·医学工程·

螺旋断层放射治疗系统 Radixact 常见故障处理及质控策略的探讨

陈春想　张健文　蒋晓芹　杨建伟

（香港大学深圳医院肿瘤科，深圳 518000）

【摘要】 确保医疗设备和系统的稳定运行对于保障患者的健康和安全至关重要。本文对中核安科锐螺旋断层放射治疗系统Radixact在日常运行中出现的影响较大的常见故障及其处理方法进行了归纳和分析，提出了四个等级的故障分类，并对维修后的质控验收策略进行了探讨。这些处理方案在临床实践中已被证实是有效且实用的，能够迅速解决工作中遇到的常见故障以及故障恢复后的质控验证，从而保障患者的安全高效治疗。

【关键词】 螺旋断层系统Radixact；故障维修；质控策略；日常检查；预防性维护保养

【中图分类号】 TH77; R197.39 【文献标识码】 A 【DOI】 10.11876/mimt202406005

Analysis and handling of common malfunctions in the spiral tomography Radiotherapy system Radixact

Chen Chunxiang, Zhang Jianwen, Jiang Xiaoqin, Yang Jianwei

(Department of Clinical Oncology, The University of Hong Kong Shenzhen Hospital , Shenzhen 518000, China)

【Abstract】 Ensuring the stable operation of medical equipment and systems is crucial for safeguarding the health and safety of patients. This article summarizes and analyzes the common faults and their handling methods that have a significant impact on the daily operation of the Radixact. Four levels of fault classification are proposed, and the quality control acceptance strategy after maintenance is discussed. These treatment plans have been proven to be effective and practical in clinical practice, able to quickly solve common faults encountered in work and perform quality control verification after fault recovery, thereby ensuring the safe and efficient treatment of patients.

【Key words】Spiral fault system Radixact; Fault repair; Quality control strategy； Daily inspection; Preventive maintenance

螺旋断层放射治疗设备Radixact是将能量6MV直线加速器安装在CT滑环机架上，加速管、铅门、多叶准直器（Multi-Leaf Collimator，MLC）沿机架的径向安装，机架连续360°旋转。它产生剂量率850MU/min的6FFF扇形束流，经射线出口处的快速二元气动多叶准直器调制，每旋转一圈可以形成51个弧形野，每个治疗点都会被扇形束重叠照射2～5次，可照100～250个子束流，子束流分为0–100不同的强度水平[1–3]，进而实现360°螺旋断层调强放射治疗；同源可形成3.5MV的扇形束X射线，经螺旋扫而重建出兆伏级、配准精度高的三维CT图像（即MVCT），进而高精尖地控制放射治疗的剂量分布[4–6]。Radixact这种集图像引导调强放射治疗、自适应放射治疗等技术于一身，其硬件组成及剂量调制方式不同于常规加速器，在儿童放疗、全脑全脊髓，全身放射治疗，拥有更精准、更高效、更安全、副作用更小的优势。

随着螺旋断层放射治疗设备的不断更新换代，放射治疗的精确度得到了显著提升。因此，设备的日常检查和预防性维护保养变得愈发关键，这不仅直接影响患者的治疗效果，还与设备的安全稳定运行紧密相关。本研究对2022年10月22日—2024年9月1日期间，香港大学深圳医院肿瘤科放射治疗中心引进的中科安科锐（天津）医疗科技有限责任公司螺旋断层放射治疗系统Radixact的常见故障进行了分析处理，探讨了维修后的质控验收是否符合螺

第一作者：陈春想，男，本科，初级工程师，研究方向：物理质控与设备维修

旋断层治疗装置质量控制检测规范 WS 531–2017，目的是确保设备能够高效且保质的恢复到正常运行状态[7-10]。

1 故障一

1.1 故障现象

在治疗过程中，Radixact出现报错，报错详情显示Beamline device offline: AFC on, ICA off, MMPS on, IPPS on，机器无法正常工作。见图1。

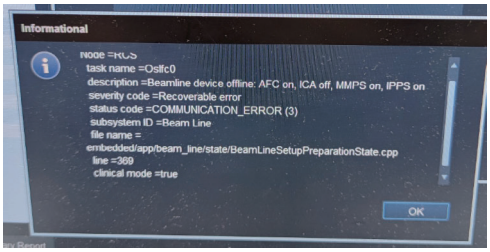


图1 故障报错1

1.2 故障分析步骤与处理方法

根据报错关键信息中的“ICA off”，初步判断是灯丝控制模块（Injector Control Assembly, ICA）间歇性故障、通讯故障亦或自身故障。随后，我们采取了分布式排除法：（1）先判断Radixact系统遭遇间歇性故障，重启设备是验证其能否恢复常态的有效手段。（2）对ICA的网络线缆、信号线及电源连接进行细致检查，以防松动，并利用网线检测器测试网络线缆与信号线的连通状态。（3）若在执行前述步骤后，设备仍无法正常工作，则可断定ICA组件内部模块存在故障。（4）为解决此故障，建议更换ICA组件。流程见图2。

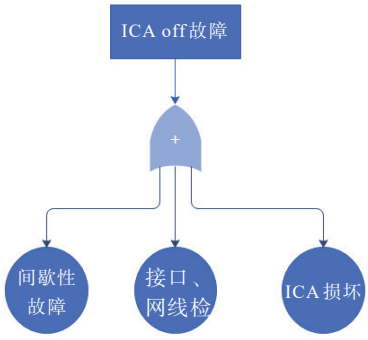


图2 故障树处理流程

1.3 质控策略

ICA是用来控制电子枪的参数，在更换ICA后，工程师需要根据设备的枪灯丝值与剂量固定值，校正电子枪灯丝电流、灯丝线性、枪伺服。因此质控需要验证射线能量与剂量[10]，其质控如下。

（1）系统质控保证（Total Quality Assurance，TQA）通过自动分析探测器和监测电离室的信号，来监测机器状态变化，也可以分析上传的电离室等结果数据。其测试内容包括了：监测电离室的本底count数、监测电离室的线性输出一致性、MLC叶片投递时间的准确性、X方向源的对称性、1cm射野测量的铅门最大偏差等。上述值均需与参考值在1%或者1mm的误差内。

（2）Raydose晨检仪测量主要用于快速监测射线中心输出量、Y方向和X方向的对称性、平坦度、射线质。射线中心输出量、Y方向和X方向的对称性、平坦度均要<2%，射线质<1%。

（3）以Arccheck圆柱形半导体辐射探测器三维阵列验证患者计划质控维修前后的Gamma通过率差异，其维修前后同个患者Gamma通过率差异要<2%。

2 故障二

2.1 故障现象

在治疗过程中，Radixact出现报错，报错详情显示 Watchdog Fault:SafetySoftwareWatchdog from RCS is lateseverity code =Unrecoverable fault. System restart required.，机器无法正常工作。见图3。

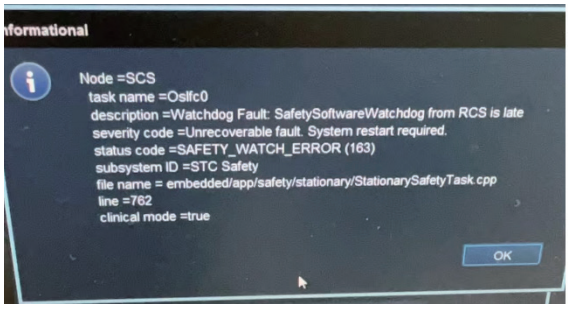


图3 故障报错2

2.2 故障分析步骤与处理方法

RCS is lateseverity code，旋转端控制系统（Rotating control system，RCS）的环路上通讯故障。RCS通过与静止端控制系统（Stationary control system，SCS）、Fiber光纤、ethemet网线以及交换机的连接，达到一个监测与控制旋转端子系统的作用。

RCS设备的通讯传输环路过程见图4。

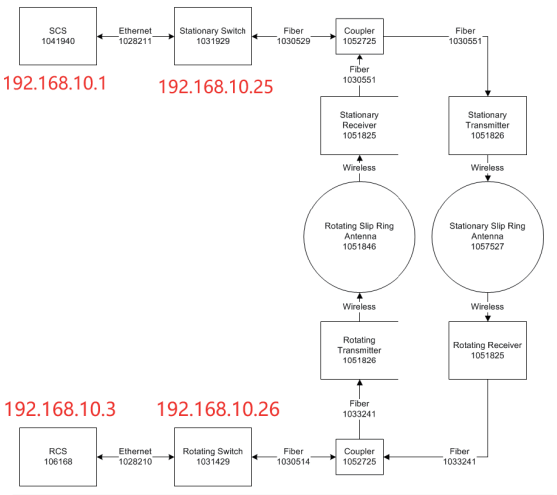


图 4 RCS 设备的通讯传输环路过程

故障处理根据 RCS 设备的通讯传输环路过程：（1）执行 ping 命令测试四个 IP 地址，以确定网络连接状态。（2）使用测试软件检查端口的丢包情况，确定哪个端口存在通信问题。（3）如果发现特定端口不通，考虑更换相应的部件，着重考虑 RCS 和 SCS。（4）检查光纤或网线连接，进行必要的插拔或更换操作。（5）尝试调换交换机进行测试，或者更换新的交换机以排除故障。

2.3 质控策略

参照 1.1 的质控策略（1）（2）（3）一致。

3 故障三

3.1 故障现象

在治疗中，Radixact 出现报错，报错详情显示 final leaf overtravel fault，TMLC LEAF ERROR (44)，机器无法正常运行。见图 5。

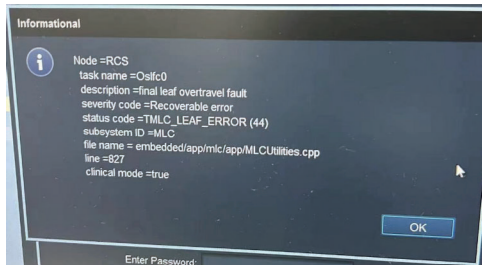


图 5 故障报错 3

3.2 故障分析步骤与处理方法

报错信息明显提示 LEAF ERROR(44)，这就说明 MLC 叶片 44 的缓冲器（Bumper）出现损伤。直接更换 MLC 的 Bumper：（1）将 Radixact 机架转到 0° 位置。（2）使用龙门架将整块 MLC 吊到床面上。（3）拆换新旧的 Bumper。

3.3 质控策略

Bumper 作为重要辅助部件，更换此部件，涉及 MLC 的位置潜在变化以及可能铅门因 MLC 移动导致变化。物理质控 QA 方面需要完成以下验证。见图 6–11。

（1）测量榫舌和凹槽 MLC Tongue&Groove（TG），验证射线源在 X 方向的中心。射线源在 X 轴方向的偏移 ≤ ± 0.34mm。

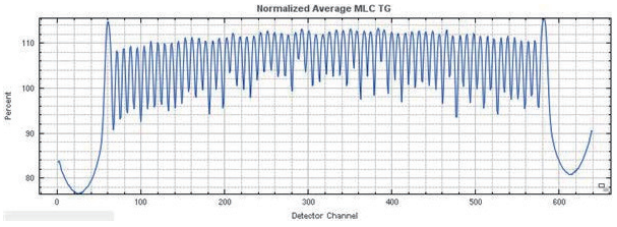


图 6 源在 X 方向的中心测试结果

（2）Y 轴射束定中心（Y–jaw centering）

验证射线源在 Y 方向的中心。铅门在 Y 轴方向与射线源的一致性偏移 ≤ ± 0.3mm。

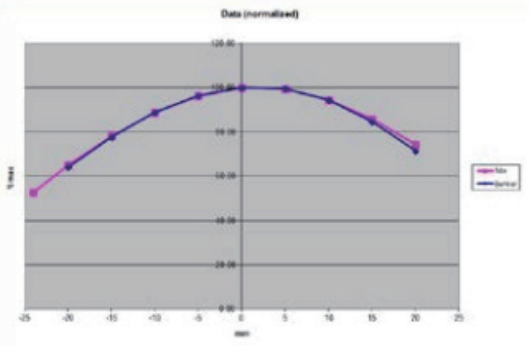


图 7 源在 Y 方向偏移测试结果

（3）射束平面性（Y–jaw divergence/beam centering）[11] 在 90° 、180° 平面的一致性。铅门在 Y 轴方向与机架旋转平面偏移 ≤ ± 0.5mm。

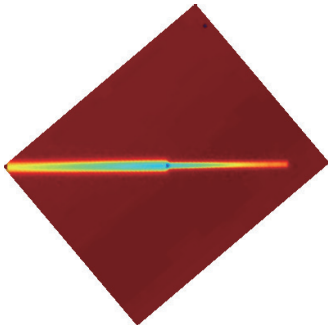


图 8 射束平面性测试结果

（4）验证射束中心与铅门（Treatment beam field centering/Field Center vs Jaw Setting）一致性。射野中心（MLC对称性）≤ ± 0.5mm。

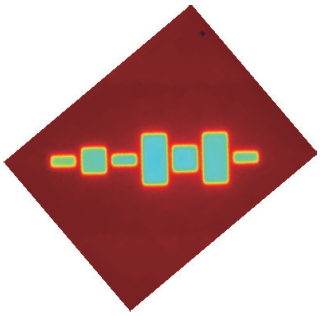


图 9 射束中心与铅门一致性测试结果

（5）验证MLC旋转中心（MLC lateral offset and twist/MLC center of rotation），两侧照射野中心点与中间照射野中心点的距离偏差应在 ± 1.5mm内。



图 10 MLC旋转中心测试结果

（6）验证旋转剂量输出一致性（Rotational Output Constancy），以模体设计的IMRT计划，测试旋转输出稳定性。模体参考点吸收剂量的测量值与治疗计划剂量值的偏差应在 ± 4.0%内。

（7）质控策略

参照1.1的质控策略（1）（2）（3）一致。

4 故障四

4.1 故障现象

在治疗过程中，Radixact出现报错，报错详情显示Dose Chamber B to A ratio: average value out-of-range, timeout expired,BEAMLINE DOSE MONITOR FAULT (152)，设备停止工作，无法出束。见图6。

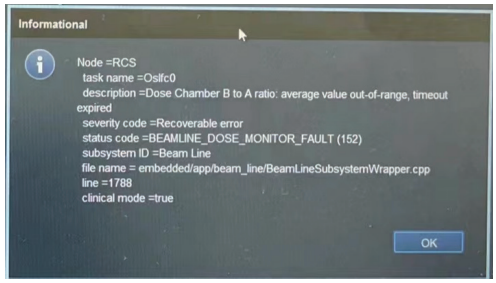


图 11 故障报错4

4.2 故障分析步骤与处理方法

故障提示中Dose Chamber B to A ratio，这表示剂量本底值出现了较大的偏差，其原因为监控剂量的电离室潮湿，导致监控电离室潮湿原因可能为机房的湿度过高或加速管的冷却循环水渗漏。（1）检查监控电离室是否受潮。如果监控电离室受潮，更换监控电离室以排除机房湿度高导致的冷凝水问题。（2）若监控电离室更换后，监控电离室Dose A或Dose B剂量本底值若继续出现偏差大的异常现象：则排查Radixact加速管上的冷却循环水管。如果确定潮湿问题来自加速管，更换加速管。

4.3 质控策略

由于射线源与加速管位置发生变动，物理质控方面主要执行以下几点，质控标准范围参考更换缓冲器（Bumper）后QA的标准。

（1）参照3.3的质控策略（1）（2）（3）（4）（5）（6）（7）一致。

（2）使用二维水箱验证不同方向的profile，其profile≤ ± 1%，不同射野的百分深度剂量（Percentage Depth Dose, PPD），其PDD_{10}≤ ± 1%。

5 Radixact的日常检查与预防性维护保养

螺旋断层治疗系统作为当前放射治疗领域的尖端设备，因其高精度、高效率和高安全性而受到广泛应用。但由于其结构复杂、技术先进且设备价值昂贵加上本文所述的4例维修案例均属于我院故障等级分类中的第四类特大故障，持续时间 ≥240min，因此预防性维护保养工作显得尤为重要[11-15]。维修保养确实是一项复杂且繁琐的工作，它对于维护人员的技术水平和知识储备有着极高的要求。在这项工作中，维护人员不仅需要具备深入的专业技术知识，还要对机器操作的各个相关流程有全面的理解和掌握。

5.1 治疗前的环境检查

在进行治疗之前，需要对Radixact机房的温度、湿度进行监控，确保室内温度保持在20 ~ 25℃之间，湿度50% ~ 60%。此外需要查看室内的空调系统、除湿机、排气设备、防护设备正常运作。

5.2 设备晨检工作

设备开机后，第一步、认真查看监控设备、测试语音设备；第二步、检查绿激光重复性、红绿激光的重合性；第三步、出束预热、空气校准Airscan、TQA、Raydose晨检仪检测、影像中心验证。

5.3 设备的预防性维护保养和质控

Radixact每周需进行一次预防性巡检，其内容有如下四项：第一项检查环境温度湿度，第二项检查集成数据管理（Intergraded Data Management, IDMS），其作用是针对患者和系统数据的集成数据库与服务器的运行状况；第三项采集高压模块的波形；第四项检查射线能量、剂量输出及铅门稳定性。

Radixact每季度需预防性维护保养，其保养内容有：检查或更换磁控管与波导管连接的垫片，校准剂量控制系统（Dose Control System, DCS），检查或调节压缩空气压力，电气安全测试；更换冷却循环水，检查水管，检查辅助监控组件（Auxiliary Monitoring Assembly, AMA）数据，检查SF6压力，更换压缩空气过滤器，更换（Temperature Control System, TCS）滤芯，更换RO离子滤芯，更换机柜风扇过滤网，检查并清洁通风口和热交换器的灰尘，配电分配单元（Power Distribution Unit, PDU）输入和输出测试，验证三相电源连接的完好性，验证系统联锁，检查和清洁PDU和UPS。各项的检查内容保障了设备的安全运行，从而给患者提供一个安全高效的放射治疗基础[16,17]。

Radixact在质控上设置了晨检、周检、月检、年检。周检重点关注Radixact的剂量旋转输出稳定性、CT值校正及床、机架的匀速测试运动[18]。月检的关注点则在于剂量静态输出稳定性和射线质、Longitudinal Profile和Transverse Profile、图像质量（包括CT值、高低分辨率、信噪比、均匀性等）。年检的着重点在于射线输出的稳定性与一致性、不同深度Longitudinal Profile和Transverse Profile，不同射野的百分深度剂量，以及输出的绝对剂量、铅门、MLC与射束两两的一致性、激光验证或校正、床的同步性等测试。通过一系列严谨的物理质控，确保放疗设备的质量和患者治疗的安全性，为患者提供坚实的医疗保障。

6 结语

Radixact运用螺旋式扫描与气动MLC技术执行放射治疗，其故障率和验收质控的复杂性均超过直线加速器。由于其采用360° 螺旋扫描模式，常见的故障多发生在机架上的部件。若缺乏精确和及时的维修方案以及完善的质控体系，设备的恢复时间可能会大幅延长。为了规避这些潜在风险，对设备进行日常检查和预防性维护保养显得尤为重要。每天开机前，放疗物理师或电机技术员应进行例行检查，确保设备正常运行，并且射束、影像、机械等质控指标达到标准。通过预防性维护保养，可以为设备进行一次全面的安全检查，及时发现并修复潜在问题，防止小问题恶化成重大故障，从而确保设备的安全高效运行。

螺旋断层放疗系统凭借其螺旋式断层技术，在儿童放疗、全脑全脊髓以及全身放射治疗领域占据着不可替代的地位。Radixact作为一款高端的大型放疗设备，其技术不断进步。深入学习和掌握其基本原理、物理原理、基本构造以及各部件的功能，对于我们在日常工作中迅速定位故障、提高故障处理能力和质控效率、确保设备稳定性具有重要意义。

[参 考 文 献]

[1] 徐寿平.螺旋断层放疗系统原理及其应用叨[J].医疗卫生装备,2008,29(12):100–102.
[2] 胡旭东.TomoTherapy螺旋断层放疗系统的特点和优势[J].抗癌之窗,2018,13(4):17–19.
[3] 曹祥梅.医用X线断层扫描设备常见故障部位与原因及处理措施分析[J].影像研究与医学应用,2022,6(21):191–193.
[4] 李洪明,于浪,孙显松,等.螺旋断层放射治疗设备常见故障处理及原因分析[J].中国医学装备,2018,15(9):29.
[5] 李洪明,于浪,孙显松,等.螺旋断层治疗设备多叶准直器故障分析[J].中华放射肿瘤学杂志,2019,27(2):155–157.
[6] 黎静,张晋建,文婷,等螺旋断层放疗系统故障介绍及原因分析[J].医疗卫生装备,2014,35(6):119–121.
[8] 宋小和,刘宝辰,陈中兴,等.螺旋断层治疗装置设备质控及防护现状调查[J].工业卫生与职业病,2023,49(6):550–551+555.
[8] 刘吉平,程晓龙,王彬冰,等.TOMO相关质控指南解读及临床应用[J].中国医学物理学杂志,2021,38(12):1487–1494.
[9] 翟贺争,宋彬,李海亮,等.WS 531—2017《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》跟踪评价结果——医疗机构相关人员[J].中国辐射卫生,2020,29(2):123–127.
[10] 程晓龙,刘吉平,王彬冰,等.螺旋断层治疗装置剂量输出稳定性检测及三年质量控制分析[J].科学技术与工程,2018,18(35):116–120.
[11] 陈建平,张富利,陈飞.螺旋断层放射治疗系统更换加速管故障维修1例[J].医疗卫生装备,2014,35(7):155.
[12] 张晋建,黎静,文婷,等.螺旋断层放射治疗系统中空气压缩设备的配置[J].中国医学装备,2015,12(7):13–15.
[13] 马恺丽.医用电子直线加速器预防性日常维护及故障维修[J].电子测试,2020,14(16):103–112.
[14] 张泉.医用电子直线加速器的日常维护及故障维修[J].现代养生,2021,21(16):133–135.
[15] 陈荣耀,蓝威,郭顺,等.医科达医用电子直线加速器的常见故障及维护保养[J].医疗装备,2019,33(1):157–158.
[16] 许安杰,陆志高,罗吉,等.医用电子直线加速器的日常维护及故障维修研究[J].中国医疗设备,2018,33(7):158–160.
[17] 王文保,张陵,刘娟,等.螺旋断层放疗系统故障分析与维修[J].中国医疗设备,2022,37(9):169–171.
[18] 郭兴照.螺旋断层放疗系统快速质控检测方法研究[D].北京:中国疾病预防控制中心,2019.