

磁共振对比剂高压注射技术应用专家共识

刘晶哲¹, 于经瀛², 陈敏^{2*}, 马林^{3,4*}, 中国医学影像技术研究会

1.清华大学第一附属医院放射影像科, 北京 100016; 2.北京医院放射科, 国家老年医学中心, 北京 100730; 3.解放军医学院, 北京 100853; 4.解放军总医院第一医学中心放射诊断科, 北京 100853; *通信作者 陈敏 cjr.chenmin@vip.163.com; 马林 cjr.malin@vip.163.com

【摘要】 MRI 经过近 40 年的发展, 已成为临床重要影像学诊断方法。MRI 平扫结合对比剂增强扫描可提供多维度信息, 显著提升病灶检出率, 并服务于疾病全周期管理。随着医疗资源下沉, 磁共振增强技术(如磁共振增强血管造影、动态对比增强 MRI、动态磁敏感对比增强 MRI 等)在基层普及, 对比剂高压注射技术作为其关键辅助方法, 具有精准控制注射参数、稳定团注状态及提升可重复性等优势, 对保障成像质量和诊断效果至关重要。然而, 目前国内外缺乏该技术的应用共识, 制约了影像数据同质化和互认。为此, 专家组参考国内外指南与文献, 结合国内应用现状, 制订《磁共振对比剂高压注射技术应用专家共识》, 旨在为放射科医务工作者提供安全、有效的技术应用指导, 推动临床规范化实践。

【关键词】 磁共振成像; 对比剂; 高压注射技术; 专家共识

【中图分类号】 R445.2 **【DOI】** 10.3969/j.issn.1005-5185.2025.06.001

Expert Consensus on the Application of High-Pressure Injection Technology for Magnetic Resonance Contrast Agents

LIU Jingzhe¹, YU Jingying², CHEN Min^{2*}, MA Lin^{3,4*}, Chinese Association of Medical Imaging Technology

2. Department of Radiology, Beijing Hospital, National Center for Gerontology, Beijing 100730, China; 3. Chinese PLA Medical School, Beijing 100853, China; 4. Department of Radiology, the First Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China;

*Address Correspondence to: CHEN Min, E-mail: cjr.chenmin@vip.163.com; MA Lin, E-mail: cjr.malin@vip.163.com

【Abstract】 After nearly 40 years of development, MRI has become an important imaging diagnostic method in clinical practice. Non-contrast enhanced MRI combined with contrast-enhanced MRI can provide multidimensional information, significantly improving lesion detectability and supporting the entire disease management cycle. With the decentralization of medical resources, contrast-enhanced MR technologies (such as magnetic resonance angiography, dynamic contrast-enhanced MRI and dynamic susceptibility contrast-enhanced MRI, etc.) have become popular in primary healthcare facilities. As a critical adjunct to contrast-enhanced imaging, high-pressure injection technology for contrast agents plays a determinant role in ensuring imaging quality and diagnostic validity. This technology offers distinct advantages in precise control of injection parameters (flow rate, dosage, timing), maintenance of bolus integrity and enhancement of inter-study reproducibility. However, the absence of standardized international and domestic guidelines for its application currently hinders the harmonization of imaging data and limits cross-institutional interoperability of diagnostic results. To address this gap, an expert group has developed the “Expert Consensus on the Application of High-Pressure Injection Technology for Magnetic Resonance Contrast Agents”, referencing domestic and international guidelines and literature, and in conjunction with the current application status in the country. This consensus aims to provide radiology professionals with safe and effective technical application guidance and to promote standardized clinical practice.

【Key words】 Magnetic resonance imaging; Contrast media; High-pressure injection technology; Expert consensus

Chinese Journal of Medical Imaging, 2025, 33 (6): 577-582

经过近 40 年的发展, MRI 已成为临床广泛使用的重要影像学诊断方法。磁共振平扫具有多序列多对比度、任意平面成像等优势, 配合应用磁共振对比剂进行增强扫描可提供更多形态学和生理生化方面的信息, 增加病灶和正常组织的对比度, 显著提高病灶大小、性质、范围的检测率^[1-2], 实现疾病诊断、术前

规划以及治疗后的随访等^[3]。

随着深化医药卫生体制改革、促进优质医疗资源扩容下沉相关工作的开展^[4], 越来越多的基层医院安装和使用磁共振设备。随着磁共振增强血管造影 (contrast-enhanced magnetic resonance angiography, CE-MRA)、动态对比增强磁共振成像 (dynamic contrast-

enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI) 与动态磁敏感对比增强磁共振成像 (dynamic susceptibility contrast-enhanced magnetic resonance imaging, DSC-MRI) 等磁共振增强技术在临床普及, 对比剂高压注射技术作为磁共振增强成像辅助工具, 其应用也越来越广泛。与传统非高压注射技术 (如手动注射) 相比, 磁共振对比剂高压注射技术可更精准地控制对比剂的注射时间、注射流率、注射剂量和注射压力等, 具有对比剂团注状态更稳定、可重复性更好等优势^[5-6], 有利于注射方案的规范化^[7]与新技术的应用, 从而保障磁共振成像质量和诊断效果。

磁共振对比剂高压注射技术的规范应用与患者安全和图像成像效果密切相关, 但目前国内外均缺乏对比剂高压注射技术的应用共识, 不利于实现磁共振影像数据的同质化和图像互认。因此, 推动对比剂高压注射技术的规范化使用符合当前临床应用的实际需求。专家组在汇总、参考国内外指南及相关文献的基础上, 结合我国磁共振对比剂高压注射技术的应用现状, 经多次讨论后制订《磁共振对比剂高压注射技术应用专家共识》, 旨在为广大放射科医务工作者更有效、安全地使用磁共振高压注射技术提供指导建议。

1 磁共振对比剂高压注射技术概述

磁共振对比剂高压注射技术的核心是泊肃叶定律^[8], 辅以机械传动系统、软件系统、显示屏、耗材等组件, 形成可以配合磁共振设备成像的高压注射系统。在日常临床及科研工作中, 通过将磁共振对比剂经皮穿刺注入人体血管, 并在一定时间内将其以团注形式推送至检查部位, 便于磁共振成像系统对该部位进行诊断性造影成像。目前常见的磁共振高压注射系统根据传动方式可分为活塞泵式针筒式和蠕动泵式两类^[9]。

高压注射器通常具有双针筒设计或者双通道设计, 可以同时连接对比剂和生理盐水。在进行磁共振增强检查前会先推注适量生理盐水, 甚至可以开启保持静脉畅通 (keep vein open, KVO) 功能以慢速静滴的方式避免血液凝固, 然后在合适的时间点以一定流率团注适量对比剂, 并在对比剂推注完成后, 以同样流率推注适量生理盐水冲管维持对比剂团注形态^[9]。

2 磁共振对比剂高压注射技术的基本要求

2.1 保障对比剂高压注射过程安全 高压注射设备作为静脉药品推注工具, 首先应保证注射过程的安全性, 降低因注射操作引起的不良事件风险, 应具备多

种保障受检者安全的措施。若能自动检测异常状态 (如系统故障、剩余液量不足、速度过大、管道堵塞、压力异常等) 并报警同时紧急停止注射更佳。

2.1.1 避免空气注入 采用活塞泵技术推注的高压注射器, 每次注射前必须确认完成空气排气; 采用蠕动泵单向传输技术的高压注射器, 必须确保对比剂的单向流动, 且必须具备防气泡功能, 并在每次注射过程中始终保持该功能开启, 以自动完成和控制排气过程, 并随时监控管道中是否有气体, 防止发生气栓。

2.1.2 保持适度的压力 高压注射器须具备内置压力控制系统, 可以准确地监测输注管道管腔压力并进行控制。既能够克服注射过程中的阻力, 又能有效防止压力过高可能导致的血管损伤和对比剂渗漏。

2.1.3 保持管路通畅 磁共振检查时间较长, 为防止因长时间等待而导致静脉血管内血液凝结, 部分注射器具备 KVO 功能, 即根据临床需要, 间隔一定时间 (如 30 s) 自动注射少量生理盐水 (如 0.25 ml), 保持血管畅通。

2.1.4 使用一次性高压注射器针筒及附件 出于患者安全考虑, 每位受检者均应更换一次性针筒及附件管路, 以避免交叉感染, 降低医院感染风险。

2.2 保障对比剂高压注射效果和质量 对比剂高压注射技术保障磁共振增强成像检查获得高质量图像的重要基础。与手动注射相比, 对比剂高压注射技术不仅可以提供更理想的对比剂成像效果, 提升图像质量, 增强诊断信心; 还能提供标准化、规范化的注射方案^[5-6], 将个体间、个体内多次检查的差异最小化, 提升成像质量的稳定性, 从而保障磁共振成像质量和诊断效果。

2.2.1 选用合适的对比剂剂量 常用磁共振增强对比剂为钆离子 (Gd^{3+}) 的螯合物, 呈顺磁性, 钆剂缩短了组织的 T1 值, 用量小、安全、过敏反应发生率较低。常规钆剂浓度为 0.5 mmol/ml, 批准剂量通常为 0.1 mmol/kg^[10], 对于体重为 75 kg 的成人, 对比剂用量为 15 ml。儿童尤其是新生儿和 <2 岁儿童对比剂和剂量的选择需严格依据产品说明书。

2.2.2 理想的对比剂团注浓度-时间曲线 对比剂团注后浓度-时间曲线的几何形状 (即曲线的宽度和峰值高度, 图 1)、对比剂到达时间和磁共振增强检查图像采集区间的时间, 对图像对比度和信噪比具有重要影响^[11-13]。

对比剂团注的形状主要由注射方案 (如对比剂剂量和注射流率) 决定, 患者特定的参数 (如心排血量)

和对比剂浓度也存在一定影响^[14-15]。对比剂的剂量通常按照 0.1 mmol/kg 计算,注射流率与检查部位和检查序列有关^[11],如通常 MRA 注射流率可使用 $2\sim 3 \text{ ml/s}$ 。对比剂注射完成后,需要以相同注射流率推注适量生理盐水,有助于维持对比剂团注状态和推送至成像器官。

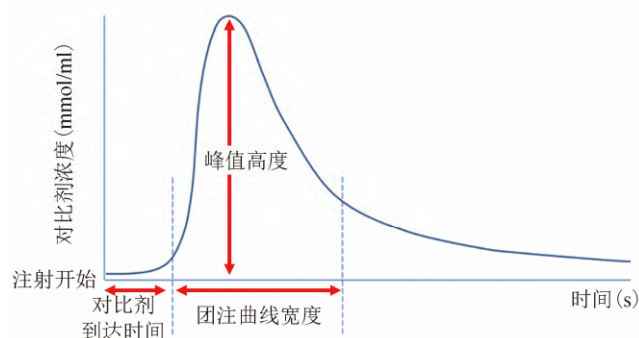


图1 血管中对比剂浓度-时间曲线

为精准输出预设注射方案,获得理想的团注状态(图2),磁共振对比剂高压注射系统应能提供较高的准确度,包括注射剂量、流率、暂停时间、显示压力、KVO 量的准确度等。准确度偏差越小,实际推注与预设方案越接近,对设备要求越高,越有助于保障图像增强效果。



图2 理想的对比剂团注示意图

2.2.3 使用标准化注射方案 高压注射器均采用微电脑控制系统^[9],可以存储多个标准化注射方案,以便于简化日常操作流程,提高工作效率,有利于质量控制和管理。注射方案中,需要记录的最主要参数包括:①注射流率。注射流率快,有助于在血管内形成浓度较高的对比剂团注,尤其对于 DSC-MRI 等增强检查,可以更好地形成浓度梯度,提升 $T2^*$ 效应,提高脑磁共振灌注成像(perfusion weighted imaging, PWI) 定量参数的准确度^[16]。但流率过快可能造成对比剂外渗,甚至对人体造成危害。②注射剂量。目前对比剂使用剂量与受检者体重、对比剂浓度、磁共振增强检查方案有关。③延迟时间。磁共振高压注射器可通过数控模块使对比剂注射与图像采集协同进行,精准控制注射时机,从而获得高质量 MRI 图像。④压力限制。定义了注射方案执行期间系统允许生成的最大液体压力,超过此压力时将报警并停止推注。

3 磁共振对比剂高压注射技术的规范化使用

3.1 高压注射对比剂前的准备工作 ①确认高压注

射器设备状态正常;核对申请单,确认受检者信息、体重、检查部位、目的、方案、对比剂信息等;签署增强检查知情同意书。②根据相应流率选择耐高压合适型号的留置针,常选用 $20\sim 24\text{G}$ 留置针行静脉穿刺^[17],并目视检查高压注射器耗材及其包装有无损坏。③安装全新一次性高压注射器耗材,检查相关管路是否连接紧密、有无气泡,将留置针连接至高压注射器,必要时可开启 KOV 功能保持血管畅通。④完成磁共振检查相关的其他准备工作。⑤充分做好对比剂过敏救治的准备工作。

3.2 高压注射过程中的注意事项

3.2.1 对比剂外渗 由于磁共振对比剂高压注射流率快,可高达 5 ml/s ^[16],而患者的血管条件不同,血管条件非常差的患者或血管纤细的低龄儿童可能存在较高的对比剂外渗风险,需要根据具体情况调整速率。

预防措施: 静脉穿刺选择血管时,根据检查项目和血管条件选择静脉穿刺部位、大小合适的留置针,并认真固定好穿刺针头,以免加压给药时回弹;穿刺完成后进行试注射,严格排气、充分试水,仔细观察穿刺处。

3.2.2 注射管路中残留的气泡 抽取药物时速度过快,导致溶液内溶有空气,而静止后空气又浮出液面;排气时不彻底。

预防措施: 抽取药物的速度以不产生空气泡沫为宜;排气时集中精力,细心观察,排出针筒、连接管、套管针等液体管路中残留的全部空气;注射过程中保持针筒向下;部分注射器有防气泡功能,需要全程开启。

3.2.3 注射管路压力过大 压力限制参数设置过低而流率设置过大,容易导致压力超限;未打开留置针的封管夹,注射通道堵塞,或选择的静脉留置针过小,与流率不匹配,均可导致注射时针筒内压力过大。

预防措施: 注射前仔细检查压力和流率设置参数;检查注射通道,确保注射通道畅通;选择大小合适的静脉留置针。

3.3 根据检查部位选择注射方案 根据不同检查部位和检查方案进行 MRI 检查时,对比剂的高浓度与持续时间是检查成功的关键。如进行 MRA 检查时,由于血管内存在涡流和湍流,推药流率过慢或不稳定易导致信号丢失,出现伪影和假阳性。而 DSC-MRI 对流率要求比较高,通常可高达 3 ml/s 以上^[16],手动推注难以实现,应选用高压注射系统。

磁共振增强检查的图像采集区间需要与对比剂到达时间进行配合,应根据检查部位和使用的增强序

列类型决定启动推药和序列扫描的时间。大年龄儿童注射方案和成人相同,但儿童处于不同发育阶段,具有独特的生理特征,增强启动推药和序列扫描时间原则上需要进行个性化处理和决策。

参考《MRI 检查技术专家共识》^[18],并结合实际临床诊断需要,各部位 MRI 检查注射要求如下。

3.3.1 头颅常规增强、颞叶、海马、脑桥小脑角、头面部(包括眼部、耳部、鼻及鼻窦、鼻咽部、口咽部、颌面部)和颈部(包括喉部、甲状腺、甲状旁腺、颈部软组织)、脊柱及脊髓、四肢骨及软组织等增强 MRI 常规剂量 0.1 mmol/kg, 流率 2~3 ml/s; 疑诊颅内转移瘤行颅脑增强 MRI 检查, 推荐剂量 0.2 mmol/kg, 流率 2~3 ml/s。

3.3.2 脑 PWI 对比剂剂量 0.1 mmol/kg, 流率 5 ml/s, 如使用高浓度高弛豫率对比剂(如钆布醇等), 流率可降低至 2.5 ml/s, 然后以相同流率注射适量生理盐水, 注射对比剂前扫描蒙片 3~5 个时相, 注射对比剂后同步采集至少 60~90 个时相的灌注图像。

3.3.3 鞍区 MRI 增强 怀疑垂体微腺瘤行动态增强扫描时, 在完成第一期蒙片后, 以 2~3 ml/s 流率注射半剂量(0.05 mmol/kg), 注射对比剂同时采集 6 个时相以上; 其他鞍区病变采用常规增强扫描, 常规流率注射常规剂量(0.1 mmol/kg)或依据药品使用说明书。

3.3.4 颈部血管增强成像 对比剂剂量 0.1~0.2 mmol/kg, 流率 2 ml/s, 然后以相同流率注射适量生理盐水(考虑管内存留, 建议不少于 20 ml), 根据后处理需要, 注射对比剂前可扫描蒙片, 注射对比剂后获取动脉期图像, 或采集至少 2 个时相, 以获取动脉期和静脉期图像。

3.3.5 胸/腹部大血管(包括肠系膜上动、静脉和肾动、静脉等)增强成像 对比剂剂量 0.2 mmol/kg, 流率 3 ml/s, 然后注射适量生理盐水, 通常采用实时透视触发法进行成像, 先启动透视扫描序列, 在透视下注射对比剂, 观察到对比剂进入目标区域后, 切换至血管增强扫描序列进行扫描。

3.3.6 双下肢血管增强成像 对比剂剂量 0.2~0.3 mmol/kg, 前半程对比剂推注流率 1.5~2.0 ml/s, 后半程流率 0.8~1.0 ml/s, 然后注射 30 ml 生理盐水, 通常采用实时透视触发法进行成像, 先启动透视扫描序列, 在透视下注射对比剂, 观察到对比剂进入腹主动脉分叉后, 切换至血管增强扫描序列进行扫描。

3.3.7 心脏 MRI 首过静息灌注增强对比剂剂量为 0.05~0.10 mmol/kg, 流率 3~4 ml/s, 注射开始即同步

启动扫描; 如实施首过负荷灌注增强, 对比剂用量及流率同首过静息。心肌延迟强化扫描对比剂总量需达到 0.1~0.2 mmol/kg, 延迟扫描时间 8~15 min。

3.3.8 乳腺动态增强 MRI 对比剂剂量 0.1 mmol/kg, 流率 2~3 ml/s, 再以相同流率注射 20~30 ml 生理盐水, 在完成第一期蒙片后, 行动态增强扫描, 推荐增强扫描每期 60 s, 注射开始后 30 s 启动扫描, 采集至少 6 个时相。

3.3.9 肝、胆、脾、胰腺、肾脏、肾上腺、腹膜后病变动态增强 MRI 对比剂剂量 0.1 mmol/kg, 流率 2~3 ml/s, 再以相同流率注射适量生理盐水, 完成第一期蒙片后行动态增强扫描, 注射开始后 15~25 s 同时配合受检者屏气启动动脉期扫描, 50~70 s 采集门静脉期、2~5 min 进行延迟期扫描; 也可用透视触发技术进行扫描。

3.3.10 盆腔(子宫、前列腺、直肠)动态增强 MRI 对比剂剂量 0.1 mmol/kg, 流率 2~3 ml/s, 再注射适量生理盐水; 完成第一期蒙片后, 行动态增强扫描, 注射开始后 30~35 s 启动扫描, 依次采集动脉期、静脉期、延迟期图像; 如需进行肿瘤血管通透性评估, 需进行动态灌注增强扫描, 扫描周期>30 个, 全部扫描时长约 5 min。

对少数特殊部位的扫描应结合检查部位的特点选择注射方案, 如在血脑屏障渗漏的定量评估中, 可采用慢速注射, 以减少团注形状和对比剂到达时间差异带来的定量测量误差^[19], 此方法已获得国际(harmonizing brain imaging methods for vascular contributions to neurodegeneration, HARNESS)推荐^[20], 即标准剂量的钆布醇在 120 s 内匀速缓慢注射, 平均注射流率约 0.06 ml/s。

3.4 特殊对比剂的注射方案 高浓度高弛豫率对比剂(如钆布醇等)浓度(1.0 mmol/ml)是传统对比剂浓度(0.5 mmol/ml)的 2 倍, 且具有更高的弛豫率(在 1.5T 场强下弛豫率为 5.2 mmol⁻¹·s⁻¹^[10])。同样体重的成人仅需要传统对比剂 1/2 的用量, 例如 75 kg 的患者仅需要 7.5 ml 钆布醇即可获得同样的团注效果。根据美国功能神经放射学会(American Society of Functional Neuroradiology, ASFNR)的推荐, 脑 PWI 使用钆布醇注射流率 2.5 ml/s, 可获得更窄的团注宽度和更好的动脉输入函数峰值, 其高弛豫率特性可以获得更高的强化峰和更好的图像信噪比^[16]。

肝细胞特异性对比剂(如钆塞酸二钠等), 在肝脏局灶病变诊断中具有重要价值, 其浓度为 0.25 mmol/ml

(传统对比剂的 1/2), 可与血浆蛋白结合, 进一步提高了弛豫率, 仅用普通细胞外对比剂 1/4 的用量即可获得相同的动态期图像增强效果。推荐缓慢的注射流率 1 ml/s, 延长强化持续时间, 使其与血浆蛋白充分结合, 从而提高强化峰。除采集常规三期动态增强图像外, 注射后 15~20 min 还需加扫肝胆特异期图像, 进一步提高肝脏局灶病变的诊断准确度^[21-22]。

3.5 高压注射完成后的注意事项 注射完成后先断开高压注射器与受检者的连接, 注意避免对比剂外溢。由于设备长期使用易出现对比剂积聚, 可使用不引起磨损的软布浸润温水或中性消毒剂, 定期小心清洁注射头机壳、按键板、针筒卡口及针筒活塞推杆。如发现有液体渗漏进注射头, 应立即停止使用, 关闭注射器电源, 联系设备工程师到现场进行拆除清洗。

目前国际上很多组织均建议完善患者医疗文档^[23-25], 部分高压注射器具有记录对比剂注射方案与受检者信息的功能, 形成电子文档与原始磁共振图像共同存储于 PACS, 有利于注射方案的优化和质控, 实现注射信息可回溯, 在受检者随访复查、转诊过程中, 可确保注射方案的一致性与临床图像的可比性。对比剂注射信息的电子化记录有助于实现医学影像的互联互通。

增强检查完成后, 观察患者 30 min, 如有不适及时告知护士; 若患者无不适, 30 min 后护士可将留置针拔出。

4 总结

本专家共识旨在推动国内磁共振对比剂高压注射技术使用的规范化, 介绍了对比剂高压注射技术和临床应用, 按照不同部位、扫描序列要求推荐注射流率、剂量和注射延迟时间, 根据不同对比剂的特点选择注射方案, 对图像质控、注射操作、临床应用等方面均具有一定指导作用, 有助于克服设备差异和操作者差异, 实现规范化、标准化的操作方案和图像质量的同质化, 助力医学影像互认, 对医院的对比剂高压注射操作和临床诊断具有一定参考价值。建议每年执行全面的系统校准和性能检查, 以保障高压注射系统的精度和安全性。每月进行设备维护、保养并记录。

执笔者: 刘晶哲 (清华大学第一附属医院); 于经瀛 (北京医院)

共识专家组成员 (按姓氏汉语拼音排序): 蔡华崧 (中山大学附属第一医院); 曹代荣 (福建医科大学附属第一医院); 曹国全 (温州医科大学附属第一医院); 陈敏 (北京医院);

程琳 (陆军军医大学第一附属医院); 程晓光 (首都医科大学附属北京积水潭医院); 冯逢 (北京协和医院); 冯仕庭 (中山大学附属第一医院); 韩丹 (昆明医科大学附属第一医院); 何浩强 (中山大学肿瘤防治中心); 康庄 (中山大学附属第三医院); 李晓光 (北京医院); 李震 (华中科技大学同济医学院附属同济医院); 廖伟华 (中南大学湘雅医院); 刘晶哲 (清华大学第一附属医院); 刘军 (中南大学湘雅二医院); 刘绍伟 (江苏省中医院); 刘亚欧 (首都医科大学附属北京天坛医院); 吕粟 (四川大学华西医院); 马林 (解放军总医院第一医学中心); 彭芸 (首都医科大学附属北京儿童医院); 邱建星 (北京大学第一医院); 宋彬 (四川大学华西医院); 汪登斌 (上海大学医学院附属新华医院); 王卓 (吉林大学第一医院); 武凤菊 (北京医院); 鲜军舫 (首都医科大学附属北京同仁医院); 谢传森 (中山大学附属肿瘤医院); 徐磊 (首都医科大学附属北京安贞医院); 许玉峰 (北京大学第一医院); 杨旗 (北京朝阳医院); 杨正汉 (首都医科大学附属北京友谊医院); 于经瀛 (北京医院); 袁慧书 (北京大学第三医院); 岳云龙 (首都医科大学附属北京世纪坛医院); 张晨 (北京医院); 张惠茅 (吉林大学第一医院); 张同 (哈尔滨医科大学附属第四医院); 张雪宁 (天津医科大学第二医院); 赵建 (河北医科大学第三医院); 赵心明 (中国医学科学院肿瘤医院); 郑卓肇 (清华大学附属北京清华长庚医院); 周作福 (福建省妇幼保健院)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Zhang Q, Guo J, Ouyang H, et al. Added-value of dynamic contrast-enhanced MRI on prediction of tumor recurrence in locally advanced cervical cancer treated with chemoradiotherapy[J]. Eur Radiol, 2022, 32(4): 2529-2539. DOI: 10.1007/s00330-021-08279-w.
- [2] Jiang H, Chen J, Xia C, et al. Noninvasive imaging of hepatocellular carcinoma: from diagnosis to prognosis[J]. World J Gastroenterol, 2018, 24(22): 2348-2362. DOI: 10.3748/wjg.v24.i22.2348.
- [3] Fabio Settecase, Vitaliy L Rayz. Handbook of clinical neurology[M]. Amsterdam: Elsevier, 2021: 81-105.
- [4] 新华社. 中共中央关于进一步全面深化改革 推进中国式现代化的决定[EB/OL]. (2024-07-21) [2025-05-17]. https://www.gov.cn/zhengce/202407/content_6963770.htm?sid_for_share=80113_22.
- [5] Jost G, Endrikat J, Pietsch H. The impact of injector-based contrast agent administration on bolus shape and magnetic resonance angiography image quality[J]. Magn Reson Insights, 2017, 10: 1178623X17705894. DOI: 10.1177/1178623X17705894.

- [6] Endrikat J, Barbati R, Scarpa M, et al. Accuracy and repeatability of automated injector versus manual administration of an MRI contrast agent-results of a laboratory study[J]. *Invest Radiol*, 2018, 53(1): 1-5. DOI: 10.1097/RLI.0000000000000403.
- [7] Budjan J, Attenberger UI, Schoenberg SO, et al. The impact of injector-based contrast agent administration in time-resolved MRA[J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(5): 2246-2253. DOI: 10.1007/s00330-017-5178-0.
- [8] Indrajit IK, Sivasankar R, D'Souza J, et al. Pressure injectors for radiologists: a review and what is new[J]. *Indian J Radiol Imaging*, 2015, 25(1): 2-10. DOI: 10.4103/0971-3026.150105.
- [9] Friebe M. Computed tomography and magnetic resonance imaging contrast media injectors: technical feature review - what is really needed?[J]. *Med Devices (Auckl)*, 2016, 9: 231-239. DOI: 10.2147/MDER.S106338.
- [10] 中华医学会放射学分会磁共振学组, 中华医学会放射学分会质量控制与安全工作委员会. 钆对比剂临床安全性应用中国专家建议[J]. *中华放射学杂志*, 2019, 53(7): 539-544. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.07.002.
- [11] Maki JH, Prince MR, Londy FJ, et al. The effects of time varying intravascular signal intensity and k-space acquisition order on three-dimensional MR angiography image quality[J]. *J Magn Reson Imaging*, 1996, 6(4): 642-651. DOI: 10.1002/jmri.1880060413.
- [12] Boos M, Lentschig M, Scheffler K, et al. Contrast-enhanced magnetic resonance angiography of peripheral vessels[J]. *Investig Radiol*, 1998, 33(9): 538-546. DOI: 10.1097/00004424-199809000-00009.
- [13] Boos M, Scheffler K, Haselhorst R, et al. Arterial first pass gadolinium-CM dynamics as a function of several intravenous saline flush and Gd volumes[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2001, 13(4): 568-576. DOI: 10.1002/jmri.1080.
- [14] Lawaczek R, Jost G, Pietsch H. Pharmacokinetics of contrast media in humans: model with circulation, distribution, and renal excretion[J]. *Invest Radiol*, 2011, 46(9): 576-585. DOI: 10.1097/RLI.0b013e31821c1140.
- [15] Hadizadeh DR, Jost G, Pietsch H, et al. Intraindividual quantitative and qualitative comparison of gadopentetate dimeglumine and gadobutrol in time-resolved contrast-enhanced 4-dimensional magnetic resonance angiography in minipigs[J]. *Invest Radiol*, 2014, 49(7): 457-464. DOI: 10.1097/RLI.0000000000000036.
- [16] Welker K, Boxerman J, Kalnin A, et al. ASFN recommendations for clinical performance of MR dynamic susceptibility contrast perfusion imaging of the brain[J]. *Am J Neuroradiol*, 2015, 36(6): E41-E51. DOI: 10.3174/ajnr.A4341.
- [17] 中华医学会影像技术分会医学影像护理专委会. 影像增强检查静脉输注工具规范应用专家共识[J]. *中国医疗设备*, 2021, 36(3): 1-5. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-5782.2020.03.014.
- [18] 中华医学会影像技术分会, 中华医学会放射学分会. MRI 检查技术专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2016, 50(10): 724-739. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2016.10.002.
- [19] Manning C, Stringer M, Dickie B, et al. Sources of systematic error in DCE-MRI estimation of low-level blood-brain barrier leakage[J]. *Magn Reson Med*, 2021, 86(4): 1888-1903. DOI: 10.1002/mrm.28833.
- [20] Michael T, Michael S. MR Imaging Manual for Investigate@SVDs Study[EB/OL]. (2017-07-21) [2025-11-16]. https://static1.squarespace.com/static/591b38b32994caf399b51ac3/t/5bf335d4f950b75f39ef1b0a/1542665687898/Investigate-SVDs-Imaging_Manual_v1b_20171116.pdf.
- [21] 中华医学会影像技术分会国际交流学组. 肝胆特异性对比剂钆塞酸二钠增强 MRI 扫描方案专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2019, 53(12): 1040-1044. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.12.005.
- [22] 中华医学会放射学分会腹部学组. 肝胆特异性 MRI 对比剂钆塞酸二钠临床应用专家共识[J]. *临床肝胆病杂志*, 2016, 32(12): 2236-2241. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5256.2016.12.003.
- [23] ACR Manual On Contrast Media 2024[EB/OL]. [2025-05-17]. <https://edge.sitecorecloud.io/americancoldf5f-acrorgf92a-productioncb02-3650/media/ACR/Files/Clinical/Contrast-Manual/ACR-Manual-on-Contrast-Media.pdf>.
- [24] European Society of Urogenital Radiology. ESUR Guidelines on Contrast Agents (vol. 10) [EB/OL]. (2018-03) [2025-11-16]. https://www.esur.org/wp-content/uploads/2022/03/ESUR-Guidelines-10_0-Final-Version.pdf.
- [25] Standards for intravascular contrast agent administration to adult patients[EB/OL]. [2025-05-17]. [https://www.bsgar.org/tatic/uploads/BFCR\(10\)4_Stand_contrast\(3\).pdf](https://www.bsgar.org/tatic/uploads/BFCR(10)4_Stand_contrast(3).pdf).

【收稿日期】2025-05-17 【修回日期】2025-06-11

(本文编辑 冯婧)