

# 直线加速器等中心精度检测与质量保证研究

陈华元<sup>1</sup>, 谢辉荣<sup>2\*</sup>

1. 广州南方医疗设备综合检测有限责任公司, 广东 广州 510000

2. 南方医科大学生物医学工程学院, 广东 佛山 528000

DOI:10.61369/MRP.2025070025

**摘要:** 随着放射治疗技术的不断发展, 直线加速器在肿瘤治疗中扮演着日益重要的角色, 其性能直接关系到放疗的精准度和患者安全。等中心精度作为确保放疗剂量精确投递的关键参数, 其准确性至关重要。一旦等中心精度出现偏差, 将导致放疗剂量分布失准, 不仅影响治疗效果, 还可能引发严重并发症。本文系统阐述了直线加速器等中心精度检测与质量保证的重要意义, 详细介绍了激光灯等中心检测、电子门户成像装置 (Electronic Portal Imaging Device -EPID) 检测、星形图检测等核心方法的应用路径, 并提出了相应的质量保证措施, 旨在为肿瘤患者提供更安全、有效的放射治疗保障。

**关键词:** 质量保证; 加速器; 等中心精度

## Research on the Detection and Quality Assurance of the Isocenter Accuracy of Linear Accelerators

Chen Huayuan<sup>1</sup>, Xie Huirong<sup>2\*</sup>

1. Guangzhou Nanfang Medical Equipment Comprehensive Testing Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

2. School of Biomedical Engineering, Southern Medical University, Foshan, Guangdong 528000

**Abstract:** With the continuous development of radiation therapy technology, linear accelerators play an increasingly important role in tumor treatment, and their performance is directly related to the accuracy of radiotherapy and patient safety. The accuracy of the isocenter, as a key parameter to ensure precise delivery of radiotherapy dose, is crucial. Deviations in isocenter accuracy can lead to inaccuracies in radiotherapy dose distribution, affecting treatment effectiveness and potentially causing severe complications. This article systematically explains the significance of isocenter accuracy detection and quality assurance for linear accelerators. It provides a detailed introduction to the application pathways of core methods such as laser light isocenter detection, Electronic Portal Imaging Device (EPID) detection, and star pattern detection. Additionally, corresponding quality assurance measures are proposed to provide safer and more effective radiotherapy support for tumor patients.

**Keywords:** quality assurance; accelerator; isocenter accuracy

## 引言

放射治疗过程中直线加速器的等中心是治疗计划设计与剂量计算的基准参考点。直线加速器等中心精度检测与质量保证直接决定了治疗的精准性、安全性和有效性。医疗单位及第三方检测机构亟需完善检测方法, 优化质量控制流程, 积极引进先进、高效的检测技术与设备, 以适应日益复杂的临床需求。通过实施严格的质量保证体系, 确保设备始终处于最佳工作状态, 为患者提供高质量的放疗服务, 同时有效降低医疗风险和成本。

## 一、直线加速器等中心精度检测与质量保证的意义

### (一) 提高患者治疗效果

等中心精度直接影响射线束的聚焦位置, 若等中心存在偏差, 射线无法准确地照射到肿瘤靶区, 如在治疗脑部肿瘤时, 若

等中心不准确, 会使部分肿瘤组织得不到足够的剂量照射, 导致肿瘤细胞残留, 增加复发的风险, 也会对周围正常脑组织造成不必要的损伤, 引起患者肢体运动障碍、语言功能障碍等严重并发症。对于胸部肿瘤的治疗, 精确的等中心能够保证心脏、肺等重要器官在安全范围内, 避免因照射野偏移而受到过量照射, 减少

放射性肺炎、放射性心脏病等并发症的发生概率。准确的等中心是实现肿瘤局部控制和提高患者生存率的关键因素之一，当加速器的等中心精度得到保障时，能够按照放疗计划精确地给予肿瘤靶区足够的辐射剂量，最大限度地杀灭肿瘤细胞，同时在一些需要高精度放疗的疾病中，精确的等中心能够确保高剂量辐射准确地作用于肿瘤病灶，提高肿瘤的局控率。当患者了解到医疗机构对直线加速器等中心精度进行严格的检测和质量保证时，会对治疗的安全性和有效性更有信心，有助于患者更好地配合治疗，减少因焦虑和恐惧带来的心理负担，患者家属会更放心地让患者接受治疗，减少医患之间的信任危机，有利于建立良好的医患关系<sup>[1]</sup>。

## （二）优化放疗工作流程

放疗的核心在于精确地将射线聚焦于肿瘤组织，同时避免对周围正常组织的过度损伤，直线加速器等中心精度的准确与否直接关系到射线能否准确照射到预定的肿瘤位置，对于脑部肿瘤的放疗，哪怕等中心偏差几毫米，都会使射线错过肿瘤关键区域，而影响到周围重要的脑组织功能区，给患者带来严重的后遗症，同时准确的等中心是保证肿瘤组织得到合适且均匀剂量照射的前提，只有在等中心精度良好的情况下，才能按照治疗计划精确地将设计好的剂量投射到肿瘤部位，实现对肿瘤的有效杀灭同时最大程度保护正常组织。等中心精度出现问题会使射线照射范围出现偏差，从而增加周围正常组织暴露在射线下的风险，通过严格的等中心精度检测与质量保证，可以将这些风险降至最低，保障患者在放疗过程中的安全性。准确的等中心设置有助于防止射线照射到非目标区域，避免对患者身体其他部位造成意外的辐射伤害，完善的精度检测和质量保证体系能够，及时发现并纠正这类潜在的问题，确保放疗只在规定的靶区范围内进行<sup>[2]</sup>。

## 二、直线加速器等中心精度检测方法的应用路径

### （一）激光灯等中心检测

激光灯等中心检测基于激光束的直线性和稳定性原理。通过调整激光灯位置和角度，使其与直线加速器治疗头中心重合或形成特定几何关系，从而评估等中心精度<sup>[3]</sup>。具体操作流程如下：

1) 准备工作：确保激光灯、直线加速器及相关测量工具状态良好；清理加速器周围环境，避免遮挡激光束；将激光灯稳固安装在治疗头适当位置，利用水平仪、量角器等初步调整其角度与位置。

2) 激光校准：启动激光灯，观察其在治疗室内的投影；根据投影情况精细调整激光灯角度与位置，直至其光束精确指示加速器等中心位置。

3) 动态测试：在治疗床上放置测量工具（如胶片、靶点板）；驱动加速器治疗头旋转不同角度（如 $0^{\circ}$ 、 $90^{\circ}$ 、 $270^{\circ}$ ）；在每个角度下，观察并记录激光束在测量工具上的投影位置。

4) 数据分析与调整：对比不同角度下的投影点位置偏差，计算等中心误差。若偏差超出允许范围（通常为 $\pm 1\text{mm}$ 或更严），则需进一步调整激光灯或加速器相关机械部件（如机架、准直

器），直至精度达标。

### （二）电子门户成像装置检测

EPID检测利用安装在治疗头对侧的平板探测器获取射线穿过模体或患者后的影像，用于评估几何与剂量精度<sup>[4]</sup>。操作要点如下：

1) 设备准备：确保EPID及直线加速器（机架、治疗床等）运行正常；根据加速器型号和治疗能量设置EPID成像参数（如剂量、增益、分辨率）；对EPID进行必要校准。

2) 定位与摆位：将EPID精确固定于治疗头下方，确保其中心与光野中心重合；将内置标记点的模体（或特定测试工具）置于治疗床上，利用激光定位系统精确摆位，使模体参考点位于预设等中心；移动治疗床至合适位置。

3) 影像采集：在机架不同角度（如 $0^{\circ}$ 、 $90^{\circ}$ 、 $180^{\circ}$ 、 $270^{\circ}$ ）下，用直线加速器照射模体，通过EPID采集透射图像。确保射线输出稳定。

4) 图像分析与评估：使用专用软件分析EPID图像：

5) 几何精度：识别图像中模体标记点（或辐射野中心）的实际位置，与预设的等中心位置进行比较，计算位移偏差，评估等中心精度。

6) 剂量分布（可选）：分析图像灰度分布，评估射线束在模体内的剂量均匀性、对称性，间接反映射线束指向精度和准直系统性能。

### （三）星形图检测

星形图检测利用特制的星形模体（通常由高密度金属丝或小球在特定角度排列构成）成像，通过分析星芒汇聚点评估等中心精度。步骤为：

1) 准备与摆位：确保加速器参数已校准；选择完好无损的星形图模体；利用激光定位系统或其他辅助装置，将模体中心精确重合于预设加速器等中心位置，并确保模体在照射过程中绝对固定。

2) 参数设置与曝光：根据模体规格设置合适的照射参数（小野、低剂量）；在多个不同机架角度（通常至少4个正交角度）下，对星形图模体进行曝光成像（如使用胶片或EPID），严格控制剂量。

3) 图像处理与分析：将获取的星形图图像导入分析系统，进行预处理（去噪、增强对比度）；利用专业软件识别每个角度图像中星芒线的汇聚中心点；计算各角度下汇聚中心点与预设等中心点的偏差；综合所有角度偏差结果，精确评估直线加速器的三维等中心误差。

## 三、直线加速器等中心精度检测的质量保障措施

### （一）加强环境控制

医院应安装高精度的空调系统，确保治疗室内温度和湿度保持在相对稳定的范围内，一般温度应控制在 $20^{\circ}\text{C}$  -  $25^{\circ}\text{C}$ ，湿度在40% - 60%，进而减少因温度变化导致设备部件热胀冷缩，使用温湿度记录仪实时监测治疗室内的温湿度情况，定期检查和维

护温湿度调节设备, 确保其正常运行, 加速器机房的建筑结构应具备良好的抗震性能, 采用合适的建筑材料和结构设计, 减少外界震动对设备的干扰, 加速器设备底部安装专业的隔振垫或隔振平台, 有效隔离地面传来的震动。电磁屏蔽与干扰防护中应构建完善的电磁屏蔽室, 屏蔽室应具备良好的密封性, 能够有效阻挡外部电磁波的进入, 还应合理规划治疗室内的电气布线, 避免强电线路与弱电线路相互干扰, 将加速器的电源线路、控制线路等与其他无关设备线路分开布置, 并采用屏蔽电缆, 减少电磁辐射和干扰。医院应配备高效的空气净化设备, 过滤空气中的灰尘、微粒等杂质, 定期更换空气过滤器, 建立严格的日常清洁制度, 定期对治疗室进行清洁打扫, 还应提供充足且均匀的照明, 保持治疗室内良好的通风, 及时排出设备运行产生的热量和有害气体<sup>[5]</sup>。

## (二) 人员培训工作

医院应积极开展关于直线加速器工作原理的深入课程, 使操作人员和技术人员理解中心等中心精度在加速器运行过程中的关键地位, 详细讲解等中心的概念, 通过示意图、动画演示等方式, 使培训人员认识到等中心是放疗计划设计和执行的基础, 介绍等中心精度检测的各种方法, 讲解每种方法的原理、适用范围和优缺点, 明确不同类型加速器、不同治疗模式下等中心的允许偏差范围, 还应使相关人员全面了解医院的放疗质量控制体系, 特别是等中心精度检测在其中的位置和作用, 强调质量控制流程的重要性<sup>[6]</sup>。实践操作培训, 应安排专门的实践课程, 使操作人员熟悉加速器的控制界面, 如三维水箱, 培训人员应掌握如何正确放置电离室或剂量计, 如何调整水箱的水位和水温, 以及如何进行数据采集和传输, 设置模拟检测场景, 使培训人员按照标准的检测流程进行等中心精度检测操作, 模拟中, 可以人为地设置一些常见的故障或误差情况, 如电离室的偏置、激光定位系统的偏差、治疗床的运动误差等, 要求培训人员能够及时发现问题并进行初步的故障排除, 针对可能出现的复杂问题, 组织案例分析和讨论。使培训人员分享自己的见解和处理方法, 提高培训人员解决实际问题的能力。

## (三) 注重设备维护

医院工作人员应定期检查加速器机架的外观, 查看是否有松动、变形或损坏的迹象, 检查各机械连接部位, 确保机架结构的稳定性, 检查治疗床的运动情况, 包括升降、进出和左右移动, 确保治疗床运动平稳, 无卡顿或异常抖动, 还应按照设备制造商的建议, 定期对加速器的等中心进行机械校准, 使用高精度的量具, 来检查和调整机架旋转中心、治疗床运动轨道等与等中心相关的机械参数, 积极对治疗床的水平度和垂直度进行校准, 可以使用水平仪等工具来检查和调整治疗床的姿态, 确保其符合精度要求<sup>[7]</sup>。此外, 工作人员应确保加速器的电源供应稳定, 安装不间断电源(UPS)系统, 以防止市电突然断电或电压波动对设备造成损害, 定期检查电源线路, 包括电缆是否有破损、接头是否松动等情况, 积极利用设备自带的电气监测系统或专业的电气测试仪器, 定期监测加速器的电流、电压、电阻等电气参数, 根据监测结果, 对电气参数进行校准, 使射线束能够准确地聚焦在等中心位置。辐射相关部件维护中应定期检查加速器的靶材状况, 定期检查准直器的叶片是否变形、损坏或堵塞, 使用专用的工具和清洁剂, 小心地清除准直器叶片上的灰尘、油污等杂质, 通过校准装置检查准直器叶片的位置精度, 确保其能够准确地限定射线束的范围, 保证等中心精度<sup>[8]</sup>。

## 四、结束语

综上所述, 直线加速器的等中心精度是放射治疗质量的核心保障。本研究深入探讨了等中心精度的关键意义、主流检测方法(激光灯、EPID、星形图)的具体应用路径以及环境控制、人员培训、设备维护等关键质量保证措施。医疗机构应综合运用几何学、剂量学及先进影像技术, 结合多种检测工具与方法, 对等中心精度实施全面、严格的检测。同时, 建立并执行规范化的质量控制流程, 对检测数据进行持续监测与分析, 方能确保持续提供精准、安全、高效的放射治疗服务, 最终惠及广大肿瘤患者。

## 参考文献

- [1] 李列, 张航, 晏涑, 等. 医用直线加速器的验收与 QA、QC 质控研究 [J]. 中国设备工程, 2025, (11): 12-14.
- [2] 中莹, 孙磊. 医科达医用直线加速器激光灯辅助定位系统的快速质量控制与校准方法 [J]. 医疗装备, 2024, 37(21): 38-42.
- [3] 李陆军, 钟宇行, 覃伟光, 等. Brain LAB 立体定向放射治疗系统辐射等中心误差检测 [J]. 医疗装备, 2022, 35(11): 9-11.
- [4] 高层层, 杨磊. 医用直线加速器影像系统质量控制方法的研究 [J]. 中国医疗器械信息, 2023, 29(13): 169-171.
- [5] 唐恩宽, 刘钊, 于文辉, 等. 医用电子直线加速器辐射环境影响分析——以某三甲医院建设项目为例 [J]. 环境与发展, 2024, 36(01): 94-103.
- [6] 王宇翔, 高楠, 刘志鹏, 等. VitalBeam 直线加速器机房辐射屏蔽效果研究 [J]. 中国医学装备, 2023, 20(05): 17-21.
- [7] 费非, 葛连刚, 焦识博, 等. 医用直线加速器的健康监测与智能运维 [J]. 设备管理与维修, 2023, 10: 100-104.
- [8] 刘浩武. 关于医用电子直线加速器的故障与维护方法探讨 [J]. 信息系统工程, 2019, No.305(05).