

基于RIT113软件验证加速器 等中心精度的可行性研究

季茹^{1,2}, 王景¹, 汪志², 裴曦³, 吴齐兵^{1,2}

1. 安徽医科大学 生物医学工程学院, 安徽 合肥 230032; 2. 安徽医科大学第一附属医院 放疗科, 安徽 合肥 230022;
3. 中国科学技术大学 放射医学物理中心, 安徽 合肥 230025

[摘要] 目的 评估RIT113软件验证加速器等中心精度的可行性。方法 结合电子射野影像装置 (Electronics Portal Image Device, EPID) 采集的图像, 测试RIT113软件分析6 MV 均整器模式 (Flatten Filter, FF) 和6 MV 无均整器模式 (Flatten Filter Free, FFF) 两种不同能量X射线下等中心的重复性和准确性。重复性: 在保持小球位置不动, 机架、治疗床和准直器角度均为0° 的情况下重复采集10次EPID图像, 使用RIT113软件分析小球位置变化情况。准确性: LAT (左右)、VRT (上下)、LNG (左右) 方向上分别引入已知位移 (-1.0~1.0 mm), 步径0.25 mm, 使用RIT113软件对采集到的图像进行分析, 得到测量结果与实际引入位移的偏差。结果 RIT113软件在6 MV FF X射线情况下验证加速器等中心时, 在LAT和LNG方向上归一后重复性分别为 0.994 ± 0.031 和 0.998 ± 0.009 ; 6 MV FFF X射线情况下, 在LAT和LNG方向上归一后重复性分别为 1.000 ± 0.009 和 1.001 ± 0.014 。RIT113软件在6 MV FF X射线下的LAT、LNG和VRT方向上准确性分别为 (0.026 ± 0.005) 、 (0.041 ± 0.014) 和 (0.018 ± 0.009) mm, 而在6 MV FFF X射线下的LAT、LNG和VRT方向上准确性分别为 (0.015 ± 0.008) 、 (0.023 ± 0.017) 和 (0.015 ± 0.014) mm。结论 RIT113软件在加速器等中心验证上重复性和准确性良好, 能够满足临床需求。

[关键词] RIT113软件; Winston-Lutz实验; 电子射野影像装置; 重复性; 准确性

Feasibility Research of RIT113 Software for Verifying Accuracy of Accelerator Isocenter

Ji Ru^{1,2}, Wang Jing¹, Wang Zhi², Pei Xi³, Wu Qibing^{1,2}

1. School of Biomedical Engineering, Anhui Medical University, Hefei Anhui 230032, China; 2. Department of Radiotherapy, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei Anhui 230022, China; 3. Center of Radiological Medical Physics, University of Science and Technology of China, Hefei Anhui 230025, China

Abstract: Objective To evaluate the feasibility of RIT113 software for verifying the accuracy of accelerator isocenter. Methods The repeatability and accuracy of RIT113 isocenter verification with 6 MV Flatten Filter (FF) and 6 MV Flatten Filter Free (FFF) X-ray were tested by combining the images acquired by an electronics portal image device (EPID). Repeatability: Images were acquired using an EPID for 10 times without altering the position of the ball with the angle of gantry, couch and collimator all 0°, RIT113 software was used to analyze the changes of the ball position. Accuracy: The known shifts were applied to the ball in lateral (LAT), lengthways (LNG) and vertical (VRT) direction from -1.0 mm to +1.0 mm in steps of 0.25 mm. RIT113 software was used to analyze the collected images acquired from EPID to obtain the deviation between the measurement results and the actual shift. Results The normalized repeatability of RIT113 isocenter verification with 6 MV X-rays in LAT and LNG were respectively 0.994 ± 0.031 and 0.998 ± 0.009 . The normalized repeatability of RIT113 isocenter verification with 6 MV FFF X-rays in LAT and LNG were respectively 1.000 ± 0.009 and 1.001 ± 0.014 . The accuracy of RIT113 isocenter verification with 6 MV FF X-rays in LAT, LNG and VRT were respectively (0.026 ± 0.005) , (0.041 ± 0.014) and (0.018 ± 0.009) mm. The accuracy of RIT113 isocenter verification with 6 MV FFF X-rays in LAT, LNG and VRT were (0.015 ± 0.008) , (0.023 ± 0.017) and (0.015 ± 0.014) mm. Conclusion RIT113 software has good repeatability and accuracy in accelerator and other center validation, and can meet clinical needs.

Key words: RIT113 software; Winston-Lutz test; EPID; repeatability; accuracy

[中图分类号] R812

[文献标识码] A

doi: 10.3969/j.issn.1674-1633.2022.04.009

[文章编号] 1674-1633(2022)04-0035-04

引言

随着科学技术的发展,越来越多的放疗技术应用到肿

瘤的放射治疗中,如三维适形放疗、调强放疗、图像引导放疗等。这些新技术的应用对直线加速器的精度要求越来越严格。根据美国医学物理师协会发布的TG142报告^[1],对于常规的放疗技术,等中心的精度要求在 ± 2 mm内。近年来,体部立体定向放射治疗 (Stereotactic Body Radiation Therapy, SBRT) 技术逐渐发展成熟,目前被广泛应用于肺^[2]、

收稿日期: 2021-05-31

基金项目: 安徽省自然科学基金 (1808085MH246; 1908085MA27); 安徽医科大学第一附属医院自然科学基金青年科学基金 (2013KJ03)。

通信作者: 吴齐兵, 主任医师, 主要研究方向为食管恶性肿瘤的放疗。

通信作者邮箱: wqb71vip@163.com

肝^[3]、脊髓^[4]和前列腺^[5]部位的放射治疗中。由于SBRT技术单次剂量高的特点, TG142报告要求用于SBRT技术治疗的加速器等中心精度在 $\pm 1\text{ mm}$ 内^[1]。在放射治疗过程中, 加速器等中心位置的精度直接影响放射治疗剂量传递的准确性, 若等中心偏差较大, 可能会出现靶区漏照射以及邻近正常组织的高剂量照射^[6], 给人体带来严重的放射性损伤。因此, 在对患者进行放射治疗前, 需要对加速器的等中心精度进行严格的质量验证^[7], 常采用Winston-Lutz (W-L) 实验对加速器的等中心进行验证^[8]。本研究拟使用电子射野影像装置 (Electronic Portal Image Device, EPID) 采集图像并用RIT113软件对W-L实验结果进行分析, 以便评估RIT113软件等中心验证的准确性及精确度, 确保放疗的精准进行。

1 材料与方法

1.1 材料

瓦里安VitalBeam加速器及其EPID系统, EPID系统由图像探测单元、图像采集系统和专用工作站组成。该EPID采集到的图像像素为 1024×768 , 像素尺寸为 $0.39\text{ mm} \times 0.39\text{ mm}$, 探测板有效面积为 $40\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 。使用Eclipse13.6计划系统, 瓦里安3D Micrometer一端固定在治疗床上, 另一端通过一根杆子连接一个高密度金属球 (图1), 小球直径为 6 mm , 在靠近治疗床的一端有3个千分尺, 可用来调整金属球在左右 (Lateral, LAT)、前后 (Lengthways, LNG) 和上下 (Vertical, VRT) 方向上的位置。RIT113分析软件, 该软件具有Patient QA、Machine QA和MLC QA功能, 本研究主要使用Machine QA中3D Winston-Lutz (EPID) 模块。



图1 瓦里安3D Micrometer

1.2 方法

1.2.1 重复性

射野大小为 $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$, 机架、机头以及治疗床角度均为 0° , 分别使用6 MV均整器模式 (Flatten Filter, FF) 和6 MV无均整器模式 (Flatten Filter Free, FFF) X射线, 剂量率 600 MU/min , 机器跳数10 MU, 在加速器物理模式

下出束, 保持小球位置不变, 使用EPID采集图像, 重复10次。

1.2.2 准确性

在Eclipse13.6计划系统设计两组计划, A组采用6 MV FF X射线, B组采用6 MV FFF X射线, 两组剂量率均为 600 MU/min 、射野大小 $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$, 16个射野角度如表1所示, 机器跳数10 MU。首先, 将高密度金属球尽可能地放置在加速器等中心位置, 记录此时3D Micrometer上千分尺的读数, 在加速器物理模式下按射野角度转动机架、治疗床及准直器, 并使用EPID采集图像。然后, 在此基础上分别在LAT、LNG和VRT三个方向上单独引入误差, 即在一个方向上引入误差, 保持其他两个方向不动, 调整上述一个方向的千分尺, 每次移动 0.25 mm , 移动范围为 $-1\sim 1\text{ mm}$ (即 -1.00 、 -0.75 、 -0.50 、 -0.25 、 0.25 、 0.50 、 0.75 和 1.00 mm), 金属球每移动 0.25 mm , 按计划射野角度转动机架、治疗床和准直器, 并用EPID采集图像。最后, 将采集的图像导入RIT113软件并分析结果。

1.2.3 机架、治疗床和准直器到位精度对结果的影响

另外, 在Eclipse13.6计划系统设计C、D两组计划, C组采用6 MV FF X射线, D组采用6 MV FFF X射线。C、D组均含有两个射野, 一个射野机架、治疗床和准直器均为 0° , 另一个射野是机架准直器角度为 90° , 治疗床为 0° 。两组剂量率均为 600 MU/min 、射野大小 $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ 。当机架、治疗床和准直器角度均为 0° 时, 在LAT和LNG方向上分别引入位移; 当机架和准直器的角度均为 90° , 治疗床角度为 0° 时, 在VRT方向上引入位移。引入位移方式同实验A、B, 在两种情况下采集图像: ①每次移动金属小球时, 将机架、准直器和治疗床旋转 90° 后再转回原位, 采集EPID图像; ②每次只改变小球位置, 保持机架、准直器和治疗床不动, 采集EPID图像。

1.3 统计学分析

应用软件IBM SPSS 23进行统计学分析, 定量参数以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 对符合正态分布的两组资料行配对 t 检验, 对不符合正态分布的两组资料行Wilcoxon符号秩和检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 重复性

由图2和图3可知, 6 MV X射线在LAT和LNG方向归一化后结果分别为 0.994 ± 0.031 和 0.998 ± 0.009 , 6 MV FFF X射线在LAT和LNG方向上归一化后结果分别为 1.000 ± 0.010 和 1.001 ± 0.014 。

2.2 准确性

本研究通过在LAT、LNG和VRT方向上分别引入已

表1 两组计划射野角度 ($^\circ$)

组件	角度															
机架	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	90	180	180	270	270
治疗床	0	0	0	0	0	0	45	90	270	315	0	0	0	0	0	0
准直器	0	45	90	135	270	315	90	90	90	90	270	90	270	90	270	270

知位移来评估 RIT113 软件识别小球中心相对于辐射中心的位移精度 (表 2)。RIT113 软件等中心测试在 6 MV FF X 射线和 6 MV FFF X 射线下的准确性在 LAT 和 LNG 方向上有统计学差异 ($P < 0.05$), 在 VRT 方向上没有统计学差异 ($P > 0.05$)。

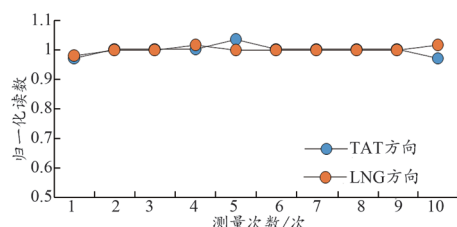


图2 RIT113等中心测试在6 MV FF X射线下的重复性曲线

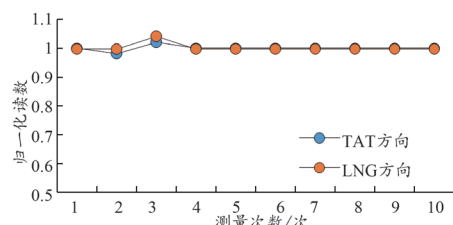


图3 RIT113等中心测试在6 MV FFF X射线下的重复性曲线

表2 两种条件下RIT113等中心测试的准确性比较 (mm)

项目	LAT位移	LNG位移	VRT位移
6 MV FF X射线	0.026 ± 0.005	0.041 ± 0.014	0.018 ± 0.009
6 MV FFF X射线	0.015 ± 0.008	0.023 ± 0.017	0.015 ± 0.014
t/Z值	-2.041	2.943	-0.513
P值	0.041	0.022	0.608

2.3 机架、治疗床和准直器到位精度对结果的影响

本文在用 RIT113 软件对图像进行分析时, 引入的已知位移在图像分析结果上表现为小球中心与辐射中心在水平和垂直方向上偏差。每次只引入一个方向上的位移, 即另外两个方向上位移理论上应保持不变, 若水平方向表示的是引入位移的方向, 则垂直方向表示另外两个方向, 反之亦然。为了研究机架、治疗床以及准直器到位精度对结果的影响, 本文分析 C、D 两组计划在两种情况下的偏差, 结果如表 3 所示。

表3 机架、准直器和治疗床到位精度对RIT113等中心测试准确性的影响

项目	平均值±标准差	最大值	t值	P值
第一种情况	0.051 ± 0.010	0.26	5.595	0.002
第二种情况	0.015 ± 0.006	0.08		

3 讨论

用于加速器等中心验证的方法主要有机械指针、基于胶片的 W-L 实验和基于 EPID 的 W-L 实验。传统的使用机械指针验证加速器等中心的方法费时费力, 结果依赖观察者, 而且指针易损坏、容易错位, 不适合常规使用^[9]。基于胶片的 W-L 实验同使用机械指针验证加速器等中心一样, 费时费力, 而且结果依赖观察者^[10]。不同物理学家对辐射过的胶片进行反复分析表明, 等中心的位置只能以 0.3~0.4 mm 的

精度进行估算^[11]。为避免这一误差的产生, 临床越来越多地使用 EPID 采集图像, 通过软件自动分析等中心偏差^[12-16]。RIT 软件提供了一种无胶片、全自动化等中心测试方法, 可以自动对 EPID 采集的图像进行分析^[17], 从而避免引入观察者的主观误差, 但以往的研究并未考虑 RIT 软件在测量过程中可能带来的误差。本文通过重复测量及引入已知位移对 RIT113 软件等中心测量的重复性和准确性进行验证^[17-18]。

日常对加速器等中心进行检测时, 使用 FF 模式射线较多, 但 FFF 模式经常用于 SBRT 的治疗^[19]。而 Zhang 等^[20]的研究表明由于均整器和参数设置等的影响, 一种能量的等中心可能会偏离另一种能量, 不同能量等中心之间存在差异, 这就会影响放射治疗的准确性。因此, 本文验证了 RIT113 软件在两种不同能量下的重复性和准确性。

本文在保持小球、机架、治疗床以及准直器不动的情况下重复采集 10 张图片, 并使用 RIT113 软件分析小球位置变化情况, 两种能量在不同方向上误差均在 0.02 mm 内, 获得了很好的一致性。A、B 两组实验通过引入位移来测试 RIT113 软件的准确性, 从结果可以看出, 该软件可较好地计算出引入位移, 6 MV FF X 射线和 6 MV FFF X 射线平均偏差分别为 (0.028 ± 0.013) mm 和 (0.018 ± 0.013) mm, 精度较高。

本文 A、B 组实验在某一方向上引入位移时, 另外两个方向应保持不变, 但在实验中发现另外两个方向上最大偏差达到了 0.26 mm。为探究其原因, 增加了 C、D 两组实验, 发现这可能是机架、治疗床及准直器在旋转过程中的到位精度所致。这是由外部因素导致的误差, 而非软件自身的原因, 但也会影响软件分析加速器等中心精度的准确性。Tsunda 等^[21]的研究同样表明机架、准直器等到位精度会对等中心验证产生影响。因此, 在对加速器等中心进行验证时, 需要确保加速器机架、准直器以及治疗床的到位精度。此外, 当发现有较大偏差时, 需要进行重复采集, 以确保软件分析等中心的准确性。

使用 EPID 采集图像对加速器等中心进行验证, 主要受图像分辨率的影响。Ravindran^[22]提出一种基于 Matlab 的等中心分析算法, 其使用两种不同分辨率的 EPID, 每种 EPID 使用两种不同的能量 (6 和 8 MV 及 2.5 和 6 MV) 采集图像, 发现该算法对分辨率较高的 EPID 采集的图像有更高的精度, 不同能量之间结果没有明显差异。本文将 A、B 两组实验结果进行配对 t 检验, 发现 RIT113 软件在 6 MV FF 和 6 MV FFF 两种不同能量 X 射线下的准确性在 LAT 和 LNG 方向上有统计学差异 ($P < 0.05$), 在 VRT 方向上没有统计学差异 ($P > 0.05$)。

本文通过一系列的实验验证了 RIT113 软件在两种不同能量下测试加速器等中心的重复性和准确性, 证明了其临床使用的可行性。但在实验过程中发现机架、治疗床及准直器的到位精度会对加速器等中心测试的准确性带来影响, 这需要在加速器等中心测试过程中采取相应的措施, 减少其带来的误差。高精度放疗时代对加速器等中心的精度要

求越来越高,提高加速器等中心分析算法的精度可能是未来发展方向之一。

[参考文献]

- [1] Klein EE,Hanley J,Bayouth J,*et al*.Task group 142 report: quality assurance of medical accelerators[J].*Med Phys*,2009,36(9): 4197-4212.
- [2] Owen D,Sio TT.Stereotactic body radiotherapy (SBRT) for central and ultracentral node-negative lung tumors[J].*J Thorac Dis*,2020,12(11):7024-7031.
- [3] Rim CH,Kim HJ,Seong J.Clinical feasibility and efficacy of stereotactic body radiotherapy for hepatocellular carcinoma: a systematic review and meta-analysis of observational studies[J].*Radiat Oncol*,2019,131:135-144.
- [4] De la Pinta C.SBRT in non-spine bone metastases: a literature review[J].*Med Oncol*,2020,37(12):119.
- [5] Jereczek-Fossa BA,Rojas DP,Zerini D,*et al*.Reirradiation for isolated local recurrence of prostate cancer: mono-institutional series of 64 patients treated with salvage stereotactic body radiotherapy (SBRT)[J].*Br J Radiol*,2019,92(1094):20180494.
- [6] Calvo-Ortega J,Moragues-Femenía S,Laosa-Bello C,*et al*.A closer look at the conventional Winston-Lutz test: analysis in terms of dose[J].*Rep Pract Oncol Radiother*,2019,24(5):421-427.
- [7] Akino Y,Fujiwara M,Mizuno H,*et al*.Feasibility of virtual starshot analysis providing submillimeter radiation isocenter accuracy: a long-term multi-institutional analysis[J].*J Appl Clin Med Phys*,2019,20(10):74-83.
- [8] Lutz W,Winston KR,Maleki N.A system for stereotactic radiosurgery with a linear accelerator[J].*Int J Radiat Oncol Biol Phys*,1988,14(2):373-381.
- [9] Rowshanfarzad P,Sabet M,O'Connor DJ,*et al*.Isocenter verification for linac-based stereotactic radiation therapy: review of principles and techniques[J].*J Appl Clin Med Phys*,2011,12(4):185-195.
- [10] Szweda H,Graczyk K,Radomiak D,*et al*.Comparison of three different phantoms used for Winston-Lutz test with Artiscan software[J].*Rep Pract Oncol Radiother*,2020,25(3):351-354.
- [11] Chojnowski J,Gajewski R.An automatic method of the isocentre position verification for micromultileaf collimator based radiosurgery system[J].*Australas Phys Eng Sci Med*, 2011,34(1):15-21.
- [12] Kang H,Patel R,Roeske JC.Efficient quality assurance method with automated data acquisition of a single phantom setup to determine radiation and imaging isocenter congruence[J].*J Appl Clin Med Phys*,2019,20(10):127-133.
- [13] Du W,Johnson JL,Jiang W,*et al*.On the selection of gantry and collimator angles for isocenter localization using Winston-Lutz tests[J].*J Appl Clin Med Phys*,2016,17(1):167-178.
- [14] Barnes MP,Greer PB.Evaluation of the truebeam machine performance check (MPC) geometric checks for daily IGRT geometric accuracy quality assurance[J].*J Appl Clin Med Phys*,2017,18(3):200-206.
- [15] Du W,Gao S,Jiang W,*et al*.Independent evaluation of the effectiveness of IsoCal in improving image center accuracy on Varian TrueBeam and Clinac machines[J].*J Appl Clin Med Phys*,2018,19(5):483-490.
- [16] Hirashima H,Nakamura M,Miyabe Y,*et al*.Quality assurance of non-coplanar, volumetric-modulated arc therapy employing a C-arm linear accelerator, featuring continuous patient couch rotation[J].*Radiat Oncol*,2019,14(1):1-10.
- [17] Hao Y,Schmidt MC,Wu Y,*et al*.Portal dosimetry scripting application programming interface (PDSAPI) for Winston-Lutz test employing ceramic balls[J].*J Appl Clin Med Phys*, 2020,21(11):295-303.
- [18] Fernandez DJ,Sick JT,Fontenot JD.Interplay effects in highly modulated stereotactic body radiation therapy lung cases treated with volumetric modulated arc therapy[J].*J Appl Clin Med Phys*,2020,21(11):58-69.
- [19] Tyler M,Dowdell S.Delivery efficiency and susceptibility to setup uncertainties of flattening filter free lung SBRT: influence of isocentre geometry and treatment modality[J].*Phys Med Biol*,2018,63(20):205017.
- [20] Zhang Y,Ding K,Cowan G,*et al*.Alignment of multiradiation isocenters for megavoltage photon beam[J].*J Appl Clin Med Phys*,2015,16(6):314-324.
- [21] Tsuneda M,Nishio T,Saito A,*et al*.A novel verification method using a plastic scintillator imagining system for assessment of gantry sag in radiotherapy[J].*Med Phys*,2018,45(6):2411-2424.
- [22] Ravindran PB.A study of Winston-Lutz test on two different electronic portal imaging devices and with low energy imaging[J].*Australas Phys Eng Sci Med*,2016,39(3):677-685.

本文编辑 崔丽君