

基于 Varian 加速器 MPC 模块与晨检仪的加速器束流稳定性研究



刘鑫业¹, 谢良喜¹, 付曹飞¹, 许晓云¹, 徐婷婷¹, 高丽敏², 邓祯祥^{1,*}

¹ 厦门大学附属翔安医院肿瘤放疗科, 福建厦门 361100

² 厦门大学附属翔安医院病案室, 福建厦门 361100

摘要: 背景: 我院自 2020 年 12 月开始使用瓦里安 VitalBeam 直线加速器, 精准放疗中加速器束流稳定性的日常质量控制至关重要, 本文对两种监测方式在加速器束流稳定性上做比较分析。目的: 利用机器性能检测 (Machine Performance Check, MPC) 以及晨检仪分析研究 VitalBeam 加速器射线的长期稳定性。方法: 选取瓦里安直线加速器 (VitalBeam) 最常用于患者治疗的 6MV、10MV X 线能量进行分析比较, 首先用剂量仪对直线加速器 (VitalBeam) 6MV、10MV X 线能量进行绝对剂量的校正, 建立基准值。收集 2021 年 11 月-2022 年 5 月的晨检仪监测加速器 (VitalBeam) 的日检数据: 中心轴输出剂量 (CAX) 偏移量、对称性 (SYM) 和平坦度 (FLAT) 偏移数据, 做好统计并记录; 同时收集相应时间 MPC 日检数据: 束流输出量改变、均匀度改变和中心偏移量数据, 做好统计并记录。对射束输出变化做统计学分析, 其他数据做稳定性分析。结果: 晨检仪和直线加速器 (VitalBeam) MPC 模块能准确检测出加速器束流性能的改变, 检测数值稳定并都在容差范围内, 晨检仪与 MPC 的 6MV、10MV 射束输出比较均具有统计学意义 ($P < 0.05$)。结论: MPC 和晨检仪的日检工作都能满足加速器质检要求, 射束输出监测上晨检仪具有优势, 但是 MPC 比晨检仪具有更快的执行效率, 根据单位实际需求选择使用。

关键词: 晨检仪; MPC; 直线加速器; 束流稳定性; 日常检测

DOI: [10.57237/j.se.2023.02.001](https://doi.org/10.57237/j.se.2023.02.001)

The Beam Stability Study of Varian Linear Accelerator Based on MPC and Morning Check

Liu Xinye¹, Xie Liangxi¹, Fu Caofei¹, Xu Xiaoyun¹, Xu Tingting¹, Gao Limin², Deng Zhenxiang^{1,*}

¹ Department of Oncology and Radiotherapy, Xiang'an Hospital Affiliated to Xiamen University, Xiamen 361100, China

² Department of Medical Records, Xiang'an Hospital Affiliated to Xiamen University, Xiamen 361100, China

Abstract: Background: Our hospital has been using Varian VitalBeam linear accelerator since December 2020. Daily quality control of accelerator beam stability in precision radiotherapy is very important. In this paper, we compare and analyze the beam stability of the accelerator with two monitoring methods. Objective: The long-term stability analyze and study of VitalBeam linear accelerator by using machine Machine Performance Check (MPC) and Morning Check. Methods: The energies of 6MV and 10MV x-ray most commonly used by Varian Linear accelerator (VitalBeam) for

基金项目: 厦门市医疗卫生指导项目 (3502Z20209111).

*通信作者: 邓祯祥, ghost_fx135@163.com

收稿日期: 2022-11-08; 接受日期: 2023-03-07; 在线出版日期: 2023-03-28

<http://www.sciandeng.com>

patient treatment were analyzed and compared, Firstly, the absolute dose of 6MV and 10MV X-ray energies of VitalBeam was calibrated. Collected and analyzed the morning checking data of VitalBeam from November 2021 to May 2022, including the CAX, SYM and FLAT offset data; the MPC daily data was collected and analyzed at the same time, which include beam output change, uniformity change and beam center shift data. The beam output changes were statistically analyzed, and the stability of other data was analyzed. Results: The Morning Check and MPC can accurately detect the change of accelerator beam performance, and the measured values are stable and within the tolerance range, The comparison of 6MV and 10MV beam outputs between the morning detector and MPC was statistically significant ($P < 0.05$). Conclusion: Both MPC and Morning Check can detect the requirements of accelerator quality assurance, the beam output monitoring morning detector has advantages, but MPC has faster execution efficiency than morning detector instrument, and is more suitable for units with a large number of patients treated daily.

Keywords: Morning Detector; MPC; Linear Accelerator; Beam Stability; Daily Inspection

1 引言

现代医学发展至今, 放射治疗已经成为治疗肿瘤的主要手段之一, 而医用电子直线加速器作为放射治疗的主要设备, 其稳定性的好坏直接影响放射治疗对肿瘤的效果。有关肿瘤控制概率 (tumour control probability, TCP) 和正常组织并发症概率 (normal tissue complication probability, NTCP) 的研究表明, 当照射剂量偏离 7%~10% 时, 会导致肿瘤和正常组织出现临床上可检测到的变化[1]。所以保证患者在放射治疗过程中束流的精准性以及稳定性就显得格外重要, 为此我们必须对直线加速器在放射治疗全过程进行严格的质量保证和质量控制[2]。根据美国医学物理学家协会 (American Association of Physicists in Medicine, AAPM) 的 40 号报告 (TG40) [3] 和 142 号报告 (TG142) [4] 对加速器不同频度的质控 (QA) 内容, 将加速器质控工作主要分为日检、月检和年检这三个频度。其中, 日检工作能快速反映直线加速器的精准度[5]。

加速器束流稳定性的日常质量控制是放射治疗一个非常重要的方面, 包括中心轴输出剂量 (CAX)、对称性 (SYM)、平坦度 (FLAT)、均匀度和中心偏移量等主要指标。为了保证日检工作的快速及有效的进行, 本文利用美国瓦里安加速器自带机器性能检测 (Machine Performance Check, MPC) 模块以及 PTW QUICK-CHECK^{Weblin} 晨检仪对直线加速器日常的束流稳定性进行检测, 并对检测结果的稳定性进行分析研究[6]。

2 材料与方法

2.1 仪器设备

2.1.1 瓦里安 Vital Beam 直线加速器

瓦里安 VitalBeam 直线加速器是目前世界上先进的放射治疗技术的设备之一。与普通直线加速器相比, 该款全数字智能加速器运用了大量创新技术, 具备全面的放射外科和放射治疗能力, 系统运行更加快速、高效, 治疗精度更准, 尤其在早期肺癌、胰腺癌、肝癌、脑肿瘤、前列腺癌、寡转移瘤等肿瘤立体定向放疗方面具有独特优势。本院于 2020 年引进并投入使用。

2.1.2 瓦里安 Vital Beam 机器性能检测模块 (Machine Performance Check, MPC)

(Machine Performance Check, MPC) 是美国瓦里安公司开发集成到加速器系统内的自检工具, 通过电子射野影像系统 (Electronic Portal Imaging Device, EPID) 获取数据检测机械及剂量输出等机器性能参数, 确保在系统要求的精准度范围内运行, 在日常加速器的质检工作中起重要作用[7]。

2.1.3 PTW QUICK-CHECK^{Weblin} 晨检仪

PTW 公司 QUICK CHECK weblin (PTW, Freiburg, Germany) 晨检仪, 是一款稳定可靠易于操作的直线加速器质控测量设备。晨检仪提供与直线加速器日常稳定性检测相关的所有参数, 如: 对称性、平坦度、中心轴剂量、照射时间、剂量率、出束时间、温度和气压等。

2.2 基准值的建立

在标定完的加速器下对 6MV、10MV X 线能量在晨检仪以及 MPC 模块进行基准值的创建。

打开医用直线加速器 MPC 界面, 登陆物理师账号, 选择 6x Beam & Geometry Check 以及 10x Beam Check 能量进行检测。MPC 模体摆放以及各项操作正常进行, 在 MPC 一个能量项目完成后会自动跳至下一个能量项目。完成该能量检测之后在 MPC 界面右上方检测结果中选择 Appoint Baseline, 建立新的基准值, 存储作为日常对比的基准。MPC 相关数据的容差范围为, 输出量 $\leq 2\%$ 、束流均匀度 $\leq 2\%$ 、中心偏移量 $\leq 0.5\text{mm}$ [5]。

在建立基准值之前将晨检仪各项参数容差范围设置为: CAX $\leq 2\%$ 、FLAT $\leq 2\%$ 以及 SYM $\leq 2\%$ [4]。测量条件为: 机架 (gantry)、准直器 (collimate) 和治疗床角度均为 0° ; 照射野 Fs=10 cm \times 10 cm, SAD=100 cm, MU=100, 剂量率为 600 MU/min [5]。在直线加速器射束输出完毕后, 在晨检仪上设置 CAX、FLAT、SYM 的基准数值 100, 存储作为日常对比的基准。

2.3 测量方法

每次放疗开始前都应对加速器进行晨检, 以保证加速器的各项参数的稳定性。我科每日的晨检工作有: 检查激光灯是否偏移、通风口是否工作、温湿度、加速器气压水压、加速器 MPC 自检、晨检仪检测等。

首先进行 MPC 模体摆放, 模体应卡在 MPC 模体托架上, 如果有出现和托架不吻合或者有松动的情况应及时调整。在加速器操作电脑打开 MPC 界面, 选择 6x Beam & Geometry Check、10x Beam Check 项目进行检测。MPC 会对 (床) Couch、(机架) Gantry、(射束) Beam、(准直器) Collimation 等项目进行检测, 检测结束后可在 MPC History 中查看检测结果, 监测当天加速器各项性能超出容差范围则出现报警提示, 报警以黄色和红色钩形符号显示, 黄色代表处于容差范围边缘 (未超出), 红色代表超出容差范围。

晨检仪使用前需要利用光野十字线以及激光灯进行摆位, 设置好 6MV、10MV X 线的照射条件[8]。每日测量结束后可以通过晨检仪彩色中控屏对检测项目结果进行查看。本文主要对晨检仪 6MV、10MV X 线的中心轴输出量 CAX、射野平坦度 FLAT、射野对称性 SYM 的结果进行数据研究, 其中 SYM 分前后 (GT) 方向和左右 (LR) 方向。如果测量结果超出所设置的容差范围, 晨检仪屏幕侧则会出现红色警报闪烁提醒, 晨检仪电量过低会显示橙色报警。

Vital Beam 直线加速器可直接导出 MPC 结果数据、晨检仪可以通过与对应工作电脑进行连接导出测量结果数据, 本文收集了 2021 年 11 月至 2022 年 5 月的 MPC 与晨检仪晨检数据, 并对晨检仪数据 CAX、FLAT、SYM 以及 MPC 的输出量、束流均匀度、中心偏移量等数据, 进行稳定性分析。

2.4 统计学处理

对数据库的录入及统计分析均通过 SPSS 20.0 软件实现, 计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 组间比较采用 t 检验, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

3 结果

3.1 MPC 与晨检仪射束输出变化结果分析

表 1 显示的是 MPC、晨检仪检测射束输出变化的均值 \pm 标准差、最大、最小偏移量。最大偏移为 MPC 10MV BeamOutputChange [%], 偏移量为 1.77%。SPSS 统计结果显示晨检仪与 MPC 的 6MV、10MV 射束输出均具有统计学意义 ($P < 0.05$)。图 1 可以看出, 从 2021 年 11 月-2022 年 5 月所收集的 6MV、10MV 射束输出数据都在容差范围内。物理师在 2022 年 2 月 3 日进行剂量校准, 此后射束输出变化呈逐渐升高趋势。因为加速器随着使用时常增加束流的输出会发生变化, 属于正常现象[5]。

表 1 晨检仪和 MPC 射束输出变化比较

检测项目	均值 \pm 标准差 [%]	最大偏移量 [%]	最小偏移量 [%]	P
晨检仪 6xCAX doseChange [%]	0.29 \pm 0.28	1.39	0	0.007
MPC 6xBeamOutputChange [%]	0.37 \pm 0.21	0.9	0	
晨检仪 10xCAX doseChange [%]	0.54 \pm 0.35	1.41	0.01	0.001
MPC 10xBeamOutputChange [%]	1.08 \pm 0.47	1.77	0.18	

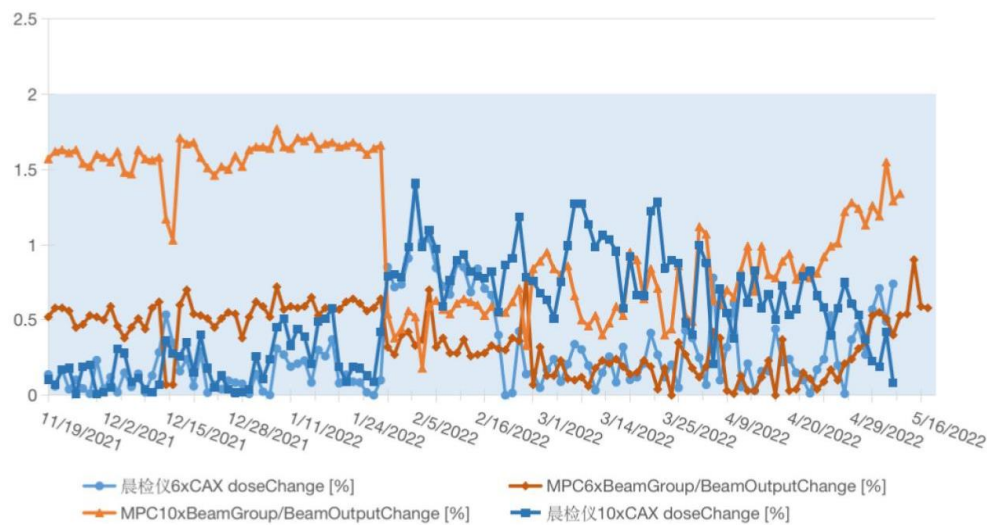


图 1 晨检仪、MPC 射束输出变化折线图

3.2 MPC 射束均匀性与晨检仪射束平坦度结果分析

表 2 显示的是 MPC、晨检仪检测射束均匀性和平坦度的均值±标准差、最大、最小偏移量，图 2 可以直观看出其偏移量变化，其数值均在容差范围内。

表 2 晨检仪射束平坦度与 MPC 射束均匀性偏移量比较

检测项目	均值±标准差 [%]	最大偏移量 [%]	最小偏移量 [%]
晨检仪 6xFlatness Change%	0.17±0.10	0.4	0
晨检仪 10xFlatness Change%	0.15±0.11	0.53	0
6xBeamGroup/BeamUniformityChange [%]	0.29±0.11	0.65	0.13
10xBeamGroup/BeamUniformityChange [%]	0.29±0.06	0.49	0.17

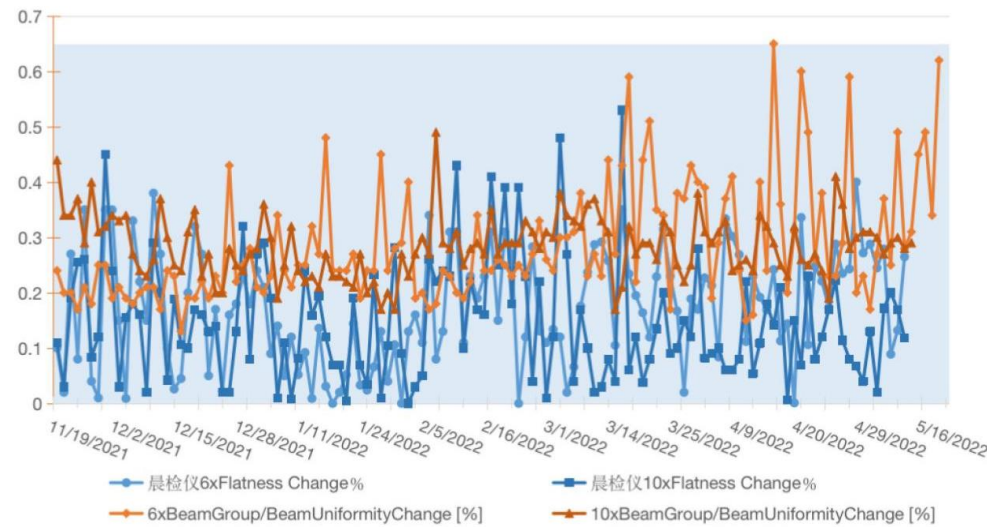


图 2 晨检仪射束平坦度、MPC 射束均匀性偏移折线图

3.3 MPC 射束中心偏移结果分析

表 3 显示的是 MPC 检测射束中心偏移的均值±标准差、最大、最小偏移量，图 3 可以直观看出其偏移量变化，其数值均在容差范围内。

表 3 MPC 射束中心偏移

检测项目	均值±标准差 [%]	最大偏移量 [%]	最小偏移量 [%]
6xBeamGroup/BeamCenterShift [mm]	0.06±0.03	0.13	0
10xBeamGroup/BeamCenterShift [mm]	0.13±0.03	0.22	0.08

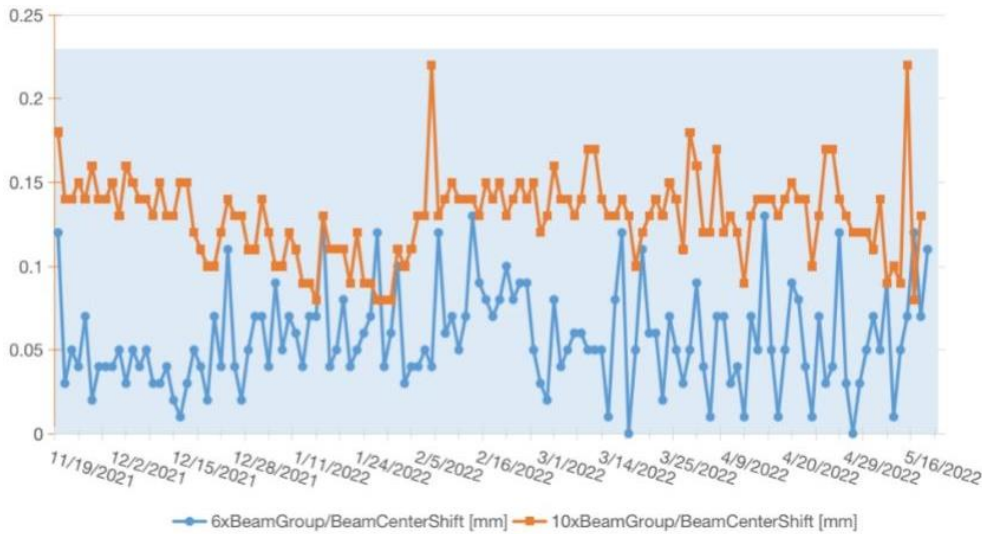


图 3 MPC 射束中心偏移折线图

3.4 晨检仪射束对称性结果分析

表 4 显示的是晨检仪检测射束对称性的均值±标准差、最大、最小偏移量，图 4 可以直观看出其偏移量变化，其数值均在容差范围内。

表 4 晨检仪射束对称性偏移

检测项目	均值±标准差 [%]	最大偏移量 [%]	最小偏移量 [%]
晨检仪 6xSymmetry LR Change%	0.33±0.21	1.01	0
晨检仪 6xSymmetry GT Change%	0.26±0.25	1.12	0
晨检仪 10xSymmetry LR Change%	0.31±0.21	1.17	0.01
晨检仪 10xSymmetry GT Change%	0.43±0.30	1.5	0.01

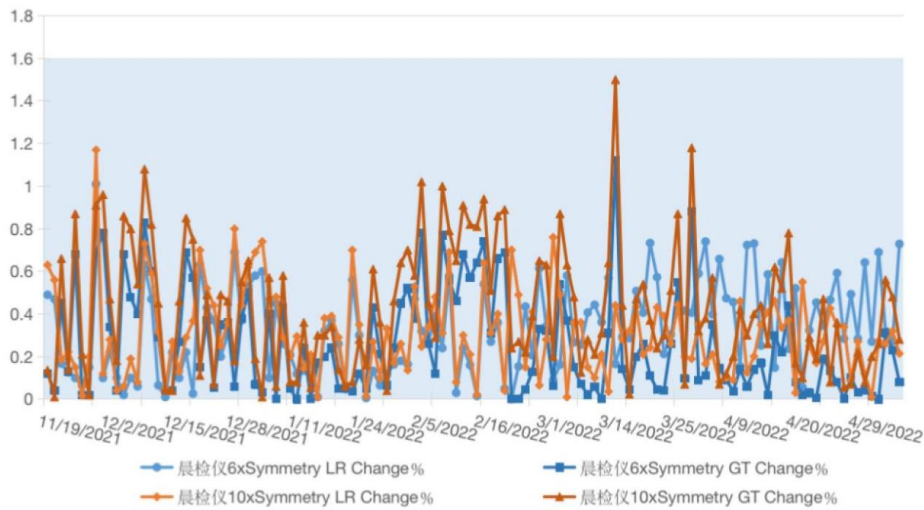


图 4 晨检仪射束对称性偏移折线图

4 讨论

瓦里安 MPC 主要用于检测直线加速器的束流一致性、准直系统、等中心床摆位和机架旋转精度等多方面的关键性能指标,通过电子射野影像系统(Electronic Portal Imaging Device, EPID)获取数据检测机械及剂量输出等机器性能参数,确保在系统要求的精准度范围内运行,在日常加速器的质检工作中起重要作用。PTW QUICK-CHECK^{Webline} 晨检仪便于携带,无需电源,可提供与直线加速器日常稳定性检测相关的所有参数,如:对称性、平坦度、中心轴剂量、照射时间、剂量率、出束时间、温度和气压等。

根据本文结果可知晨检仪和 MPC 检测项目均在设置的容差范围内,晨检仪满足射束偏差 $CAX \leq 2\%$ 、 $FLAT \leq 2\%$ 以及 $SYM \leq 2\%$ 、MPC 满足射束输出量 $\leq 2\%$ 、束流均匀度 $\leq 2\%$ 、中心偏移量 $\leq 0.5\text{mm}$ 。用统计学方法比较了晨检仪与 MPC 射束输出变化,6MV 中 $P < 0.01$ 、10MV 中 $P < 0.01$,具有统计学意义,结果显示晨检仪在监测射束输出变化上更加稳定。考虑到 MPC 模块使用 EPID 板区域探测器作为测量手段,利用其响应时间来客观监测射束的输出变化,这与晨检仪利用电离室测量射束输出的手段有一定区别,所以偏移值也会呈现一定差异,但总体趋于稳定,满足我们日常监测的需求。MPC 均匀度变化描述了影像板中心区域探测器响应变化的总百分比,描述了滤掉高频噪声后的影像上差值最大的两个像素的比值,此评估并不直接测量射束的平坦度与对称性,但结果对其变化很敏感,所以本文不单独把此数值与晨检仪平坦度、对称性进行统计学比较,只对双方稳定性进行研究。在本文研究过程中出现当天无法同时完成 6MV、10MV MPC 检测的情况,分析后得出以下原因:治疗师当天治疗任务过重忽略了对当天不使用的 10MV 能量的检测、加速器端数据传输有误导致 MPC 部分数据丢失。以上属于偶然事件对本文研究影响甚微,根据大量检测数据做出的图表可以直观看束流稳定性。加速器机械和剂量输出稳定性各检测参数虽相互独立,但对治疗的影响是系统性的,如等中心大小越大表明等中心误差越大,造成了治疗位置和剂量偏差[9]、KV 探测板投影偏移会影响影像引导的精准度造成治疗位置偏差[10-11]、叶片的偏移等会造成治疗位置和剂量偏差[12]。因此,对检测不通过的情况需认真分析原因并及时处理,重新检测指标正常后才可进行治疗。

大多数检测仪仅对剂量稳定性进行检测,缺少对等中心、准直器、机架和床运动等机械参数精准度的关注[13],相比之下 MPC 功能更为完善。MPC 主要有以下几个特点:①光子束剂量稳定性项目基本覆盖范围广,包括常规放射治疗、SRS 及 SBRT 技术的关键机械及剂量输出指标要求;②对剂量输出变化、一致性变化及中心位移等主要技术指标同对称性和均整度等指标相比要更加严格,基于基准值可实现对加速器剂量输出稳定性的监测[7];③MPC 不需要提前预热等预处理操作,QA 的检测操作方法简单、安装固定较为快捷,可以在 4~5 min 快速准确的完成加速器 QA 检测,极大降低了放射治疗中日常检测的工作负担,在设备高负荷运行下既保证了放射治疗质量又提高了工作效率[14-15]。MPC 作为一种晨检手段,相对于其他常规晨检设备,有着诸多优点:高效便捷,数据可视化程度较高,可以用图表的形式直观的展现,方便了放疗技师的日常使用。另外,其数据可长期记录,还可以方便的导出数据,对物理师的定期 QA 有实用的参考价值。在日常检测过程中我们优先选 MPC 检测[6]。

5 结论

VitalBeam 医用直线加速器束流稳定性较好, MPC 与晨检仪对加速器束流检测均具有较好的稳定性和敏感性,使用两者执行 QA 日检均能保证精准放射治疗的稳定实施。其中在射束输出监测上晨检仪具有更好的稳定性,但是 MPC 比晨检仪具有更快的执行效率,更适用于日治疗患者量大的单位,可根据单位实际需求选择使用。

参考文献

- [1] 王哲,程金生.晨检仪在直线加速器日常质量控制应用中的性能研究[J].中国医学装备,2018,15(4):43-47.
- [2] 习海燕.医用直线加速器 TrueBeam 剂量输出长期稳定性[J].医疗装备,2019,32(17):28-29.
- [3] KUTCHER G J, COIA L, GILLIN M, et al. Comprehensive QA for radiation oncology: report of AAPM radiation therapy committee task group 40 [J]. Med Phys, 1994, 21(4): 581-618.
- [4] KLEIN E E, HANLEY J, BAYOUTH J, et al. Task Group 142 report: quality assurance of medical accelerators [J]. Med Phys, 2009, 36(9): 4197-4212.

- [5] 赖友群.基于 MPC 的 VitalBeam 直线加速器束流一致性与准直系统性能检测 [J]. 中国医疗器械信息, 2020, 26 (18): 177-180.
- [6] 杨玉敏.基于 MPC 分析 VitalBeam 加速器的稳定性[J].中国医学工程, 2022, 30 (9): 1-4.
- [7] 雷伟杰, 王斌, 韩理想. MPC 在 Vital Beam 加速器性能检测中的应用 [J]. 中国医疗设备, 2020, 35 (11): 73-76.
- [8] 蒋大振, 王骁踊, 张俊.运用 PTW QUICKCHECK weblin 晨检仪分析医用加速器输出稳定性 [J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36 (5): 540-545.
- [9] 易海云, 夏兵, 姚雷,等.照射野等中心的偏移对 VMAT 计划剂量准确性的影响 [J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 34 (8): 794-798.
- [10] 柳先锋,刘翔宇,何亚男,等. Varian On-Board Imager (OBI)常规测量方法及质量保证 [J]. 中国医学物理学杂志, 2011, 28 (1): 2344-2347.
- [11] 张基永, 吴丽丽, 林珠, 等.基于 MIMI 模体对 Truebeam 加速器影像系统的质量保证 [J]. 中国医学影像学杂志, 2015, 23 (7): 557-560.
- [12] 叶淑敏, 滕建建, 石锦平等. MLC 叶片系统误差对鼻咽癌 VMAT 和 IMRT 计划剂量影响的比较 [J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36 (10): 1139-1144.
- [13] 马蕾杰, 宋迎新, 雷宏昌等. XHA600E 型国产数字化加速器性能检测与对比评价 [J]. 中国医疗设备, 2018, 33 (6): 88-91.
- [14] 姜斐, 于浪, 孙显松等. 基于机器性能检查的 TrueBeam 直线加速器射线稳定性研究 [J]. 中国医学装备, 2022, 19 (5): 13-17.
- [15] 吴丽丽, 林浩, 陈泓, 等.医用加速器 TrueBeam 剂量输出长期稳定性研究 [J]. 中国医学装备, 2014, 11 (6): 34-37.