

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2022.07.016

医学信号处理与医学仪器

临床运行中电子直线加速器的故障原因及干预对策

金钊圳, 赵磊, 郑超

首都医科大学附属北京世纪坛医院放射治疗科, 北京 100038

【摘要】目的:探讨临床运行中电子直线加速器的故障原因及干预对策。**方法:**对1台于2020年9月至2021年12月临床运行1年3个月的医用电子直线加速器的故障发生原因与频率调查结果进行回顾性分析,并制定出有效的干预对策。**结果:**医用电子直线加速器的常见故障原因主要为X射线容积成像影像系统故障,占比为21.82%(12/55),其次为机械运动故障,占比为18.18%(10/55);电路故障的发生频率虽然不高,但因此故障所导致的功能停用与停机时间却相对较长。**结论:**在医用电子直线加速器临床运行过程中,要减少X射线容积成像影像系统与机械运动故障,降低故障发生频率,应该结合医用电子直线加速器临床运行故障发生原因与频率,制定出定期维护保养等有效的干预对策。

【关键词】电子直线加速器;故障原因;干预对策

【中图分类号】R197.38;R318

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2022)07-0881-05

Exploring the failure causes and intervention countermeasures of electron linear accelerators in clinical operation

JIN Yizhen, ZHAO Lei, ZHENG Chao

Department of Radiotherapy, Beijing Shijitan Hospital Affiliated to Capital Medical University, Beijing 100038, China

Abstract: Objective To explore the failure causes and intervention countermeasures of electron linear accelerators in clinical operation. **Methods** A retrospective analysis of the failure causes and frequency investigation results of a medical electron linear accelerator that was in clinical operation for fifteen months from September 2020 to December 2021, and effective intervention countermeasures were formulated. **Results** The common failure causes of medical electronic linear accelerators are mainly 21.82% (12/55) of X-ray volumetric imaging system failures, followed by 18.18% (10/55) of mechanical motion failures; although the frequency of circuit failures is not high, Therefore, the function deactivation and downtime caused by the malfunction is relatively long. **Conclusion** In the clinical operation of medical electronic linear accelerators, in order to reduce the X-ray volumetric imaging system and mechanical motion failures, and reduce the frequency of failures, it is necessary to combine the causes and frequency of clinical operation failures of medical electronic linear accelerators to establish a regular effective intervention measures such as maintenance, in order to provide more high-quality clinical services for the majority of patients.

Keywords: electronic linear accelerator; failure cause; intervention countermeasure

前言

现阶段,放射治疗已经成为临床治疗肿瘤疾病的常见手段,医用电子直线加速器(Linear Accelerators, LA)作为临床常用的一种放疗设备,主要是借助微波电磁场对电子进行加速,在加速过程中产生高能射线,直接作用于肿瘤病灶部位,起到良

好的治疗效果,具备照射时间短、皮肤不良反应程度轻、剂量率高及稳定等多种优点,现已发展为肿瘤放射治疗中的主要医疗设备^[1-2]。但在具体运行中,因LA体积较大,结构复杂,对精确度要求较高,因此极易受到温湿度、灰尘颗粒等外界环境因素的影响,产生不同故障,影响其应用^[3]。有资料显示,LA设备在安装使用2年内,是电子器件检验、筛选、磨合的重要时期,故障发生率最高;设备使用3~10年,性能处于稳定期,此阶段较少发生故障;当设备使用时间长达10年后,就会因内部器件老化、机械磨损、精度降低,在日常维修时需更换较大器件^[4-5]。基于此,本研究就LA在临床运行1年3个月的故障发生原因、频率调查及干预对策时进行探讨。

【收稿日期】2022-03-21

【基金项目】国家自然科学基金(8207034207)

【作者简介】金钊圳,助理工程师,研究方向:加速器的放射治疗、呼吸机的维修与管理等,E-mail: 18612892653@163.com

1 资料与方法

1.1 一般资料

2020年9月至2021年12月间, Elekta Infinity LA在石景山医院完成了安装、调试及性能测试各项工序,性能指标符合《电子加速器放射治疗放射防护要求》与《医用电子直线加速器性能和试验方法》等标准,并同时完成了数据采集、建模与测试等多项工作。同时,根据国家相关规定,对 Elekta Infinity LA进行每日晨检与月检,并每隔3个月对其进行1次保养,每年进行2次年检,以确保LA的各项性能参数可以符合相关标准与要求。此研究中的 Elekta Infinity LA在2020年9月完成相关安装调试工作,到2020年9月在临床运行的时间已满1年3个月,主要应用于日常的治疗与放疗计划验证,日平均开机时间达10 h。

1.2 方法

统计 Elekta Infinity LA临床运行1年3个月内各种故障的发生情况,并进行分类,可大致分为机械运动故障、X射线容积成像(XVI)影像系统故障、剂量故障、电路故障、通讯故障、治疗床系统故障及其他类型故障,同时记录各类故障发生的频次、时间、原因及详细的解决方案,为后续保养、维护工作及干预对策的制定提供可靠参考。

1.3 观察指标

- (1)故障类型及发生原因。(2)故障发生频率。(3)设备功能因故障停用或停机平均时间。

2 结果

2.1 故障发生原因

Elekta Infinity LA运行2年,处于故障高发阶段,具体故障类型发生情况见表1。

表1 故障发生原因
Table 1 Causes of failures

编号	故障类型	故障原因
1	机械运动	XVI平板运动发生故障,伸出或收回出现异常,MLC故障
2	XVI影像系统	因开机XVI系统与加速器连接不畅,无法正常运行,且初始化失败,导致XVI扫描CBCT发生错误
3	剂量	出束剂量率与平坦度对称性发生错误,伺服故障等
4	通讯	因网络参数设置错误,致使图像或计划导入失败
5	电路	保险丝或电路板被烧坏,需更换
6	治疗床系统	治疗床降床过低,导致床运动故障,治疗床公转角度精度
7	其他故障	气压过低,误拍急停开关,冷却水漏水等

2.2 故障发生频率

Elekta Infinity LA在临床运行1年3个月中,XVI影像系统故障的发生频次最高,达12次,占比21.82%(12/55);其次为机械运动故障,发生频次10次,占比18.18%(10/55);速流系统故障、温水循环系统故障发生频率较低。Elekta Infinity LA临床运行1年3个月内具体的故障发生情况见表2。

2.3 设备功能因故障停用或停机平均时间

导致设备功能停用或停机平均时间最长的故障类型是电路故障。在临床运行的2年中, Elekta Infinity LA因各种故障而导致设备功能停用或停机平均延误治疗时间的情况见表3。

表2 故障发生频率
Table 2 Frequencies of failures

编号	故障类型	故障频次	占比/%
1	机械运动	10	18.18
2	XVI影像系统	12	21.82
3	剂量故障	7	12.73
4	通讯故障	8	14.55
5	光野故障	5	9.10
6	电路故障	5	9.10
7	治疗床系统	4	7.26
8	其他故障	4	7.26
总计	-	55	100

3 讨论

3.1 故障发生原因分析

3.1.1 机械运动故障

LA的机械运动较为复杂,主要

包括辐射机头转动、臂架转动、治疗床运动、多叶准直器(MLC)运动与X线平板容积扫描成像装置成像

表3 设备功能因故障停用或停机平均时间
Table 3 Function deactivation and downtime
caused by the malfunctions

编号	故障类型	设备功能停用或 停机平均时间/h
1	机械运动	1.4±0.7
2	XVI影像系统	4.9±4.1
3	剂量故障	1.3±0.9
4	通讯故障	2.5±1.4
5	光野故障	4.6±3.1
6	电路故障	1.0±0.4
7	治疗床系统	0.9±0.4
8	其他故障	1.1±0.9

平板运动等多种精确度较高的运动,因此能够实现多种放疗技术,如调强放射治疗(IMRT)、影像引导放射治疗(IGRT)、容积弧形调强放射治疗(VMAT)等^[6],但故障发生率也较高。同时,由于临床上多采用IGRT放射治疗,会大大提升XVI系统使用频率,且经常进行平板伸出、展开等成像平板运动^[7],这也极易引起故障,并且会发生平板展开与伸出过程多次被卡住的情况。MLC在临床运行中所产生的机械磨损也是MLC出现机械故障的主要原因之一。当MLC无法进行正常运动,且软件没有及时报错的情况下,就要考虑MLC机械故障。常见的MLC机械故障主要包括以下几种:①马达丝杆故障。在维修模式下,拉动叶片,观察叶片是否可以运动。利用十字膜检查叶片有无发生碰撞,并使用专业的工具将马达卸下,换上医院备用的新马达。此时,若MLC仍旧无法运动,就要将新装的马达卸下,装到可以正常运动的叶片上,若该叶片可以正常运动,就说明此马达没有问题,用一字螺丝刀轻轻旋转,能够感觉到较大的力度。同时,检查丝杆是否发生弯曲,若有弯曲就要及时更换,更换后故障消失,说明是丝杆引发的故障。在此过程中需要注意,在安装新的丝杆时,要采用手动的方法把丝杆拧到最里面,也就是MLC位置处最靠外的位置,之后要紧上丝杆固定套,再通过手动方法反复走动丝杆,对运动顺畅程度进行检查。倘若不根据此流程进行安装,一旦叶片处于最里面的位置,在重力作用下叶片就会出现一定程度下沉。当丝杆底座与NUT中心不处于同一个水平面时,就极易引起丝杆磨损情况。②碰撞故障。当叶片碰撞到一起后,首先要使用专业工具卸下马达,应用一字螺丝刀对丝杆进行旋转,将叶片分开,仔细检查叶片具体的到位精度,若检查均正常,就要重新安装马

达,让MLC恢复正常运行。③钨门运动故障。常见的故障类型为finepotoffset、checkpoint与tenturnpot,此类故障在多数情况下,只需要更换对应的电位器,并进行校准处理,就可以得到有效解决。另外还有一种故障是因为钨门皮带断裂而导致钨门无法正常运行。针对此故障,需要将小机头外壳拆开,清理出断裂的皮带,使用十字膜检查钨门有无倾斜。若钨门发生倾斜,就不可以利用软件直接进行驱动,避免钨门遭受到不必要的损坏。此时,需将坐标纸垫放在十字膜上,让坐标纸中的一条线与小机头十字线相对齐,之后通过手动方式转动钨门,使得钨门在十字膜上的投影可以与坐标纸中的其它线保持重合,以此来修复好钨门,并更换新的皮带,重新开机后发现MLC可以正常运行。

3.1.2 X射线容积成像系统故障 由于LA机载的XVI系统主要应用于IGRT,单独配备了高压发生器,在开机过程中就极易因XVI系统自身的滞后性^[8-9],导致XVI系统与加速器发生通讯故障,无法进入正常运行状态。

3.1.3 剂量故障 主要包括平坦度对称性错误、射线剂量率错误、输出量错误等^[10]。主要是因两个剂量监测通道存在偏差,且超出了系统允许的容差而引起的^[11]。

3.1.4 通讯故障 通讯故障是治疗系统各终端网络参数设置出现了错误,或软件运行过程中出现了错误而引起的终端连接异常,通常情况下会表现为计划图像传输失败等通讯故障^[12-13]。

3.1.5 电路故障 常见的电路故障主要为保险丝与电路板烧坏等^[14]。

3.1.6 治疗床系统 在正常情况下,治疗床公转角度精度为为0°。但当治疗床在临床运行中受到外力作用的影响时,就会出现微小公转偏转的情况,该种故障无法在角度显示上体现,引入摆位误差,与厂家工程师沟通后,可锁紧公转刹车。另外,治疗床的垂直运动方向主要是受限位开关的控制。在具体时间过程中,当治疗床的下降高度过低时,就会触发限位开关,进而引起运动联锁,导致治疗床锁定无法运动^[15]。由于联锁是不可自动消除的,因此就需要用手动旋转床来升降驱动电机,将治疗床的高度摇到限位高度以上,完成机器复位后则可以消除此故障。

3.1.7 其他故障 LA在临床运行1年3个月内,曾发生过因误拍急停开关、冷却水管漏水等引起的开机故障。同时也发生过波导管气压偏低,停机时间一段时间后使用,出现一次大量出射线而导致的真空值过低等相关故障。

3.2 干预对策

3.2.1 X射线容积成像系统故障干预对策 为了保证放射治疗的精准度,我院要求相关技术人员要严格根据XVI影像系统的设计原理与正确的开机顺序展开相关操作。若技术人员没有熟练掌握LA正确的开机顺序及操作等相关流程,就极易导致XVI系统发生故障。同时,在实际使用期间,发现XVI系统高压发生器故障的发生与厂家设计存在直接联系,因此需要厂家发出后续现场安全通知。有学者在研究中也提到LA开机流程要求这一方面的问题^[16]。虽然此故障的发生率最高,但一般情况下通过重启整机或者是XVI均可以得到有效的解决,缩短停机时间。

3.2.2 机械运动故障干预对策 LA机械运动系统在临床应用,对于控制精度的要求极高,且相关控制原理极为复杂,故障发生率也居高不下。针对此类故障,通常需要停机更换电路板或者是相关零件,以免延误临床治疗工作。为此,在该医疗设备的日常使用与定期保养维修的过程中,一定要对机械运行系统进行全面、严格的检测,尽早发现故障隐患,并且要在第一时间告知维修工程师尽快到场处理,避免耽误患者的治疗^[17]。

3.2.3 电路故障干预对策 电路故障的发生率虽不高,但通常情况下却需要长时间的检修时间,特别是电路板故障。当此类问题发生时,需要检修人员耗费较长时间去检查电路板是否被损坏,若确定为电路板损坏,应及时更换新的电路板及相关配件,但在部分情况下,也会因科室备件不齐而导致配件工作无法及时完成,且需耗费较长时间向厂家仓库订货,这就会导致LA功能停用或者是停机较长一段时间。

3.2.4 剂量故障干预对策 剂量故障通常需要物理师对剂量进行重新校准即可得到有效解决。同时也需要设备维修人员对LA进行晨检、月检,加强保养。在此期间,若发现剂量方面存在故障,应及时校准剂量性能,避免影响放射治疗的精确性。

3.2.5 通讯故障干预对策 由于加速器是由多个模块共同组成,在具体运行中,一旦某个模块连接发生中断,加速器就无法正常运行,出现软件运行错误,最终导致连接异常、图像采集传输失败等一系列通讯故障。在这种情况下,可重启软件或者是重新设置网络连接,解决此类故障。

3.2.6 治疗床系统故障干预对策 由于治疗床故障在正常情况下会涉及到电路板与限位开关,因此除了需要工作人员根据相关要求进行操作以外,在移动患者的操作中,也要注意避免磕碰治疗床,并做好相关的宣教工作,以此来有效减少因患者的不规范行动而导致治疗床偏移等事件的发生,发生停止治疗重新进入机房转床操作,从而延误患者的临床治疗。

3.2.7 其它故障干预对策 例如,气压过低,冷却水漏水,应先检查水泵,随后检查电磁阀、冷却水与温控电路,完成故障分析与排查后,要检查恒温水循环等机械部分,判断循环水是否充足,水压表能够正常运转。若上述部位均正常,就要对循环水中路进行检查,详细查看是否发生截流与漏流等情况,并且认真检查水流量及具体流速,若水流速度变慢,就应检测水管路是否出现弯曲,对水管路进行架设处理,以便其恢复正常水流速度。

3.3 预防与减少LA故障的有效路径

第一,控制好机房内的温湿度。有研究发现LA的运行状态受温湿度、水流、真空度及灰尘颗粒直径大小等环境因素变化的影响较大^[18]。基于此,有学者提出若机房的湿度控制不当,就极易发生闸流管、磁控管打火损坏故障;水冷却系统发生故障时,设备就会出现过热跳泵等情况。我院LA设备在临床运行中也发生过此类故障,主要是因水冷机室外风扇灰尘过多,无法充分散热而引起的。因此,将机房内的温湿度与设备运行环境控制在最佳状态,保持机房内整洁干净,对LA设备的正常运行具有十分积极的意义,同时也能够有效降低设备故障发生率。与此同时,于临床工作人员而言,要求其在放射治疗过程中熟练、规范地进行相关操作,尽量减少人为因素引起的故障;并且要求维修工作人员,严格落实医疗器械维修保养制度,定期检查LA的运行状态及功能,做好详细的数据记录工作,以便进一步了解LA的机器性能,为临床治疗工作提供更好的服务。

第二,做好机器的记录工作。详细记录与总结机器故障有利于LA生产厂家日后改进产品设计方案与生产工艺。例如,XVI系统在实际应用中,要求技术操作人员既要熟练掌握其设计原理,也要其严格执行标准化的开机流程,针对这种情况,就可以将XVI系统设计为常带电的工作方式,缩短XVI系统的启动时间。同时,也可以考虑通过提高公转角度显示精度来解决治疗床系统公转偏差故障^[19],提高LA的临床应用效率与故障处理的有效性。

第三,制定完善的预防性维护与保养体系。针对LA临床运行中的故障发生情况,医院需制定系统完善的预防性维护与保养体系,以此有效避免与减少运行故障。针对剂量故障,需要操作技术人员严格根据相关的技术规范流程进行操作,在每日LA开机后,要分别按照剂量率由低到高这一顺序,对不同能量挡的射线分别进行热机,以防直接进行高剂量率高能量挡出束,加强对磁控管的保护。与此同时,在日常检查工作中,一旦发现剂量故障,应立即对剂量性能进行校准,以此保证肿瘤患者接受放射治疗期间的精确性^[20];

此外,由于治疗床故障在正常情况下会涉及到电路板与限位开关,因此除了需要工作人员根据相关要求进行操作以外,在移动患者操作时,也要注意避免磕碰治疗床,并做好相关的宣教工作,以此来有效减少因患者的不规范行动而导致治疗床偏移等事件的发生,发生停止治疗重新进入机房转床操作,从而延误患者的临床治疗。通讯故障在多数情况下是指服务器发生了运行问题。这就要求有关工作人员每日进行巡查,确保LA设备可以在临床上正常运行,但倘若涉及到服务器重启或者是硬盘扩容等其它操作时,就要提前与机房工作人员进行沟通,以便在临床治疗期间发生通讯中断故障。

综上所述,由于LA的设计具有较高的复杂性,在临床运行期间的精确性较高,这就导致LA故障发生率也相对较高。本研究通过对Elekta Infinity LA临床运行2年内故障发生与维修工作记录进行分析可知,XVI影像系统故障的发生频率最高,其次为机械运动故障;而电路故障发生率虽低,但因检修而导致的故障规律与机械性能,为日常保养与维修工作及厂家产品设计升级提供可靠参考。

【参考文献】

- [1] 杨平,汪传文,李德龙,等.某医院医用电子直线加速器建设项目放射防护控制效果评价[J].中国工业医学杂志,2021,34(1):84-86.
Yang P, Wang CW, Li DL, et al. Evaluation of radiation protection control effect of a hospital medical electron linear accelerator construction project[J]. Chinese Journal of Industrial Medicine, 2021, 34(1): 84-86.
- [2] 沈婷婷,马争,郭少嘉,等.医用电子直线加速器建设项目屏蔽设计[J].职业与健康,2020,36(11):1458-1461.
Shen WT, Ma Z, Guo SJ, et al. Shielding design of medical electron linear accelerator construction project[J]. Occupation and Health, 2020, 36(11): 1458-1461.
- [3] 杜翔,杨春勇,徐小三,等.江苏省2017-2018年部分医用电子直线加速器质量控制检测结果分析[J].中国职业医学,2019,46(4):501-503.
Du X, Yang CY, Xu XS, et al. Analysis of the quality control test results of some medical electron linear accelerators in Jiangsu Province from 2017 to 2018[J]. China Occupational Medicine, 2019, 46(4): 501-503.
- [4] 杨军,宋锐,乌日利嘎,等.MV级医用电子直线加速器机房空调及通风设计的一些标准分析与研究[J].中国标准化,2017(18):12-13.
Yang J, Song R, Wuri LG, et al. Analysis and research of some standards for air conditioning and ventilation design of MV-level medical electron linear accelerator room[J]. China Standardization, 2017(18): 12-13.
- [5] 何盛峰,文莉娜,杨文.医用电子直线加速器的相关标准与质量保证[J].中国辐射卫生,2016,25(4):440-442.
He SF, Wen LN, Yang W. Relevant standards and quality assurance of medical electron linear accelerators[J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2016, 25(4): 440-442.
- [6] Seiichi Y, Kuniyasu O, Fumitaka K, et al. Imaging of produced light in water during high energy electron beam irradiations from a medical linear accelerator[J]. Radiat Meas, 2018. DOI: 10.1016/j.radmeas.2018.06.010.
- [7] 金淑平,李明,储开岳.基于XVI系统探讨鼻咽癌患者摆位误差产生原因及应对策略[J].生物医学工程与临床,2018,22(5):543-545.
Jin SP, Li M, Chu KY. Based on XVI system to explore the causes and coping strategies of positioning errors in patients with nasopharyngeal carcinoma[J]. Biomedical Engineering and Clinical Medicine, 2018, 22(5): 543-545.
- [8] 李明,金淑平,蔡晶,等.放射治疗摆位旋转误差数学模型的建立与可控性分析[J].生物医学工程与临床,2019,23(6):657-660.
Li M, Jin SP, Cai J, et al. Establishment and control lability analysis of mathematical model of radiotherapy positioning rotation error[J]. Biomedical Engineering and Clinical Medicine, 2019, 23(6): 657-660.
- [9] 何伟,汪纘,张晖,等.医科达Axesse直线加速器故障维修3例[J].医疗卫生装备,2018,39(9):107-108.
He W, Wang Y, Zhang H, et al. Three cases of Elekta Axesse linear accelerator fault maintenance[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2018, 39(9): 107-108.
- [10] 刘远飞,刘海涛,李鹏程. Flash存储器抗⁶⁰Co γ射线总剂量能力的分析[J].半导体技术,2018,43(6):468-472.
Liu YF, Liu HT, Li PC. Analysis of Flash memory's ability to resist ⁶⁰Co γ-ray total dose[J]. Semiconductor Technology, 2018, 43(6): 468-472.
- [11] 王海洋,皮一飞,韩滨,等.空气压缩设备故障引起的螺旋断层放射治疗患者计划验证通过率偏低的案例分析[J].中国医学物理学杂志,2021,38(1):1-5.
Wang HY, Pi YF, Han B, et al. A case study on the low pass rate of helical tomotherapy patient plan verification caused by air compression equipment failure[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2021, 38(1): 1-5.
- [12] 李晓梅,刘士龙,宋家富,等.锐珂DR7500数字化医用X射线摄影系统故障维修三例[J].中国医疗设备,2020,35(3):182-184.
Li XM, Liu SL, Song JF, et al. Three cases of fault maintenance of Carestream DR7500 digital medical X-ray photography system[J]. China Medical Devices, 2020, 35(3): 182-184.
- [13] 魏鹏,董婷婷,葛双,等.Versa HD型直线加速器多叶准直器故障维修案例[J].中国医学装备,2021,18(1):171-172.
Wei P, Dong TT, Ge S, et al. A case of fault maintenance of Versa HD type linear accelerator multi-leaf collimator[J]. China Medical Equipment, 2021, 18(1): 171-172.
- [14] 许少睿. Atris Zee ceiling平板探测器旋转故障分析与检修[J].临床放射学杂志,2021,40(1):135.
Xu SR. Analysis and maintenance of rotation failure of Atris Zee ceiling flat panel detector[J]. Journal of Clinical Radiology, 2021, 40(1): 135.
- [15] 宋洪兵,潘景辉,杨雄,等.Elekta Infinity直线加速器治疗床对放疗剂量的影响[J].中国医学物理学杂志,2021,38(2):157-161.
Song HB, Pan JH, Yang X, et al. Influence of Elekta Infinity linear accelerator couch on radiation dose[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2021, 38(2): 157-161.
- [16] Inagaki M, Sekimoto S, Tanaka W, et al. Production of Sc-47, Cu-67, Ga-68, Rh-105, Lu-177, and Re-188 using electron linear accelerator[J]. J Radioanal Nucl Chem, 2019, 322(3): 1703-1709.
- [17] LA辐射剂量验证软件临床应用质量检测技术专家共识协作组.医用直线加速器(LA)辐射剂量验证软件临床应用质量检测技术专家共识[J].中国医学装备,2019,16(6):167-172.
LA Radiation Dose Verification Software Clinical Application Quality Detection Technology Expert Consensus Collaboration Group. Medical linear accelerator (LA) radiation dose verification software clinical application quality detection technology expert consensus[J]. China Medical Equipment, 2019, 16(6): 167-172.
- [18] 王赞,邹家龙,张涵宇,等.甘肃省医用电子直线加速器质量控制及防护检测与评价[J].疾病预防控制通报,2020,35(5):78-80.
Wang Y, Wu JL, Zhang HY, et al. Quality control and protection detection and evaluation of medical electron linear accelerators in Gansu Province[J]. Bulletin of Disease Control and Prevention, 2020, 35(5): 78-80.
- [19] Little DP. Image quality improvement for medium and large field of view Elekta XVI scans[J]. Australas Phys Eng Sci Med, 2019, 42(4): 1153-1164.
- [20] Gomez-cardona D, Hayes JW, Zhang R, et al. Low-dose cone beam CT via raw counts domain low-signal correction schemes: Performance assessment and task-based parameter optimization (Part II. Task-based parameter optimization)[J]. Med Phys, 2018, 45(5): 1957-1969.

(编辑:黄开颜)