

# 瓦里安直线加速器机器性能检查中MV影像中心偏移量影响因素分析

许刘杨<sup>1</sup>, 王晓银<sup>2</sup>, 王守宇<sup>1</sup>, 庞克华<sup>1</sup>, 孙丹丹<sup>1</sup>, 杨军<sup>1</sup>

1. 新乡医学院第一附属医院放射治疗技术科, 河南 卫辉 453100; 2. 新乡医学院第一附属医院河南省神经修复重点实验室, 河南 卫辉 453100

**【摘要】目的:**探究导致瓦里安 Vital beam 直线加速器机器性能检查(MPC)结果中MV影像中心偏移量异常的主要因素。**方法:**通过修复MV影像臂“肩部”电机编码器、锁定治疗床位置以及等中心校正方法观察MPC结果中MV影像中心偏移量数值并进行统计学分析。**结果:**修复MV影像臂编码器后,MPC结果中MV影像中心偏移量小于空白组且差异具有统计学意义[空白组:(0.450±0.010) mm vs 维修编码器组:(0.310±0.001) mm]。等中心校正组MV影像中心偏移量与空白组相比差异无统计学意义。锁定治疗床组MV影像中心偏移量小于空白组且差异具有统计学意义[空白组:(0.450±0.010) mm vs 锁定治疗床组:(0.240±0.030) mm]。维修影像臂编码器并做等中心校正之后进行MPC时锁定治疗床与不锁定治疗床的MV影像中心偏移量结果无统计学差异。**结论:**MV影像臂“肩部”电机编码器损伤是导致MV影像中心偏移量异常的主要因素,开始MV影像中心检查前锁定治疗床位置能降低当次检查结果,但是无法彻底解决MV影像中心偏移的问题。

**【关键词】**直线加速器;机器性能检测;机载影像系统;编码器;等中心校正

**【中图分类号】**R815.6

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2024)07-0808-05

## Factors affecting MV imager projection offset in machine performance check for Varian linear accelerator

XU Liuyang<sup>1</sup>, WANG Xiaoyin<sup>2</sup>, WANG Shouyu<sup>1</sup>, PANG Kehua<sup>1</sup>, SUN Dandan<sup>1</sup>, YANG Jun<sup>1</sup>

1. Radiotherapy Technology Department, the First Affiliated Hospital of Xinxiang Medical University, Weihui 453100, China; 2. He'nan Key Laboratory of Neurorestoratology, the First Affiliated Hospital of Xinxiang Medical University, Weihui 453100, China

**Abstract: Objective** To explore the main factors affecting the MV imager projection offset in the machine performance check (MPC) for Varian Vital Beam linear accelerator. **Methods** The MV imager projection offsets in the MPC after repairing the MV imaging arm encoder of shoulder motor, locking the treatment couch, and isocenter calibration were analyzed. **Results** MPC results revealed that the MV imager projection offset after repairing the MV imaging arm encoder of shoulder motor was (0.310±0.001) mm, significantly less than (0.450±0.010) mm in the blank group. The difference in MV imager projection offset between the isocenter calibration group and the blank group was trivial. The MV imager projection offset after locking the treatment couch was (0.240±0.030) mm, significantly less than (0.450±0.010) mm in the blank group. When MPC was carried out after repairing the imaging arm encoder and performing isocenter calibration, there was no significant statistical difference in MV imager center offset between the locked and unlocked treatment couch. **Conclusion** The damage of MV imaging arm encoder of shoulder motor is the main factor causing abnormal MV imager projection offsets. Locking the treatment couch before the MV imaging center check can reduce the results, but it cannot eliminate the MV imager projection offset.

**Keywords:** linear accelerator; machine performance check; on-board imager; encoder; isocenter calibration

**【收稿日期】**2023-12-23

**【基金项目】**河南省医学科技攻关计划联合共建项目(LHGJ20220622)

**【作者简介】**许刘杨, 放疗物理师, 研究方向: 肿瘤放射治疗, E-mail: 13283739261@163.com

**【通信作者】**杨军, 副主任医师, 研究方向: 肿瘤放射治疗, E-mail: 2453381967@qq.com

## 前言

自医用直线加速器用于肿瘤放射治疗以来, 因其在剂量率高、应用范围广等方面有着明显优势, 在肿瘤放射治疗方面有着越来越广泛的应用<sup>[1-2]</sup>。随着医疗技术的进步, 医用直线加速器从最开始的二维放疗发展

到可以开展图像引导为基础的精确放射治疗技术。精确放疗不仅能够提高肿瘤的处方剂量,还能够最大程度的保护危及器官,降低治疗副作用<sup>[3-6]</sup>,提高患者治疗后的生活质量。精确放疗技术的开展一方面对患者的摆位有着更高的要求,另一方面对加速器和放疗计划的质量控制也有着更高的要求。近年来兴起的基于机载影像系统的图像引导技术可以显著降低患者的摆位误差<sup>[7-8]</sup>。图像引导放射治疗技术中,主要采用兆伏(MV)影像和千伏(kV)影像两种方式<sup>[9-10]</sup>,这两种方式优势互补,确保医用直线加速器的图像引导顺利执行。kV影像系统图像对比度高,主要进行治疗摆位中的位置校正<sup>[11]</sup>;MV影像可以在射野方向观对比射野与患者靶区的相对位置关系,还可以通过电子射野影像装置(Electronic Portal Imaging Device, EPID)影像板探测铇门到位精度、加速器射速等中心范围以及计划通过率情况。因此MV与kV影像系统的准确性至关重要<sup>[12]</sup>。

在进行图像引导时,需要确保kV影像中心、MV影像中心与加速器等中心保持一致,因此需要定期对kV影像中心和MV影像中心进行检查<sup>[13]</sup>。机架旋转至不同角度时,机头、MV影像臂、CBCT球管和kV探测板均受重力影响会发生一定角度的偏移。kV影像系统旋转中心和加速器MV中心分别拟合为一个直径小于2 mm的小球,当两个系统的运动控制系统发生故障时,会导致两个小球不重合,进而导致kV影像系统的图像引导不准确。因此需要定期进行kV和MV中心一致性校准,要尽量确保kV影像系统旋转中心的小球和加速器MV中心小球重合<sup>[6,14]</sup>。

瓦里安医疗系统公司研发的Vital beam直线加速器有MV和kV影像系统,为了保证两套影像系统能够有效、精准的开展工作,公司设计了机器性能检查(Machine Performance Check, MPC)系统<sup>[15]</sup>,该系统能够对Vital beam直线加速器等中心精度、kV中心偏移量和MV中心偏移量在内的多种性能进行检查<sup>[16-17]</sup>。在对新乡医学院第一附属医院放射治疗技术科安装的Vital beam直线加速器的MPC检查结果中,MV中心偏移量研究后发现MV影像板到加速器等中心偏移的最大距离存在明显波动,多次超出允许范围。检查MV板的机械性能均在符合要求的范围内,经过对近3个月的MPC结果分析,总结了几种影响MV影像中心偏移量的因素并进行统计,最终确定影响MV影像中心偏移量的主要因素。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究材料

瓦里安Vital beam直线加速器及其控制系统:包含兆伏级X射线投射系统以及机载影像系统,机载影像系

统由相互正交的MV级影像系统以及kV级影像系统组成;等中心校正模体的模体主体为一个直径16 cm、长25 cm、厚1.5 cm的塑料空心圆柱体,圆柱体内镶嵌16颗金属圆珠。进行MPC时,模体中心运动到机架等中心处后,机架分别旋转至0°、45°、90°、135°、180°、315°、270°、225°时拍摄机头在0°和90°的MV影像,检测模体中小球的位置,计算MV影像中心偏移量。kV影像中心则是在机架0°时拍摄模体kV影像,检测kV影像中小球位置,分析kV影像中心偏移情况。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 MPC时锁定治疗床** 瓦里安Vital beam直线加速器进行MPC时,检查项目先后顺序为剂量检查、多叶准直器(Multi Leaf Collimator, MLC)运动精度检查、铇门到位精度检查、kV影像中心检查、MV影像中心检查、床运动、机架运动<sup>[18]</sup>。

本研究通过多次观察MPC发现,进行MV、kV影像中心检查时,机架在0°拍摄第一张模体的MV影像,然后往后退0.3 mm,继续从不同机架角度拍摄模体的MV影像,分析MV影像中心偏移量。为了研究这种运动误差对MPC的影响,在每次进行kV、MV影像中心检查环节时,长按手控盒上的beam on按键使加速器处于待出束状态,直至治疗床保持稳定后松开beam on按键,进行kV、MV影像中心检查,消除床运动对MV影像中心偏移量的影响,探究该因素影响MV影像中心偏移量的情况。

**1.2.2 维修MV影像臂“肩部”电机编码器** Vital beam直线加速器机载影像系统为电机控制的自动运动系统,kV球管、kV影像板以及MV影像板的运动系统均由肩、肘、腕3个关节组成<sup>[19-20]</sup>。3个关节各有一个电机控制影像臂运动。每个电机配备一个编码器负责检测电机工作状态。如果编码器发生故障则无法精确地检测机械臂运动情况。根据上述原理,本研究分析加速器机架和机头发生机械故障的可能性不大,于是对MV影像臂的运动系统仔细检查。检查发现,MV影像臂的“肩部”液压油渗漏至肩部电机的编码器中,导致该部分编码器精确性降低,最终导致加速器影像臂故障,影响机架在旋转过程中MV影像板的稳定性。

**1.2.3 等中心校正** 加速器机架在旋转过程中由于MV影像臂自身的重力因素,材料的应力因素等导致编码器无法感知影像板发生偏移,无法实时对影像板位置进行校正,最终使得影像板位置发生偏移。直线加速器束流系统在长期使用过程中也会发生少量偏移,使得束流中心与影像中心发生偏移。故需要定期对kV影像中心和MV影像中心进行等中心校正。

加速器MPC检查结果中MV影像中心偏移量偏大时,对加速器进行等中心校正,分析是否由于加速器等

中心校正系统导致该现象。进行等中心校正时,需要将等中心校正模体中心与激光灯对齐,并且在机头上安装专用附件,在加速器控制系统维修界面选择 PVA calibration、ISO Calibration 进行等中心校正。首先采集机架 180°,机头在 195°、270°、90°和 0°时的模体影像,然后分别采集机架匀速旋转过程中,模体不同角度的 MV 和 kV 影像,对模体中的金属小球运动轨迹进行分析,拟合出 MV 和 kV 系统束流中心轨迹,并将两个中心轨迹进行重合。

### 1.3 统计学分析

采用 SPASS 20 软件进行数据分析,符合正态分布的数据用均值±标准差表示,对各组实验数据进行 *t* 检验分析。数据图表采用 GraphPad Prism 8 软件制作。

## 2 结果

### 2.1 等中心校正

图 1 为进行等中心校正时模体安装方法,将等中心校正模体用组件固定到治疗床上,在加速器机头上安装射线挡板,将模体上的标记点与激光灯对齐,按照预定程序控制加速器出束进行等中心校正。图 2 为进行等中心校正后结果图。图中左右两个表格分别表示 MV、kV 影像中心运动范围,表格上方有一绿色条状区域表示此次加速器等中心校正检测出等中心误差处于正常范围内,若不正常,该区域为红色。表格下方为 kV 和 MV 影像中心偏移量最终检测结果。



图 1 等中心校正模体安装方法

Figure 1 Installation of isocenter calibration phantom

### 2.2 不同因素对 MV 影像中心偏移量的影响

本文对影响 MV 影像中心偏移量的不同因素分别进行了分析。A 组:空白组,进行 MPC 时不做任何处理; B 组:等中心校正组; C 组:维修“肩部”电机编码器组; D 组:维修“肩部”电机编码器后做等中心校正; E 组: MV 影像中心校正开始前锁定治疗床; F 组:维修“肩部”编码器并进行等中心校正后在 MPC 过程中锁定治疗床组。

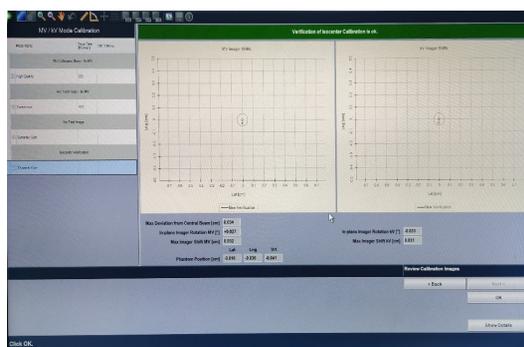


图 2 等中心校正结果图

Figure 2 Isocenter calibration results

对各组结果进行统计学分析,分析结果如图 3 所示。图 3a 表明,维修 MV 影像臂“肩部”电机编码器后, MV 影像中心偏移量小于 A 组且差异具有统计学意义 [C 组:  $(0.310 \pm 0.001)$  mm vs A 组:  $(0.450 \pm 0.010)$  mm,  $P < 0.05$ ]。D 组 MV 影像中心偏移量明显小于 A 组且差异具有统计学意义 [D 组:  $(0.280 \pm 0.001)$  mm vs A 组:  $(0.450 \pm 0.010)$  mm,  $P < 0.05$ ]。B 组 MV 影像中心偏移量与 A 组相比无统计学差异。E 组 MV 影像中心偏移量小于 A 组且具有统计学差异 [E 组:  $(0.240 \pm 0.030)$  mm vs A 组:  $(0.450 \pm 0.010)$  mm,  $P < 0.05$ ]。F 组 MV 影像中心偏移量明显小于 A 组且差异具有统计学意义 [F 组:  $(0.231 \pm 0.001)$  mm vs A 组:  $(0.450 \pm 0.010)$  mm]。如图 3b 所示, B 组数据离散度较大,说明每次校正后的 MV 影像偏移量变化较大,对比发现, C、D、E、F 组数据离散度较小,基本趋于一致,说明每次 MPC 结果中的 MV 影像中心偏移量较小且趋于稳定。

### 2.3 MV 影像臂机械性能检查

为了进一步研究维修“肩部”电机编码器对 MV 臂的机械性能影响,检查机器 MV 影像臂的垂直方向运动偏移、垂直精确度、横向与纵向运动准确度以及 MPC 通过率等性能指标。Vital beam 加速器使用国际电工委员会 (International Electrical Commission, IEC) IEC61217 坐标系, MV 影像板位置表示为 Z/Y/X, 分别表示加速器等中心位置为 0 点,在射线轴方向、进退方向和左右方向的具体位置。垂直方向运动偏移测量 MV 影像板沿射线轴方向由源皮距 100 cm 处运动到源皮距 140 cm 后 MV 影像板中心点在 Y/X 两个方向的偏移。垂直精确度测量 MV 影像板在源皮距 100 cm 和源皮距 150 cm 处电脑显示位置和实际位置的误差。横向与纵向运动准确度测量 MV 探测板在 Y 和 X 方向运动 10 cm 后运动位移误差。测量结果如表 1 所示,各项指标均在厂家要求范围内。该结果表明维修“肩部”电机编码器并作等中心校正后并不影响机器 (MV 影像臂) 的各项机械性能及稳定性,但是可以明显提高 MPC 通过率。

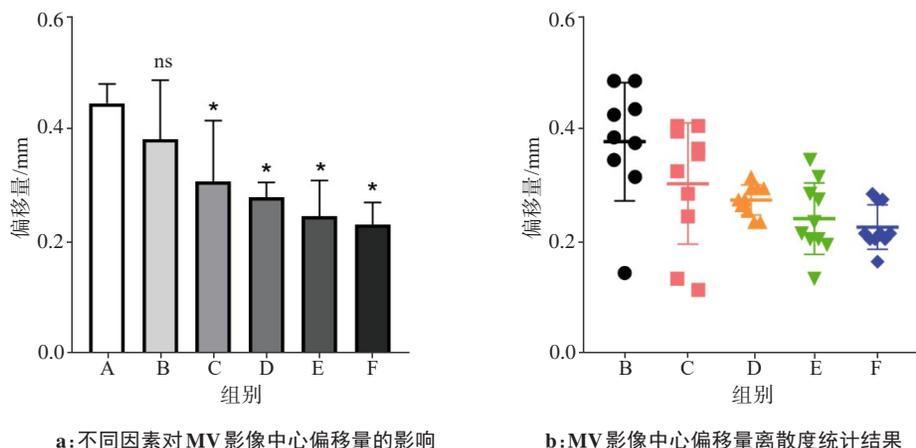


图3 不同因素对MV影像中心偏移量误差分析

Figure 3 Error analysis and statistics of different factors on MV imager projection offset

\*:与A组相比,  $P < 0.05$ ; ns:与A组相比,  $P > 0.05$

表1 维修“肩部”电机编码器对MV平板性能影响

Table 1 Maintenance of shoulder encoder for precision testing of MV flat plate machinery

指标		维修前	维修后	基准值
垂直方向运动偏移/mm	X方向	1	1	2
	Y方向	1.1	1	2
垂直精确度/cm	源皮距 100 cm	0/0/0	0/0/0	$\pm 0.2/0/0$
	源皮距 150 cm	-50.0/0/0	-50.0/0/0	$\pm 0.2/0/0$
纵向运动准确度/mm		2	2	5
横向运动准确度/mm		0.3	0.3	5
MPC通过率/%		60	100	100

### 3 讨论

本研究发现,加速器进行MPC时,MV影像中心偏移量波动较大,对加速器进行等中心校正之后虽然能降低MV影像中心偏移量,但是随着时间变化,MV影像中心偏移量继续变大,超出了允许范围。加速器在临床应用时,等中心校正无法频繁开展。国家癌症中心发布的医用电子直线加速器质量控制指南和美国医学物理学家协会(American Association of Physicists in Medicine, AAPM)发布的AAPM TG142报告中均建议kV、MV影像中心一致性检验和校准频次为每月一次<sup>[21-22]</sup>,故该方法无法从根本上解决MV影像中心偏移量异常问题。在MPC进行kV、MV中心偏移量检查之前控制加速器束流系统暂停出束,待治疗床前后方向运动到准确位置后再继续进行MPC能够明显降低当次MV影像中心偏移量,但是该方法同样无法彻底解决MV影像中心偏移量异常的问题。在对MV影像臂检查后并维修“肩部”电机的编码器之后发现MV影像中心偏移量较大的现象明显降低,差异有统计学意义,且检查结果

离散度较小。在此基础上进行等中心校正后,MV影像中心偏移值 $[(0.280 \pm 0.01) \text{ mm}]$ 趋于稳定,离散程度较维修编码器组(C组)降低。该结果与进行等中心校正结果中MV影像中心偏差值较为接近。维修编码器并做等中心校正之后进行MPC时,在进行kV和MV影像中心检查之前锁定射束,等到治疗床区域稳定之后再出束虽然能够降低MV影像中心偏移量的平均值,但是平均值降低不明显,与未锁定束流系统时相比差异无统计学意义。通过观察MPC过程可知,进行MV影像中心检查时,机架 $0^\circ$ 时治疗床前后方向位置坐标为97.95 cm,拍摄1张等中心模体的MV影像之后治疗床位置坐标运动至97.92 cm,此后机架旋转至不同角度拍摄等中心模体的MV和kV影像时,治疗床均处于静止状态。拍摄完成之后系统通过分析等中心模体所有的MV和kV影像,得到MV和kV影像中心位置,所有的影像中仅有第一张MV影像位置存在误差,这种误差在维修编码器和等中心校正后被抵消,因此维修编码器再做等中心校正之后锁定治疗床对MV影像中心偏移量影响不大。

综上所述,出现MV影像中心偏移量较大的主要原因因为MV影像臂编码器存在故障。此次发现“肩部”电机编码器存在渗油现象,导致加速器无法精确接收影像板实际位置,在机架旋转过程中MV影像板发生了极小的偏移,这种误差几乎不可见,所以在对MV影像探测板机械性能进行检查时未表现出明显差异。

近年来关于瓦里安加速器编码器的研究较多。彭旭东等<sup>[18]</sup>在研究中指出瓦里安加速器MPC中机架运动系统存在故障,更换相关编码器之后故障消除。林治学等<sup>[23]</sup>在研究中指出MLC故障时需要检测马达尾部的编码器损伤情况。此外,林治学等<sup>[24]</sup>在研究中指出瓦里安加速器出现机头附件联锁等故障原因主要为编码器出现故障。然而编码器故障引起加速器影像系统异常的现象还未见明显报道。Zwan等<sup>[25]</sup>通过监测机架编码器的变化采集不同机架角度模体的MV影像,进行VMAT放射计划的质量保证。但是关于编码器故障在影像系统中的研究未见明显报道。本文研究从多个方面研究了影响MV影像中心偏移量的因素,最终确定了MV影像臂编码器故障。该研究填补了编码器故障引起影像系统异常的空白。本研究表明如果出现kV或MV影像系统中心偏移量异常现象,在排除等中心变化因素之后可以考虑检查kV影像臂的肩部、肘部和腕部关节的电机编码器是否存在异常。该研究对于指导同系列加速器的维修和保养具有理论指导意义。

## 【参考文献】

- [1] 张喜乐,周付根,刘博,等.放射治疗中医用直线加速器光子能量合成方法[J].中国医学物理学杂志,2023,40(7):793-800.  
Zhang XL, Zhou FG, Liu B, et al. Photon energy synthesis method on medical linac for radiotherapy[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2023, 40(7): 793-800.
- [2] 金钊圳,赵磊,郑超.临床运行中电子直线加速器的故障原因及干预对策[J].中国医学物理学杂志,2022,39(7):881-885.  
Jin YZ, Zhao L, Zheng C. Exploring the failure causes and intervention countermeasures of electron linear accelerators in clinical operation [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2022, 39(7): 881-885.
- [3] 胡逸民.适形放射治疗-肿瘤放射治疗物理进展[C]//中国生物医学工程学会医学物理分会第十次学术年会、中华医学会医学工程学分会第一次医疗设备科学管理研讨会论文集.北京:中华医学会医学工程学分会,1998:19-23.  
Hu YM. Conformal radiation therapy-Physical progress in tumor radiation therapy [C]//Proceedings of the 10th Academic Annual Meeting of the Medical Physics Branch of the Chinese Biomedical Engineering Society and the 1st Medical Equipment Science Management Seminar of the Medical Engineering Branch of the Chinese Medical Association. Beijing: Medical Engineering Branch of the Chinese Medical Association, 1998: 19-23.
- [4] Dyer BA, Nair CK, Deardorff CE, et al. Linear accelerator-based radiotherapy simulation using on-board kilovoltage cone-beam computed tomography for 3-dimensional volumetric planning and rapid treatment in the palliative setting[J]. Technol Cancer Res Treat, 2019, 18: 1533033819865623.
- [5] Franzese C, Fogliata A, Loi M, et al. Dosimetric impact of volumetric modulated arc therapy for nasopharyngeal cancer treatment[J]. Rep Pract Oncol Radiother, 2021, 26(1): 101-110.
- [6] Murchison SC, DeVries KJ, Archian S. Patient outcomes with dose escalation using modern radiotherapy techniques: a retrospective review of anal cancer treated at a large academic institution between 2010 and 2016[J]. Cureus, 2020, 12(10): e10989.
- [7] 胡金炎,裴运通,马阳光,等.加速器机载影像系统图像质量量化评价及质量保证阈值设定研究[J].中华放射肿瘤学杂志,2019,28(12):919-923.  
Hu JY, Pei YT, Ma YG, et al. A quantitative evaluation on the image-quality parameters and quality assurance thresholds setting of accelerator on-board imaging system[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, 28(12): 919-923.
- [8] Barnes MP, Pomare D, Menk FW, et al. Evaluation of the truebeam machine performance check (MPC): OBI X-ray tube alignment procedure[J]. J Appl Clin Med Phys, 2018, 19(6): 68-78.
- [9] Abuhaimeed A, Martin CJ. Assessment of organ and size-specific effective doses from cone beam CT (CBCT) in image-guided radiotherapy (IGRT) based on body mass index (BMI)[J]. Radiat Phys Chem, 2023, 208: 110889.
- [10] Tegtmeier RC, Ferris WS, Chen RM, et al. Evaluating on-board kVCT- and MVCT-based dose calculation accuracy using a thorax phantom for helical tomotherapy treatments[J]. Biomed Phys Eng Express, 2023, 9(2): 10.
- [11] Mao WH, Speiser M, Medin P, et al. Initial application of a geometric QA tool for integrated MV and kV imaging systems on Trilogy, Synergy, and Vero [C]//World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009: 358-361.
- [12] de Crevoisier R, Lafond C, Mervoyer A, et al. Image-guided radiotherapy[J]. Cancer Radiother, 2022, 26(1/2): 34-49.
- [13] 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.
- [14] Binny D, Aland T, Archibald-Heeren BR, et al. A multi-institutional evaluation of machine performance check system on treatment beam output and symmetry using statistical process control[J]. J Appl Clin Med Phys, 2019, 20(3): 71-80.
- [15] Li YT, Netherton T, Nitsch PL, et al. Independent validation of machine performance check for the Halcyon and TrueBeam linacs for daily quality assurance[J]. J Appl Clin Med Phys, 2018, 19(5): 375-382.
- [16] 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.  
Lai YQ. Performance check of beam consistency and collimation system of the VitalBeam accelerator based on MPC[J]. China Medical Device Information, 2020, 26(18): 177-180.
- [17] Carver A, Rowbottom C. TU-FG-201-05: varian MPC as a statistical process control tool[J]. Med Phys, 2016, 43(6 Part 35): 3753.
- [18] 彭旭东,张俞,何浪波,等.瓦里安机器性能检测的故障维修案例分析[J].中国医学装备,2021,18(9):192-195.  
Peng XD, Zhang Y, He YB, et al. Case analysis: failure maintenance of Varian MPC[J]. China Medical Equipment, 2021, 18(9): 192-195.
- [19] 林治学,王忠文,王克.瓦里安医用直线加速器机载影像系统(OBI)维修及保养[J].中华放射肿瘤学杂志,2017,26(6):696-697.  
Lin ZX, Wang ZW, Wang K. (OBI)for Varian medical linear accelerator [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2017, 26(6): 696-697.
- [20] Hyun M, Ma R, Diener T. Commissioning and accuracy of on-board imaging and optical surface tracking for three Varian linear accelerators [J]. Med Phys, 2018,45(6): E592.
- [21] 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.
- [22] 国家癌症中心/国家肿瘤质控中心.医用电子直线加速器质量控制指南[J].中华放射肿瘤学杂志,2020,29(4):241-258.  
National Cancer Center/National Cancer Quality Control Center. Quality control guidelines for medical electronic linear accelerators [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2020, 29(4): 241-258.
- [23] 林治学,王忠文,王克.瓦里安直线加速器多叶准直器维修和保养经验[J].中华放射肿瘤学杂志,2019,28(3):238-240.  
Lin ZX, Wang ZW, Wang K. Experience in repair and maintenance of the Varian Linear accelerator multi-leaf collimator[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, 28(3): 238-240.
- [24] 林治学,谭力.瓦里安加速器附件联锁故障维修体会[J].中华放射肿瘤学杂志,2017,26(5):577.  
Lin ZX, Tan L. Maintenance Experience of Interlocking Faults in Varian Accelerator Accessories [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2017, 26 (5): 577.
- [25] Zwan BJ, Barnes M, Hindmarsh J, et al. MO-FG-202-04: gantry-resolved Linac QA for VMAT: a comprehensive and efficient system using an electronic portal imaging device[J]. Med Phys, 2016, 43(6 Part 31): 3712.

(编辑:薛泽玲)