

MR模拟定位机的验收测试-依据指南的实践与结果分析

袁翠云¹, 陈辛元², 刘晨彬¹, 李阳¹, 权恩卓¹, 戴建荣²

1. 国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院深圳医院放疗科, 广东 深圳 518116;

2. 国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院放疗科, 北京 100021

【摘要】目的:磁共振模拟定位机(MR Sim)是新类型的放疗模拟定位机。验收测试是MR Sim投入使用前的重要质量保证工作。该文报告一台MR Sim的验收测试实施细节和结果分析。**方法:**依据新近发布的AAPM TG284报告和NCC/T-RT 002-2023指南,制定验收测试方案。针对MR Sim的磁场屏蔽、成像系统基础功能、图像质量指标、射频线圈验收、图像几何精度、放疗外置激光灯、定位平面床及图像传输等,使用ACR(American College of Radiology)大号模体、几何畸变测量模体等质控设备进行测试。**结果:**MR Sim验收指标中的屏蔽测试在150 MHz的频率下,屏蔽效能均值为105 dB;8项图像质量指标:几何精度、层位置精度、层厚精度、图像均匀性、伪影比、信噪比、高对比空间分辨率和低对比分辨率,均在容许误差范围内;图像几何精度测量在25 cm感兴趣范围内,最大几何畸变<2 mm;激光灯及床的误差均<1 mm,床水平度<1°;射频线圈测试及图像传输测试满足要求。**结论:**MR Sim是高精度的复杂设备,为确保其在放疗中的精准应用,投入使用前需结合本单位MR Sim的具体特点,遵循指南规范,进行验收测试具体方案的详细设计和执行。

【关键词】磁共振模拟定位;验收测试;3.0T MR;放射治疗;

【中图分类号】R318;R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2024)10-1199-07

Acceptance testing for MR simulator: guideline-based practice and result analysis

YUAN Cuiyun¹, CHEN Xinyuan², LIU Chenbin¹, LI Yang¹, QUAN Enzhuo¹, DAI Jianrong²

1. Department of Radiation Oncology, National Cancer Center/National Clinical Research Center for Cancer/Cancer Hospital & Shenzhen Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Shenzhen 518116, China; 2. Department of Radiation Oncology, National Cancer Center/National Clinical Research Center for Cancer/Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100021, China

Abstract: Objective Magnetic resonance simulator (MR Sim) is a novel type of simulation equipment utilized in radiotherapy. Acceptance testing is an essential quality assurance procedure prior to the clinical use of the MR Sim. The report provides the detailed procedures and result analysis of acceptance testing for an MR Sim. **Methods** The acceptance testing scheme was developed following the recently published AAPM TG284 report and the NCC/T-RT 002-2023 guidelines. Quality control equipments such as ACR (American College of Radiology) large phantom and geometric distortion measurement phantom were used for evaluating various aspects of the MR Sim, including the effectiveness of shielding, the functionality of imaging system, the image quality, the performance of radio frequency coils, the geometric accuracy of large field imaging, the precision of external laser markings, the couch movement accuracy, and the image transmission accuracy. **Results** The shielding effectiveness at a frequency of 150 MHz exhibited an average value of 105 dB. All of 8 image quality indices, namely geometric accuracy, slice position accuracy, slice thickness accuracy, image uniformity, artifact ratio, signal-to-noise ratio, high-contrast spatial resolution, and low-contrast resolution, fell within recommended tolerances. The maximum geometric distortion observed across a 25 cm field of view was less than 2 mm. The errors in external laser markings and couch movement accuracy were both less than 1 mm. The couch levelness was less than 1°. Both radio frequency coils and image transmission passed the required tests. **Conclusion** MR Sim is high-precision and

【收稿日期】2024-05-12

【基金项目】国家自然科学基金(12005301);广东省基础与应用基础研究基金(2022A1515012456);深圳市医疗卫生三名工程项目(SZSM201612063);深圳市医学研究专项资金(B022300257);中国医学科学院肿瘤医院深圳医院内科研课题(E010321015, E010322028, SZ2020QN013)

【作者简介】袁翠云, 硕士, 研究实习生, 研究方向:放射物理, E-mail: cuiyun.yuan@hotmail.com

【通信作者】权恩卓, 博士, 研究员, 研究方向:放射物理, E-mail: quanenzhuo@cicams-sz.org.cn

complex. To ensure its precise application in radiotherapy, the acceptance testing for an MR Sim should be meticulously designed and executed following the established guidelines and accounting for its unique performance characteristics.

Keywords: magnetic resonance simulator; acceptance testing; 3.0T magnetic resonance; radiotherapy

前言

磁共振模拟定位机(MR Sim)是新类型的模拟定位设备^[1-4]。在放疗领域中,MRI技术作为引导,为精准放疗提供了有力的保证^[5-7]。MR Sim采集患者在治疗体位下的MR图像,该图像通过与CT模拟定位图像进行融合配准,能够辅助勾画出更精准的肿瘤靶区和危及器官^[8-11]。

为满足放疗定位的需求,MR Sim包含MR扫描仪、定位平板床、放疗模拟定位专用的射频接收线圈、外置定位激光灯以及MR兼容的定位装置等^[12-14]。验收测试是MR Sim投入临床使用前的重要质量保证工作。

目前已有多家单位开展MR Sim定位技术并对设备进行了验收测试^[15-17]。Liney等^[18]和Torfeh等^[15]对MR Sim的几何畸变进行了验收测试,但并未提到除图像几何畸变外的验收项目。Xing等^[16]报道了MR Sim的基础功能、平板床、外置激光灯和图像几何畸变等的验收测试,但缺乏完整的图像质量指标测试。Chen等^[17]总结了MR Sim验收流程并提出了图像质量自动分析方法。巩汉顺等^[19]对MR Sim进行验收并报道了图像质量指标结果。上述学者虽然对MR Sim设备进行了详细验收,但是由于没有相关指南指导,验收测试项目及方法不尽相同。

近年来,为了确保MR图像质量满足放疗的要求,且有明确、详细的验收及质量控制规范,2021年美国医学物理师协会(AAPM)发布了有关MR Sim的TG284号报告^[20],2023年国家癌症中心发布了NCC/T-RT 002-2023MRI模拟定位物理实践指南^[21]这两份报告详细描述了MR Sim验收及质量控制的过程,包括每个测试的相应频率及容许误差,给MR Sim验收提供了一个完整且深入的方案指导。

目前尚未有依据上述两份报告指南开展MR Sim验收测试的报道。本文作者依据AAPM TG284报告和NCC模拟定位物理实践指南开展本单位MR Sim验收工作,在此予以介绍,以期对同行开展类似工作有所裨益。

1 资料与方法

1.1 MR Sim简介

中国医学科学院肿瘤医院深圳医院放疗科引进

的设备为Ingenia Elition S (Philips Healthcare, The Netherlands), 3.0特斯拉(Tesla,T)大孔径(70 cm)MR Sim。机器长度为1.62 m,宽为1.88 m,高为2.29 m。其单轴最大梯度切换率为200 T/m/s,单轴最大梯度场强为45 mT/m,最大视野(Field of View, FOV)为55 cm×55 cm×50 cm。配备了放疗专用平板床及专用放疗线圈,具有特定放疗扫描序列、呼吸门控和功能成像技术。机房配备的外激光灯定位系统为MRI兼容的三轴固定式激光灯控制系统HIT SD (CRAD, Sweden)。

1.2 验收指标和测试方法

MR Sim验收指标如表1所示,指标包括屏蔽安全、成像系统基础功能指标、成像系统图像质量指标、射频线圈、图像几何精度、模拟定位激光灯和床、图像传输和机房配套设备对图像质量的影响评估。

表1 MR Sim 验收指标
Table 1 Commissioning metrics for MR Sim

验收指标	标准值
屏蔽安全	150~170 MHz平面波下衰减>100 dB
成像系统基础功能指标	磁场均匀度:35 cm DSV<0.5 ppm
成像系统图像质量指标	详见表2
射频线圈	符合厂商要求
图像几何精度	25 cm FOV内,几何畸变误差≤2 mm
模拟定位激光灯和床	激光灯精度<±2 mm;床移动精度≤1 mm
图像传输	-
机房配套设备对图像质量的影响评估	-

1.2.1 屏蔽安全 由于射频干扰是MR图像产生伪影的一个重要因素,因此验收需要全面测试机房射频屏蔽^[22]。机房屏蔽由墙壁、天花板和地板上的铜片、窗户上的铜网以及专门设计的射频门组成,当机房门关闭时,机房内部保持屏蔽的完整性。屏蔽性能测试使用的仪器包括一个信号发生器、一对环形天线和一个频谱分析仪。射频屏蔽性能测试将天线放置在屏蔽墙或门的一侧,通过屏蔽广播射频测试信号(商定的测试频率),在屏蔽墙或门另一侧的射频天线用作接收器,将这些信号与打开射频门获得的

未衰减参考信号进行对比来确定射频信号的衰减。屏蔽安全可由第三方计量测量公司测量。

1.2.2 成像系统基础功能指标 包括B0磁场均匀性,梯度场非线性和B1磁场不均匀性。此项目由物理师及厂家工程师共同完成。

B0磁场不均匀性会影响MR图像的均匀性,导致化学位移、几何失真、脂肪饱和度差和信噪比(Signal Noise Ratio, SNR)降低。厂家工程师会在安装阶段通过匀场(shimming)方法来校准B0磁场的均匀性。

梯度场的非线性会导致MR图像的几何失真。目前MR Sim可采用软件算法来校正梯度非线性的原始MR数据。几何失真测量可通过使用厂商提供的质量控制软件、商业化软件或自建的专用软件等,检测模体内标记点的几何位置。通过计算MR图像标记点的距离,与实际的模体标记点距离数据作比较,确定模体MR图像的失真偏差。

除了B0磁场不均匀性和梯度场的非线性会影响MR图像质量,B1磁场的均匀性可能会导致MR图像强度的不准确。B1磁场的均匀性与被扫描物体形状、射频线圈和线圈配置的选择、场强、脉冲序列选择等有关。尽管各厂商的MR Sim都在MRI图像重建过程中采用了射频接收不均匀修正算法,但仍然有残余的图像强度误差。MR Sim的图像强度不均匀性(Image Intensity Nonuniformities, IINU)误差,可以通过图像均匀性检测评估和建立基准值。

1.2.3 成像系统图像质量指标 图像质量验收测试使用的模体为美国放射学会(American College of Radiology, ACR)认证的大号圆柱形模体及配备支架,如图1a所示。ACR模体长度为148 mm,直径为190 mm。其外表材料为丙烯酸塑料,内部填充NiCl₂和NaCl液体。MR图像质量指标主要包括:几何精度、扫描层位置精度、扫描层厚精度、图像均匀性、伪影情况、SNR、高对比空间分辨率和低对比分辨率。图1b为使用放疗体线圈及ACR模体扫描摆位的示意图。扫描序列参考ACR认证的MRI大号模体扫描指南参数^[23],分别扫描T1加权(T1-Weighted, T₁W)和T2加权(T2-Weighted, T₂W)图像。图1c为ACR模体扫描的定位图像,图1d为扫描得到S1~S11的11张图像。

1.2.4 射频线圈 射频线圈是实施射频激励的关键单元,负责发射各种扫描序列要求的不同反转角的射频波、以及接受MR信号。射频线圈验收包括放疗所用的体线圈、柔性线圈及诊断线圈。放疗专用线圈包括2个放疗体线圈、一对大号柔性线圈和一对小号柔性线圈。使用厂商提供的带有半自动线圈测试功

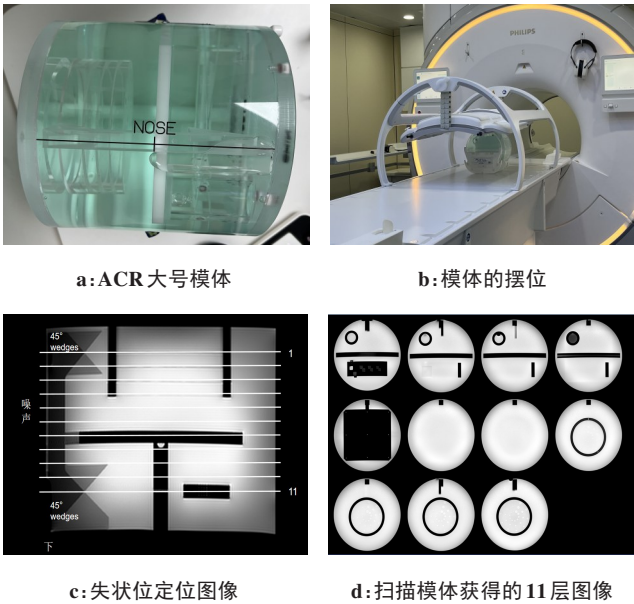


图1 ACR大号模体及图像质量测试基准图像
Figure 1 ACR large phantom and reference image for image quality analysis

能的IQT(Image Quality Test)程序及厂商配备的不同尺寸水模体,用相应的模体摆位及线圈固定操作方法,在系统上运行 ANTERIOR, FLEX_M, NVC-HEAD-NECK等预设好的扫描序列进行扫描,完成后自动测量扫描图像的SNR等信息。

1.2.5 图像几何精度 在放射治疗应用中,几何畸变会导致靶区勾画的不确定性,因此几何精准是至关重要的。虽然ACR模体测试中也有反映几何精度的部分,可以粗略评估MR成像区域空间的畸变,但是由于放射治疗对几何精准更高的要求,需要对几何畸变进行更严格的评估。图2为厂商配备的2D几何畸变测量模体,可应用厂商配置的测试程序进行测量和自动分析。



图2 2D几何畸变测量模体
Figure 2 2D geometric distortion measurement phantom

1.2.6 模拟定位激光灯和床 模拟定位激光灯和床的验收测试包括:扫描床水平度和运动精度、激光灯的

正交性和重合性。此部分的验收参照了美国医学物理师协会 AAPM TG66 号报告中 CT 模拟机的验收标准进行测量^[24]。

由于本院 MR Sim 配备的激光灯定位系统为壁挂式的固定外置激光灯系统,本次定位激光灯验收不包含激光的运动精度和范围测试,仅进行了激光灯的重叠性和平行度、激光灯定位平面与磁体中心一致性的检测。其中,激光灯定位平面与磁体中心平面的一致性需使用 MR 专用的外激光灯定位系统 (External Laser Marking and Positioning System, ELMPS) 模体进行测量。如 LAP 公司提供的 Aquarius 激光校准模体 (LAP laser, boynton beach, FL, USA),其内置扫描校准标记可检测冠状位、矢状位和轴位 3 平面零层定位的准确性。由于没有相应 ELMPS 模体,本次验收使用 ACR 模体代替测量。

1.2.7 图像传输 图像传输验收需验证从 MR Sim 传输到放疗计划系统的准确性,计划系统接收的稳定性以及图像几何、图像方向等图像信息的准确性,保证图像标记的几何空间位置信息与实际的物理空间信息一致。

1.2.8 机房配套设备对图像质量的影响评估 需测试激光灯定位系统、机房内部摄像头和高压注射器等配套设备对图像质量的影响。

2 结果

2.1 屏蔽安全

大多数厂商规定了屏蔽在特定频率下的衰减性能(单位: dB)。对于 3.0T 系统,验收标准为在测试频率为 150~170 MHz 平面波下衰减至少 100 dB。

本次验收结果在 10、64、130 及 150 MHz 的频率下,包括门、窗、失超管、绝导板、滤波器、回风口和送风口等位置的屏蔽效能均值为 105 dB,最小值为 103 dB,最大值为 107 dB,满足测试要求。图 3 为测试位置示意图。

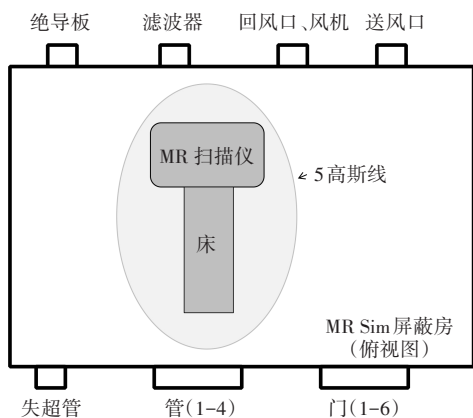


图 3 MR Sim 机房屏蔽测试图

Figure 3 Illustration of shielding testing for MR Sim room

2.2 成像基础功能

TG284 号报告中 B0 磁场均匀性要求为: 磁场均匀度在 35 cm 的球面体积空间 (Diameter of Spherical Volume, DSV) 小于 0.5 个百万分之一 (part per million, ppm)。本次核磁机器验收的磁场均匀度在 40 cm 的 DSV 小于 0.38 ppm,符合标准要求。

残余梯度非线性和 B1 磁场不均匀性将分别通过第 2.5 节图像几何精度测试中几何畸变情况及第 2.3 节图像质量测试指标中的图像均匀性测量来展示结果。

2.3 图像质量指标

使用体线圈摆位进行扫描,8 项图像质量测试指标结果及标准如表 2 所示。标准参考 AAPM TG284 报告和 NCC MRI 模拟定位物理实践指南。几何精度通过测量 ACR 模体的直径及长度来评价,实际值与测量值的差应 $\leq \pm 2$ mm。本次验收扫描得到的 T₁W 与 T₂W 图像测量模体直径值分别为 189.5、189.4 mm,模体长度均为 147.3 mm。模体直径实际为 190 mm,长度实际为 148 mm,测量误差值均 < 1 mm,结果达到上述标准。层位置精度测量是通过测量 ACR 模体 S1 及 S11 扫描层面顶端左右柱的长度差 d 来计算的, d 的一半为层位置的位移误差。ACR 的标准为 $d < 5$ mm,本次验收 T₁W 与 T₂W 图像测量的 d 值分别为 1.6、2.2 mm,层位置的误差分别为 0.8、1.1 mm,满足标准要求。层厚精度测量通过测量 ACR 模体 S1 层两个斜坡信号条长度来计算得出的,测量层厚误差范围应在真实层厚的 $\pm 10\%$ 范围内。本次 T₁W 与 T₂W 图像测量的层厚结果分别为 4.83、4.84 mm,符合标准要求。图像均匀性测量通过测量 ACR 模体的 S7 层模体的平均灰度值最大和最小值,计算得出百分图像均匀性。本次 T₁W 与 T₂W 测量的值分别为 94.3%、91.1%,满足图像均匀性 $\geq 82\%$ 的标准要求。MR 图像中的伪影情况,可通过计算伪影比来评估。在 ACR 模体的 S7 层勾画一个约 200 cm² 的圆形感兴趣区域,在图像四个边分别放置矩形感兴趣区域,分别记录感兴趣区域的平均信号值。伪影比的标准要求为 $\leq 2.5\%$,本次 T₁W 与 T₂W 图像测量的值分别为 0.02%、0.01%,符合要求。SNR 测量是通过测量均匀层面平均信号值计算得出,通过验收测试来建立基准,本次 T₁W 与 T₂W 测量的值分别为 908、842.6。高对比分辨率反映分辨最小物体的能力。在 ACR 模体 S1 层上,其内置了 3 组孔径排列,要求在左上和右下的两个方向上,至少能分辨出 1 mm 的孔径。本次 T₁W 与 T₂W 图像测量的值均为 1 mm。低对比分辨率的测量是通过测量 S8~S11 层,对 4 个层面的辐条数求和,4 个层面共 40 个辐条,要求能分辨 40 个辐条。本次 T₁W 与 T₂W 结果均为 40 个。

表2 图像质量测试各项指标结果

Table 2 Results of test metrics for image quality

图像质量测试指标	测量值(均值)		标准值
	T ₁ W	T ₂ W	
几何精度:模体直径/mm	189.5	189.4	190±2
几何精度:模体长度/mm	147.3	147.3	148±2
层位置精度/mm	1.6	2.2	±5.0
层厚精度/mm	4.83	4.84	5.0±0.5
图像均匀性/%	94.3	91.1	≥82
伪影比/%	0.02	0.01	≤2.5
信噪比	908	842.6	建立基准值
高对比空间分辨率	1.0	1.0	≤1.0
低对比分辨率	40	40	40

2.4 射频线圈

本次验收测试了放疗所用的体线圈、柔性线圈及头颈部、乳腺、关节等的诊断线圈。表3展示了16通道的放疗体线圈的SNR测试结果。依据NCC MRI模拟定位物理实践指南测试标准,测试结果中所有线圈的通道SNR均在产品标称范围内。

表3 放疗体线圈信噪比(16通道)测试结果

Table 3 SNR (16-channel) test results for the radiotherapy body coil

通道	测试值	容许最小值
1	33 548.50	19 000
2	25 121.47	15 200
3	25 961.20	14 600
4	38 808.89	19 600
5	30 277.15	16 800
6	23 675.88	14 300
7	23 309.41	13 400
8	32 790.93	17 700
9	22 308.42	11 000
10	24 768.19	14 200
11	24 414.39	13 900
12	28 200.54	13 100
13	34 695.92	16 200
14	24 213.63	14 000
15	21 916.47	13 100
16	35 278.32	17 900

2.5 几何精度

几何精度测量可以显示图像几何畸变的情况。

图4为磁体中心层面的几何畸变测量示意图,图中以不同颜色显示了几何畸变程度的等位移线。绿色、浅蓝色、黄色和红色线包含的范围分别代表畸变程度在1、2、3和5 mm的区域。可以看出,中心层面的大部分位置都能满足几何畸变<1 mm,离中心稍远的边缘处畸变略有增大。结果满足AAPM TG284 报告和NCC MRI模拟定位物理实践指南要求的在25 cm直径FOV范围内,几何畸变误差≤2 mm。

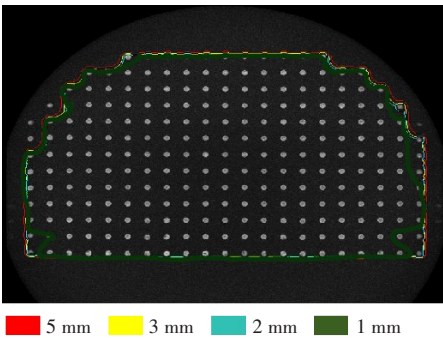


图4 几何畸变测量结果

Figure 4 Measurement results for geometric distortion

2.6 模拟定位激光灯和床

使用ACR模体测量激光灯定位平面与磁体中心平面的一致性。扫描层厚为1 mm,本次验收激光灯定位平面与磁体中心平面的误差小于1 mm。满足TG284号报告和NCC MRI模拟定位物理实践指南中激光灯定位平面与磁体中心的误差<±2 mm的要求。

针对放疗定位用的平面床板,使用水平仪在床头、床中、床尾位置分别检查头脚方向和左右方向的水平情况。本次验收扫描床的水平度均<1°。床运动精度测量结果如图5所示,共测量6组运动范围的运动精度:床初始位置设置为0 cm,床以10 cm为步长,移动至50 cm处,共5组数据。第6组数据为移动步长20 cm的精度测试。6组测试的床运动精度误差均在1 mm以内,符合TG284号报告和NCC MRI模拟定位物理实践指南要求。

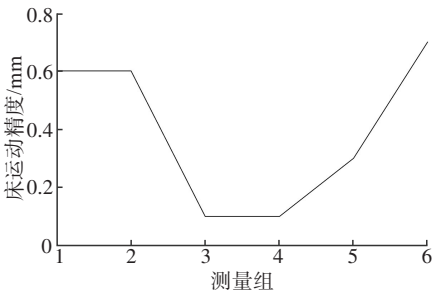


图5 定位平面床运动精度测量结果

Figure 5 Measurement results for the accuracy of the couch movement

2.7 图像传输

本次验收对图像传输至常用的计划系统 Eclipse (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA, USA), Precision (Accuray, Sunnyvale, CA, USA) 及临床图像处理软件 MIM (MIM Software Inc, Cleveland, OH, USA) 进行了测试。测试内容包括了图像的像素坐标、像素大小和层厚等参数;并对图像的位置参数进行了验证,包括不同的体位扫描模式(仰卧位或俯卧位,头先进或脚先进),左右及头脚方向的准确性。此外,对图像几何精度和分辨率进行了测试,均检查无误。

2.8 机房配套设备对图像质量的影响评估

系统测试表明,启用激光灯定位系统会对磁场造成一定程度的干扰。因此,在实际临床应用中,应在扫描过程中关闭激光灯,确保成像结果的准确性。另外,在验收阶段,我们发现如果摄像头的屏蔽措施不足,将会对图像质量造成显著影响。最后,在经过使用屏蔽材料来覆盖这些设备的措施和详尽的测试之后,高压注射器和摄像头的使用对图像质量的影响相对较小,可以在不影响成像质量的前提下正常使用。

3 讨论

该文依据 AAPM TG284 报告和 NCC MRI 模拟定位物理实践指南对 3.0T MR Sim 进行验收测试,屏蔽测试在 150 MHz 的频率下,屏蔽效能均值为 105 dB;8 项图像质量指标:几何精度、层位置精度、层厚精度、图像均匀性、伪影比、信噪比、高对比空间分辨率和低对比分辨率,均在容许误差范围内;图像几何精度测量在 25 cm 感兴趣范围内,最大几何畸变 $<2\text{ mm}$;激光灯及床的误差均 $<1\text{ mm}$,床水平度 $<1^\circ$;射频线圈测试及图像传输测试均满足指南要求。

与 1.5T MR Sim 验收对比,3.0T 屏蔽安全测量的频率更高,而屏蔽性能均要达到 100 dB。目前文献报道中的图像质量测试大多数使用 ACR 模体测量^[17],指标误差参考 ACR 模体说明要求^[23]。根据 Buatti 等^[25]提到的 AAPM TG284 报告与 ACR 的图像质量指标区别,AAPM TG284 中的低对比分辨率测试标准相比 ACR 更为严格,标准值为 40,而 ACR 对应标准值为 37。该文低对比分辨率测试结果为 40,相比上述文献测试结果更严格。成像系统基础功能、射频线圈、图像几何精度、定位激光灯、平板床和图像传输结果与以往验收测试结果相似。

MR Sim 在放疗中的应用主要与 CT 模拟定位图像进行融合,以辅助完成肿瘤靶区及周围正常危及器官的勾画。随着放疗技术的发展,MR 模拟定位将

有可能替代 CT 模拟定位,开展放疗定位、疗中评估和疗后监测,贯穿放疗的全流程。MR Sim 图像质量受多种因素影响,包括射频屏蔽完整性、磁场均匀性、射频线圈接收信号的灵敏度、梯度场线性等。不同的序列对这些因素的敏感性也不尽相同。同时,图像的几何畸变度、激光灯与床的精度误差会影响 MR Sim 与 CT 融合图像的准确性。因此,在验收过程中应严格控制 MR Sim 图像质量的影响因素,并确保图像几何畸变度、激光灯与床的精度达到最优水平。

在验收过程中需要注意:机房内的配套设备,如灯泡、摄像头和高压注射器等设备都可能产生电磁辐射。如果这些设备的电源不稳定或者存在故障,会导致 MR 图像质量下降或产生伪影。为了确保 MR Sim 图像的质量,应该对这些设备进行定期检查和维修。应该采取适当的屏蔽措施,以防止这些设备产生的电磁辐射干扰 MR 信号,包括使用屏蔽材料来覆盖这些设备,或者将它们放置在距离 MR Sim 一定距离的地方。

本文验收方案也存在局限性,将在未来逐渐完善测试。首先,由于缺少功能成像及呼吸运动测量模体,无法测量功能成像图像质量和呼吸运动检测精度。其次,本文中激光灯验收因无相关测量模体,使用 ACR 模体进行代替。为了提高激光灯测量的精准度,未来将考虑 3D 打印技术设计激光灯模体。最后,由于射频线圈的验收测试是在临床扫描序列建立之前,虽然测试了单序列不同射频线圈的性能,但没有测试所有临床扫描序列与不同射频线圈组合的图像质量。未来,将进一步测量所有临床序列与放疗射频线圈组合的图像质量,更加全面地对 MR Sim 图像进行质量控制。

综上所述,MR Sim 验收测试工作非常重要,且较为复杂,应依据行业指南,并结合本单位设备的具体特点进行详细设计和执行。

【参考文献】

- [1] Das IJ, McGee KP, Tyagi N, et al. Role and future of MRI in radiation oncology[J]. Br J Radiol, 2019, 92(1094): 20180505.
- [2] Wong KH, Panek R, Bhide SA, et al. The emerging potential of magnetic resonance imaging in personalizing radiotherapy for head and neck cancer: an oncologist's perspective[J]. Br J Radiol, 2017, 90(1071): 20160768.
- [3] Schmidt MA, Payne GS. Radiotherapy planning using MRI[J]. Phys Med Biol, 2015, 60(22): R323-R361.
- [4] Moore-Palhares D, Ho L, Lu L, et al. Clinical implementation of magnetic resonance imaging simulation for radiation oncology planning: 5 year experience[J]. Radiat Oncol, 2023, 18(1): 27.
- [5] Devic S. MRI simulation for radiotherapy treatment planning[J]. Med Phys, 2012, 39(11): 6701-6711.
- [6] Putz F, Bock M, Schmitt D, et al. Quality requirements for MRI simulation in cranial stereotactic radiotherapy: a guideline from the

- German Taskforce "Imaging in Stereotactic Radiotherapy" [J]. *Strahlenther Onkol*, 2024, 200(1): 1-18.
- [7] Paulson ES, Erickson B, Schultz C, et al. Comprehensive MRI simulation methodology using a dedicated MRI scanner in radiation oncology for external beam radiation treatment planning [J]. *Med Phys*, 2015, 42(1): 28-39.
- [8] Metcalfe P, Liney GP, Holloway L, et al. The potential for an enhanced role for MRI in radiation-therapy treatment planning [J]. *Technol Cancer Res Treat*, 2013, 12(5): 429-446.
- [9] Kessler ML. Image registration and data fusion in radiation therapy [J]. *Br J Radiol*, 2006, 79(S1): S99-S108.
- [10] Mah D, Steckner M, Palacio E, et al. Characteristics and quality assurance of a dedicated open 0.23T MRI for radiation therapy simulation [J]. *Med Phys*, 2002, 29(11): 2541-2547.
- [11] Wang ZW, Liu CY, Cheng DP, et al. Automated detection of clinically significant prostate cancer in mp-MRI images based on an end-to-end deep neural network [J]. *IEEE Trans Med Imaging*, 2018, 37(5): 1127-1139.
- [12] McJury M, O'Neill A, Lawson M, et al. Assessing the image quality of pelvic MR images acquired with a flat couch for radiotherapy treatment planning [J]. *Br J Radiol*, 2011, 84(1004): 750-755.
- [13] 陈辛元, 韩伟, 宋一昕, 等. MRI模拟定位机的选型安装和验收测试 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2017, 26(5): 603-606.
- Chen XY, Han W, Song YX, et al. Selection, installation, and acceptance test of MRI simulator [J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2017, 26(5): 603-606.
- [14] 黎蕊, 刘峡, 杨波, 等. 核磁模拟定位机临床应用的质量控制和数据分析 [J]. *中国医学装备*, 2022, 19(2): 35-40.
- Li R, Liu X, Yang B, et al. Quality control and data analysis of the clinical application of MR simulator [J]. *China Medical Equipment*, 2022, 19(2): 35-40.
- [15] Torfeh T, Hammoud R, Perkins G, et al. Characterization of 3D geometric distortion of magnetic resonance imaging scanners commissioned for radiation therapy planning [J]. *Magn Reson Imaging*, 2016, 34(5): 645-653.
- [16] Xing AT, Holloway L, Arumugam S, et al. Commissioning and quality control of a dedicated wide bore 3T MRI simulator for radiotherapy planning [J]. *Int J Cancer Ther Oncol*, 2016, 4(2): 421.
- [17] Chen XY, Dai JR. Quantitative analysis of image quality for acceptance and commissioning of an MRI simulator with a semiautomatic method [J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2018, 19(3): 326-335.
- [18] Liney GP, Owen SC, Beaumont AK, et al. Commissioning of a new wide-bore MRI scanner for radiotherapy planning of head and neck cancer [J]. *Br J Radiol*, 2013, 86(1027): 20130150.
- [19] 巩汉顺, 徐寿平, 徐伟, 等. MRI模拟定位机验收测试及其图像质量保证 [J]. *中国医疗器械杂志*, 2018, 42(6): 455-459.
- Gong HS, Xu SP, Xu W, et al. Acceptance test and image quality assurance of MRI simulator equipment [J]. *Chinese Journal of Medical Instrumentation*, 2018, 42(6): 455-459.
- [20] Glide-Hurst CK, Paulson ES, McGee K, et al. Task group 284 report: magnetic resonance imaging simulation in radiotherapy: considerations for clinical implementation, optimization, and quality assurance [J]. *Med Phys*, 2021, 48(7): e636-e670.
- [21] 国家癌症中心, 国家肿瘤质控中心. MRI模拟定位物理实践指南 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2023, 32(9): 749-790.
- National Cancer Center, National Cancer Quality Control Center. Practice guidelines for magnetic resonance imaging simulation in radiotherapy [J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2023, 32(9): 749-790.
- [22] Jackson EF, Bronskill MJ, Drost DJ, et al. Report No.100-acceptance testing and quality assurance procedures for magnetic resonance imaging facilities (2010) [EB/OL]. <https://doi.org/10.37206/101>.
- [23] American College of Radiology. Large and medium phantom test guidance for the MRI accreditation program [EB/OL]. (2022-10-19). <https://www.acraccreditation.org/-/media/ACRAccreditation/Documents/MRI/ACR-Large--Med-Phantom-Guidance-102022.pdf>.
- [24] Mutic S, Palta JR, Butker EK, et al. Quality assurance for computed-tomography simulators and the computed-tomography-simulation process: report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No.66 [J]. *Med Phys*, 2003, 30(10): 2762-2792.
- [25] Buatti JS, Gallagher KJ, Bailey I, et al. An evaluation of quality assurance guidelines comparing the American College of Radiology and American Association of Physicists in Medicine task group 284 for magnetic resonance simulation [J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2022, 23(8): e13730.

(编辑:薛泽玲)