

磁共振血管成像在血管疾病诊疗中的临床应用进展

丁世荣

阿坝藏族羌族自治州人民医院

DOI:10.32629/ffcr.v3i10.21245

[摘要] 磁共振血管成像（Magnetic Resonance Angiography, MRA）是基于磁共振成像原理，无创性显示全身血管结构、评估血管病理改变的影像学技术，凭借无电离辐射、软组织分辨率高、可多方位多参数成像、无需对比剂或仅需少量对比剂等优势，成为血管疾病筛查、诊断、疗效评估及预后随访的重要手段。本文系统阐述 MRA 常用成像技术原理，梳理其在颅内血管、颈部血管、胸腹部大血管、四肢血管及冠状动脉疾病中的临床应用价值，分析当前临床应用存在的局限性，并展望其技术发展与临床应用前景，为 MRA 在血管疾病领域的规范化、精准化应用提供参考。

[关键词] 磁共振血管成像；血管疾病；无创成像；临床应用；高分辨率血管壁成像

中图分类号：R445.2 **文献标识码：**A

Research Progress on Clinical Application of Magnetic Resonance Angiography in Diagnosis and Treatment of Vascular Diseases

Shirong Ding

People's Hospital of Aba Tibetan and Qiang Autonomous Prefecture

Abstract: Magnetic Resonance Angiography (MRA) is a non-invasive imaging technique based on MRI principles that can visualize systemic vascular structures and assess vascular pathological changes. It features no ionizing radiation, high soft tissue resolution, multi-dimensional and multi-parametric scanning, and low or zero contrast agent dosage, making it a core tool for screening, diagnosis, therapeutic evaluation and follow-up of vascular disorders. This paper elaborates the principles of mainstream MRA sequences, summarizes its clinical value in intracranial, cervical, thoracic-abdominal, peripheral and coronary vascular lesions, analyzes the existing limitations of MRA in clinical practice, and prospects its technical upgrading and application trends, so as to provide references for standardized and precise MRA clinical implementation.

Keywords: magnetic resonance angiography; vascular diseases; non-invasive imaging; clinical application; high-resolution vessel wall imaging

引言

血管疾病是全球范围内高发的慢性病，涵盖动脉粥样硬化、动脉瘤、动脉夹层、血管畸形、静脉血栓等多种类型，具有起病隐匿、进展快、致残致死率高等特点，早期精准诊断、动态监测病情变化、科学评估治疗效果，是改善血管疾病患者预后的核心环节^[1]。传统血管造影（DSA）虽为血管疾病诊断的金标准，但属于有创操作，存在血管损伤、出血、对比剂不良反应等风险，且检查成本高、不适用于长期随访；CT 血管成像（CTA）虽操作便捷，但存在电离辐射，大剂量碘对比剂易加重肾功能损伤，限制其在特殊人群中的应用^[2]。

磁共振血管成像（MRA）作为无创性血管成像技术，无需电离辐射，可灵活选择对比剂增强或非增强成像模式，不仅能清晰显示血管管腔狭窄、闭塞、畸形等形态学改变，还能通过高分辨率序列直接观察血管壁、斑块性质等微观病理

结构，实现血管疾病的早期诊断与精准评估^[3]。近年来，随着磁共振硬件升级、成像序列优化及后处理技术革新，MRA 的成像时间、空间分辨率不断提升，临床应用范围持续拓展，已成为全身血管疾病诊疗的核心影像学方法。本文就 MRA 技术分类、临床应用现状及研究进展进行全面综述，为临床实践提供理论依据。

1 磁共振血管成像常用技术及原理

MRA 主要利用血液流动与周围静止组织的磁共振信号差异实现血管成像，根据成像原理可分为非对比增强 MRA 和对比增强 MRA（CE-MRA）两大类，不同成像技术各有优势，临床可根据检查部位、患者病情灵活选择。

1.1 非对比增强 MRA

非对比增强 MRA 无需注射外源性对比剂，依靠血液自身流动效应形成血管信号，安全性高，适用于肾功能不全、

对比剂过敏、孕妇、儿童等特殊人群，主要包括以下技术：

1.时间飞跃法 MRA（TOF-MRA）：基于血流流入性增强效应，通过快速射频脉冲激发扫描层面，静止组织因持续激发处于饱和状态呈低信号，未饱和的新鲜血液流入扫描层面呈高信号，从而实现血管与周围组织的信号对比。该技术成像速度快，无需对比剂，是颅内血管、颈部血管筛查的首选方法，对血管狭窄、动脉瘤、血管畸形显示效果良好，但对慢血流、迂曲血管易出现信号丢失^[4]。

2.相位对比法 MRA（PC-MRA）：利用血液流动引起的质子相位位移差异成像，通过施加双极梯度场区分静止组织与流动血液，可定量测量血流速度、血流量，不仅能显示血管形态，还能评估血流动力学改变。常用于心脏大血管、门静脉、颅内静脉系统成像，对静脉病变、血管畸形血流动力学评估具有独特优势，但成像时间较长，易受运动伪影干扰^[5]。

3.黑血技术 MRA：通过特殊序列抑制血流信号，使血管腔呈低信号，血管壁及周围组织呈高信号，可清晰显示血管壁增厚、斑块、壁内血肿、血管炎等病变，弥补传统 MRA 仅能显示管腔的不足，是高分辨率血管壁成像的核心技术，广泛用于动脉粥样硬化、动脉夹层、血管炎的诊断与鉴别诊断^[6]。

1.2 对比增强 MRA（CE-MRA）

CE-MRA 通过静脉注射钆类对比剂，缩短血液 T1 弛豫时间，使血液信号显著增强，远超周围组织信号，快速获得高分辨率三维血管图像。该技术成像速度快、空间分辨率高、伪影少，不受血流速度、血管走行影响，对全身各部位大血管、中小血管均能清晰显示，尤其适用于胸腹部大血管、四肢血管、盆腔血管的成像，可精准评估血管狭窄、闭塞、动脉瘤、动静脉畸形等病变，诊断效能接近 DSA^[7]。同时，CE-MRA 对比剂用量远低于 CTA，安全性更高，但仍需警惕钆对比剂在体内沉积风险，肾功能严重不全患者需慎用。

2 MRA 在全身血管疾病中的临床应用

2.1 颅内血管疾病

颅内血管疾病以脑梗死、颅内动脉瘤、脑动静脉畸形、颅内动脉粥样硬化、静脉窦血栓最为常见，MRA 是颅内血管无创筛查的首选技术。TOF-MRA 无需对比剂，可清晰显示颅内动脉主干及分支，快速判断血管狭窄、闭塞、动脉瘤位置及大小，对脑梗死急性期血管闭塞、未破裂动脉瘤的筛查灵敏度高；高分辨率黑血 MRA 可直接显示颅内动脉粥样硬化斑块，区分斑块纤维帽、脂质核心、斑块内出血，评估斑块易损性，预测脑卒中发生风险^[8]。对于颅内静脉窦血栓，PC-MRA 可清晰显示静脉窦充盈缺损、血流中断，联合常规 MRI 可同时观察脑组织缺血、水肿改变，实现病因与并发症的同步评估。此外，7.0T 超高场 MRA 可显示直径 $<500\ \mu\text{m}$ 的颅内微小血管，对烟雾病侧支循环、微小动脉瘤的诊断具

有重要价值^[9]。

2.2 颈部血管疾病

颈动脉粥样硬化是缺血性脑卒中的主要病因，MRA 可同时评估颈动脉管腔狭窄程度与血管壁斑块性质。TOF-MRA 可快速筛查颈动脉狭窄、闭塞，CE-MRA 则能更精准测量狭窄率，清晰显示颈动脉分叉处病变；高分辨率 MRA 可识别颈动脉易损斑块，判断斑块出血、钙化、纤维帽完整性，为临床药物治疗、手术内膜剥脱或支架置入提供决策依据。同时，MRA 对颈动脉夹层、颈静脉血栓、颈部血管畸形也具有良好诊断效果，可清晰显示壁内血肿、双腔征、异常血管团，鉴别良恶性血管病变。

2.3 胸腹部大血管疾病

在胸主动脉疾病中，MRA 可清晰显示主动脉夹层、主动脉瘤、大动脉炎，CE-MRA 能精准评估主动脉夹层破口位置、真假腔范围、累及分支血管，判断主动脉瘤大小、形态及与周围组织关系，黑血技术可显示主动脉壁增厚、炎性浸润，鉴别大动脉炎与动脉粥样硬化。对于腹主动脉及分支病变，MRA 可诊断腹主动脉瘤、肾动脉狭窄、肠系膜动脉缺血，无创性评估肾动脉狭窄程度，筛查继发性高血压病因，同时避免 CTA 的电离辐射，适用于年轻患者、长期随访患者。此外，非对比增强 MRA 可用于肾功能不全患者胸腹部血管评估，杜绝对比剂肾损伤风险。

2.4 四肢血管疾病

下肢动脉硬化闭塞症是临床常见的外周血管疾病，CE-MRA 可全程显示下肢动脉从髂动脉至足背动脉的血管走行，清晰判断狭窄、闭塞部位及长度，评估远端血管流出道，为手术方案制定提供全面影像学信息；非对比增强 MRA 适用于肾功能不全、糖尿病肾病患者，同样可获得清晰的下肢血管图像。对于上肢血管病变、四肢动静脉畸形、深静脉血栓，MRA 可清晰显示异常血管结构、血栓范围，评估血管畸形供血动脉与引流静脉，指导介入治疗与术后疗效评估。

2.5 冠状动脉疾病

冠状动脉 MRA（CMRA）是无创性评估冠状动脉病变的新技术，无需插管、无电离辐射，可清晰显示冠状动脉狭窄、闭塞、心肌桥、先天性冠状动脉畸形。随着成像技术优化，CMRA 对冠状动脉中度及以上狭窄的诊断灵敏度、特异度显著提升，可作为冠心病高危人群筛查、冠状动脉支架术后随访的重要手段，尤其适用于不宜接受 CTA 检查的年轻患者、肾功能不全患者。同时，CMRA 联合心脏磁共振成像，可同步评估冠状动脉病变、心肌灌注、心功能，实现冠心病的全方位评估。

3 MRA 临床应用的局限性

尽管 MRA 在血管疾病诊疗中优势显著，但临床应用仍

存在一定局限性：其一，成像速度相对较慢，患者自主运动、呼吸、心跳易产生伪影，影响图像质量，无法配合的患者、急危重症患者检查受限；其二，对微小血管、严重钙化血管的显示效果欠佳，严重钙化斑块易导致血管狭窄程度高估；其三，体内有心脏起搏器、金属植入物、人工关节的患者，无法完成 MRA 检查；其四，CE-MRA 虽对比剂用量少，但仍存在钆对比剂沉积风险，肾功能终末期患者需严格规避；其五，检查成本相对较高，检查流程较 CTA 复杂，基层医院普及难度较大。

4 MRA 技术与应用前景

随着磁共振技术的不断革新，MRA 朝着更快成像速度、更高空间分辨率、更精准功能评估方向发展。人工智能与 MRA 结合，可实现快速图像重建、伪影去除、血管自动分割与狭窄定量分析，缩短检查时间、提升诊断效率；压缩感知、并行成像技术的应用，进一步加快成像速度，减少运动伪影，提升急危重症患者的检查适配性；多参数、多模态 MRA 融合，可同步实现血管形态成像、血流动力学评估、血管壁病理分析、斑块成分定量，实现血管疾病的早期预警、精准分型、预后评估。

同时，无对比剂 MRA 技术持续优化，适用于更广泛的特殊人群，进一步提升检查安全性；超高场强 MRA（7.0T）的临床转化，可实现血管微观结构的可视化，为血管疾病病理机制研究、精准治疗提供更强大的影像学支撑。未来，MRA 将在血管疾病早筛、精准诊疗、预后随访全流程中发挥更核心的作用，推动血管疾病诊疗进入无创、精准、安全的新阶段。

5 结论

磁共振血管成像作为无创、无辐射、多模态的血管影像学技术，可全面满足全身各部位血管疾病的筛查、诊断、疗效评估及随访需求，不仅能清晰显示血管管腔形态学改变，还能深入评估血管壁、斑块性质及血流动力学变化，弥补了

DSA、CTA 的临床应用不足。虽然 MRA 存在成像速度、患者适配性等方面的局限，但随着技术持续革新，其临床应用价值不断提升。在临床实践中，需根据患者病情、检查部位、身体状况，合理选择 MRA 成像模式，充分发挥其技术优势，为血管疾病的个体化诊疗提供可靠的影像学依据，助力血管疾病早诊早治、改善患者预后。

[参考文献]

- [1]中华医学会放射学分会磁共振学组.磁共振血管成像临床应用专家共识[J].中华放射学杂志,2021,55(3):241-247.
- [2]张龙江,卢光明.心血管影像学技术临床应用进展[J].中华放射学杂志,2020,54(1):89-93.
- [3]杨旗,胡斌.高分辨率血管壁磁共振成像在脑血管疾病中的应用进展[J].磁共振成像,2022,13(10):1-5.
- [4]李建奇,王芳.时间飞跃法与对比增强磁共振血管成像在颅内血管病变中的应用对比[J].中国 CT 和 MRI 杂志,2023,21(2):56-58.
- [5]赵雪梅,刘军.相位对比磁共振血管成像在血流动力学评估中的临床价值[J].实用医学影像杂志,2022,23(4):345-347.
- [6]吴芳,乔阳.黑血磁共振血管壁成像在颅内动脉疾病中的应用研究[J].中华神经科杂志,2021,54(7):712-716.
- [7]陈明,张伟.对比增强磁共振血管成像在下肢动脉硬化闭塞症中的诊断价值[J].中国医学影像学杂志,2022,30(5):491-493.
- [8]施昭,张龙江.7.0T 磁共振血管成像在颅内微小血管病变中的应用前景[J].放射学实践,2023,38(2):121-124.
- [9]王浩,李丽.高分辨率磁共振血管壁成像对颈动脉易损斑块的诊断价值[J].中华老年心脑血管病杂志,2022,24(6):621-624.

作者简介：

丁世荣，男，藏族，本科，放射主任医师，研究方向为影像方面。