

· 标准与讨论 ·

磁共振导引介入诊疗技术操作规范专家共识 (2025 版)

中国医师协会介入医师分会磁共振介入专家工作组 中国医药教育协会介入微创治疗专业委员会 中国抗癌协会肿瘤微创治疗专业委员会 国家肿瘤微创治疗产业技术创新战略联盟磁共振介入专业委员会

通信作者: 李成利, 山东第一医科大学附属省立医院磁共振介入科, 济南 250021, Email: licheng0401@sina.com; 肖越勇, 解放军总医院第一医学中心放射诊断科, 北京 100853, Email: xiaoyueyong@vip.sina.com

【摘要】 磁共振导引介入诊疗技术是将磁共振成像(MRI)的高精准影像优势与微创介入诊疗技术深度融合,通过实时动态影像导引、磁兼容性器械操作及多参数功能评估,实现对全身各部位病变的精准诊断与靶向治疗。该技术凭借 MRI 高软组织分辨率、多参数功能成像、实时监控及无电离辐射等核心优势,在 CT、超声传统影像导引难以精准显示的脑内、肝顶等复杂部位病变中展现出独特价值,已广泛应用于穿刺活检及射频、微波、冷冻、聚焦超声等肿瘤消融治疗、神经调控、诊断与治疗场景。但目前临床应用存在设备差异大、操作流程不规范、并发症管理不足等问题,导致疗效不一,技术应用受限。因此,中国医师协会介入医师分会磁共振介入专家工作组等机构牵头,联合多学科专家制定本共识。共识系统规范了该技术的适应证与禁忌证、设备及器械的选择标准、手术室管理要求、详细操作流程、围手术期质量控制措施以及各类并发症的防控与处理方案,旨在为临床提供标准化指导,提升诊疗安全性与有效性,推动技术规范应用。

【关键词】 MRI 导引; 介入诊疗; 操作规范; 影像导引; 并发症预防; 质量控制

Expert consensus on magnetic resonance guided interventional diagnosis and treatment (2025)

MRI Intervention Expert Working Group, Interventional Physicians Branch, Chinese Medical Doctor Association; Interventional Minimally Invasive Therapy Specialized Committee, Chinese Medical Education Association; Tumor Minimally Invasive Therapy Specialized Committee, Chinese Anti-Cancer Association; MRI Intervention Specialized Committee, National Tumor Minimally Invasive Therapy Industrial Technology Innovation Strategic Alliance

Corresponding authors: Li Chengli, Department of MRI Intervention, Shandong Provincial Hospital Affiliated to Shandong First Medical University, Jinan 250021, China, Email: licheng0401@sina.com; Xiao Yueyong, Department of Radiological Diagnosis, the First Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China, Email: xiaoyueyong@vip.sina.com

【Abstract】 MRI-guided interventional techniques integrate the high-resolution imaging capabilities of magnetic resonance imaging (MRI) with minimally invasive interventional diagnostic and therapeutic technologies. Through real-time dynamic imaging guidance, magnetic compatibility of instruments, and multiparametric functional assessment, these techniques enable precise diagnosis and targeted treatment of lesions throughout the body. Leveraging MRI's core strengths of

DOI: 10.3760/cma.j.cn112138-20250904-00522

收稿日期 2025-09-04 本文编辑 刘雪松

引用本文: 中国医师协会介入医师分会磁共振介入专家工作组, 中国医药教育协会介入微创治疗专业委员会, 中国抗癌协会肿瘤微创治疗专业委员会, 等. 磁共振导引介入诊疗技术操作规范专家共识 (2025 版)[J]. 中华内科杂志, 2026, 65(4): 326-337. DOI: 10.3760/cma.j.cn112138-20250904-00522.



中华医学杂志出版社
Chinese Medical Association Publishing House

版权所有 违者必究



high soft-tissue resolution, multiparametric functional imaging, real-time monitoring, and absence of ionizing radiation, MRI-guided interventions offer unique value in complex areas such as the brain and liver dome, where traditional CT or ultrasound guidance may fall short. They are widely applied in diagnostic and therapeutic scenarios, including percutaneous biopsy and tumor ablation treatments such as radiofrequency, microwave, cryotherapy, and focused ultrasound, as well as neuromodulation. However, current clinical applications face challenges such as significant variability in equipment, lack of standardized procedures, and inadequate management of complications, leading to inconsistent therapeutic outcomes and restricted application of the technology. To address these issues, the MRI Interventional Expert Group under the Chinese College of Interventional Physicians, in collaboration with multidisciplinary experts, has developed this consensus statement. It systematically standardizes the indications and contraindications, selection criteria for equipment and instruments, requirements for operating room management, detailed procedural steps, perioperative quality control measures, and prevention and management strategies for various complications. The aim is to provide standardized guidance for clinical practice, enhance the safety and efficacy of diagnosis and treatment, and promote the standardized application of this technology.

【Key words】 MRI-guided; Interventional diagnosis and treatment; Procedural standardization; Image guidance; Complication prevention; Quality control

磁共振导引介入诊疗技术,是融合磁共振成像(MRI)高精度影像优势与微创介入技术的医疗手段,它借助实时动态影像导引、磁兼容器械操作及多参数功能评估,实现全身病变精准诊断与靶向治疗。该技术凭借 MRI 的高软组织分辨率、多参数成像及无辐射优势,已成为介入医学的重要发展方向之一^[1-2]。其临床应用覆盖体内病变穿刺活检、肿瘤消融、放射性粒子植入、神经调控等领域,尤其在传统影像导引(如 CT、超声)难以显示的实质脏器病变(如脑胶质瘤、胰腺肿瘤、前列腺肿瘤、肝顶部肿瘤等)中优势显著^[3-5]。

然而,该技术在临床应用中仍面临诸多挑战:不同机构所使用的 MRI 导引设备(场强、功能)及器械规格配置差异较大,缺乏统一标准;从术前准备、术中操作到术后处理的全流程缺乏规范化指引;常见并发症的识别与处置尚未形成系统方案等,这些问题直接导致诊疗效果参差不齐,严重限制了技术的普及与发展。为此,中国医师协会介入医师分会磁共振介入专家工作组等多机构,联合多学科专家制定本共识,以推动技术标准化应用,保障医疗质量与患者安全。

一、制定背景

为解决 MRI 导引介入诊疗技术的设备差异、流程不规范、并发症管理不足等问题,规范诊疗行为,提升技术应用的安全性及有效性,中国医师协会介入医师分会磁共振介入专家工作组牵头,联合中国医药教育协会介入微创治疗专委会等机构,汇聚医学影像学、介入放射学、麻醉学、肿瘤学、神经外科

学、设备工程学等多领域资深专家,启动共识制定。

共识制定的核心目标是构建设备选择、操作规范及流程、质量控制的全链条标准体系,减少诊疗差异、降低并发症,改善患者预后,同时为技术推广、人才培养和多中心研究奠基。

在制定过程中,严格遵循《中国制订/修订临床诊疗指南的指导原则(2022 版)》,兼顾设备性能差异、基层与大型医疗中心需求,强化 MR 环境安全指引;并预留技术调整空间,平衡先进性与可及性,明确多学科职责。

本共识的核心适用人群为从事 MRI 导引介入诊疗的临床医师(影像科、介入科、肿瘤科、神经外科等)、影像技师、护理人员,同时也为医疗机构管理者(用于制定科室建设标准)、医学教育及科研工作者、医工器械与软件研发人员(参考技术规范优化产品设计)提供重要参考。

二、制定方法

共识制定遵循科学客观原则,体现多学科协作与循证理念。2024 年 2 月成立多学科专家组(40 余名专家,涵盖医学影像学等多领域),所有成员均通过利益冲突调查,确保符合国际指南协作网(GIN)标准。

在条款确定与证据收集阶段,围绕设备选择、流程规范等核心问题通过开放式讨论明确主题;系统检索 PubMed、万方等中英文数据库(截至 2025 年 6 月),广泛收集临床研究、技术规范、专家经验等,按 PICOS 原则(即“患者群体-干预措施-对照-临床结局-研究设计”)梳理核心信息;对



磁体选择、消融安全边界等争议点,采用德尔菲法投票形成共识。

在共识的传播、实施与更新方面,通过核心医学期刊、学术会议等解读发布并纳入国家级继续教育项目,借助新媒体平台传播及中国医师协会、国家卫生健康委能力建设和继续教育中心等权威机构进行培训;并将持续关注该领域的研究进展与技术革新,定期评估,适时更新共识以保时效。

三、技术原理、优势及应用

(一)核心技术优势

1. 软组织对比度显著优于 CT 及超声可分辨 ≥ 2 mm 的微小病灶,尤其适用于肝、胰、脑、脊柱等复杂部位病变^[6-9]。

2. 多参数功能成像:利用弥散加权成像(DWI)、弥散张量成像(DTI)、磁共振血管成像(MRA)、动态对比增强成像(DCE-MRI)等评估肿瘤活性、指导穿刺路径规划与治疗方案设计^[10-11]。

3. 实时监控:快速扫描序列,如快速梯度回波序列(True FISP)、平面回波成像(EPI),可动态显示器械与病灶位置关系,提高穿刺精准性^[12]。

4. 无辐射损伤:无电离辐射暴露,特别适用于儿童、孕妇及需多次介入操作的患者。

(二)不同影像导引设备的技术优势对比

见表 1。

(三)应用领域

MRI 导引介入技术广泛应用于全身各系统病变的诊断性操作与治疗性操作。包括:

1. 诊断性技术:(1)组织活检/穿刺:精准定位取材,包括 MRI 导引活检(如前列腺、乳腺、肝脏、脑、脊柱等)^[13];MRI 导引穿刺(如神经、血管、肿瘤等)^[12, 14-15]。(2)功能成像导引:脑功能定位、心脏电生理评估^[3, 16]。

2. 治疗性技术:主要用于精准治疗,包括:MRI 导引聚焦超声(MRgFUS)(如子宫肌瘤、前列腺癌、震颤治疗)^[8, 17-18];MRI 导引射频消融(RFA)^[19];微波消融(MWA)或激光消融(LA)(如肝脏肿瘤、骨肿瘤、乳腺肿瘤等);MRI 导引冷冻消融(如前列腺癌、肾癌、肝肿瘤等)^[20-22];MRI 导引经血管途径介入(如血管畸形、夹层动脉瘤等)^[23-24]。

目前,该技术在肿瘤、神经外科、心血管等领域应用成熟,效果显著。设备优化(如开放式磁体、快速序列)与人工智能应用正持续提升其精准性与安全性。

共识意见 1:MRI 导引介入技术凭借高软组织分辨率(可分辨 ≥ 2 mm 微小病灶)、多参数功能成像(DWI/DTI/DCE-MRI 等)、实时动态监控及无电离辐射的独特优势,在精准医疗中具有不可替代的价值。优先推荐用于:脑、肝顶、胰腺、腹膜后等传统影像导引(CT/超声)难以精准显示的复杂解剖部位病变;儿童、孕妇及需多次介入操作的患者(规避辐射损伤)。

四、MRI 导引与融合导航方式

临床需根据病变解剖特征、运动属性及路径复杂程度,选择适配的影像导引方式。目前 MRI 导引介入诊疗中应用最广泛的两类技术为“MRI 导引”与“融合导航”,二者在技术优势、适用场景及临床局限上各有侧重,核心差异如下(表 2)。

1. MRI 导引:首选快速梯度回波序列或平衡态稳态自由进动序列,实现穿刺针伪影实时追踪^[25];通过两个交互垂直断面确认针尖位置^[26];对于肝脏、肺等运动器官,联合呼吸门控技术提升定位精度^[27]。

2. 融合导航:结合术前 CT/MRI 与术中 MRI 实时影像,通过光学导航系统(如光学红外线追踪技

表 1 不同影像导引设备的技术优势对比

导引方式	软组织分辨率	辐射暴露	多平面成像	功能成像评估	无对比剂血管显示	无创温度监测	实时成像(近似)
CT	低	有	有	无	无	无	有
超声	中	无	有	有	有	无	有
MRI	高	无	有	有	有	有	有

注:数据来源:基于文献^[13]的综合分析

表 2 两种导引方式核心差异对比

对比维度	MRI 导引技术	融合导航技术
核心优势	无辐射、实时动态追踪、适配运动器官	三维路径规划、复杂解剖适配、多影像融合
适用病变类型	肝脏、肺等运动器官病变;辐射敏感人群病变	脑深部、骨肿瘤、腹膜后等复杂路径病变
关键技术支撑	快速成像序列、呼吸门控、双平面扫描	光学追踪、术前/术中影像配准、三维建模
主要局限性	封闭式磁体操作空间受限	依赖术前影像、设备成本高



术)实现三维空间配准,优化脑病损、骨肿瘤、腹膜后病变复杂路径规划^[28-29]。

共识意见 2:临床应根据病变解剖特点及操作需求选择适宜的导引方式:对于肝脏、肺等运动器官病变,采用MRI导引(首选快速梯度回波序列或平衡式稳态自由进动序列),联合呼吸门控技术提升定位精度;对于脑病损、骨肿瘤、腹膜后病变等复杂路径规划,优先采用融合导航技术(术前CT/MRI与术中MRI实时影像融合+光学导航系统),通过三维空间配准优化路径设计,降低操作难度。

五、设备、器械要求及手术室管理

(一)MR(磁共振)设备

1.磁体的选择:介入用MR设备应符合《医用磁共振成像系统技术要求》(WS/T 263—2006)及《磁共振兼容性评价标准》(YY/T 0482—2010),其环境需满足《医院消毒卫生标准》(GB 15982—2012)。推荐配置开放式磁体或高场强短轴宽口径磁体,配备可移动治疗床、快速实时成像序列及介入专用线圈^[13]。目前用于介入MR的磁体主要有2大类型(表3)。

2.MR兼容介入设备:MR兼容介入设备与器材需采用特殊防磁材料,符合GB 15982—2012和YY/T 0987.1—2016标准,满足相应诊疗系统的需求。

(1)磁兼容诊疗系统:穿刺诊疗器械采用钛镍基金属,符合医疗器械相关国家标准(GB 15982—2012, GB/T 16886.5—2017, YY/T 0987.1—2016)及ASTM F2503国际标准;利用磁敏感伪影被动显影定位,针体器械表面带刻度;提供多种规格(直径12~22 G,长度50~200 mm),满足多种临床介入需求。磁兼容性分类:进入磁体间的物品需通过磁性测试,按兼容性分类(绿/黄/红)标示,非兼容器械需在5高斯线外使用^[30]。

(2)介入专用线圈:采用手术开窗与柔性封装设计,提升成像质量和操作便利性^[31]。多模块化设计(如4通道可拆单元)兼顾灵活性与信噪比。天线单元需垂直主磁场,推荐使用介入专用柔性表面

线圈以优化信噪比及成像质量^[13]。

(3)光学导航系统:光学导航相机追踪器械,与MR图像实时融合,辅助医生规划手术路径、调整器械,精准定位病变区域^[28]。

(4)MR兼容监护及辅助设备:手术需配备MR兼容监护仪,实时监测生命体征。有条件的医院可配备MR兼容麻醉机、输液泵、转运床等辅助设备。推荐使用MR兼容室内显示屏,便于术者磁体间内监控及操作。

(二)磁共振介入序列选择

由于磁共振介入(interventional MRI, IMRI)的特殊性,在行IMRI手术时,对于扫描序列的要求和MRI诊断序列区别较大^[32-33],主要体现在:(1)更高的时间分辨率,可做到类实时成像;(2)穿刺器械伪影合理;(3)良好的组织及病灶对比度;(4)较高的空间分辨率。

所有序列参数应根据具体设备性能和临床需求进行个性化调整,不同的操作选择不同序列。在确保图像质量的前提下,优先选用扫描时间短的序列以提高手术效率。

1.快速自旋回波(FSE/TSE)序列:提高扫描速度,适用于T2加权成像(T2WI),时间分辨率为1帧/s,满足动态监测需求。

2.磁化准备超快速梯度回波序列:突出血流高信号,适合T1加权成像(T1WI),时间分辨率1~3 s或更快,常用于实时监测和介入导引穿刺。

3.平衡式稳态自由进动序列:良好的液体对比和高时间分辨率,常用于MRI介入透视监控。

4.平面回波成像(EPI)技术:能够完成毫秒级的图像采集,适用于实时监测。

(三)MRI介入手术室管理

1.布局与建筑:MRI介入手术室分为机房、手术室、操作间,需满足患者进出便利、麻醉和通风条件,符合无菌微创介入手术及导引手术要求^[34]。

2.环境控制:建议手术室面积≥60 m²,温度控制在18~22℃,湿度40%~60%,每日终末消毒,满足空气、物表及设备表面的消毒要求^[35]。

3.设备配备与摆放:配置相关诊疗设备,磁兼

表3 介入用MR磁体类型对比

磁体类型	场强	优点	缺点
环形封闭式磁体	0.55 T、1.5 T、3.0 T等	高软组织分辨率、成像速度快、功能成像辅助定位	孔径小、操作空间受限,对术者操作熟练度要求较高
开放式磁体	0.23 T、0.35 T、1.0 T等	操作空间大、操作方便、支持近实时导航	信噪比相对较低、扫描速度较慢,复杂功能成像效果稍差



容输液泵与扫描床同步移动,其他磁兼容仪器在 200 高斯线外合理摆放^[36]。

4. 通信与屏蔽:手术室与操作间设置射频屏蔽的透明视窗,配备对讲系统,确保有效沟通。

5. 高斯线的安全范围控制要求:防止未经授权或对磁场敏感的人员或物体进入超过 5 高斯线的强磁场区域。手术室内 5 高斯线必须在地面上用醒目的油漆或贴条清晰地标出,并附上警告标识或文字,一般用黄色地标线。只有了解磁场风险并采取适当预防措施的人员才被允许进入 5 高斯线以内的区域。

共识意见 3:设备与器械需严格遵守《医用磁共振成像系统技术要求》(WS/T 263—2006)、《磁共振兼容性评价标准》(YY/T 0482—2010)等国家标准,磁体推荐开放式或高场强短轴宽口径类型,介入器械需为磁兼容材质(钛镍基合金等)并按绿/黄/红分类管理;扫描序列需根据设备性能及操作类型(穿刺/消融等)个性化调整,优先选择高时间分辨率、低伪影序列(如 EPI、FSE/TSE 等),在保证图像质量的前提下缩短扫描时间,提升手术效率。

六、MRI 导引介入诊疗技术适应证和禁忌证

(一)适应证

MRI 导引介入诊疗主要适用于在 MRI 上显示清晰(特别是其他影像学检查难以显示或显示不清)的病变。

1. 诊断性 MRI 导引介入技术:(1)活检与穿刺:针对 MRI 显示的多种部位的病变在 MRI 导引下进行穿刺活检,获取组织或细胞,用于病变的定性诊断、肿瘤的分类、分型、基因检测等,或者穿刺抽液进行病原菌检测,为后续治疗提供依据。例如前列腺、乳腺、肝脏、胰腺、腹膜后^[13]、肺、脑、骨与软组织病变^[37-39]、颅内压监测^[3, 40]等。(2)功能成像与定位:针对病变,在 MRI 导引下定位其位置,为精准治疗奠定基础,例如:脑功能定位:如癫痫灶、运动/语言功能区定位(术前规划)^[41-42];心脏电生理检查:如心律失常的 MRI 导引标测^[43];乳腺病变术前导丝定位,乳腺癌病灶靶钉置入等。

2. 治疗性 MRI 导引介入技术:(1)消融治疗:MRI 导引聚焦超声(MRgFUS):子宫肌瘤、前列腺癌、骨转移瘤、特发性震颤等^[8, 17, 44-45]。射频消融(RFA)/微波消融(MWA)/激光消融(LA):肝癌、肾癌、肺癌、骨肿瘤、脑癫痫灶等^[2]。冷冻消融

(Cryoablation):前列腺癌、肾癌、肝肿瘤、骨与软组织肿瘤等^[2]。(2)近距离放疗:恶性实体肿瘤放射性粒子植入治疗^[46-47]。(3)经血管途径介入治疗:MRI 导引血管成形术:如动脉狭窄、血管畸形^[48-49];MRI 导引栓塞术:如肝血管瘤、动静脉畸形(AVM)^[50]。(4)疼痛治疗与神经调控:MRI 导引神经阻滞与毁损:如腰骶神经根疼痛、顽固性癌性腹腔神经丛毁损^[51-52]。深部脑刺激(DBS)电极植入:帕金森病、癫痫监测等^[53]。

(二)禁忌证

1. 绝对禁忌证:(1)体内有非 MR 兼容性植入物:非磁兼容心脏起搏器、除颤器(ICD)、非 MR 兼容人工耳蜗、非钛合金金属动脉瘤夹^[54]。(2)严重心律失常或近期大面积心梗患者。(3)无法纠正的凝血功能障碍患者(凝血酶原时间>18 s,凝血酶原活性<40%)。

2. 相对禁忌证:(1)体内有 MR 条件性兼容植入物(需评估设备与器械兼容性)。(2)部分新型心脏起搏器、钛合金骨科内固定物。(3)严重肾功能不全($GFR < 30 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$,使用钆对比剂时需谨慎)^[55]。(4)躁动或无法配合的患者(可能需要镇静或麻醉)。(5)严重幽闭恐惧症(无法耐受 MRI 检查,可进行充分的术前评估,通过室外诱导麻醉+术中全麻+室外苏醒的方案进行手术)。(6)肥胖: BMI 阈值($\geq 30 \text{ kg/m}^2$,超过 MRI 设备承重限制,通常限 120~200 kg,视设备而定)。(7)妊娠早期(孕周<12 周,除非必要,一般避免)^[55]。(8)穿刺路径存在明确感染或者积气的患者。

共识意见 4:适应证仅限 MRI 清晰显示的病变,涵盖诊断性操作(多部位活检/穿刺、脑功能定位等)与治疗性操作(肿瘤消融、放射性粒子植入等);绝对禁忌证为体内有非 MR 兼容植入物、严重凝血障碍等,相对禁忌证(如 MR 条件性兼容植入物、严重肾功能不全)需结合患者情况与设备条件综合评估后谨慎实施。

七、IMRI 诊疗技术规范流程

(一)IMRI 特异性要求

1. 金属物品筛查:禁止患者体内携带或随身携带任何非磁兼容性物品进入 IMRI 手术室。

2. 镇静管理:部分幽闭恐惧症患者需麻醉团队提前介入。

3. 监测设备:如必须使用 MR 兼容心电监护仪(普通设备可能在磁场中失效)。



(二)术前准备

1. 常规准备

(1)术前检查:进行心电图、血常规、血型、凝血功能、病毒血清学、血生化、肿瘤标志物等检查。有基础疾病患者需补充相关检查。

(2)影像学检查:术前2周内完成影像学检查,评估病变情况。必要时进行全身PET-CT检查。

(3)停用药物:①抗凝药物:华法林,停药 ≥ 7 d;利伐沙班、阿哌沙班等抗凝药停药 ≥ 48 h;低分子肝素钠停药 ≥ 24 h;②抗血小板药物:阿司匹林、硫酸氢氯吡格雷等停药 ≥ 7 d;③大分子抗血管生成药物:贝伐珠单抗等,建议术前停药 ≥ 1 个月;④小分子抗血管生成靶向药物:索拉非尼、舒尼替尼、仑伐替尼等,建议术前至少停药5~7 d(需根据具体药物和患者情况个体化评估);⑤具有活血化瘀或补血作用的中药或中成药:丹参、三七、红花等,建议术前至少停药1周。

重要说明:个体化是关键。以上停药时间是通用建议,必须结合患者的具体情况(如原发疾病状态、肝肾功能、出血风险评估、手术类型及风险、药物种类及剂量等)由主管医生和手术医生进行个体化评估和决策。

(4)患者准备:①术前谈话:由术者或助手向患者及家属说明手术过程及并发症,签署知情同意书,进行心理辅导;②禁食禁饮。全身麻醉:术前2 h可饮用清饮料(≤ 5 ml/kg,成人不超过300 ml),禁止饮用牛奶、含果肉果汁、含酒精饮料;局部麻醉:禁食6 h(固体食物),禁饮2 h(清饮料);禁食时间:母乳4 h,牛奶/配方奶/淀粉类6 h,高脂肪/蛋白质类8 h。

(5)术前准备:①穿刺区备皮,建立静脉通道;②进入磁体间前,去除假牙、助听器等金属物品;③特殊部位手术:感染高危患者预防性使用抗菌类药物;胸、腹部或盆腔手术禁食水6~8 h;胰腺手术使用生长抑素类药物,抑制胰液分泌;盆腔手术术前清洁灌肠;胸部手术培训呼吸配合;焦虑患者术前使用镇静药物^[13]。

2. 药品、监护及麻醉设备准备:准备局麻药、止痛药、止呕药、止血药、降压药、解痉药、抢救药品,以及监护、吸痰、吸氧设备等。必要时备血。

共识意见5:术前需完成“检查-患者-设备药品”三维准备:完成常规项目(心电图、凝血功能等检查)与术前2周内MRI等影像评估(必要时加PET-CT);患者需筛查移除金属物品、按规范停用

相关药物(需个体化评估)并视情况镇静/麻醉预处理及心理辅导;同时备好MR兼容监护设备、麻醉机及局麻药、抢救药等,高风险患者术前预防性用抗菌药,必要时备血。

(三)术中操作

1. 扫描:(1)术前评估:术前影像学检查评估病变特征及其与周围结构的关系,为手术方案提供依据;(2)预估手术方式:基于评估结果,预估手术方式并确定最佳手术体位,以便于扫描和手术操作;(3)MRI预扫描:进行病变部位的MRI预扫描,规划手术路径和范围;(4)路径规划:推荐利用光学或其他导引系统进行手术路径的预估。

2. 定位:(1)矩阵固定:将体表Marker矩阵(由鱼肝油胶囊制作间距为1 cm的多排矩阵组成;对角线定位点的显影效果与其余位置不同,用于精准识别与定位病变体表位置)固定于病变相应体表投影位置,用于体表定位;(2)多平面扫描:应用横轴位及矢状位或冠状位两个交互垂直的平面进行扫描;(3)IMRI序列:使用MRI快速扫描序列,如快速梯度回波或快速自旋回波进行扫描,以确定穿刺针的进针点^[56];(4)增强扫描(如有需要):注射MRI对比剂后,使用T1高分辨率各向同性容积检查(THRIVE)或T1加权快速场回波(T1 FFE)等序列进行增强扫描,以更好地显示病变和治疗范围^[57];(5)确定进针参数:确定进针点、进针角度并测量进针深度;(6)标记:使用标记笔在相应的体表Marker处进行标记;(7)针定位:利用MR兼容性针本身的磁敏感性伪影进行针的自身定位^[13]。

3. 穿刺操作:在MRI导引介入操作中,实时监测介入器械与周围组织的位置关系是确保手术安全性和准确性的关键,设备可视化至关重要。

(1)MRI透视技术导引穿刺^[58]:①适用于开放式MRI磁体,以动态调整的帧率连续成像,实现实时MRI透视功能;②自由手技术协助进针点的定位:通过MRI固有的“透视”选项,将医生的手指与透视图像平面中的病变位置对应,穿刺点通过手指标定技术确定;③第一视角的扫描平面包括穿刺点和靶点,第二视角垂直于第一视角。

(2)MRI栅栏格定位技术导引穿刺^[13]:①将MRI对比剂灌满栅栏管状结构或制作体表Marker矩阵栅栏格,间距1 cm;②将栅栏格框架放置在患者的拟穿刺区域,扫描后根据病灶位置和栅栏位置确定体表穿刺点、进针角度及深度。

(3)主动式光学导引示踪技术导引穿刺^[59]:



①使用三维示踪系统交互式控制 MRI 扫描层面,自动规划手术路径,快速确定进针点和角度;②光学导引示踪技术以针尖为中心^[60],或仅跟踪含针层面^[61],实时传输针平面或垂直针平面的信息至 MRI 设备,完成病灶与微创器械的空间关系成像;③即使患者床脱离磁体,仍可通过光学示踪系统导引手术操作。

(4)主动式示踪技术^[62]:主动式可视化是在介入设备中嵌入射频线圈和微型电缆等有源硬件,用单独的通道来收集其信号,并可以使用彩色标记实时融合叠加到解剖图像上;抑或利用 MR 扫描硬件追踪示踪器内的小线圈,通过射频信号接收或发射,分析能量谱中的波峰频率,确定器械位置。

共识意见 6:术中需遵循“规划-定位-穿刺-监控”流程:先通过多模态影像评估病变与周围结构关系,确定手术体位及路径;再用体表 Marker 矩阵+双平面扫描定位,确定进针点、角度及深度;依设备选 MR 透视、栅栏格定位等穿刺技术,全程实时追踪器械;同时用 MR 兼容设备监控生命体征,严控 SAR 值,避免非兼容器械进入磁体间。

4. 消融靶病灶及术中监控

(1)消融操作:①确认消融针布针满意后,连接消融针、消融主机及水冷系统;②根据消融设备选择合适的参数(温度、功率、时间等);③对于较大病灶,需调整消融针位置,行多针、多点、叠加消融,确保消融范围覆盖病灶。

(2)术中监控:①监控扫描序列可采用快速自旋回波 T1WI 或 T2WI 序列;②快速 T1WI 序列消融术后信号变化随着时间延长而改变;③T2WI 序列监控表现为低信号的凝固坏死区逐渐扩大,覆盖原病灶区,周边可见环状 T2WI 高信号水肿带;④根据信号变化监控消融范围,精准把控消融时间和判定消融终点^[63-66];⑤术后即刻评估,消融后即刻行 MRI 扫描评估疗效。MRI 即刻疗效评估优于其他影像导引方式。MRI 平扫能清楚显示实体肿瘤原病灶与消融灶的空间关系,准确评估消融安全边界。

完全消融术后即刻典型 MRI 表现:消融区 T1WI 上表现为特征性的“靶征”,外周高信号环(如消融的正常肝组织)完全包绕中央低信号区(原瘤灶)并超出病灶边缘 5~10 mm,外围见薄环状低信号水肿带(部分消融区在 T1WI 并不立刻呈现高信号,而出现随时间推移信号逐渐增高的现象^[34, 67])。T2WI 上呈低信号,周围可见薄层高信号水肿带环绕,原病灶则信号变化较为复杂,可为低、等、稍高

信号,但都低于消融前信号强度。

不完全消融术后即刻典型 MRI 表现:T1WI 序列上消融区表现为周边高信号环未完全包绕低信号的原瘤灶,可见低信号缺口,“靶征”不完整、T2WI 序列上残留灶仍呈高信号,消融安全边界不足 5 mm,考虑不完全消融^[68-70]。

5. 消融热场监控: MRI 无创测温技术针对电磁屏蔽的 MR 兼容性消融设备,可采用 MR 无创测温序列扫描监控消融术中热场分布。常用的 MRI 无创测温方法包括:基于弥散系数测温^[71]、基于纵向弛豫时间 T1 的测温^[72-73]、基于质子共振频率(proton resonance frequency, PRF)法测温^[74]。目前临床上最常用的是基于 PRF 的测温方法,理论上测温精度可达 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ^[74-76]。

消融治疗中,较大病灶需采用多针、多点叠加消融以覆盖病灶;术后即刻用快速 T1WI/T2WI 序列评估,完全消融标准为 T1WI 呈“靶征”(外周高信号环包绕中央低信号区且超病灶缘 5~10 mm,最外围见薄环状低信号水肿带)、T2WI 消融区呈低信号。不完全消融则表现 T1WI “靶征”不完整(连续)、T2WI 残留灶呈高信号,消融安全边界不足 5 mm,需及时补充治疗。

MRI 无创测温技术首选基于质子共振频率(PRF)的方法(适用于电磁屏蔽的 MR 兼容消融设备),临床应用需依消融类型及设备性能调整参数,重点监控消融区与邻近正常组织(如血管、胆管)的温度差,避免热损伤,主要用于肝、脑等重要脏器肿瘤消融,尤其适合邻近关键结构的病变。

八、可能并发症防控与处理

(一)IMRI 特有并发症及应急方案

1. 强磁场相关损伤:指强磁场吸引金属物致人员或设备损伤。需术前核查禁带金属物入磁体间、非兼容器械置于 5 高斯线外^[30];应急情况需停扫断电(必要时失超),移开危险物、处置伤者并检查设备。

2. 幽闭恐惧症:指患者在磁体腔内出现焦虑、呼吸困难等症状。需术前评估心理状态,对高危者预防性镇静并告知操作及求助方式;部分患者经综合评估后可选择全麻手术;应急情况需移出患者,给予吸氧或镇静,症状加重则终止手术转监护。

(二)其他常见并发症及防控

1. 出血:发生率为 4.0%~41.1%,主要表现为 T1 加权序列中超出病变范围的高信号影。需术前评估血小板及凝血功能预防,穿刺避开血管及富血



供结构;表浅出血加压包扎,必要时使用止血药物或止血海绵,严重时进行介入栓塞或外科手术止血^[25, 77]。

2. 气胸:发生率为 12.9%~37.0%,主要表现为质子密度加权图像出现肺边缘区无肺纹理的低信号影。胸部介入时尽量避开叶间胸膜、减少穿刺次数^[78];气胸量<30%:吸氧并检测血氧饱和度;气胸量≥30%或血氧饱和度<90%,且伴有呼吸困难、气促等不适,行经皮穿刺抽气或胸腔闭式引流术^[78-79]。

3. 感染:罕见,主要表现为 T2 加权图像片状高信号影。严格无菌操作,高风险患者术前术后均需预防性使用抗生素;感染后依药敏结果逐级使用抗生素^[80-81],如形成脓肿可行切开或穿刺抽吸引流。

4. 冷冻消融相关损伤:(1)皮肤损伤:发生率为 2.0%~3.6%,需术中术后及时保暖,体表穿刺点敷 40~42℃温水囊(过低无效,过高易烫伤皮肤),减少冷冻对皮肤和腹壁的冻伤^[82-83]。(2)血小板下降:发生率为 10.0%~18.3%,术前后需密切关注血小板计数改变,术后每 6 小时检测血小板计数。计数 $50 \times 10^9/L \sim 100 \times 10^9/L$ 可应用血小板生成素(TPO)类药物升至 $100 \times 10^9/L$ 以上;血小板下降至 $20 \times 10^9/L$ 以下,需急诊输注血小板^[36, 84]。

5. 胆瘘、肠瘘:罕见,术前穿刺路径避开胆囊及结肠,术中监控治疗区,术中监控病变治疗区勿达到胆囊和胃肠^[85],推荐行 MRI 胰胆管成像评估胆道完整性;疑胆瘘、肠瘘时应立即禁食水^[86],必要时请相关科室会诊,行穿刺引流或外科手术。

6. 胸膜反应:发生率为 2.0%~5.0%,穿刺刺激引发迷走神经亢进,出现胸膜反应需立即停穿并补液,症状不缓解则用肾上腺素^[87-88]。

7. 麻醉相关并发症:如低血压、呼吸抑制等。需对症治疗,使用抗过敏药及血管活性药物,严重时气管插管。

8. 对比剂不良反应:头痛、恶性、荨麻疹,严重者喉头水肿,过敏性休克等。需对症治疗,吸氧,静脉推注地塞米松,严重者静脉推注肾上腺素等。

九、技术进展与未来方向

磁共振介入诊疗近年来在技术革新和临床应用中取得了显著进展,其核心优势在于实时高软组织分辨率成像与微创介入诊疗的结合。未来发展方向将进一步融合人工智能、多核 MRI 成像技术、分子影像学等前沿领域,推动精准医疗的发展。

(一)多核 MRI 技术

实现了对氢、磷、钠、氙等多种原子核的同步探测,以“彩色影像”的直观方式为疾病诊断和治疗提供了前所未有的多维视角。超极化 MRI 技术(如利用 ^{13}C 标记代谢物实时可视化肿瘤代谢活性)通过增强特定原子核的磁共振信号,显著提升分子水平的功能成像精度,为肿瘤早期诊断和疗效评估提供新维度。

(二)人工智能辅助与自动化, AI 驱动的全流程优化

1. 术前:AI 提升术前影像评估精度。通过深度学习算法高效解析 CT/MR/X 线等影像数据, AI 可精准量化肿瘤特征(性质/大小/位置),为手术决策提供关键支持。

2. 术中:AI 辅助术中监控与决策支持,病灶与器械实时分割,进行实时监测与辅助决策。此外,自主介入机器人结合 5G 远程操控技术,可实现远程介入手术。

3. 术后:AI 辅助术后管理。AI 技术在术后管理中的应用展现出巨大潜力,尤其是在术后并发症的预测与干预方面。

(三)非接触门控系统

新型光学传感器门控技术可减少心脏运动伪影,提升心血管成像精准度。

(四)未来方向

IMRI 诊疗技术正处于快速发展阶段,其中多核 MRI、人工智能、分子与功能影像、非接触门控系统等新兴技术的应用,以及对量子 MRI 介入、医用新型可降解材料、增强现实与混合现实技术手术导航等前沿技术的探索,将持续提升 MRI 导引诊疗的精准性、高效性。

十、总结

近年来, MRI 导引介入诊疗技术的应用已成为现代微创诊疗领域的重要突破。本共识经多学科专家协作,在设备标准、操作流程、适应证及并发症防控等方面进行了全流程规范,为临床提供了可执行的框架,助力技术的规范化推广。未来,随着人工智能、多核磁共振等技术的融合,该技术将向“更精准、更安全、更智能”方向发展,以最小创伤实现最优疗效,为复杂病变患者提供更优质的诊疗选择。

共同执笔专家:孙文静(沧州市人民医院磁共振室);
柳明(山东第一医科大学附属省立医院磁共振介入科);

许玉军(山东第一医科大学附属省立医院磁共振介入科);
张肖(解放军总医院第一医学中心放射诊断科);张啸波
(解放军总医院第一医学中心放射诊断科)

共识编委会成员(按照姓氏笔画排名):于国华(山东第二医科大学第一附属医院肿瘤内科);于经瀛(北京医院放射科);马丽(中国人民解放军总医院第一医学中心麻醉科);王立刚(烟台毓璜顶医院介入放射科);王余(唐山工人医院磁共振室);牛猛(中国医科大学附属盛京医院介入科);冯斌(山东第一医科大学附属省立医院肿瘤科);刘晓丽(西安交通大学第一附属医院精准外科与再生医学国家地方联合工程研究中心);刘淑真(山东第二医科大学第一附属医院肿瘤内科);刘超(青岛大学附属泰安市中心医院肿瘤微创科);许玉军(山东第一医科大学附属省立医院磁共振介入科);孙文静(沧州市人民医院磁共振室);孙惠(解放军总医院第一医学中心放射诊断科);李成利(山东第一医科大学附属省立医院磁共振介入科);李竞(武警特色医学中心医学影像科);李康安(同济大学附属东方医院微创介入治疗中心);李雷(康复大学青岛中心医院放射介入科);李懋(西门子技术研究院);杨坡(哈尔滨医科大学附属第四医院介入血管科);肖越勇(解放军总医院第一医学中心放射诊断科);谷涛(北京医院放射科);何闯(陆军军医大学第一附属医院微创介入与放射性粒子诊疗中心);何祥萌(山东第一医科大学附属省立医院磁共振介入科);邱本胜(中国科学技术大学医学影像中心);沙丹(山东第一医科大学附属省立医院肿瘤科);陈宝莹(西安国际医学中心医院影像诊疗一科);陈锦(福建医科大学附属第一医院介入科);张传臣(聊城市人民医院医学影像中心);张欢(四川大学华西第二医院医学影像中心);张肖(解放军总医院第一医学中心放射诊断科);张学彬(上海交通大学医学院附属仁济医院肿瘤介入科);张啸波(中国人民解放军总医院第一医学中心放射诊断科);林征宇(福建医科大学附属第一医院介入科);郑志明(山东第一医科大学附属省立医院神经外科);柳明(山东第一医科大学附属省立医院磁共振介入科);袁牧(蚌埠医科大学第一附属医院介入科);袁春旺(首都医科大学附属北京佑安医院肝病与肿瘤介入诊疗中心);黄学全(陆军军医大学第一附属医院微创介入与放射性粒子诊疗中心);焦德超(郑州大学第一附属医院放射介入科);鲁东(安徽医科大学第二附属医院介入科);鄢行畅(成都大学附属医院肿瘤科);樊海明(西北大学纳米医学与工程中心);戴世鹏(沧州市人民医院磁共振室);魏颖恬(解放军总医院第一医学中心放射诊断科)

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

- [1] Afshari Mirak S, Raman SS. MRI-guided interventional procedures: current use and future potentials[J]. Eur Radiol, 2023, 33(8): 5717-5718. DOI: 10.1007/s00330-023-09853-0.

- [2] 李成利. 磁共振介入应用与前景[J]. 介入放射学杂志, 2019, 28(11): 1017-1019. DOI: 10.3969/j.issn.1008-794X.2019.011.002.
- [3] 何祥萌, 张克宇, 鄢行畅, 等. 开放式MR实时透视技术在颅脑病变穿刺活检中的应用效果[J]. 中国介入影像与治疗学, 2020, 17(5): 257-261. DOI: 10.13929/j.issn.1672-8475.2020.05.001.
- [4] Daamen LA, Parikh PJ, Hall WA. The use of MR-guided radiation therapy for pancreatic cancer[J]. Semin Radiat Oncol, 2024, 34(1): 23-35. DOI: 10.1016/j.semradonc.2023.10.002.
- [5] 沈彬, 谷涛, 李喆, 等. MR引导聚焦超声治疗局限性前列腺癌的初步临床观察[J]. 中华放射学杂志, 2023, 57(6): 673-678. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20220526-00465.
- [6] Ebel S, Busse H, Beeskow A, et al. Hepatobiliary phase MRI-guided radiofrequency ablation of small hepatocellular carcinomas invisible on precontrast MRI[J]. Eur J Radiol, 2025, 186: 112026. DOI: 10.1016/j.ejrad.2025.112026.
- [7] Zhang F, Jin G, Dai M, et al. Percutaneous magnetic resonance imaging-guided coaxial cutting needle biopsy of pancreatic lesions: diagnostic accuracy and safety[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2023, 46(11): 1603-1609. DOI: 10.1007/s00270-023-03485-z.
- [8] 宗睿, 李雪梅, 何建凤, 等. 经颅磁共振引导超声聚焦治疗帕金森病震颤的初步观察[J]. 中华神经外科杂志, 2020, 36(11): 1130-1134. DOI: 10.3760/cma.j.cn112050-20191101-00471.
- [9] Moses ZB, Lee TC, Huang KT, et al. MRI-guided cryoablation for metastatic spine disease: intermediate-term clinical outcomes in 14 consecutive patients[J]. J Neurosurg Spine, 2020, 32(5): 676-681. DOI: 10.3171/2019.11.SPINE19808.
- [10] 李聪, 孙文静, 李成利. MR快速序列用于微波消融肝癌研究进展[J]. 中国介入影像与治疗学, 2024, 21(12): 785-788. DOI: 10.13929/j.issn.1672-8475.2024.12.013.
- [11] Montemezzi S, Cardano G, Storer S, et al. MRI-guided breast biopsy based on diffusion-weighted imaging: a feasibility study[J]. Eur Radiol, 2021, 31(5): 2645-2656. DOI: 10.1007/s00330-020-07396-2.
- [12] 中国医药教育协会介入微创治疗专业委员会, 国家肿瘤微创治疗产业技术创新战略联盟磁共振介入专业委员会. 磁共振引导颅脑病变穿刺活检专家共识[J]. 中华医学杂志, 2018, 98(47): 3820-3824. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.47.003.
- [13] 李成利, 肖越勇. 磁共振引导微创诊疗学[M]. 2版. 北京: 人民卫生出版社, 2024.
- [14] Velasco Forte MN, Roujol S, Ruijsink B, et al. MRI for guided right and left heart cardiac catheterization: A prospective study in congenital heart disease[J]. J Magn Reson Imaging, 2021, 53(5): 1446-1457. DOI: 10.1002/jmri.27426.
- [15] Yan XC, Liu M, Li PP, et al. Magnetic resonance-guided repeat biopsy of suspicious malignant lung lesions after an initial negative computed tomography-guided biopsy[J]. J Cancer Res Ther, 2021, 17(7): 1689-1695. DOI: 10.4103/jcrt.jcrt_1655_21.
- [16] Krahn P, Biswas L, Ferguson S, et al. MRI-Guided cardiac RF ablation for comparing MRI characteristics of acute lesions and associated electrophysiologic voltage reductions[J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2022, 69(8):



- 2657-2666. DOI: 10.1109/TBME.2022.3152145.
- [17] Inbar Y, Machtinger R, Barnett-Itzhaki Z, et al. MRI guided focused ultrasound (MRgFUS) treatment for uterine fibroids among women with and without abdominal scars [J]. *Int J Hyperthermia*, 2021, 38(1): 1672-1676. DOI: 10.1080/02656736.2021.2007302.
 - [18] Bitton RR, Shao W, Chodakeiwitz Y, et al. Intraprocedural diffusion-weighted imaging for predicting ablation zone during MRI-guided focused ultrasound of prostate cancer [J]. *Radiol Imaging Cancer*, 2024, 6(5): e240009. DOI: 10.1148/rycan.240009.
 - [19] Lin XC, Yan Y, Lin L, et al. Magnetic resonance-guided thermal ablation for small liver malignant tumor located on segment II or IV abutting the heart: a retrospective cohort study [J]. *Int J Hyperthermia*, 2021, 38(1): 1359-1365. DOI: 10.1080/02656736.2021.1976851.
 - [20] Moreira P, Grimbale J, Bernardes MC, et al. Motorized template for MRI-guided focal cryoablation of prostate cancer [J]. *IEEE Trans Med Robot Bionics*, 2023, 5(2): 335-342. DOI: 10.1109/tmr.2023.3272025.
 - [21] De Marini P, Cazzato RL, Garnon J, et al. Safety and oncologic efficacy of percutaneous MRI-guided cryoablation of intraparenchymal renal cancers [J]. *Diagn Interv Imaging*, 2021, 102(9): 531-538. DOI: 10.1016/j.diii.2021.04.002.
 - [22] 中国抗癌协会肿瘤消融治疗专业委员会, 中国临床肿瘤学会肿瘤消融治疗专家委员会, 中国医师协会介入医师分会介入围手术学组. 复合式冷热消融治疗肝肿瘤围手术期管理专家共识 [J]. *中华内科杂志*, 2025, 64(2): 110-118. DOI: 10.3760/cma.j.cn112138-20240621-00396.
 - [23] Kilbride BF, Narsinh KH, Jordan CD, et al. MRI-guided endovascular intervention: current methods and future potential [J]. *Expert Rev Med Devices*, 2022, 19(10): 763-778. DOI: 10.1080/17434440.2022.2141110.
 - [24] Nijsink H, Overduin CG, Willems LH, et al. Current state of MRI-guided endovascular arterial interventions: A systematic review of preclinical and clinical studies [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2022, 56(5): 1322-1342. DOI: 10.1002/jmri.28205.
 - [25] Cazzato RL, De Marini P, Auloge P, et al. Diagnostic accuracy and safety of percutaneous MRI-guided biopsy of solid renal masses: single-center results after 4.5 years [J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(2): 580-590. DOI: 10.1007/s00330-020-07160-6.
 - [26] Corradini LG, Polidori T, Maresca L, et al. MRI-guided thoraco-abdominal percutaneous needle biopsy: our initial experience [J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(8): 5719-5727. DOI: 10.1007/s00330-023-09763-1.
 - [27] Li Y, Li Z, Zhu J, et al. Online prediction for respiratory movement compensation: a patient-specific gating control for MRI-guided radiotherapy [J]. *Radiat Oncol*, 2023, 18(1): 149. DOI: 10.1186/s13014-023-02341-1.
 - [28] 吕玉波, 李成利, 武乐斌, 等. 开放式 MRI 导航系统导引行肺病变穿刺活检 137 例 [J]. *中华放射学杂志*, 2010, 44(11): 1185-1188. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 1005-1201. 2010.11.017.
 - [29] Pan L, Valdeig S, Kägebein U, et al. Integration and evaluation of a gradient-based needle navigation system for percutaneous MR-guided interventions [J]. *PLoS One*, 2020, 15(7): e0236295. DOI: 10.1371/journal.pone.0236295.
 - [30] ASTM International. ASTM F2503-23e1: Standard Practice for Marking Medical Devices and Other Items for Safety in the Magnetic Resonance Environment [R/OL]. [2025-09-04]. <https://store.astm.org/standards/f2503>.
 - [31] Medtronic Inc. Magnetic resonance compatible surgical table with RF coil integration [P/OL]. [2023-06-15]. https://manuals.medtronic.com/manuals/main/en_US/home.
 - [32] Weiss J, Hoffmann R, Clasen S. MR-guided liver interventions [J]. *Top Magn Reson Imaging*, 2018, 27(3): 163-170. DOI: 10.1097/RMR.000000000000146.
 - [33] 林征宇, 张涛, 胡建平, 等. 1.5 T MR 导向下肝脏恶性肿瘤射频消融治疗技术初探 [J]. *中华放射学杂志*, 2010, 44(12): 1304-1307. DOI: 10.3760/cmajissn.1005-1201.2010.12.019.
 - [34] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 51039-2014 综合医院建筑设计规范 [M]. 北京: 中国计划出版社, 2015. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zc/wjk/art/2015/art_17339_224354.html.
 - [35] 马丽, 赵晶, 何丽, 等. MRI 引导下介入手术围手术期护理标准专家共识 [J]. *中国介入影像与治疗学*, 2022, 19(1): 7-11. DOI: 10.13929/j.issn.1672-8475.2022.01.002.
 - [36] 宋秀棉, 李玉翠, 何丽. 高场强术中核磁共振手术间的护理管理 [J]. *解放军护理杂志*, 2014, 31(4): 60-62. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9993.2014.04.020.
 - [37] 邓屹, 叶苏意, 崔伟, 等. 影像引导下经皮肺穿刺活检的研究进展 [J]. *中华介入放射学电子杂志*, 2024, 12(4): 296-302. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-5782.2024.04.002.
 - [38] Ojala R, Sequeiros RB, Klemola R, et al. MR-guided bone biopsy: preliminary report of a new guiding method [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2002, 15(1): 82-86. DOI: 10.1002/jmri.10041.
 - [39] Winkelmann MT, Kübler J, Hoffmann R. Magnetic resonance-guided procedures: consensus on rationale, techniques, and outcomes [J]. *Tech Vasc Interv Radiol*, 2023, 26(3): 100914. DOI: 10.1016/j.tvir.2023.100914.
 - [40] 岳世元, 刘欣, 张贺龙, 等. 颅内压监测联合 BDNF 水平对颅内出血患者预后的诊断价值 [J]. *中国实用神经疾病杂志*, 2023, 26(7): 810-814. DOI: 10.12083/SYSJ.230499.
 - [41] 张子璇, 张其锐, 张志强. 功能磁共振应用于癫痫灶定位的研究进展 [J]. *癫痫与神经电生理学杂志*, 2022, 31(4): 233-238. DOI: 10.19984/j.cnki.1674-8972.2022.04.08.
 - [42] 仪晓立, 戴建平, 陈绪珠, 等. 术前功能磁共振成像在脑胶质瘤患者语言功能区定位中的应用 [J]. *中国医学影像技术*, 2009, 25(z1): 22-25. DOI: 10.3321/j.issn.1003-3289.2009.z1.007.
 - [43] Zei PC, Mak RH. Real-Time MR-guided stereotactic arrhythmia radioablation (MRgSTAR) of septal VT: Hype or Hope? [J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2024, 10(12): 2581-2583. DOI: 10.1016/j.jacep.2024.09.023.
 - [44] Woodrum DA. Less is more: MRI-guided focused ultrasound focal therapy for intermediate-risk prostate cancer [J]. *Radiology*, 2024, 310(3): e240258. DOI: 10.1148/radiol.240258.
 - [45] Baal JD, Chen WC, Baal U, et al. Efficacy and safety of magnetic resonance-guided focused ultrasound for the treatment of painful bone metastases: a systematic review and meta-analysis [J]. *Skeletal Radiol*, 2021, 50(12): 2459-2469. DOI: 10.1007/s00256-021-03822-8.
 - [46] He X, Xu Y, Liu M, et al. Three-dimensional template combined with MR-guided iodine-125 brachytherapy for recurrent brain metastases [J]. *J Contemp Brachytherapy*, 2023, 15(3): 174-183. DOI: 10.5114/jcb.2023.129055.
 - [47] Wang Y, Kang P, He W, et al. MR-guided 125I seed



- implantation treatment for maxillofacial malignant tumor [J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2021, 22(1): 92-99. DOI: 10.1002/acm2.13112.
- [48] Le Blanche AF, Rossert J, Wassef M, et al. MR-guided PTA in experimental bilateral rabbit renal artery stenosis and MR angiography follow-up versus histomorphometry[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2000, 23(5): 368-374. DOI: 10.1007/s002700010059.
- [49] Bailey CR, Herrera DG, Neumeister N, et al. Magnetic resonance-guided treatment of low-flow vascular malformations and the technologies to potentiate adoption[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2024, 11: 1319046. DOI: 10.3389/fmed.2024.1319046.
- [50] Vollherbst DF, Gebhart P, Kargus S, et al. Image-guided percutaneous sclerotherapy of venous malformations of the head and neck: Clinical and MR-based volumetric mid-term outcome[J]. *PLoS One*, 2020, 15(10): e0241347. DOI: 10.1371/journal.pone.0241347.
- [51] Dalili D, Isaac A, Fritz J. Selective MR neurography-guided lumbosacral plexus perineural injections: techniques, targets, and territories[J]. *Skeletal Radiol*, 2023, 52(10): 1929-1947. DOI: 10.1007/s00256-023-04384-7.
- [52] 李成利, 武乐斌, 宋吉清, 等. 开放式磁共振引导下腹腔神经丛阻滞毁损术的应用[J]. *山东大学学报(医学版)*, 2007, 45(3): 299-302. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7554.2007.03.020.
- [53] Chansakul T, Chen PN, Lee TC, et al. Interventional MR imaging for deep-brain stimulation electrode placement [J]. *Radiology*, 2016, 281(3): 940-946. DOI: 10.1148/radiol.2015151136.
- [54] 中华医学会放射学分会质量管理与安全管理学组, 中华医学会放射学分会磁共振成像学组. 磁共振成像安全管理中国专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2017, 51(10): 725-731. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2017.10.003.
- [55] 中华医学会影像技术分会, 中国医师协会医学技师专业委员会. MRI 临床应用安全专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2023, 57(9): 955-961. DOI: 10.3760/cma. j. cn112149-20230113-00036.
- [56] 冯原, 何钊, 孙青芳, 等. 磁共振介入成像及其临床应用进展 [J]. *诊断学理论与实践*, 2024, 23(2): 108-113. DOI: 10.16150/j.1671-2870.2024.02.002.
- [57] Li P, Li C, Xu Y, et al. Feasibility of multiparameter MRI-guided percutaneous biopsy for central lung lesions with atelectasis[J]. *Korean J Radiol*, 2025, 26(5): 498-507. DOI: 10.3348/kjr.2024.0818.
- [58] 李成利, 韩沛伦, 王立刚, 等. 高场开放式 MR 自由手透视技术导引冷冻消融 37 例膈顶部肝细胞癌临床实践[J]. *肝癌电子杂志*, 2017, 4(4): 51-57. DOI: 10.3969/j. issn. 2095-7815.2017.04.015.
- [59] 宋姿伟, 吴薇薇, 吴水才. 图像引导肝肿瘤热消融治疗介入导航系统的研究现状 [J]. *医疗卫生装备*, 2023, 44(8): 95-101. DOI: 10.19745/j.1003-8868.2023169.
- [60] 李成利, 武乐斌, 吕玉波. 磁共振导引微创诊疗学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2010: 147-149.
- [61] Qi F, Hao X, Luo P, et al. Feasibility of scan plane tracking using in-bore RGB-D camera(s) for online interventional MRI[J]. *Med Phys*, 2025, 52(6): 3611-3624. DOI: 10.1002/mp.17880.
- [62] Daniels BR, Pratt R, Giaquinto R, et al. Optimizing accuracy and precision of micro-coil localization in active-MR tracking[J]. *Magn Reson Imaging*, 2016, 34(3): 289-297. DOI: 10.1016/j.mri.2015.11.005.
- [63] Lin R, Fang Y, Chen J, et al. MR-guided microwave ablation for lung malignant tumor: A single center prospective study[J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 856340. DOI: 10.3389/fonc.2022.856340.
- [64] Lin Z, Chen J, Yan Y, et al. Microwave ablation of hepatic malignant tumors using 1.5T MRI guidance and monitoring: feasibility and preliminary clinical experience [J]. *Int J Hyperthermia*, 2019, 36(1): 1216-1222. DOI: 10.1080/02656736.2019.1690166.
- [65] Hoffmann R, Rempp H, Keßler DE, et al. MR-guided microwave ablation in hepatic tumours: initial results in clinical routine[J]. *Eur Radiol*, 2017, 27(4): 1467-1476. DOI: 10.1007/s00330-016-4517-x.
- [66] 林征宇. MRI 引导在肝癌消融中的优势及地位[J]. *肝癌电子杂志*, 2017, 4(4): 38-41. DOI: 10.3969/j. issn. 2095-7815.2017.04.012.
- [67] 中国抗癌协会肿瘤消融治疗专业委员会, 中国临床肿瘤学会(CSCO)肿瘤消融治疗专家委员会, 国家卫生健康委员会综合介入质控中心肿瘤消融亚专业组, 等. 磁共振引导下热消融治疗肝肿瘤中国专家共识(2025 版)[J]. *中华内科杂志*, 2025, 64(11): 1084-1095. DOI: 10.3760/cma. j. cn112138-20250627-00369.
- [68] Chen J, Lin Z, Lin Q, et al. Percutaneous radiofrequency ablation for small hepatocellular carcinoma in hepatic dome under MR-guidance: clinical safety and efficacy[J]. *Int J Hyperthermia*, 2020, 37(1): 192-201. DOI: 10.1080/02656736.2020.1728397.
- [69] Weiss J, Hoffmann R, Rempp H, et al. Feasibility, efficacy, and safety of percutaneous MR-guided ablation of small (≤ 12 mm) hepatic malignancies[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2019, 49(2): 374-381. DOI: 10.1002/jmri.26252.
- [70] Chen J, Zhang B, Yan Y, et al. MR-guided microwave ablation for patients with cirrhosis complicated by small hepatocellular carcinoma[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2025, 36(5): 805-812.e1. DOI: 10.1016/j.jvir.2025.01.038.
- [71] Gupta D, Choi D, Lu N, et al. Magnetic resonance thermometry targeting for magnetic resonance-guided histotripsy treatments[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2023, 49(5): 1102-1107. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2022.12.009.
- [72] Rieke V, Butts Pauly K. MR thermometry[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2008, 27(2): 376-390. DOI: 10.1002/jmri.21265.
- [73] Zhang L, Armstrong T, Li X, et al. A variable flip angle golden-angle-ordered 3D stack-of-radial MRI technique for simultaneous proton resonant frequency shift and T1-based thermometry[J]. *Magn Reson Med*, 2019, 82(6): 2062-2076. DOI: 10.1002/mrm.27883.
- [74] Zhang Y, Poorman ME, Grissom WA. Dual-echo Z-shimmed proton resonance frequency-shift magnetic resonance thermometry near metallic ablation probes: Technique and temperature precision[J]. *Magn Reson Med*, 2017, 78(6): 2299-2306. DOI: 10.1002/mrm.26634.
- [75] Blackwell J, Krašny MJ, O'Brien A, et al. Proton resonance frequency shift thermometry: A review of modern clinical practices[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2022, 55(2): 389-403. DOI: 10.1002/jmri.27446.
- [76] Guo R, Wang X, Liu J, et al. Experimental study on the accuracy of non-invasive temperature measurement by magnetic resonance in microwave ablation[J]. *J Cancer Res Ther*, 2022, 18(5): 1256-1260. DOI: 10.4103/jcrt.jcrt_1015_21.
- [77] Xue K, Liu X, Xu X, et al. Perioperative outcomes and



- long-term survival of cryosurgery on unresectable pancreatic cancer: a systematic review and meta-analysis [J]. *Int J Surg*, 2024, 110(7): 4356-4369. DOI: 10.1097/JS9.0000000000001407.
- [78] 中国医药教育协会介入微创治疗专业委员会, 国家肿瘤微创治疗产业技术创新战略联盟磁共振介入专业委员会. 高场强磁共振引导经皮穿刺肺活检专家共识[J]. *中华医学杂志*, 2018, 98(45): 3659-3665. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.45.006.
- [79] 张师闻, 肖越勇, 何晓锋, 等. CT引导下置入新型便携式胸腔闭式引流装置治疗气胸: 动物实验及文献复习[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2023, 20(6): 362-365. DOI: 10.13929/j.issn.1672-8475.2023.06.011.
- [80] Wang Y, Zhao Z, Wang W, et al. Safety and efficacy of CT-guided percutaneous radiofrequency ablation for non-small cell lung cancer: a single-center, single-arm analysis[J]. *Lasers Med Sci*, 2024, 39(1): 199. DOI: 10.1007/s10103-024-04153-5.
- [81] Li X, Zhang Y, Wang X, et al. Predicting infectious complications after percutaneous thermal ablation of liver malignancies: A 12-year single-center experience[J]. *Radiology*, 2023, 308(2): e223091. DOI: 10.1148/radiol.223091.
- [82] 魏颖恬, 肖越勇, 亚洲冷冻治疗学会. 影像学引导肺癌冷冻消融治疗专家共识2018版[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2018, 15(5): 259-263. DOI: 10.13929/j.1672-8475.201710016.
- [83] Gobara H, Hiraki T, Iguchi T, et al. Oncologic outcomes and safety of percutaneous cryoablation for biopsy-proven renal cell carcinoma up to 4 cm in diameter: a prospective observational study[J]. *Int J Clin Oncol*, 2021, 26(3): 562-568. DOI: 10.1007/s10147-020-01825-4.
- [84] Daye D, Hu EY, Glazer DI, et al. Periprocedural factors associated with overall patient survival following percutaneous image-guided liver tumor cryoablation[J]. *Int J Hyperthermia*, 2022, 39(1): 34-39. DOI: 10.1080/02656736.2021.2013552.
- [85] Maeda M, Saeki I, Sakaida I, et al. Complications after radiofrequency ablation for hepatocellular carcinoma: A multicenter study involving 9, 411 Japanese patients[J]. *Liver Cancer*, 2020, 9(1): 50-62. DOI: 10.1159/000502744.
- [86] Timmer F, Geboers B, Nieuwenhuizen S, et al. Locally advanced pancreatic cancer: percutaneous management using ablation, brachytherapy, intra-arterial chemotherapy, and intra-tumoral immunotherapy[J]. *Curr Oncol Rep*, 2021, 23(6): 68. DOI: 10.1007/s11912-021-01057-3.
- [87] 张肖, 肖越勇, 李成利. 影像学引导下肺结节冷冻消融专家共识(2022版)[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2022, 19(1): 2-6. DOI: 10.13929/j.issn.1672-8475.2022.01.001.
- [88] Wang Y, Zhang Y, Ren N, et al. Repeat biopsy versus initial biopsy in terms of complication risk factors and clinical outcomes for patients with non-small cell lung cancer: a comparative study of 113 CT-guided needle biopsy of lung lesions[J]. *Front Oncol*, 2024, 14: 1367603. DOI: 10.3389/fonc.2024.1367603.

·读者·作者·编者·

“做”与“作”的推荐用法

1. 首字是 zuo 的动宾词组, 全用“做”: 做准备/做广告/做生意/做贡献/做事情/做手术/做检查/做父母/做文章/做实验/做朋友/做斗争/做游戏/做动作/做试验/做报告/做研究/做调查/做处理/做运动/做努力/做调整/做后盾/做表率/做模范/做分析/做实事/做决定/做活动/做解释/做比较/做买卖/做设计/做衣服/做保证/做交易/做演员/做服务/做表演/做好事/做报道/做医生/做顾问/做介绍/做项目/做保障/做抵押/做美容/做企业/做担保/做示范/做事业/做临时工/做市场。

2. 首字是 zuo 的双音节词, 按习惯用法: 做爱/做伴/做东/做法/做工/做功/做鬼/做活儿/做媒/做梦/做派/做亲/做人/做事/做寿/做戏/做作; 作案/作罢/作弊/作别/作成/作答/作对/作恶/作伐/作法/作废/作风/作梗/作古/作怪/作家/作假/作价/作践/作乐/作脸/作料/作乱/作美/作难/作孽/作弄/作呕/作陪/作品/作色/作势/作数/作死/作祟/作态/作痛/作为/作伪/作文/作物/作息/作兴/作业/作揖/作俑/作用/作战/作者/作准。

3. 末字是 zuo 的双音节词或三音节词, 全用“作”: 比作/变作/当作/读作/分作/改作/化作/换作/记作/叫作/看作/拼作/评作/认作/算作/听作/写作/选作/用作/装作/称作/释作/视作/分析作/化装作/解释作/理解作。

4. 成语或四字格等固定结构中, 有“做”或“作”的, 按习惯用法: 白日做梦/敢做敢当/假戏真做/小题大做/做贼心虚/好吃懒做/亲上做亲/一不做, 二不休; 逢场作戏/胡作非为/认贼作父/始作俑者/述而不作/天作之合/为非作歹/为虎作伥/为人作嫁/无恶不作/兴风作浪/一鼓作气/以身作则/装聋作哑/装模作样/装腔作势/自作聪明/自作多情/自作自受。

5. 在用“做”或“作”两可的情况下, 要做到局部一致: 用作—用做/作客—做客/作诗—做诗/作秀—做秀。

[摘编自《中国科技术语》2011, (2): 60]

