

电子射野影像系统在调强剂量验证中的应用

刘书朋¹, 陈伟思², 侯明扬³, 程希元⁴, 陈阿龙⁵

1. 南方医科大学南方医院放疗科, 广东 广州 510515; 2. 海南医学院第一附属医院放射物理治疗中心, 海南 海口 570102; 3. 南方医科大学南方医院设备器材科, 广东 广州 510515; 4. 广州南方医大医疗设备综合检测有限责任公司, 广东 广州 510515; 5. 中山大学附属肿瘤医院放疗科, 广东 广州 510060

【摘要】目的:使用电子射野影像系统(EPID)结合Rapidose剂量分析软件在医科达(Elekta)Synergy机器上对IMRT和VMAT计划进行剂量验证。**方法:**随机选取11例IMRT计划和6例VMAT计划,依次使用EPID、MatriXX、ArcCHECK及CC13指形电离室对计划进行验证测量,并在不同Gamma标准下(5 mm, 3%; 3 mm, 3%; 2 mm, 2%)比较不同工具验证的剂量通过率。**结果:**IMRT计划和VMAT计划用EPID验证的Gamma通过率依次为(99.86±0.13)%和(99.77±0.21)%、(99.06±0.45)%和(97.75±1.20)%、(92.17±4.89)%和(85.91±6.82)%,用MatriXX验证的Gamma通过率为(99.47±0.95)%和(99.51±0.40)%、(98.60±1.10)%和(97.24±1.05)%、(90.56±5.07)%和(87.21±4.17)%,用ArcCHECK验证的Gamma通过率为(99.34±0.46)%和(99.93±0.08)%、(98.21±1.31)%和(98.66±0.35)%、(89.89±1.70)%和(96.03±2.90)%,用电离室CC13验证的剂量偏差为(1.10±1.84)%和(0.59±1.31)%。通过两两配对 t 检验比较验证结果可知,IMRT和VMAT计划用3种设备验证的测量结果均符合临床要求。**结论:**使用Rapidose剂量分析软件结合EPID设备,可以在临床上满足调强计划的剂量验证要求。

【关键词】调强放射治疗; 容积调强放射治疗; 电子射野影像系统; Rapidose; Gamma通过率; 剂量验证

【中图分类号】R815

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)07-0776-05

Application of electronic portal imaging device in dose verification of intensity-modulated radiotherapy

LIU Shupeng¹, CHEN Weisi², HOU Mingyang³, CHENG Xiyuan⁴, CHEN Along⁵

1. Department of Radiation Oncology, Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China; 2. Center for Radiation Physics and Treatment, the First Affiliated Hospital of Hainan Medical University, Haikou 570102, China; 3. Department of Equipment, Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China; 4. S.M.U Medical Equipment Test Co., Ltd., Southern Medical University, Guangzhou 510515, China; 5. Department of Radiation Oncology, Cancer Center, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510060, China

Abstract: Objective To explore the practicability of dose verification of intensity-modulated radiotherapy (IMRT) and volume modulated arc therapy (VMAT) on Elekta (Synergy) linear accelerator via Rapidose dose analysis software combined with electronic portal imaging device (EPID). **Methods** Eleven IMRT plans and 6 VMAT plans were randomly selected. The gamma passing rates of these plans were measured with different validation devices (EPID, MatriXX, ArcCHECK and CC13 ionization chamber) and compared under different gamma standards (5 mm, 3%; 3 mm, 3%; 2 mm, 2%). **Results** The gamma passing rates measured with EPID were (99.86±0.13)%, (99.06±0.45)%, (92.17±4.89)% for IMRT plans, and (99.77±0.21)%, (97.75±1.20)%, (85.91±6.82)% for VMAT plans. The gamma passing rates measured with MatriXX were (99.47±0.95)%, (98.60±1.10)%, (90.56±5.07)% for IMRT plans, and (99.51±0.40)%, (97.24±1.05)%, (87.21±4.17)% for VMAT plans. The gamma passing rates measured with ArcCHECK were (99.34±0.46)%, (98.21±1.31)%, (89.89±1.70)% for IMRT plans, and (99.93±0.08)%, (98.66±0.35)% and (96.03±2.90)% for VMAT plans. The dose deviation of CC13 ionization chamber was (1.10±1.84)% and (0.59±1.31)% for IMRT plans and VMAT plans, respectively. The paired- t test comparison results revealed that all measurements of the 3 devices met the clinical requirements. **Conclusion** EPID can be combined with Rapidose dose analysis software to meet the clinical dose verification requirements of IMRT plans and VMAT plans.

【收稿日期】2018-01-21

【作者简介】刘书朋, 硕士, 助理工程师, 研究方向: 医学放射物理, E-mail: 357838476@qq.com

【通信作者】陈阿龙, 助理研究员, 研究方向: 医学放射物理, E-mail: chenalong@sysucc.org.cn

Keywords: intensity-modulated radiotherapy; volume modulated arc therapy; electronic portal imaging device; Rapidose; gamma passing rate; dose verification

前言

放射治疗技术已进入“精准放疗”的“三精”时代(即精确定位、精确计划、精确治疗)。由于调强放射治疗(Intensity-Modulated Radiation Therapy, IMRT)和容积调强放射治疗(Volume Modulated Arc Therapy, VMAT)技术能很好地遵循放疗的四大原则,即靶区剂量准确、临近器官受照剂量小、保护关键器官、靶区剂量分布均匀,从而在放射治疗中越来越常见^[1-2]。然而在技术革新、进步的同时,新的问题也随之而来。IMRT相比于三维适形放疗(3D-CRT),射野在多叶光栅(MLC)的移动下分成了多个子野,并在治疗中随着时间变换子野,调整射野内强度,从而形成更加均匀、符合临床需要的靶区剂量。子野的增多则意味着一旦在治疗计划系统(Treatment Planning System, TPS)中的靶区剂量与实际照射的靶区剂量出现误差,整体剂量会产生非常大的偏差,从而导致严重的放射治疗事故出现。因此,临床上为保证调强射野剂量分布的准确性,必须对调强放疗计划进行剂量验证。调强放射治疗的剂量验证工具多样,有电离室、胶片、二维电离室矩阵和二维或三维半导体矩阵等验证方式^[3-5]。其中,电离室矩阵(如德国的PTW729和MatriXX等)、半导体矩阵(如美国的MapCHECK2和ArcCHECK等)因其方便快捷、设备可重复利用、数字化程度高等特点而被广泛使用,是目前主流的剂量验证工具^[6-10]。与此同时,非晶硅电子射野影像系统(Electronic Portal Imaging Device, EPID)虽然最初设计是为了用于病人的摆位验证,然而由于EPID材料所表现出的良好的剂量线性响应、测量重复性及长期稳定性,如今也逐渐用于射野质量保证及调强放疗的剂量验证^[11-15]。Varian公司开发的Portal Dosimetry软件,结合使用EPID采集验证数据,已顺利地将其应用于临床的剂量验证,而Elekta公司目前没有开发使用EPID进行调强剂量验证的相关软件。本研究主要针对广州瑞多思医疗科技有限公司研发的Rapidose软件,通过与MatriXX、ArcCHECK和CC13指形电离室的测量结果进行比较,对EPID在医科达加速器上进行调强剂量验证的可行性做一个初步研究。

1 材料和方法

1.1 病例选择、加速器设备及治疗计划系统

本研究选取11例IMRT患者(6例鼻咽癌、乳腺癌、脑癌、腮腺癌、肾癌和胃癌各1例)和6例VMAT患者(肺癌)的计划,分别使用EPID、MatriXX、ArcCHECK及电离室进行剂量验证,所有工具的剂量验证均在重新校准机器输出量后进行。所有患者均使用Synergy直线加速器治疗,射线能量为6 MV。17例计划均使用Monaco计划系统,版本为5.11.01,采用蒙特卡洛算法,计算网格为0.3 cm,无控制点数目限制,靶区(CTV)的优化条件满足98%的处方剂量覆盖,危及器官(OAR)满足临床要求的条件。

1.2 剂量验证工具及方法

(1)点剂量验证:采用0.125 cm³(IBA, CC13)指形电离室进行测量。剂量验证前,使用电离室校准加速器的输出量。通过比较计划中固体水膜中心点的绝对剂量与使用电离室测量中心点的绝对剂量的偏差,得到17例患者的点剂量偏差。(2)剂量分布验证:采用MatriXX(德国,IBA)、ArcCheck(美国, Sun Nuclear Corp)和EPID进行剂量分布验证分析。MatriXX使用配套的MultiCube模体套,密度1.04 g/cm³,有效测量面积24 cm×24 cm,探测器数量1 020个,探头间距7.62 mm。由于MatriXX具有角度响应,测量时将所用射野的机架角归0°。ArcCHECK使用配套的圆柱形多功能插件,有效测量长度为21 cm,一共有1 386个半导体探头,探头间距为10 mm,在圆柱形模体表面2.9 cm以下处均匀分布,中心包括1个直径为15 cm的空腔。由于ArcCHECK圆柱模体的自身特性,剂量验证采用计划中的实际角度进行。

Synergy加速器的EPID有效探测面积为41 cm×41 cm,探测器平面的SSD为160 cm,像素点间距为0.04 cm,测量矩阵为1 024×1 024,在射野等中心100 cm处的分辨率为0.025 cm。采用连续累加模式进行图像数据采集,EPID单幅图像采集速度为2.5 帧/s,实际验证过程IMRT计划采用将机架角归0°的方式进行,而VMAT计划则在实际臂架角度进行。剂量采集完成后,Rapidose基于EPID的射野剂量图像,建立二维剂量重建模型导入Rapidose软件。通过在软件中选取所需的Gamma标准、机器型号和射线能量等参数,并将Monaco计划系统中计算的射野剂量分布的Dicom格式文件也导入软件,将两者进行对比分析。

1.3 临床计划剂量学验证

对 17 例患者采用(5 mm, 3%)、(3 mm, 3%)、(2mm,2%)3 种不同的 Gamma 通过率标准进行剂量验证分析,从而得到不同验证工具在不同标准 Gamma 通过率下的平均值和标准差。

1.4 统计学处理

使用 SPSS 20.0 软件对 EPID、MatriXX 及 ArcCHECK 所得到的剂量验证结果计算出平均值、标准差等统计学参数,在不同 Gamma 通过率下进行两两配对 *t* 检验,*P*<0.05 为有统计学差异。

2 结果

对 17 例患者使用不同的验证工具进行调强剂量验证,结果如下:(1)电离室点剂量验证结果见表 1,治疗计划与测量计划的平均偏差较小,其中平均偏差为 1.01%,最大剂量偏差为 3.34%,符合临床剂量偏差要求。(2)IMRT 和 VMAT 计划剂量分布验证

结果见表 2。从表中可以看出,3 种验证工具的平均通过率和标准差在不同 Gamma 标准下是有差异的。在(3 mm, 3%)标准下,IMRT 和 VMAT 病例用 3 种工具验证的 Gamma 通过率均>95%。对于 IMRT 计划,EPID 的验证结果在(5 mm, 3%)、(3 mm, 3%)和(2 mm, 2%)标准下的的平均值和标准差均稍优于 MatriXX 和 ArcCHECK 的验证结果,而对于 VMAT 计划,Gamma 通过率最好的是 ArcCHECK 的验证结果。从统计学分析结果来看,电离室测量的计划值和验证值的 *P*=0.93,无统计学差异。3 种验证工具在不同 Gamma 标准下进行两两配对 *t* 检验,结果见表 3。对于 IMRT 计划,EPID、MatriXX 和 ArcCheck 验证结果的两两比较,*P*>0.05;而在 VMAT 计划中,EPID 与 ArcCHECK 的测量结果在(2 mm, 2%)下有显著差异(*P*<0.05),MatriXX 和 ArcCHECK 的验证结果在(3 mm, 3%)和(2 mm, 2%)下有显著差异(*P*<0.05)。

表1 CC13电离室在 17 例患者中计划值与测量值的中心点剂量偏差(%)
Tab.1 Center point dose deviations between planned values and measured values of CC13 ionization chamber in 17 patients (%)

Treatment	<i>n</i>	Maximum deviation	Minimum deviation	Mean±SD
IMRT	11	3.34	0.42	1.10±1.84
VMAT	6	2.69	0.31	0.59±1.31
<i>P</i> value				0.93

IMRT: Intensity-modulated radiotherapy; VMAT: Volume modulated arc therapy

表2 EPID、MatriXX 和 ArcCHECK 在不同 Gamma 标准下的通过率($\bar{x} \pm s$, %)
Tab.2 Gamma passing rate of EPID, MatriXX and ArcCHECK under different Gamma criterion (Mean±SD, %)

Validation device	IMRT			VMAT		
	5 mm, 3%	3 mm, 3%	2 mm, 2%	5 mm, 3%	3 mm, 3%	2 mm, 2%
EPID	99.86±0.13	99.07±0.47	92.05±5.11	99.77±0.21	97.75±1.20	85.91±6.82
MatriXX	99.62±0.59	98.60±1.10	90.56±5.07	99.51±0.40	97.24±1.05	87.21±4.17
ArcCheck	99.50±0.34	98.21±1.31	89.89±1.70	99.93±0.08	98.66±0.35	96.03±2.90

表3 EPID、MatriXX 和 ArcCHECK 在不同 Gamma 标准下 *P* 值比较
Tab.3 Comparison of *P* values of EPID, MatriXX and ArcCHECK under different Gamma criterion

Validation device	IMRT			VMAT		
	5 mm, 3%	3 mm, 3%	2 mm, 2%	5 mm, 3%	3 mm, 3%	2 mm, 2%
EPID vs MatriXX	0.205	0.115	0.286	0.191	0.429	0.082
EPID vs ArcCheck	0.060	0.063	0.199	0.081	0.077	0.001
MatriXX vs ArcCheck	0.551	0.456	0.682	0.075	0.020	0.003

3 讨论

Rapidose 软件采用逆向算法,基于 EPID 的测量结果,利用反卷积和卷积算法建立了一种基于虚拟模体的、准确的二维平面剂量重建模型,从而用于放疗计划的剂量验证^[16-18]。在本次研究中,对于 IMRT 计划,使用 EPID 和 MatriXX 验证时将臂架角度归为 0°,而对 VMAT 计划验证时采用实际臂架角度进行。使用 ArcCHECK 验证时,17 例计划均采用实际臂架角度进行验证。统计学分析结果显示,3 种验证工具在 IMRT 计划中的 (5 mm, 3%)、(3 mm, 3%) 和 (2 mm, 2%) 标准下均无显著性差异,在临床使用上并不能比较孰优孰劣。在 (5 mm, 3%) 和 (3 mm, 3%) 标准下,所有工具的 Gamma 通过率均达到临床标准。在 VMAT 计划中,3 种验证工具在 (5 mm, 3%) 及 (3 mm, 3%) 标准下 Gamma 的通过率也都达到了临床要求,但 EPID 和 MatriXX 的测量结果略低于 ArcCHECK。这可能是由于加速器在做 VMAT 治疗的过程中,由于 EPID 展开对配重产生影响,在臂架旋转时,EPID 会产生微小位移所导致,因此在更严格的 Gamma 标准 (2 mm, 2%) 下对剂量验证结果有影响,而 MatriXX 则可能与其自身探测器的角度响应有关。这也与陈阿龙等^[19-20]等的结果类似。总体而言,虽然 17 例计划用 EPID 的验证结果与 MatriXX 和 ArcCHECK 两种设备的验证结果有微小差异,但整体影响不大。

EPID 与其他验证工具相比,优点在于使用简单方便,自动化程度高;不需要模体的摆放,减少了摆位误差;分辨率高并且没有探头角度响应的影响,具有很好的稳定性。同时为保证使用 EPID 进行调强验证的可靠性和准确性,需要将 EPID 的质量控制,如机械运动、稳定性检查、图像质量检查等项目加入到物理师月度质控质保工作之中,并且由于 EPID 是由非晶硅材料组成,在连续采集模式下,会有伪影的影响出现,可能会对验证结果产生影响^[21]。

目前,关于使用 EPID 进行剂量验证研究的文献,都是基于 Varian 公司所配备的 EPID 及其公司开发的 Portal Dosimetry 软件进行的。本研究通过对比 3 种验证工具进行调强验证的 Gamma 通过率,发现在 Elekta 加速器上使用 Rapidose 剂量分析软件结合 EPID 进行剂量验证,与其他两种常用的剂量验证工具一样,均能很好地满足临床上对计划剂量验证的要求,因此同样可以应用于临床剂量验证工作。

【参考文献】

- [1] 苗利,孙彦泽,李新民. 放射治疗剂量验证中常用剂量分布比较方法及分析[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2012, 30(4): 247-251.

- MIAO L, SUN Y Z, LI X M. Analysis of the most commonly used dose distribution comparison methods in radiotherapy dosimetric verification [J]. Journal of Radiation Research and Radiation, Processing, 2012, 30(4): 247-251.
- [2] 卢文婷. 二维电离室矩阵与电子射野影像系统在剂量验证中的初步研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2009.
- LU W T. The preliminary study of two dimensional ionization chamber array and electronic portal imaging devices system in dosimetric verification[D]. Guangzhou: Southern Medical University, 2009.
- [3] 曹剑云. 调强放射治疗剂量验证的发展[J]. 医学信息, 2015, 28(31): 346-347.
- CAO J Y. The dose verification development of intensity-modulated radiation therapy[J]. Medical Information, 2015, 28(31): 346-347.
- [4] 吕胜, 李光俊, 柏森, 等. 放射治疗计划系统独立剂量验证的发展[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2016, 36(10): 790-796.
- CHANG S, LI G J, BO S, et al. Development of the independent dose verification for treatment planning system in radiotherapy[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2016, 36(10): 790-796.
- [5] 翟贺争, 程金生. 二维矩阵探测器在 IMRT 剂量验证中的研究进展[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2013, 33(2): 215-217.
- ZHAI H Z, CHENG J S. The research progress of two-dimensional Matrix detector in IMRT dose verification [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2013, 33(2): 215-217.
- [6] 李成强, 李光俊, 冀传仙, 等. ArcCHECK 半导体探头特性及在容积调强弧形治疗剂量验证应用研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2013, 22(3): 253-257.
- LI C Q, LI G J, JI C X, et al. The characteristics and clinical application of the ArcCHECK diode array for volumetric-modulated arc therapy verification [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2013, 22(3): 253-257.
- [7] 戴越, 胡春红, 李小东, 等. MatriXX 两种调强放疗剂量验证方法的比较分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2013, 22(4): 312-314.
- DAI Y, HU C H, LI X D, et al. Analyse two kinds of intensity-modulated radiotherapy verification methods comparatively by using the MatriXX [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2013, 22(4): 312-314.
- [8] FREDH A. Patient QA systems for rotational radiation therapy: a comparative experimental study with intentional errors[J]. Med Phys, 2013, 40(3): 031716.
- [9] HUSSEIN M. 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): 4460.
- [10] POPPE B, BLECHSCHMIDT A, DJOUGUELA A, et al. Two-dimensional ionization chamber arrays of IMRT plan verification[J]. Med Phys, 2006, 33(4): 1005-1015.
- [11] BLAKE S J. Characterization of a novel EPID designed for simultaneous imaging and dose verification in radiotherapy[J]. Med Phys, 2013, 40(9): 091902.
- [12] 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.
- [13] 孟慧鹏, 孙小喆, 王昊, 等. Varian EPID 和 PTW Detector 729 在容积旋转调强剂量验证中的比较分析[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2015, 33(5): 25-29.
- MENG H P, SUN X Z, WANG H, et al. Comparative analysis for dose

- verification of volumetric modulated arc therapy by Varian EPID and PTW Detector 729[J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2015, 33(5): 25-29.
- [14] 窦文, 钟青松, 胡丽娟, 等. 调强放射治疗射野和剂量的验证[J]. 中国医学物理学杂志, 2012, 29(1): 3085-3087.
- DOU W, ZHONG Q S, HU L J, et al. Field shape and dose verification of intensity modulated radiotherapy[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2012, 29(1): 3085-3087.
- [15] HUSSEIN M, ROWSHANFARZAD P, EBERT M A, et al. A comparison of the gamma index analysis in various commercial IMRT/VAMT QA systems[J]. Radiother Oncol, 2013, 109(3): 370-376.
- [16] MCDERMOTT L N, LOUWE R J, SONKE J J, et al. Dose-response and ghosting effects of an amorphous silicon electronic portal imaging device[J]. Med Phys, 2004, 31: 285-295.
- [17] BERRY S L, POLVOROSA C S, WUU C S. A field size specific backscatter correction algorithm for accurate EPID dosimetry[J]. Med Phys, 2010, 37: 2425-2434.
- [18] WINKLER P, GEORG D. An intercomparison of 11 amorphous silicon EPIDs of the same type: implications for portal dosimetry[J]. Phys Med Biol, 2006, 51: 4189-4200.
- [19] 陈阿龙, 陈立新, 陈利, 等. 基于三维影像解剖结构的调强剂量验证的初步研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23(4): 352-356.
- CHEN A L, CHEN L X, CHEN L, et al. A primary research of intensity-modulated dose verification based on anatomic structure of three-dimensional images [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2014, 23(4): 352-356.
- [20] ZHU J H, CHEN L X, JIN G H, et al. A comparison of VMAT dosimetric verifications between fixed and rotating gantry positions [J]. Phys Med Biol, 2013, 58(5): 1315-1322.
- [21] 孙彦泽, 苗利, 殷旭君, 等. 非晶硅电子射野影像装置的性能研究[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2012, 30(3): 178-182.
- SUN Y Z, MIAO L, YIN X J, et al. Study on dose-response characteristics with amorphous silicon electronic portal imaging device [J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2012, 30(3): 178-182.

(编辑:黄开颜)