

电子射野影像系统在放疗中的应用进展

李克新 鞠永健

226001, 南通市第一人民医院放疗科

通信作者: 鞠永健, Email: juyongjian@aliyun.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.05.015

【摘要】 电子射野影像系统已成为放疗质量控制和质量保证的重要设备之一, 可用于摆位误差验证分析、加速器本身日常质量控制、剂量验证、实时剂量验证等放疗质控指标的采集分析, 以保障放疗实施的准确性。笔者就电子射野影像系统在放疗中的应用研究进行简要综述。

【关键词】 放射疗法; 质量控制; 电子射野影像系统; 在线验证

基金项目: 江苏省六大人才高峰课题(2014-WSN-075); 南通市社会发展计划(HS2012036)

Advances in the application of electronic portal imaging device in radiotherapy Li Kexin, Ju Yongjian

Department of Radiotherapy, the First People's Hospital of Nantong City, Nantong 226001, China

Corresponding author: Ju Yongjian, Email: juyongjian@aliyun.com

【Abstract】 Electronic portal imaging devices have become important equipment for radiotherapy quality control and quality assurance. They can be used to verify positioning errors and other quality control indicators. They can also be applied in the daily quality control of the accelerator, dosimetry, and real-time dosimetry to ensure the accuracy of radiotherapy implementation. In this paper, the application of electronic portal imaging devices in radiotherapy is briefly reviewed.

【Key words】 Radiotherapy; Quality control; Electronic portal imaging device; Online verification

Fund programs: Six Talent Peaks Project in Jiangsu Province(2014-WSN-075); Nantong City Social Development Plan(HS2012036)

影像设备与放疗技术发展的关系越来越紧密, 而包含电子射野影像系统(electronic portal imaging device, EPID)的加速器已在放疗中得到了广泛使用, EPID始于20世纪80年代, 是使用荧光显像系统获得兆伏级传输图像的技术, 在放疗质量控制和质量保证中应用广泛: 图像方面如摆位误差验证分析等, 加速器自身方面如射野、等中心验证、多叶准直器位置和到位精度验证等, 剂量方面如二维三维剂量验证等, 同时也有部分用于实时图像引导和剂量引导放疗的尝试。近年来, EPID设备和相关软件发展更新迅速, 本文就EPID在放疗中的应用研究进展进行综述。

1 用于射野验证、摆位误差的校正分析和图像追踪

EPID最早主要用于放疗的射野验证, 治疗时在患者靶区区域实际射野直接成像, 可直观表现射野和靶区的关系。尽管加速器相关的影像设备如千伏级CT、MRI等发展迅速, 但EPID射野验证仍

有着不可取代的临床价值, 例如用于乳腺癌放疗患者呼吸运动的验证和评价^[1]。目前, 基于三维容积图像上精确的靶区和危及器官勾画、精确计划设计和精确治疗的IMRT技术在临床上广泛使用, 其精确的剂量分布对于治疗时靶区位置和摆位精度等提出了更高的要求, 在此期间, EPID也有了长足的发展, 如荧光探测器、有源矩阵平板探测器等系统的使用, 使成像速度更快、成像范围更大、分辨率进一步提高。

EPID用于放疗摆位误差和靶区外放的校正主要分为在线和离线两种方式: 在线即在每次放疗前低剂量成像后立刻分析和校正摆位误差后实施治疗; 离线是对配对图像进行再次分析, 包括分析在线校正的准确性, 统计分析摆位误差、靶区外放等。常用的图像引导方式为二维正交图像(kV/MV和MV/MV)和三维MV级锥形束CT(MV-cone beam CT, MV-CBCT)^[2]图像, 其中, 二维正交图像的优点是获取图像速度快, 患者受量低, 临床使用广泛;

三维图像的优点是提供更多的图像信息,易于放疗医师接受和分析,相对于kV-CBCT, MV-CBCT图像噪音高、图像对比度低,但图像质量满足临床需要,且在做好相关修正的情况下可应用于放疗急诊姑息治疗,可在30 min内完成定位、图像采集、计划设计、实施治疗等^[3-4]。

由于EPID具有可实时获取治疗时的射野图像以及对患者无额外照射的特点,近年来开始用于实时追踪靶区运动变化的研究。EPID主要有植入基准标记^[5]和无基准标记^[5-7]软组织两种图像追踪方式,基准标记追踪对正常组织有一定损伤,是MV图像追踪的“金标准”;无基准标记追踪主要依据肿瘤和周边组织对比度差异,对正常组织无损伤。有文献报道,EPID用于靶区追踪在模体内的误差在1 mm以内,在人体内的误差在2 mm以内,但只能提供射野内的图像信息且分辨率受呼吸及其他组织叠加影响^[7]。因此,研究主要集中在肺癌靶区的追踪,相关研究表明通过肿瘤的追踪和预测可以使靶区外放降低21%,进而使周围正常组织的平均剂量降低10.7%^[8]。此外,EPID也为实时图像引导IMRT提供了可行性,Rottmann等^[9]把动态多叶准直器和靶区作为一个功能单位,通过预测系统延迟时间的方法实施无基准标记肺癌立体定向放疗计划,其系统延迟时间为(230±11) ms。

2 用于加速器质量保证

放疗新设备的研发及应用对日常质量保证和质量控制提出了更高的要求,EPID作为常规的加速器机载影像设备,在质量保证方面的主要应用有以下几个方面。①光野一致性:EPID能快速验证不同角度的射野一致性,验证精度高,可以达到1 mm以内,符合美国医学物理学家协会(AAPM)142号报告的要求标准。②等中心验证:容积调强放疗、立体定向放疗等技术的应用使加速器机械等中心成为日常质量控制的重要项目,EPID配合特定模体可快速获得等中心位置,监测等中心的日常变化^[10]。③治疗床移动精度:以治疗床追踪靶区运动等^[11]技术研究开展,治疗床自动移动到位精度要求提高,EPID配合相应模体可简单快速获取治疗床移动位置及到位精度。④多叶准直器质量控制:EPID数字化影像配合相关的图像处理软件可以快速完成多叶准直器的叶片厚度、运行速度、到位精

度等日常质量控制,叶片位置误差精度可以达到0.2 mm^[12-13]。常规的加速器质量保证设备如胶片、电离室等,图像采集和数据分析复杂、耗时长且成本较高,而EPID的图像分辨率高、成像快速、分析便捷、成本低等优点使其已成为加速器日常质量保证的重要工具之一。

3 用于放疗计划剂量验证

精确放疗技术就是使靶区及周围危及器官的剂量分布越来越与计划设计的吻合,因此保障实际照射与计划系统计算的剂量分布一致是一项重要的质控指标。随着EPID探测器系统的不断发展,特别是非晶硅固体探测器被加速器厂家广泛使用,如美国瓦里安的a-Si1000系列,瑞典医科达的iViewGT系统等,其使用方便、性能稳定、抗辐射性较高以及采集效率高、剂量的线性响应好、图像分辨率高的优势越来越明显,其已成为剂量验证的重要工具之一。目前,EPID的剂量验证方法主要包括治疗前验证及治疗中在线和离线验证。

治疗前计划剂量验证是常用的质量保证方法,有及时发现计划实施的可行性、准确性和多次重复验证等优点。EPID二维剂量治疗前验证常用的剂量测量方法是直接测量射野中的非透射剂量,射束与探测器之间无患者和模体,实际测量后直接与治疗计划系统(treatment planning system, TPS)或独立于TPS的算法计算的能量通量或剂量分布相比较,可用于IMRT计划,EPID可快速、有效地完成实际角度验证^[14],且与电离室、胶片、二维矩阵等剂量验证方法所得结果的一致性较好^[15]。对于容积调强放疗计划,由于EPID探测板始终垂直于射束,可以有效地避免角度依赖问题,通过把容积调强放疗转变成静态IMRT计划^[14]或使用基于模型的方法计算连续的角度增量^[16]等方法验证,快速可靠,与常规的胶片验证结果一致。对于高剂量率无均整器(flattening filter-free, FFF)射束(最高1400 MU/min 6FFF和2400 MU/min 10 FFF),由于高剂量率带来探测器的饱和性,可通过一些降低剂量率的方法来进行验证:如Min等^[17]通过常规均整器射束代替,降低剂量率,根据机架和多叶准直器叶片运动调整总MU的方法;Faught等^[18]通过在机头增加一定厚度钢制品的方法;Pardo等^[19]通过增加源和探测器距离的方法。而最新的探测器在临床应用中可直接

用于验证 FFF 射束, 如 Chuter 等^[20]使用瑞典医科达 iViewGT EPID panel (RID 1640 AL5P), Willett 等^[21]和 Miri 等^[22]使用美国瓦里安 aS1200 DMI panel 进行剂量验证获得的结果与瑞典 ScandiDos 公司的三维剂量验证系统 Delta4 的验证结果一致。

治疗中验证的优点是获取患者的实际剂量交付, 便于分析由摆位误差、器官运动、解剖学改变等引起的与计划系统计算剂量分布的差异^[23]。EPID 治疗中的剂量验证常用透射剂量测量, 即射束与影像板间有人体或模体, 测量透过介质后的剩余的剂量, 验证方式有逆向重建和直接预测两种。逆向重建剂量验证可用于在线和离线验证, 即根据射野图像在计划 CT、CBCT 图像或模体上重建体内二维^[24]和三维^[25-26]剂量分布, 并与 TPS 或独立于 TPS 算法计算获得的剂量分布比较。直接预测剂量验证指的是使用散射因子、射野输出因子等修正或 TPS 方法直接预测模体或人体内特定深度点剂量^[27]、二维能量通量^[28-29], 并与实际测量剂量直接比较。随着计算机和影像技术的发展, 其运算速度加快、图像获取和分析技术取得了进步, 实时剂量验证也在不断探索中, 验证系统与加速器控制系统相连, 可在短时间内发现重大错误并终止治疗, 保证了治疗的准确性。Fuangrod 等^[28]通过统计学过程控制方法实时比较预测和 EPID 实测累积点的剂量一致性, 在出束 2 s 内即可发现剂量交付错误。Spreeuw 等^[25]采用分段计划的独立算法计算的剂量分布与实时 EPID 射野图像三维重建的剂量分布比较实施实时剂量验证, 图像获取和验证时间为 (266±11) ms, 在出束后 5~10 s 发现剂量交付错误。当然, 由于实时剂量验证的影响因素较多, 计算较复杂, 因此, 准确率和效率也需要进一步的提高才能为实时的剂量引导 IMRT 的实施提供条件。

4 EPID 使用的局限性

EPID 探测器虽有高抗辐射性, 但剂量学特性会受辐射影响, 探测分辨率会随照射时间降低, 使用时需做好探测器的质量控制。同时, 由于人体生理运动、解剖结构和放疗实施过程复杂, 图像获取和准确的剂量交付影响因素众多, 因此, 相关的实时图像追踪^[30]和实时剂量验证^[31]研究绝大多数在模体内进行, 准确性和可行性需要进行进一步的临床研究证实。其中, 验证图像获取、存储读取、分析

以及进一步的匹配反馈调整, 整个过程时间仍较长, 需要计算机技术和相关算法的进一步发展, 这也是目前研究的热点。另外, 治疗中实时验证时为保证安全性, 只能获取射野内的图像, 图像质量和探测范围也存在局限性。

综上所述, EPID 已成为放疗质量控制和质量保证的重要设备之一, 可用于摆位误差验证分析, 以及加速器本身日常质量控制、剂量验证、实时剂量验证等放疗质控指标的采集分析, 以保障放疗实施的准确性, 同时, 实时图像追踪和剂量验证的尝试也为自适应放疗的实施提供了可行性。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展, 不涉及任何利益冲突。

作者贡献声明 李克新负责文献资料收集、论文撰写; 鞠永健负责论文修改、审阅。

参 考 文 献

- [1] Estoesta RP, Attwood L, Naehrig D, et al. Assessment of voluntary deep inspiration breath-hold with CINE imaging for breast radiotherapy[J]. J Med Imaging Radiat Oncol, 2017, 61(5): 689-694. DOI:10.1111/1754-9485.12616.
- [2] Li XA, Chen X, Zhang Q, et al. Margin Reduction from IGRT for Soft-Tissue Sarcoma: Secondary Analysis of RTOG0630 Results[J/OL]. Pract Radiat Oncol, 2016, 6(4): e135-e140[2018-01-10]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4870138>. DOI: 10.1016/j.pro.2015.11.012.
- [3] Held M, Cremers F, Sneed PK, et al. Assessment of image quality and dose calculation accuracy on kV CBCT, MV CBCT, and MV CT images for urgent palliative radiotherapy treatments[J]. J Appl Clin Med Phys, 2016, 17(2): 279-290. DOI: 10.1120/jacmp.v17i2.6040.
- [4] Held M, Sneed PK, Fogh SE, et al. Feasibility of MV CBCT-based treatment planning for urgent radiation therapy: dosimetric accuracy of MV CBCT-based dose calculations[J]. J Appl Clin Med Phys, 2015, 16(6): 458-471. DOI: 10.1120/jacmp.v16i6.5625.
- [5] Poels K, Verellen D, Van de Vondel I, et al. Fiducial marker and marker-less soft-tissue detection using fast MV fluoroscopy on a new generation EPID: investigating the influence of pulsing artifacts and artifact suppression techniques[J/OL]. Med Phys, 2014, 41(10): 101911[2018-01-10]. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1118/1.4896116>. DOI: 10.1118/1.4896116.
- [6] Bryant JH, Rottmann J, Lewis JH, et al. Registration of clinical volumes to beams-eye-view images for real-time tracking[J/OL]. Med Phys, 2014, 41(12): 121703[2018-01-10]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4235653>. DOI: 10.1118/1.4900603.
- [7] Rottmann J, Aristophanous M, Chen A, et al. A multi-region algorithm for markerless beam's-eye view lung tumor tracking[J].

- Phy Med Biol, 2010, 55(18): 5585–5598. DOI: 10.1088/0031-9155/55/18/021.
- [8] Cho B, Poulsen PR, Sloutsky A, et al. First demonstration of combined kV/MV image-guided real-time dynamic multileaf-collimator target tracking[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 74(3): 859–867. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2009.02.012.
- [9] Rottmann J, Keall P, Berbeco R. Markerless EPID image guided dynamic multi-leaf collimator tracking for lung tumors[J]. Phys Med Biol, 2013, 58(12): 4195–5204. DOI: 10.1088/0031-9155/58/12/4195.
- [10] Chiu TD, Yan Y, Foster R, et al. Long-term evaluation and cross-checking of two geometric calibrations of kV and MV imaging systems for Linacs[J]. J Appl Clin Med Phys, 2015, 16(4): 306–310. DOI: 10.1120/jacmp.v16i4.5140.
- [11] Buzurovic I, Huang K, Yu Y, et al. A robotic approach to 4D real-time tumor tracking for radiotherapy[J]. Phys Med Biol, 2011, 56(5): 1299–1318. DOI: 10.1088/0031-9155/56/5/005.
- [12] Sun B, Goddu SM, Yaddanapudi S, et al. Daily QA of linear accelerators using only EPID and OBI[J]. Med Phys, 2015, 42(10): 5584–5594. DOI: 10.1118/1.4929550.
- [13] Rowshanfarzad P, Riis HL, Zimmermann SJ, et al. A comprehensive study of the mechanical performance of gantry, EPID and the MLC assembly in Elekta linacs during gantry rotation[J/OL]. Br J Radiol, 2015, 88(1051): 20140581[2018-01-10]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4628515>. DOI: 10.1259/bjr.20140581.
- [14] Huang YC, Yeh CY, Yeh JH, et al. Clinical practice and evaluation of electronic portal imaging device for VMAT quality assurance[J]. Med Dosim, 2013, 38(1): 35–41. DOI: 10.1016/j.meddos.2012.05.004.
- [15] 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. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2017.03.003.
- Li D, Bin SZ, Cheng PJ, et al. Dose verification of cervical cancer using a-Si EPID[J]. Chin J Med Phys, 2017, 34(3): 230–234.
- [16] Woodruff HC, Fuangrod T, Rowshanfarzad P, et al. Gantry-angle resolved VMAT pretreatment verification using EPID image prediction[J/OL]. Med Phys, 2013, 40(8): 081715[2018-01-10]. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1118/1.4816384>. DOI: 10.1118/1.4816384.
- [17] Min S, Choi YE, Kwak J, et al. Practical approach for pretreatment verification of IMRT with flattening filter-free (FFF) beams using Varian Portal Dosimetry[J/OL]. J Appl Clin Med Phys, 2014, 16(1): 4934[2018-01-10]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=25679149>. DOI: 10.1120/jacmp.v16i1.4934.
- [18] Faught AM, Wu Q, Adamson J. SU-F-T-283: A Novel Device to Enable Portal Dosimetry for Flattening Filter Free Beams[J]. Med Phys, 2016, 43(6): 3527–3528. DOI: 10.1118/1.4956423.
- [19] Pardo E, Novais JC, Molina López MY, et al. On flattening filter-free portal dosimetry[J]. J Appl Clin Med Phys, 2016, 17(4): 132–145. DOI: 10.1120/jacmp.v17i4.6147.
- [20] Chuter RW, Rixham PA, Weston SJ, et al. Feasibility of portal dosimetry for flattening filter-free radiotherapy[J]. J Applied Clin Med Phys, 2016, 17(1): 112–120. DOI: 10.1120/jacmp.v17i1.5686.
- [21] Willett A, Gilmore M, Rowbottom C. SU-F-T-567: Sensitivity and Reproducibility of the Portal Imaging Panel for Routine FFF QC and Patient Plan Dose Measurements[J]. Med Phys, 2016, 43(6): 3593–3594. DOI: 10.1118/1.4956752.
- [22] Miri N, Keller P, Zwan BJ, et al. EPID-based dosimetry to verify IMRT planar dose distribution for the aS1200 EPID and FFF beams[J]. J Appl Clin Med Phys, 2016, 17(6): 292–304. DOI: 10.1120/jacmp.v17i6.6336.
- [23] Mijnheer BJ, González P, Olaciregui-Ruiz I, et al. Overview of 3-year experience with large-scale electronic portal imaging device-based 3-dimensional transit dosimetry[J/OL]. Pract Radiat Oncol, 2015, 5(6): e679–e687[2018-01-10]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1879850015002313?via%3Dihub>. DOI: 10.1016/j.prro.2015.07.001.
- [24] Fidanio A, Porcelli A, Azario L, et al. Quasi real time in vivo dosimetry for VMAT[J/OL]. Med Phys, 2014, 41(6): 062103[2018-01-10]. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1118/1.4875685>. DOI: 10.1118/1.4875685.
- [25] Spreeuw H, Rozendaal R, Olaciregui-Ruiz I, et al. Online 3D EPID-based dose verification: Proof of concept[J]. Med Phys, 2016, 43(7): 3969–3974. DOI: 10.1118/1.4952729.
- [26] McCowan PM, Van Uytven E, Van Beek T, et al. An in vivo dose verification method for SBRT-VMAT delivery using the EPID[J]. Med Phys, 2015, 42(12): 6955–6963. DOI: 10.1118/1.4935201.
- [27] Millin AE, Windle RS, Lewis DG. A comparison of electronic portal dosimetry verification methods for use in stereotactic radiotherapy[J]. Phys Med, 2016, 32(1): 188–196. DOI: 10.1016/j.ejmp.2015.12.001.
- [28] Fuangrod T, Greer PB, Woodruff HC, et al. Investigation of a real-time EPID-based patient dose monitoring safety system using site-specific control limits[J/OL]. Radiat Oncol, 2016, 11(1): 106[2018-01-10]. <https://ro-journal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13014-016-0682-y>. DOI: 10.1186/s13014-016-0682-y.
- [29] Woodruff HC, Fuangrod T, Van Uytven E, et al. First Experience With Real-Time EPID-Based Delivery Verification During IMRT and VMAT Sessions[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2015, 93(3): 516–522. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2015.07.2271.
- [30] Yip S, Rottmann J, Berbeco R. The impact of cine EPID image acquisition frame rate on markerless soft-tissue tracking[J/OL]. Med Phys, 2014, 41(6): 061702[2018-01-10]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4032434>. DOI: 10.1118/1.4873322.
- [31] Wang X, Chen L, Xie C, et al. Experimental verification of a 3D in vivo dose monitoring system based on EPID[J]. Oncotarget, 2017, 8(65): 109619–109631. DOI: 10.18632/oncotarget.22758.