

TOMO相关质控指南解读及临床应用

刘吉平^{1,2},程晓龙²,王彬冰²,方佳本²,时建芳²,陈炜²

1. 浙江中医药大学研究生院, 浙江 杭州 310053; 2. 中国科学院大学附属肿瘤医院(浙江省肿瘤医院)放射物理科/浙江省放射肿瘤学重点实验室, 浙江 杭州 310022

【摘要】随着国内TOMO技术的推广应用和相关质控指南的相继出台,目前还没有较为完善的质控指南解读和质控项目操作规范的研究发布,TOMO质控技术实施的同质化和推广受到了一定影响,更缺少适合国内临床需求的优化质控方案。本研究对《AAPM TG148号报告》、WS531-2017《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》和NCC/T-RT003-2019《螺旋断层放疗系统的质量保证》这3种TOMO质控相关指南进行分析及横向比较。文献搜集分析了近5年国内外有关常规直线加速器主流质控设备及新型质控设备在TOMO质控中的应用,从而提出一套操作性更强、效率更高的质控方案。完善的质控检测操作规范有利于相关从业人员对TOMO质控技术的学习和掌握,合理的质控项目设置更有利于质控的高效实施,三维及更新型质控设备的应用会节省质控费用并大幅度提升质控效率。

【关键词】TOMO;质量控制;指南解读;操作规范

【中图分类号】R318.6

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2021)12-1487-08

Interpretation on TOMO relevant quality control guidelines and its clinical application

LIU Jiping^{1,2}, CHENG Xiaolong², WANG Binbing², FANG Jiaben², SHI Jianfang², CHEN Wei²

1. Graduate School, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310053, China; 2. Zhejiang Key Laboratory of Radiation Oncology/Department of Radiation Physics, Cancer Hospital of University of Chinese Academy of Sciences (Zhejiang Cancer Hospital), Hangzhou 310022, China

Abstract: With the promotion and application of TOMO technique in China and the release of relevant quality control guidelines, there is still no relatively perfect interpretation on quality control guidelines and operation specifications, which limits the homogenization and promotion of TOMO quality control technologies, and there is lack of optimized quality control scheme suitable for domestic clinical needs. Herein 3 TOMO quality control guidelines, namely AAPM TG148 Report, Specification for Testing of Quality Control in Helical Tomotherapy Unit (WS531-2017), and Quality Assurance and Quality Control of Helical Tomotherapy Systems (NCC/T-RT003-2019), were analyzed and compared horizontally. The literatures published in recent 5 years about the applications of mainstream quality control equipments for conventional linear accelerator and novel quality control equipments in TOMO quality control were collected and analyzed, thereby proposing a set of quality control scheme which is more operational and more efficient. A perfect quality control and testing operation standard is beneficial for relevant practitioners learning and mastering TOMO quality control technologies, and a reasonable quality control item setting is more conducive to the implementation of quality control, and the application of three-dimensional and novel quality control equipments lowers quality control costs and greatly improves quality control efficiency.

Keywords: TOMO; quality control; guideline interpretation; operation specification

前言

TOMO是一种集图像引导和调强放疗于一体的螺旋断层放疗系统,其360°旋转机架、极高的调制能力、

独特的动态方式、系统的精度和稳定性是保证治疗准确安全的前提,TOMO的质量控制尤为重要^[1]。截止2020年,全球共计600余台TOMO装机,国内用于治疗约有43台,随着普及型号划归乙类、新型第4代的量产以及国内工厂建设,该技术将会得到加速推广。2010年,美国医学物理协会(AAPM)基于AAPM TG40和TG142号报告编制了TG148号报告,对TOMO的质量控制做了全面论述,由于该报告对应检测项目繁多、步骤繁琐,仅在TOMO的验收检测阶段和状态检测阶段应用^[2]。

【收稿日期】2021-06-20

【基金项目】浙江省医药卫生科技计划(2020ZH016, 2022ZH003)

【作者简介】刘吉平,副主任技师,研究方向:放射物理技术质控, E-mail: liujp@zjcc.org.cn

国内对 TOMO 剂量学参数测量、床移动准确性、图像质量检测及多叶准直器(Multi-Leaf Collimator, MLC)机械性能检测进行了相关独立报道^[3-5];国外对于质量控制的报道多涉及电离室应用、探测器优化、MLC 性能测试、TOMO 整体稳定性分析等方面^[6-8]。2017年和2019年国家卫健委和国家癌症中心分别发布了 WS531-2017《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》和 NCC/T-RT003-2019《螺旋断层放疗系统的质量保证》行业标准及质控指南,规定国内医疗机构已开展使用的 TOMO 用于临床使用的设备安全、质量控制检测方法及要求,但均未详细阐明各项检测内容的具体操作步骤和误差分析。笔者的一项实施规范对 WS531-2017 指南内各个检测项目的规范化操作、误差及数据分析进行阐述^[1];一组 WS531-2017 跟踪评价报告提出该标准内容有待进一步完善、相关培训体系尚欠缺^[9-10]。目前尚无针对 3 项指南横向比较的解读,因此本研究对这 3 项指南进行对比解读,并结合临床实践对包含项目的实施进行阐述,同时对近些年三维质控设备及新型质控设备的应用情况进行分析,为 TOMO 质控的进一步完善、优化、质控效率提升等提供技术支持。

1 指南解读与对比

目前 TOMO 的相关质控指南主要有 3 类:(1)《AAPM TG148 号报告》^[11];(2)WS531-2017《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》^[12];(3)NCC/T-RT003-2019《螺旋断层放疗系统的质量保证》。

1.1 《AAPM TG148 号报告》解读

TG148 号报告是 AAPM 基于 TG40 号报告和 TG142 号报告,并结合 TOMO 独特的硬件设计,综合 TOMO 质量控制的一些文献报道、建议及特殊定制的质量保证规程,于 2010 年形成的一套综合的检测方案。该报告包含的 TOMO 质控项目主要有以下几类:(1)机械方面校准;(2)射野参数;(3)治疗床/机架测试;(4)MVCT 图像质量评价;(5)治疗计划验证;(6)其他方面。

1.1.1 机械方面校准 (1)铅门与射线源在 Y 轴方向上对齐,即检测铅门在 Y 轴方向上与射线源的机械校准,确保射线源始终保持在调制射野中心;(2)射线源在 X 方向上的校准,利用 MLC 的凸凹槽效应,MLC 聚焦在源上时,这种凸凹槽效应会降到最低;(3)铅门 Y 轴方向上偏移检测/射野中心,确保治疗射野的中心横断面轴与旋转轴垂直相交,当机架角为 0°时,前者垂直向下;(4)Y 轴方向上铅门/机架旋转平面校准,可以用(3)测试所用的胶片进行分析;(5)治疗射野中心,保证铅门的开合与中心轴对称,所有

的临床射野只有一个中心;(6)MLC 校准测试/MLC 扭转,保证 MLC 叶片以光源为中心均匀分布,同时 MLC 的射野边缘与旋转中心轴垂直。

1.1.2 射野参数 (1)输出剂量稳定性,包括静态输出和旋转输出,静态输出稳定性是静止机架在特定输出时间的剂量值与最近剂量校准值的比值,旋转输出稳定性类似于执行治疗计划测量值与计算值的比值;(2)百分深度剂量,与直线加速器检测方案基本一致,但由于 TOMO 的靶磨损很快,所以检测频率更高;(3)横断面(锥形)剂量分布,TOMO 没有均整器,其 MV 射线横断面剖面呈锥形且剂量向前分布,所有临床射野宽度均需要测试;(4)射野纵向剖面剂量分布,患者剂量是纵向剂量剖面和治疗床运动的积分,所有临床射野宽度均需要测试。

1.1.3 治疗床/机架测试 (1)机架角度稳定性,检测系统正确确定机架角度的能力;(2)进床速度均匀性,检测系统准确得到同步照射和床位置的能力;(3)进床/旋转同步性,检测床与机架联合运动的一致性。

1.1.4 MVCT 图像质量评价 (1)几何形变,检测物体 MVCT 图像尺寸和方向上的准确性;(2)噪声,检测像素值的随机不确定性;(3)均匀性,保证 MVCT 用于剂量计算的准确性;(4)空间分辨率,采用高对比孔对测试模式检测;(5)低对比度分辨率,利用不同密度的等效水模体检测;(6)CT 值-电子密度转换,MVCT 图像用于剂量计算,获取 MVCT 值与物理密度间的刻度曲线;(7)MVCT 剂量学,测量成像剂量及评价图像质量。

1.1.5 治疗计划剂量验证 利用 DQA 软件配合电离室及胶片或其他检测设备完成计划的剂量验证。

1.1.6 其他方面 (1)中断治疗程序,测试 TOMO 生成中断程序的准确性;(2)红绿激光灯自身的定位,测试绿激光灯平面与治疗中心在纵轴上的精确性,墙后绿激光灯与顶部绿激光灯的重合性,红绿激光灯间位置的偏移;(3)治疗床准确性,测试床的物理运行距离与数字显示,床面的水平测试,纵轴方向上床的移动与治疗平面垂直性测试,空载条件床下沉检测。

报告推荐检测频次为日检、月检、季检和年检,具体检测项目、允许值及频次如表 1 所示。

1.2 WS531-2017《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》解读

自 2007 年第一台 TOMO 在 301 医院启用来,国内一直没有相关的质控标准和规范,直到 2017 年国家卫健委编制了卫生行业标准 WS531-2017《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》。该标准是基于 AAPM TG148 号报告,对质控内容进行精简,并没有

表1 TOMO质控检测项目、允许值及频率(AAPM TG148)

Tab.1 TOMO quality control test items, tolerance values and frequencies (AAPM TG148)

质控项目	检测项目	评价标准	日检	月检	季检	年检
机械校准	铅门与射线源在Y轴方向上对齐	≤0.3 mm				√
	光源在X方向上的校准	≤0.34 mm				√
	铅门Y轴方向偏移/射野中心	≤0.5 mm				√
	铅门Y轴方向/机架旋转平面校准	≤0.5°				√
	治疗射野中心	≤0.5 mm				√
	MLC校准测试/MLC扭转	≤1.5 mm/0.5°				√
射野参数	静态输出稳定性	≤3%	√			
		≤2%		√		
	旋转输出稳定性	≤3%	√			
		≤2%		√		
	旋转输出波动	≤2%		√		
	监测电离室稳定性	≤2%		√		
	射线质量	PDD ₁₀ 或TMR _{20/10} ≤1%		√		
	横断面(锥形)剂量分布	射野中心均误差≤1%		√		
	射野纵向剖面剂量分布	最大半高宽层厚≤1%		√		
	剂量刻度	≤1%				√
治疗床/机架测试	机架角度稳定性	≤1°			√	
	进床速度均匀性	剂量不均匀性≤2%			√	
	进床/旋转同步性	每5 cm≤1 mm			√	
MVCT图像质量	几何形变	≤1~2 mm		√		
	噪声	基于基准一致性		√		
	均匀性	≤25 HU		√		
	空间分辨率	≤1.6 mm		√		
	低对比度分辨率	基于基准一致性		√		
	CT值-电子密度转换	水≤30 HU;肺/骨≤50 HU		√		
	MVCT剂量	与基准一致			√	
治疗计划系统	图像/治疗/激光线坐标的一致性	≤1~2 mm				√
	点剂量	≤3%				√
	γ通过率	(3%/3 mm)≥90%				√
	TPS中物体尺寸	1 kVCT体素				√
	CT像素尺寸	正确传输				√
	CT图像的方向	正确传输				√
	CT灰度范围值	正确传输				√
	关联信息	正确传输				√
	导入结构的尺寸	1 kVCT体素				√
	导入结构位置	正确传输				√
	导入结构方向	正确传输				√
其他方面	中断治疗程序	≤3%		√		
	横断面绿激光灯(距离/扭转)	≤1 mm/0.3°		√		
	矢状/冠状绿激光灯	≤1 mm		√		
	红激光灯初始位置	≤1 mm	√			
	红激光灯移动一致性	≤2 mm	√			
		≤1 mm		√		
	床位长轴移动校准	≤2 mm	√			
		≤1 mm		√		
	床的物理运行距离与数字显示	≤1 mm		√		
	床水平	≤0.5°		√		
	床下沉	≤5 mm		√		

增加更新的质控项目,质控方法也基本保留,但是部分检测项目的技术要求和检测频率有所变化,具体如表2所示。

表2 TOMO 质控检测项目、允许值及频率(WS531-2017)
Tab.2 TOMO quality control test items, tolerance values and frequencies (WS531-2017)

检测项目	评价标准	日检	月检	年检
静态输出稳定性	≤2%	√	√	√
旋转输出稳定性	≤4%	√	√	√
百分深度剂量	≤3%		√	√
横断面(锥形)剂量分布	≤1 mm			√
射野纵向剖面剂量分布	≤1.5 mm			√
MLC横向偏移	≤1 mm			√
绿激光灯指示虚拟等中心准确性	≤1 mm		√	√
红激光灯指示准确性	≤1 mm	√	√	√
治疗床的移动准确性	≤1 mm		√	√
床移动和机架旋转同步性	≤1 mm			√

1.3 NCC/T-RT003-2019《螺旋断层放疗系统的质量保证》解读

国家癌症中心/国家肿瘤质控中心于2019年联合放疗质控专家委员会编制了NCC/T-RT003-2019《螺旋断层放疗系统的质量保证》,规定国内医疗机构已开展使用的TOMO用于临床使用的设备安全、质量控制检测方法及要求。该指南较WS531-2017内容更丰富,但主要依然是基于AAPM TG148号报告,增加了部分新的质控方案,多数项目的质控操作有所保留,同时在质控频率上又有所调整。主要改变为:(1)将射线输出的“横向、纵向剖面剂量分布”划归为月检;(2)增加周检,将“百分深度剂量”列入;(3)增加“探测器矩阵”计划质量保证的应用;(4)部分检测项目配备了操作图文,部分操作细节更加明确,例如“成像剂量”中增加了具体扫描长度的数值等。整体情况如表3所示。

1.4 指南对比

AAPM TG148号报告是TOMO最早的质控指

表3 TOMO 质控检测项目、允许值及频率(NCC/T-RT003-2019)
Tab.3 TOMO quality control test items, tolerance values and frequencies (NCC/T-RT003-2019)

质检项目	检测项目	评价标准	日检	周检	月检	季检	年检
机械精度	源在X轴方向偏移	≤0.34 mm					√
	铅门Y轴方向与源一致性	≤0.3 mm					√
	铅门Y轴方向与机架旋转平面的偏移	≤0.5 mm					√
	射野中心(MLC对称性)	≤0.5 mm					√
	MLC扭转测试	≤0.5°					√
射线输出与剂量分布	静态输出稳定性	≤3%	√		√		√
	旋转输出稳定性	≤3%	√		√		√
	百分深度剂量	PDD ₁₀ , TMR _{20/10} ≤1%		√	√		√
	横向剖面剂量分布	≤1%			√		√
	纵向剖面剂量分布	≤1%			√		√
激光定位系统	绿激光灯指示虚拟等中心准确性	≤1 mm			√		
	后墙绿激光灯X、Z轴方向偏移	≤1 mm, 1°			√		
	头顶红激光灯旋转及Y轴方向偏移	≤0.3°, 1 mm			√		√
	红激光灯指示准确性	≤2 mm	√		√		√
治疗床精度	床水平度	≤0.5°			√		√
	床移动准确性	≤1 mm			√		√
	虚拟等中心至治疗中心的沉降偏差	≤5 mm			√		√
治疗装置同步性	叶片打开和机架旋转同步性	≤1°				√	√
	床移动和机架旋转同步性	≤1 mm				√	√
MVCT 影像系统检测	空间分辨率	≤1.6 mm			√		√
	低对比度分辨率	目测能看到所有的密度插棒			√		√
	图像均匀性	≤25 HU			√		√
	图像噪声	中心(50~70 HU)/外围(25~35 HU)			√		√
	几何精度	≤1 mm			√		√
	CT值线性	水≤30 HU;肺/骨≤50 HU					√
	成像剂量	≤3 cGy			√		√

南, 涵盖了比较全面的 TOMO 质控内容, 可作为 TOMO 安装验收的参考, 但是只对部分项目进行了详细的理论解释和实践指导, 很多项目的实施还没有明确的方案, 且随着 TOMO 更多的临床应用和型号更新, TG148 号报告还需要增加基于主流或新型质控设备的质控内容和 TOMO 新型号“动态铅门”、“高剂量率”、“治疗床托架”等新的检测项目, 该指南在近 10 年的应用中有必要进行新版本的更替。

WS531-2017 是我国《放射诊疗管理规定》配套技术标准, 是指导国内 TOMO 质控的技术规范, 也是放射卫生技术服务机构进行 TOMO 质控检测工作的依据^[9]。该标准最大的特点是精简了 TOMO 的质控项目, 但是并没有配备各个质控项目更多的理论解释和实践操作。有调查表明 86.4% 的相关工作人员未接受过该标准的培训, 其中标准理解不足、检测指标难理解、检测设备难实现分别为 61.5%、46.2% 和 76.9%, 另外 63.6% 卫生监督机构相关工作人员认为该标准应用过程存在难度^[10]。新版本可进一步完善, 如增加治疗床检测项目, 增加 MVCT 影像检测项目, 旋转输出剂量的检测标准可降低到 3%, 增加各项目对应的检测方法描述、操作步骤图文解释以及相应理论计算的过程。

NCC/T-RT003-2019 的编制在 TG148 及 WS531-2017 的基础上, 综合了国内多家 TOMO 应用医院的实际应用, 对质控的内容进行分类优化, 增加部分质控项目的解释和操作指导。根据国内 TOMO 的工作负荷重、靶易损耗的特点, 增加百分深度剂量周检的项目, 同时增加探测器矩阵在计划质控的应用和质控细节的说明。最大的缺点是将基于水箱的“射野横、纵断面剂量分布”检测项目划归为月检, 该项检测操作比较繁琐, 加重了临床人员的负担。在将来

的版本中期待将每个检测项目对应的理论意义、计算过程、实践操作进行阐述, 同时优化项目的检测频率, 增加新质控工具的应用实例。

2 质控指南的具体实施

WS531-2017 指南包含的各项检测项目的具体操作实践和评价, 笔者在已发表的 3 篇文章《WS531-2017《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》的实施及评价》、《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》和《基于 EBT3 胶片的不同病种及治疗方式的螺旋断层治疗计划剂量验证》中给予阐述^[1, 13-14], 相关内容可供参考。

3 主流质控设备和新型质控设备的应用

TOMO 出厂标配的质控设备为: 8 通道计量仪 (TomoElectrometer)、电离室 A1SL (Standing Imaging, USA) 和 A17 (Standing Imaging, USA)、圆柱形模体 (Cheese Phantom)、等效矩形固体水、二维水箱、EBT3 胶片和 Vidar 胶片分析仪。搜集近 5 年的文献报道和同行经验交流, 目前探测器矩阵和三维蓝水箱在 TOMO 的质控中已有较多的应用, 且部分应用已替代常规质控工具。具体的应用及效果如表 4 所示。

计划剂量验证 Arc CHECK 和 Delta4 均可实现三维剂量验证, 但是 Arc Check 剂量梯度变化较大区域或低剂量区的计划验证需用胶片进行复核, Delta4 目前还没有相关报道; 对于射野离轴剂量分布检测, TomoDose 半导体探测器可作为日常快速检测, 三维蓝水箱 BPH 采集数据更完整, 可用于月检或年检。TOMO 的专属质控设备及对应的质控方法是装机验收的金标准, 但是对于日常的稳定性检测, 很多项操

表 4 近 5 年国内主流质控设备和新型质控设备的应用
Tab.4 Applications of domestic mainstream and novel quality control equipments in recent 5 years

年份	单位	质控工具	质控项目	效果
2014 ^[15]	北京军区总医院	Octavius 体模配合 PTW Seven29	计划剂量验证	可作为有效的 TOMO QA 工具
2015 ^[16]	广州军区广州总医院	Arc CHECK	乳腺癌计划剂量验证	可用于 TOMO 计划剂量验证并简化工作流程
2015 ^[17]	中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所	Arc CHECK	小靶区计划剂量验证	剂量梯度变化较大区域或低剂量区的计划验证需用胶片进行复核
2015 ^[18]	北京军区总医院	Delta4, Arc CHECK	计划剂量验证	两种探测器均实现了真正的三维剂量验证解决方案
2017 ^[19]	北京协和医院	TomoDose 半导体探测器	射野离轴剂量分布	可很好地监测射野离轴剂量分布
2017 ^[20]	北京协和医院	三维蓝水箱 BPH	射野剂量分布	BPH 摆位简单、检测速度快、精确性高, 可对 TOMO 特殊线束分布进行针对性极强的数据采集和质量控制检测
2018 ^[21]	福建省肿瘤医院	Arc CHECK	鼻咽癌计划剂量验证	能满足剂量验证需求, 摆位精度对验证结果影响很大
2019 ^[22]	大理大学第一附属医院	TomoDose 半导体探测器	测床速和 Profile 稳定性	质控过程便捷而高效
2019 ^[23]	上海交通大学医学院附属新华医院	热释光剂量计 TLD	剂量标定	可用于 TOMO 剂量测量

作又过于繁琐,费时费力。常规直线加速器的质控设备种类较多,且技术也比较成熟,各个医疗单位的物理师对于这类设备的应用更加熟练。目前国内只有少数几家医院将直线加速器的质控设备应用于TOMO的质控,且应用的范围仅为某一项质控内容。

4 质控指南优化

结合3项质控指南的内容、文献报道及临床实践,将质控指南按照设备质控和计划质控分别进行优化,具体如表5所示。

表5 TOMO 机器质控检测项目、允许值及频率(优化版)
Tab.5 TOMO quality control test items, tolerance values and frequencies (optimized version)

质检项目	检测项目	评价标准	日检	月检	年检
机械精度	源在X轴方向偏移	≤0.34 mm		√	√
	铅门Y轴方向与源一致性	≤0.3 mm		√	√
	铅门Y轴方向与机架旋转平面的偏移	≤0.5 mm		√	√
	射野中心(MLC对称性)	≤0.5 mm		√	√
	MLC扭转测试	≤0.5°		√	√
射线输出与剂量分布	静态输出稳定性	≤3%	√		√
	旋转输出稳定性	≤3%	√		√
	百分深度剂量	PDD ₁₀ , TMR _{20/10} ≤1%		√	√
	横向剖面剂量分布	≤1%			√
	纵向剖面剂量分布	≤1%		√	√
激光定位系统	绿激光灯指示虚拟等中心准确性	≤1 mm		√	√
	后墙绿激光灯X、Z轴方向偏移	≤1 mm, 1°		√	√
	头顶红激光灯旋转及Y轴方向偏移	≤0.3°, 1 mm		√	√
	红激光灯指示准确性	≤2 mm	√	√	√
治疗床精度	床水平度	≤0.5°		√	√
	床移动准确性	≤1 mm	√		√
	虚拟等中心至治疗中心的沉降偏差	≤5 mm		√	√
治疗装置同步性	叶片打开和机架旋转同步性	≤1°			√
	床移动和机架旋转同步性	≤1 mm			√
MVCT 影像系统检测	空间分辨率	≤1.6 mm		√	√
	低对比度分辨率	目测能看到所有的密度插棒		√	√
	图像均匀性	≤25 HU			√
	图像噪声	中心(50~70 HU)/外围(25~35 HU)			√
	几何精度	≤1 mm			√
	CT值线性	水≤30 HU; 肺/骨≤50 HU			√
	成像剂量	≤3 cGy		√	√

机器的检测项目依然全部保留,基于中国科学院大学附属肿瘤医院(浙江省肿瘤医院)TOMO应用经验,在每日85例治疗数量的条件下,靶的损耗在一个月的周期内可控,因此去掉了NCC/T-RT003-2019《螺旋断层放疗系统的质量保证》中推荐的周检百分深度剂量,最终检测的频率按照日检、月检和年检进行划分。日检一般由技术员操作,包括动态静态剂量输出、红激光灯位置和床移动准确性;月检由物理师操作,剔除日检的剂量检测和应用水箱的射野截

面剂量分布,用固体水+电离室替代完成百分深度剂量和射野纵向截面剂量分布检测,临床应用中发现每月的机械检测对于减少机器日常治疗报错有益,最后具体检测项目包括全部的机械精度、百分深度剂量&Y-Profile(用多层固体水+电离室检测)、红绿激光灯、治疗床精度、MVCT图像的空间分辨率及成像剂量;年检包括全部的项目。计划质控采用胶片验证和探测器矩阵验证模式,探测器矩阵相比胶片节省时间,但受矩阵间距的制约,其剂量验证精度不

如胶片。在剂量梯度变化较大区域或低剂量区,在使用三维半导体矩阵进行剂量验证时,需要使用胶片进行复核。层面选取原则应涵盖相应两个以上不同处方剂量的靶区,点剂量测量点应落在最高或次高剂量平坦区域内,并远离大梯度剂量区域。

5 结论

TOMO技术集图像引导和调强放疗于一体,与传统加速器相比取消了均整器,等中心处剂量率可达8~9 Gy/min,治疗过程中机架与床同步运动,射束以360°螺旋切片式照射,机架每旋转一周有51个照射角度可形成大量的调制射野,可实现高均匀性和适形度的调强放疗,为保证准确剂量输出,输出剂量检测及放疗计划剂量验证尤其重要。随着TOMO在国内的普及,全面、精确、高效的质量控制是TOMO推广应用的关键。本研究对现行的3项TOMO质控指南进行横向比较,对各项质控内容进行解释,在保留全部检测项目的基础上提出更为优化的质控频率,并对主流质控设备和新型质控设备在质控中的应用进行汇总。TOMO装机打包在内的质控设备实际操作中有诸多问题,如:(1)二维水箱测量射野离轴剂量分布,操作过程较为繁琐,水箱摆位需要近2 h,且需要旋转水箱才能完成全部数据采集;(2)基于胶片和Cheese Phantom的计划剂量验证,测量成本高、操作繁琐。三维蓝水箱BPH摆位简单、检测速度快、精确性高,可推荐为水箱项目的设备。

如何利用已有的、成熟的、可重复测量的主流质控设备完成TOMO质控,对TOMO质控指南的各项内容补充足够的理论解释和图文操作,适当增减检测项目、调整检测频率,并形成相应的质量控制操作规范和培训课程加以技术推广,对于TOMO技术在国内普及、促进肿瘤放疗、使更多患者获益等具有极其重要的积极意义。

【参考文献】

- [1] 程晓龙, 刘吉平, 杨双燕, 等. WS531-2017《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》的实施及评价[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(9): 1013-1016.
CHENG X L, LIU J P, YANG S Y, et al. Implementation and evaluation of WS531-2017 specification for testing of quality control in helical tomotherapy unit[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(9): 1013-1016.
- [2] 翟自坡, 翟贺争, 马永忠, 等. 螺旋断层治疗系统质量控制检测与评价[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2016, 34(4): 55-60.
ZHAI Z P, ZHAI H Z, MA Y Z, et al. Quality control test and assessment of helical tomotherapy unit[J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2016, 34(4): 55-60.
- [3] 黄永杰, 王运来, 解传滨, 等. Hi-ART螺旋断层加速器治疗床自动移位准确性的验证[J]. 中国医疗器械杂志, 2013, 37(2): 143-145.
HUANG Y J, WANG Y L, XIE C B, et al. Verification of the couch automatic movement accuracy for Hi-ART tomotherapy[J]. Chinese

- Journal of Medical Instrumentation, 2013, 37(2): 143-145.
- [4] 王运来, 沙翔燕, 戴相坤, 等. Hi-ART螺旋断层治疗机剂量学参数的测量[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2008, 17(2): 226-230.
WANG Y L, SHA X Y, DAI X K, et al. Measurement of dosimetric parameters for Hi-ART helical tomotherapy unit[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2008, 17(2): 226-230.
- [5] 戴相坤, 王运来, 徐寿平, 等. 螺旋断层放射治疗机MVCT影像质量的测量分析[J]. 中国医疗器械杂志, 2010, 34(6): 55-59.
DAI X K, WANG Y L, XU S P, et al. Analysis of megavoltage computed tomography imaging on a helical tomotherapy unit[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2010, 34(6): 55-59.
- [6] ZEVEIRINO M, AGOSTINELLI S, PUPILLO F, et al. Determination of the correction factors for different ionization chambers used for the calibration of the helical tomotherapy static beam[J]. Radiother Oncol, 2011, 100(3): 424-428.
- [7] MIKOŁAJCZYK K, PIOTROWSKI T. Development of cylindrical stepwedge phantom for routine quality controls of a helical tomotherapy machine[J]. Phys Med, 2013, 29(1): 91-98.
- [8] LISSNER S, SCHUBERT K, KLÜTER S, et al. A method for testing the performance and the accuracy of the binary MLC used in helical tomotherapy[J]. Z Med Phys, 2013, 23(2): 153-161.
- [9] 宋彬, 翟贺争, 许哲, 等. WS531-2017《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》跟踪评价结果-技术服务机构相关人员[J]. 中国辐射卫生, 2020, 29(2): 133-140.
SONG B, ZHAI H Z, XU Z, et al. Tracking evaluation on 'Specification for testing of quality control in helical tomotherapy unit' (WS 531-2017): relevant personnel of technical service institutions[J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2020, 29(2): 133-140.
- [10] 翟贺争, 宋彬, 李海亮, 等. WS531-2017《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》跟踪评价结果-卫生监督机构相关人员[J]. 中国辐射卫生, 2020, 29(2): 128-132.
ZHAI H Z, SONG B, LI H L, et al. Tracking evaluation on 'Specification for testing of quality control in helical tomotherapy unit' (WS 531-2017): relevant personnel of health supervision institutions[J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2020, 29(2): 128-132.
- [11] LANGEN K M, PAPANIKOLAOU N, BALOG J, et al. QA for helical tomotherapy: report of the AAPM Task Group 148[J]. Med Phys, 2010, 37(9): 4817-4853.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. WS531-2017螺旋断层治疗装置质量控制检测规范[S]. 北京: 人民卫生出版社, 2017. National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Specification for testing of quality control in helical tomotherapy unit (WS 531-2017) [S]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2017.
- [13] 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, 35(18): 116-120.
CHENG X L, LIU J P, WANG B B, et al. Testing of dose output stability and analysis of three-year quality control in helical tomotherapy unit[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 35(18): 116-120.
- [14] 程晓龙, 陈祥, 刘吉平, 等. 基于EBT3胶片的不同病种及治疗方式的螺旋断层治疗计划剂量验证[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(18): 118-123.
CHENG X L, CHEN X, LIU J P, et al. Dose verification of tomotherapy plan based on EBT3 film in different diseases and treatments[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(18): 118-123.
- [15] 张富利, 王雅棣, 刘清智, 等. 应用Octavius体模配合PTW Seven29二维矩阵进行HT计划剂量验证[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23(5): 422-428.
ZHANG F L, WANG Y L, LIU Q Z, et al. Evaluation of PTW Seven29 combining Octavius phantom for tomotherapy patient-specific quality assurance[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2014, 23(5): 422-428.
- [16] 张晋建, 黎静, 文婷, 等. Arc CHECK在乳腺癌螺旋断层放疗计划剂量验证中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2015, 32(2): 244-249.
ZHANG J J, LI J, WEN T, et al. Irradiation dose verification by Arc CHECK on breast therapy cancer tomotherapy[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2015, 32(2): 244-249.
- [17] 丁燕秋, 吴伟章, 朱夫海, 等. Arc CHECK和EBT3胶片应用于螺旋断层放射治疗剂量验证的比较研究[J]. 中国医学装备, 2015, 12(9): 31-36.

- DING Y Q, WU W Z, ZHU F H, et al. The comparison research on application on Arc CHECK and EBT3 film in dose verification of tomotherapy planning[J]. China Medical Equipment, 2015, 12(9): 31-36.
- [18] 张富利, 王雅棣, 许卫东, 等. 应用两种三维探测器阵列进行螺旋断层调强放疗计划剂量验证[J]. 中国医学物理学杂志, 2015, 32(2): 218-223.
- ZHANG F L, WANG Y L, XU W D, et al. Dose verification of helical tomotherapy in the intensity modulated planning with three-dimensional semiconductor arrays Delta4 and ArcCheck[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2015, 32(2): 218-223.
- [19] 魏鹏, 邱杰, 程品晶, 等. 应用二维半导体矩阵进行螺旋断层加速器射野离轴剂量分布稳定性的分析[J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 3(5): 476-453.
- WEI P, QIU J, CHENG P J, et al. Off-axis dose distribution of tomotherapy accelerator analyzed with two-dimensional diode array[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 3(5): 476-453.
- [20] 魏鹏, 邱杰, 刘峡, 等. 三维蓝水箱(BPH)扫描测量系统在螺旋断层加速器质量控制检测中的应用[J]. 中国医学装备, 2017, 14(4): 54-60.
- WEI P, QIU J, LIU X, et al. Application of BPH three-dimensional scanning water tank system in helical tomotherapy accelerator's quality assurance control detection of helical tomotherapy accelerator[J]. China Medical Equipment, 2017, 14(4): 54-60.
- [21] 陈济鸿. Arc CHECK在鼻咽癌HT计划剂量验证中的应用[J]. 医疗装备, 2018, 31(13): 1-5.
- CHEN J H. Application of Arc CHECK in the validation of HT planned dose for nasopharyngeal carcinoma[J]. Medical Equipment, 2018, 31(13): 1-5.
- [22] 肖斌, 岳起立, 张莉, 等. TomoDose半导体探测器特性分析及其在Tomotherapy质控中的应用研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, 28(1): 41-47.
- XIAO B, YUE Q, ZHANG L, et al. Characteristics and clinical application of the TomoDose diode array for quality control of tomotherapy[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, 28(1): 41-47.
- [23] 王为, 沈奕晨, 蒋马伟. 探讨热释光在螺旋断层放射治疗系统和直线加速器中剂量标定[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(11): 1261-1268.
- WANG W, SHEN Y C, JIANG M W. Dosimetric calibration of thermoluminescence in helical tomotherapy system and linear accelerator[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(11): 1261-1268.

(编辑:谭斯允)