

3.0T 磁共振高分辨颈动脉血管壁成像检查颈动脉粥样硬化斑块

揭双民

河北省河间市人民医院，河北河间，062450；

摘要：颈动脉粥样硬化作为缺血性脑卒中的关键危险因素，传统的影像学评估大多侧重于管腔狭窄程度的量化分析。相关研究显示，斑块的稳定性和其内部病理特征在预估未来血管事件方面有着更为显著的价值，高场强（3.0T）磁共振血管壁成像（HR-VWI）作为一种先进的无创检测手段，冲破了传统管腔评估的局限，可以做到对颈动脉血管壁和粥样硬化斑块的高精度在体成像和精准分析，这种技术凭借改良的“黑血”序列有效地压制流动血液信号的干扰，而且采用多种加权成像模式，准确地表现出血管壁解剖结构，斑块负荷分布，形态特点以及组织病理改变等重要信息。本文旨在系统探寻 HR-VWI 技术基本原理，成像序列安排以及针对颈动脉粥样硬化斑块实施量化评价和判定的方法。借助这项技术可以准确检测斑块内部出血，脂质中心特性，纤维帽稳固程度以及炎症等关键易损参数，辨认具有高风险的“罪犯”斑块，剖析卒中发病机制，预估心脑血管事件的风险状况，进而给针对个体颈动脉粥样硬化的风险分等和精确定疗赋予了影像学层面的重要依据。

关键词：颈动脉粥样硬化；高分辨率磁共振成像；血管壁成像；易损斑块

DOI：10.69979/3029-2808.26.01.075

引言

缺血性脑卒中的致命性和致残性显著，约 15% 至 20% 可归因于颈动脉粥样硬化的存在。该病变涉及脂质沉积、炎症浸润与基质重构过程协同作用，能够促成功能粥样硬化斑块的形成，这一病理变化进一步导致管腔狭窄，引发局部血流灌注减少，或是斑块发生破裂并形成血栓，从而触发急性脑梗死事件。当前，临幊上对血管病变的评估主要倚重于管腔狭窄程度的量化分析，其中数字减影血管造影（DSA）因其能够提供精确的解剖细节而被视为诊断标准，然而其侵入性特征限制了其广泛应用。相比之下，无创技术如多普勒超声、计算机断层血管成像（CTA）和磁共振血管成像（MRA）因具有非侵入性优势而在临幊实践中得到广泛采纳与应用。基于 NASCET 等研究的发现揭示，将狭窄程度，例如 $\geq 70\%$ ，单纯作为血运重建的决策指标存在显著限制。实际上，大量卒中的发生与轻中度狭窄患者的状况紧密相关，而无症状的重度狭窄患者其年度卒中风险相对较低。过度的介入治疗不仅可能加剧风险，还可能导致资源的无效利用，这凸显出仅依据狭窄程度进行临幊判断的策略存在重大缺陷。

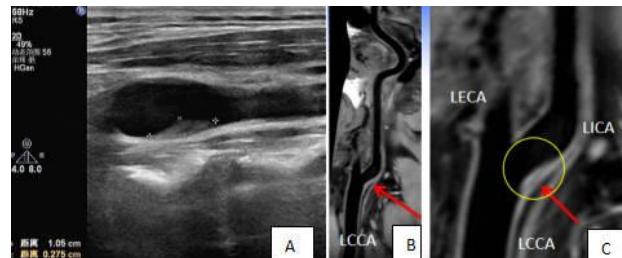


图 1 A-C: 超声血管成像与高分辨血管壁成像 (HR-VWI) 对颈动脉粥样硬化斑块的评估

1 3.0T 高分辨率磁共振血管壁成像序列

高分辨率血管壁成像 (HR-VWI) 属于一种多模态对比加权成像技术。T1 加权成像 (T1WI) 因为对血液顺磁性物质非常敏感，所以能有效地检测到斑块内部发生的出血现象 (IPH)。T2 加权成像 (T2WI) 借助于组织含水量的不同来显示斑块结构的特征，其中脂质坏死核心 (LRNC) 会显示出中等信号强度，而钙化部分则表现为无信号区，质子密度加权成像 (PDWI) 凭借着出色的信噪比，在斑块边缘识别、管壁厚度测量以及纤维帽与 LRNC 分界线的可视化等方面有着显著的优势，时间飞跃磁共振血管造影 (TOF-MRA) 依靠流入增强效应来准确地勾勒出管腔的形状，对比增强 T1 加权成像 (CE-T1WI) 结合了钆造影剂注射之后，不仅可以提高对炎症反应和

新生血管生成的识别水平，而且可以通过纤维帽的加强标记来评价斑块的稳定性。近些年来，由于各向同性三维序列（例如MPRAGE, SPACE等等）的普遍应用，HR-VWI已经实现了对整个颈动脉的全覆盖，并且达到了亚毫米级别的分辨率，从而极大地改善了对斑块负荷量化分析，形态学表征以及临床诊断的精准度。

2 颈动脉粥样硬化斑块的定量与定性评估

2.1 斑块负荷的定量测量

HR-VWI技术可以准确得到血管壁及斑块的几何特征参数，从而为斑块负荷的量化评估提供可靠的数值支持，在垂直于血管长轴的横断面图像上，通过手工或者半自动勾画管腔边界（LumenBoundary）和外周界限（OuterWallBoundary），能够算出诸多重要指标，像管腔面积（LumenArea, LA），总血管面积（TotalVesselArea, TVA），管壁面积（WallArea, WA=TVA-LA），要剔除个体解剖变异带来的影响，一般采用标准化管壁指数（NormalizedWallIndex, NWI=WA/TVA）来修正，这个数值被普遍当作评价斑块负荷的稳定且具有临床意义的量化指标之一。相比于传统的管腔狭窄评价手段，直接测量斑块负荷能更深层次地剖析血管重构这个关键的病理生理过程，在动脉粥样硬化初期阶段，血管壁靠向外周扩张来适应斑块的增长，这样就维持了管腔直径的相对稳定，这种现象被叫做正性重构，在这个过程中，虽然斑块负荷大幅增多，但是管腔变窄的程度也许仍旧处在比较低的水平，所以用常规的影像学检查很难准确评判潜在的风险，高分辨率血管成像（HR-VWI）凭借其出色的空间分辨率，可以有效地识别这类隐藏的病变，当病情发展到晚期的时候，负性重构也就是管腔内径收缩有可能会出现，利用多模态成像技术和三维重建分析，不仅可以精准地计算出斑块的体积，而且还能为疾病的分期，预后评估以及治疗效果监测给予系统而可靠的量化数据。

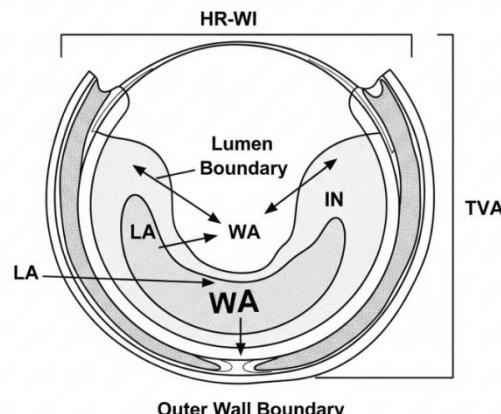
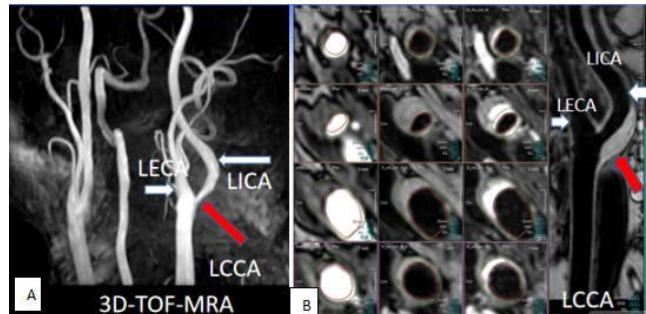


图2 HR-VWI斑块负荷定量测量参数示意图

2.2 斑块成分的定性分析

HR-VWI评价斑块易损性时，对纤维帽、LRNC、IPH以及钙化等关键组分实施精准定量分析十分必要。脂质核心（LRNC）在T1WI显示低信号，PDWI/T2WI显示等或稍低信号，在CE-T1WI显示最佳，增强以后无明显强化；LRNC体积变大表明斑块稳定性降低。纤维帽在CE-T1W增强上显示最佳，呈中-重度强化，T2WI呈弧线型稍高信号，其厚度缩减或者结构完整性遭受破坏就会加大破裂风险。出血（IPH）SNAP呈高信号；T1WI在T1WI因为高铁血红蛋白的作用而呈明显高信号，若同时T2WI呈低信号，提示急性期出血，T2WI呈高信号，提示慢性期出血。钙化一般在所有序列（T1WI、T2WI、TOF）都呈极低信号，片状分布有益于提升整体稳定性，但是点状微钙化却可能由于应力集中以及局部炎症加重而潜藏风险，HR-VWI在钙化检测敏感度方面不及CT，不过依然可以给出它的三维空间分布状况并给予其同纤维帽交互作用的详细影像学证据，这对于生物力学分析有着重要的参照意义。



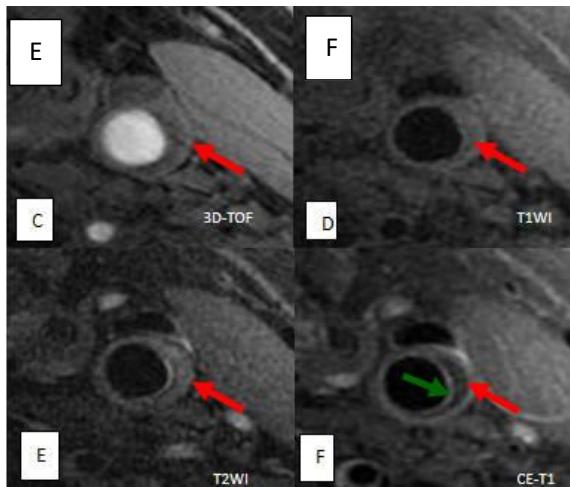


图 3HR-VWI 多模态成像对易损斑块成分的识别

A 为 3D-TOF-MRA 显示左侧颈内动脉起始处狭窄, B 为高分辨血管壁成像显示颈内动脉起始处斑块, C-F: 增强扫描对斑块纤维帽和脂质坏死核显示最佳, 而且斑块强化提示斑块的新生血管生成和炎性反应。

2.3 斑块炎症与新生血管

动脉粥样硬化的发展进程中, 炎症反应起着重要作用, 尤其是在斑块不稳定性以及其破裂的机制上有着决定性意义, 斑块内部的炎症进程主要借助巨噬细胞浸入和新生血管生成来体现, 滋养血管(vasa vasorum)是给大动脉壁微循环提供养分的重要结构, 在疾病发展时期就表现出异常扩张现象, 而且会深入到斑块组织内部, 这种未成熟的新生血管由于其高通透性质容易造成血浆蛋白和红细胞外渗情况出现, 这既是炎症介质释放的主要渠道, 也是免疫细胞向病变区域迁移的关键路径。在日常诊断工作中, 传统静态对比增强 T1 加权成像(CE-T1WI), 斑块强化程度及其斑块内显著强化区, 往往作为评价新生血管密度、炎症程度的主要指标, 且与组织病理学检测中的巨噬细胞数量、微血管密度均呈显著相关。

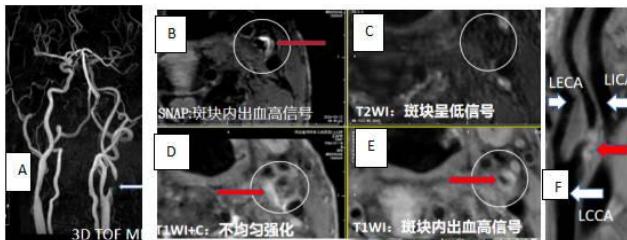


图 4 左侧颈内动脉起始部斑块颈动脉内膜切除术

A 为 3D-TOF-MRA 显示左侧颈内动脉起始部血流信号消失。B-F 为颈动脉高分辨血管壁成像(HR-VWI), 显示斑块内出血及脂质坏死核, 管腔重度狭窄, G-I 显示术前 3D-ASL 示左侧半球低灌注, 术后 3D-ASL 示左侧半球灌注恢复, G 显示术后病理斑块内出血。

3 3.0T 高分辨率血管壁成像的临床应用价值

3.1 识别“罪犯”斑块, 预测未来心脑血管事件风险

多项前瞻性队列研究已经证实, HR-VWI 检测到的斑块易损特征是未来脑血管事件的独立预测因子。在无症状颈动脉狭窄患者中, 基线检查时存在 IPH 的患者, 其后续发生同侧卒中或短暂性脑缺血发作(TIA) 的风险显著高于无 IPH 的患者, 这种预测价值独立于管腔狭窄程度和传统危险因素。同样, 薄或破裂的纤维帽、大的坏死核心以及显著的对比增强也被证明与不良预后密切相关。这些证据表明, 将 HR-VWI 的斑块特征纳入风险评估模型, 可以显著提高对高危个体的识别能力, 从而实现更有效的早期干预, 预防首发或复发性卒中。

3.2 指导临床治疗决策

HR-VWI 给颈动脉粥样硬化个体化诊疗方案给予了科学根据, 在解决症状性中度狭窄(50%-69%)或者无症状重度狭窄这类临床难题的时候, 当药物保守治疗和血管重建手术难以取舍的时候, 这个技术就能变成关键的决策参照工具, 如果影像学检查显示斑块有高危特点, 比如易损斑块(IPH), 血流动力学不稳定性(TRFC)之类的, 即使病人没有明显的临床症状或者狭窄程度没到最严重级别, 也最好先做颈动脉内膜切除术(CEA)或者颈动脉支架植入术(CAS), 来削减潜在的栓塞危险, 相反, 要是重度狭窄斑块 HR-VWI 显示它表现得比较稳定, 没有易损迹象, 就可以凭借加大药物干涉并执行定时跟踪观测, 从而防止出现过度医疗带来的不良影响。

3.3 监测治疗反应

高分辨率血管壁成像（HR-VWI）在评价治疗效果方面表现出很强的优势，很多研究显示，依据连续 HR-VWI 检查监测，加大他汀药的剂量之后，不仅可以大幅度缩减斑块的大小和管壁的厚度，而且还能明显改善斑块的稳定性，经过正规的系统性干预之后，斑块的脂质核心（LRNC）体积变小了，增强的程度也下降了很多，有些研究还显示出纤维帽的厚度有增长的趋势，这样的影像学表现给评价药物的疗效带来了直观的依据，方便医生准确地了解病人对药物的反应情况，从而制定出符合个人情况的诊疗计划。

4 结论

3.0 高分辨率磁共振血管壁成像技术（HR-VWI）在动脉粥样硬化影像学方面的研究有着里程碑式的重大意义，其主要优点体现在突破传统管腔狭窄评估方法的限制之后转向分析精细化血管壁病理特征，能对颈动脉粥样化斑块做到全方位且无需手术就能实现细致评价，斑块内部出现出血情况如何、脂质核形态是否正常、纤维帽完整度如何以及炎症反应状况等等，这些关键性易损性指标都被精准地量化起来，依靠这个全新研发出来

的创新工具之后，有关研究人员可以更为深入地探讨导致缺血性卒中的种种成因机理，科学预估这种疾病未来发展的方向并据此制定相应的个体治疗方案。尽管目前高分辨率血管成像（HR-VWI）技术存在不少挑战，不过凭借快速成像技术、超高场强磁共振成像和人工智能算法持续取得突破并实现跨学科深度整合之后，在心脑血管疾病精准诊疗方面的应用会更为广泛，从而明显改善患者的临床治疗效果及预后水平。

参考文献

- [1] 彭雯佳. 大脑中动脉粥样硬化疾病的活体MR斑块成像和生物力学研究[D]. : 第二军医大学, 2015.
- [2] 刘雅宝. 颈动脉粥样硬化斑块与急性脑梗死体积的相关性研究[D]. 天津市: 天津医科大学, 2016.
- [3] 周俊. 颈内动脉闭塞和长节段狭窄的核磁共振管壁成像研究[D]. 山东省: 山东大学, 2021. DOI: 10.27272/d.cnki.gshdu.2021.000438.
- [4] 王康. 磁共振SNAP序列对颈动脉粥样硬化斑块影像病理对照研究[D]. 新疆维吾尔自治区: 新疆医科大学, 2018.