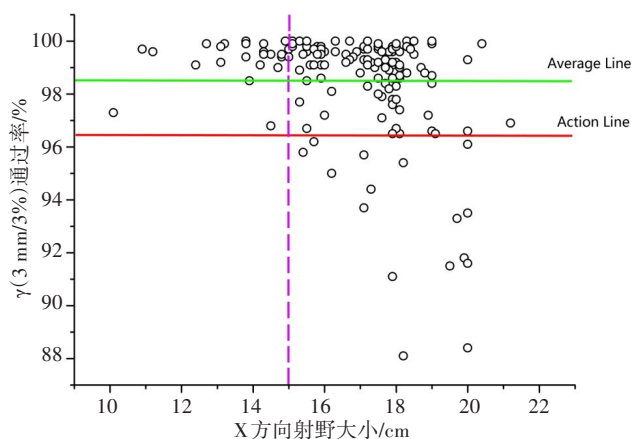


图1 X方向射野大小与 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 通过率的关系(VMAT计划)

Fig.1 Correspondence between X-direction field size and $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ passing rate (VMAT plans)

按照图1中的平均通过率标准线(Average Line)和需要采取调整措施的最低标准线(Action Line)并以X方向射野大小15 cm为分界线,可以得到各射野达标率的分布(图2)。

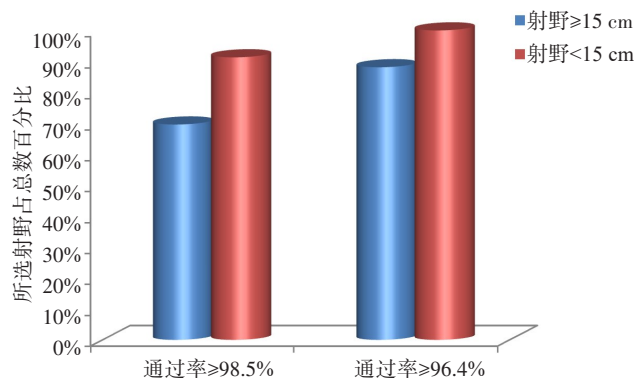


图2 射野达标率对比图(VMAT计划)

Fig.2 Comparison of passing rates for different field sizes (VMAT plans)

对通过率低于最低标准线的射野对应的计划,本研究改用Arccheck模体进行剂量验证,发现 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 通过率均大于98%,说明计划的剂量分布无较大问题。随后研究者重新设计计划将射野X方向全部设置在15 cm以下,完成计划后在EPID上进行验证,结果发现相较于原射野,修改后的射野 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 通过率提升较大,见表1。

2.2 全脑IMAT计划验证结果

8例IMRT计划共56个射野逐野按 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 标准测试,随后又重新设计分野的验证计划,所有X方向大于等于15 cm的射野均会自动分成两个子野进行验证,统计所有验证射野X方向射野大小和 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 通过率的关系,结果如图3所示。

按照图3中的平均通过率标准线(Average Line)

表1 部分患者采用不同方法验证 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 通过率
Tab.1 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ passing rates of some patients using different verification methods

患者	射野	原始EPID验证	Arccheck验证	修改计划后EPID验证
1	F1	95.4%	99.5%	98.9%
2	F1	93.3%	99.0%	97.3%
	F2	91.8%		98.0%
3	F1	95.0%	98.5%	97.9%
4	F2	93.5%	98.7%	98.3%
5	F2	96.1%	99.2%	99.0%
6	F1	91.6%	99.4%	99.2%
	F2	88.4%		98.4%
7	F1	88.1%	98.3%	99.1%
8	F2	93.7%	99.5%	99.9%
9	F1	91.1%	99.8%	99.7%
10	F3	95.8%	99.0%	98.5%
11	F1	95.7%	99.2%	99.9%
	F2	94.4%		99.9%
	F3	91.5%		99.9%
12	F1	96.2%	99.8%	99.5%

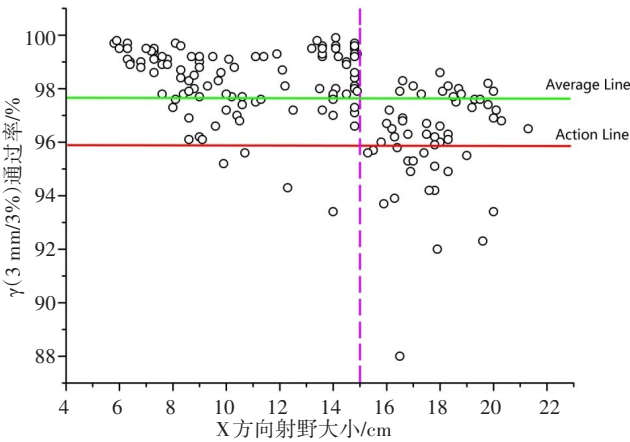


图3 X方向射野大小与 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 通过率的对应关系(IMRT计划)
Fig.3 Correspondence between X-direction field size and $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ passing rate (IMRT plans)

和需要采取调整措施的最低标准线(Action Line)并以X方向射野大小15 cm为分界线,可以得到各射野达标率的分布,如图4所示。

利用 Portal Dosimetry 软件工具栏中的 Leaf Motion Overlay 模块可以模拟加速器铅门和多叶准直器(MLC)实际治疗时的运动轨迹。图5分别展示了两个X大于等于15 cm射野的 $\gamma(3\text{ mm}/3\%)$ 数值分

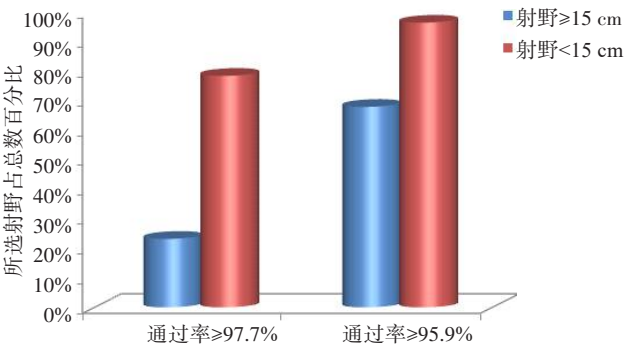


图4 射野达标率分布图(IMRT计划)
Fig.4 Comparison of passing rates for different field sizes (IMRT plans)

布图和叶片运动轨迹图,以此可以细致分析这两个射野 γ 不通过点的位置和通过率较低的原因(由于验证计划时加速器机头准直器旋转了 90° ,因此MLC运动方向也旋转了 90°)。

3 分析与讨论

经过多年的发展,EPID在放疗计划剂量验证方面已颇为成熟。目前常用的EPID是固体探测器非晶硅a-Si系统,如Elekta iViewGT和Varian a-Si Portal Vision AS500/AS1000,其具有性能稳定、使用方便、采集效率高、剂量响应好、抗辐射性能强以及图像分辨率高等诸多优点,已经成为放疗计划质量保证的重要工具之一^[6-7]。EPID二维剂量测试是一种常见的治疗前计划剂量验证方法,EPID探测板直接接收计划中各射野的非透射剂量中间不通过患者或模体,测量后将探测板得到的实际剂量分布和治疗计划系统计算的理论剂量分布进行对比,实现快速有效的剂量验证^[8]。黎旦等^[9]通过实验对比发现,对于当前普遍实行的IMRT,EPID得到的验证结果同传统的胶片、电离室、二维矩阵等得到的验证结果具有较好的一致性。Woodruff等^[10]发现基于有效模型计算连续的角度增量的方法可用于EPID验证VMAT,快速而精准,与胶片结果一致性很高,且由于探测板在机架旋转过程中一直垂直于射束,角度依赖性问题可以被很好地避免。李丽琴等^[11]从剂量响应、成像滞后和伪影、能量依赖性、建成效应、可见光增强和机架角响应等方面详细分析了EPID的剂量学特性,强调EPID剂量校准的重要性。Gustafsson等^[12]指出EPID中不同的材料层对射线具有不同的吸收剂量响应功能,材料自身结构或性能的变化会对图像和剂量的测量带来很大影响。全脑放疗作为一种治疗和预防脑转移瘤的方法很早就被用于临床治疗领域。Abe等^[13]发现局部原发脑肿瘤未进行全脑照射不影响整体疗效但会提升肿瘤复发的几率。Aoyama

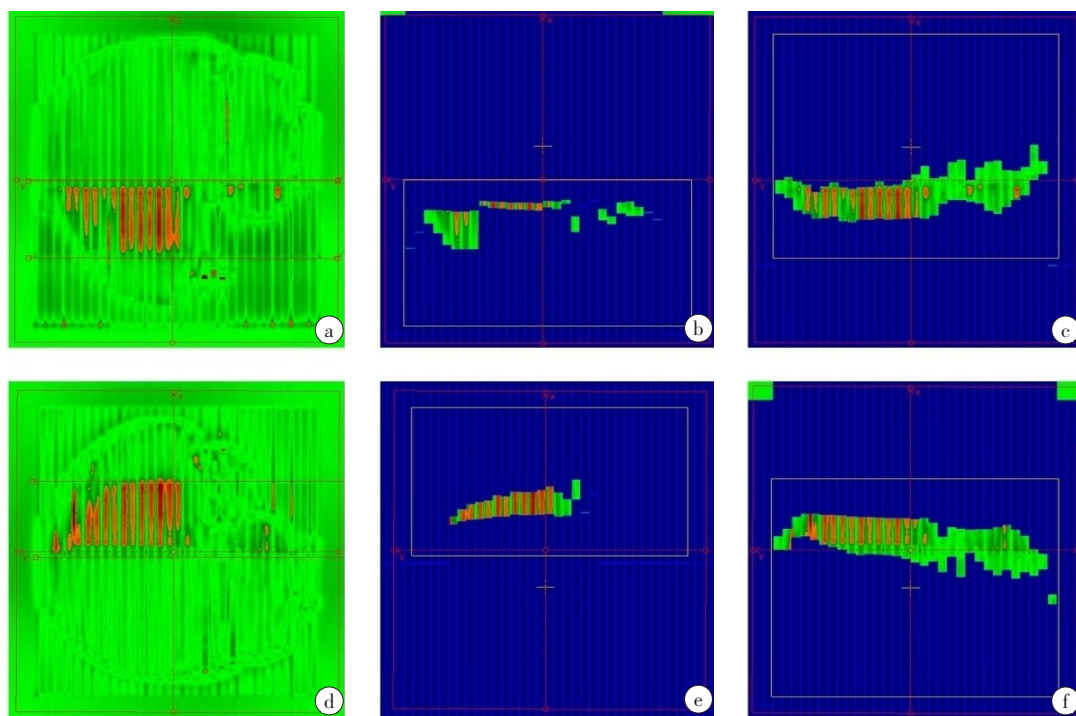


图5 两个 $X \geq 15$ cm射野的 γ (3 mm/3%)数值分布图和叶片运动示意图

Fig.5 Digital distributions of γ (3 mm/3%) passing rates and MLC motion diagrams of two fields with $X \geq 15$ cm

a:射野1的 γ 分布图(IMRT计划);b:射野1第1子野铅门及MLC运动示意图;c:射野1第2子野铅门及MLC运动示意图;
d:射野2的 γ 分布图(IMRT计划);e:射野2第1子野铅门及MLC运动示意图;f:射野2第2子野铅门及MLC运动示意图

等^[14]同样发现对于有一个或多个脑转移瘤的乳腺癌患者,治疗时采取全脑放疗会使6个月内脑部肿瘤复发的概率降低22%~30%。全脑放疗对于脑部多发性肿瘤患者以及不适合局部放疗的脑肿瘤患者也是重要的治疗手段之一。由于全脑放疗是一种治疗靶区较大但计划设计较为简单,可重复性高的放疗手段,因此其剂量分布的理论值同实际值的差异理应较小,但通过EPID检验却发现不少射野的通过率偏低。本研究采用统计和对比分析的方法,寻找出现上述问题的原因,并给出建议的解决方法。

研究者首先对59例全脑患者的VMAT计划158个射野按 γ (3 mm/3%)标准进行了EPID验证。统计测试结果的平均值和标准差,将平均值设置为Average Line,平均值减标准差的值设置为Action Line。由于加速器MLC的运行方向为X轴,因此X轴方向的铅门大小可能会影响MLC的调节能力。研究者随后统计了所有测试射野X方向的大小,并将其与 γ 分析的结果绘制成散点图。可以看到,大部分测试结果在Action Line以上,多数未达标结果的射野X方向较大;如果在X为15 cm处设置一条分界线,则可以看到所有未达标的射野X方向均大于等于15 cm。图2展示出以X等于15 cm为界,两类射野通过率高于Average Line和Action Line的比例,可以看到射野

X方向小于15 cm的测试结果明显较好。研究者对以此分类的测试结果进行了独立样本 t 检验,结果发现 $t=-3.828, P<0.05$,结果具有统计学意义。随后研究者将测试结果低于Action Line的16个测试野单列,它们分属12位患者的测试计划。对这些测试计划采取两种方式重新验证:(1)改用Arccheck模体重新验证原计划;(2)重新设计计划,将未通过EPID测试的射野X方向大小改至15 cm以下,完成计划后重新进行EPID验证。所得结果如表1所示,Arccheck测试结果显示原计划通过率较高,计划本身应无问题;重测的EPID结果显示,调小射野X方向大小确实能提升EPID验证结果的通过率。由此研究者认为,EPID自身对X方向大于15 cm的射野可能存在响应偏差,从而导致 γ 分析的结果降低,但计划实际的剂量分布同理论值的偏差不大。

本研究同样按 γ (3 mm/3%)标准分析了8例全脑IMRT患者的射野通过率,这些射野的X方向大小多数大于15 cm,设计EPID验证计划时可以采用原射野验证或者分野验证的方法进行测量。研究者按此两种方法进行验证后结果如图3所示。从Average Line和Action Line来看X方向小于15 cm的射野通过率明显高于X方向大于等于15 cm的射野。从图4的射野达标率可以更清晰地看到X小于15 cm的射

野达标率较高。细致分析所有X大于等于15 cm的射野发现,这些射野实际治疗时均包含两个大的子野,如图5b、c、e、f所示,这4图中黄色方框所包含的区域即是每个子野铅门所形成的射野大小,治疗时先出束1个子野的剂量,随后铅门移动到第2个子野位置出束第2部分剂量。从图中可以看到两个子野的Y方向铅门大小一样,但X方向铅门位置有一部分重叠,将这两个子野的射野边缘分别勾画对应到图5a和d的 γ 分布图上可以看到,红色代表 $\gamma \geq 1$ 的不通过区域几乎全部位于两个子野铅门重叠的区域。图5中仅以两个射野的 γ 分布图为例,实际所有X大于等于15 cm的射野不通过区域均有类似情况,而所有X小于15 cm的射野由于不会分为两个子野,因此不会出现类似情况,从图3可以看出其 γ 通过率较高。细致分析发现,X大于等于15 cm的射野其子野重叠部分的剂量相对较低,在EPID上进行剂量叠加后测量,可能导致剂量过响应的情况出现,从而导致 γ 通过率降低,而采用分野剂量验证则可以规避这种影响。

综上所述,本研究发现EPID作为一种常见的剂量验证工具,在方便快捷的同时,也具有一定的局限性,尤其针对全脑放疗这类靶区较大的计划射野进行剂量验证时需要注意以下几点:(1)对于全脑VMAT计划,推荐将X方向射野大小控制在15 cm以下,此时MLC的调节能力更强,且EPID验证的结果通过率更高;(2)对于全脑IMRT计划,由于其X方向射野大小普遍大于15 cm,这些射野均包含两个X小于15 cm的子野,设计EPID验证计划时推荐采用分野验证,可以避免由于EPID探测器过响应导致 γ 通过率偏低的情况出现。

【参考文献】

- [1] ANDREWS J, SWAIN R, RUBIN P. Continuous visual monitoring of 2 MeV roentgen therapy[J]. Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med, 1958, 79(1): 74-78.
- [2] ANTONUK L E. Electronic portal imaging devices: a review and historical perspective of contemporary technologies and research[J]. Phys Med Biol, 2002, 47(6): 31-65.
- [3] HERMAN M G, BALTER J M, JAFFRAY D A, et al. Clinical use of electronic portal imaging: report of AAPM radiation therapy committee task group 58[J]. Med Phys, 2001, 28(5): 712-737.
- [4] LGOR O R, BEGONA V M, JOCHEM K, et al. Transit and non-transit 3D EPID dosimetry versus detector arrays for patient specific QA[J]. J Appl Clin Med Phys, 2019, 20(6): 79-90.
- [5] SOFIA C, EMILIE C, CLAAS W, et al. EPID based *in vivo* dosimetry system: clinical experience and results[J]. J Appl Clin Med Phys, 2016, 17(3): 262-276.
- [6] 刘书朋, 陈伟思, 侯明扬, 等. 电子射野影像系统在调强剂量验证中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(7): 777-780.
- [6] LIU S P, CHEN W S, HOU M Y, et al. Application of electronic portal imaging device in dose verification of intensity-modulated radiotherapy[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(7): 777-780.
- [7] VAN ELMPT W, MCDERMOTT L, NIJSTEN S, et al. A literature review of electronic portal imaging for radiotherapy dosimetry[J]. Radiother Oncol, 2008, 88(3): 289-309.
- [8] 李克新, 鞠永健. 电子射野影像系统在放疗中的应用进展[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2018, 42(5): 468-471.
- [8] LI K X, JU Y J. Advances in the application of electronic portal imaging device in radiotherapy[J]. International Journal of Radiation Medicine and Nuclear Medicine, 2018, 42(5): 468-471.
- [9] 黎旦, 宾石珍, 程晶晶, 等. 非晶硅电子射野影像装置在宫颈癌剂量验证中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 34(3): 230-234.
- [9] LI D, BIN S Z, CHENG J J, et al. Dose verification of cervical cancer using a-Si EPID[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 34(3): 230-234.
- [10] WOODRUFF H C, FUANGROD T, ROWSHANFARZAD P, et al. Gantry-angle resolved VMAT pretreatment verification using EPID image prediction[J]. Med Phys, 2013, 40(8): 081715.
- [11] 李丽琴, 李光俊, 沈九零, 等. 基于EPID的在体剂量验证研究进展[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017, 26(7): 833-837.
- [11] LI L Q, LI G J, SHEN J L, et al. Research progress in electronic portal imaging device-based *in vivo* dosimetry verification[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2017, 26(7): 833-837.
- [12] GUSTAFSSON H, VIAL P, KUNCIC Z, et al. EPID dosimetry: effect of different layers of materials on absorbed dose response[J]. Med Phys, 2009, 36(12): 5665-5674.
- [13] ABE E, AOYAMA H. The role of whole brain radiation therapy for the management of brain metastases in the era of stereotactic radiosurgery[J]. Curr Oncol Rep, 2012, 14(1): 79-84.
- [14] AOYAMA H, SHIRATO H, TAGO M, et al. Stereotactic radiosurgery plus whole-brain radiation therapy vs stereotactic radiosurgery alone for treatment of brain metastases: a randomized controlled trial[J]. JAMA, 2006, 295(21): 2483-2491.

(编辑:黄开颜)