

高分辨率血管壁成像在颅内动脉粥样硬化疾病中的应用进展

于 歆, 班允清*

新疆医科大学第五附属医院影像中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2024年1月29日; 录用日期: 2024年2月23日; 发布日期: 2024年2月29日

摘 要

缺血性脑卒中在我国脑卒中中占主要比例, 主要是由于颅内动脉病变引起的动脉狭窄, 其主要病因是动脉粥样硬化疾病, 目前的指南仅仅依靠管腔的狭窄率来对脑卒中风险进行分层, 判断严重程度, 决定治疗方案存在一定的局限性的。高分辨率血管壁成像是一种无创且先进的检查技术, 可以直接可视化颅内血管壁及其病理变化, 利用其优势有助于脑卒中风险的分层, 并通过斑块的特征及血管壁的异常来进行鉴别诊断, 在各种颅内动脉疾病中近年来有广泛的研究及应用, 本文就该项技术在颅内动脉粥样硬化中的影像特征、分型、危险因素等方面进行综述。

关键词

颅内动脉粥样硬化, 血管壁成像

Application of High Resolution Vascular Wall Imaging in Intracranial Atherosclerotic Diseases

Xin Yu, Yunqing Ban*

Imaging Center, The Fifth Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi Xinjiang

Received: Jan. 29th, 2024; accepted: Feb. 23rd, 2024; published: Feb. 29th, 2024

Abstract

Ischemic stroke accounts for the major proportion of stroke in China, mainly due to intracranial

*通讯作者。

artery disease caused by artery stenosis, the main cause of which is atherosclerosis. The current guidelines only rely on the stenosis rate of the lumen to stratify stroke risk, judge the severity, and determine the treatment plan, which has certain limitations. As a non-invasive and advanced examination technology, high-resolution vascular wall imaging can directly visualize intracranial vascular wall and its pathological changes, and its advantages can contribute to the stratification of stroke risk and differential diagnosis based on plaque characteristics and vascular wall abnormalities. In recent years, it has been widely studied and applied in various intracranial artery diseases. This article reviews the imaging features, types, risk factors and treatment of intracranial atherosclerosis with this technique.

Keywords

Intracranial Atherosclerosis, Vascular Wall Imaging

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国正面临着全球最大的卒中挑战, 根据《中国卒中报告 2020》[1]显示, 卒中死亡率、发病率、患病率仍在增长, 并且由于生产技术的提升和生存模式的变化, 卒中疾病出现年轻化趋势[2]。缺血性脑卒中在我国脑卒中中占主要比例, 在临床中多种原因均可以造成缺血性脑卒中, 最常见原因是颅内动脉狭窄(ICAS), 即颅内动脉病变导致的动脉狭窄, 其中动脉粥样硬化疾病是主要病因。最近的研究表明, 急性缺血性卒中的早期识别、紧急介入治疗和专门的卒中中心治疗可以显著降低卒中相关的发病率和死亡率[3]。因此, 运用 3D 高分辨率血管壁成像对斑块进行准确的风险评估有助于指导患者特异性治疗并进行预防, 预测脑卒中患者复发性缺血事件中的预后价值[4]。

2. HRMR-VWI 在颅内动脉粥样硬化中的应用

颅内动脉粥样硬化性疾病(ICAD)是指纤维组织在血管壁上的异常沉积, 伴有不同数量的脂质、细胞碎片和出血[5], 由于斑块的持续和逐渐生长可演变为严重的管腔狭窄, 发病率、死亡率及致残率均较高, 在中国, 约 33%~50%的缺血性脑卒中患者存在颅内动脉粥样硬化[6], 目前, 3D 高分辨率血管壁成像越来越多地用于颅内动脉疾病。高分辨率血管壁成像(HRMR-VWI)是一种无创且先进的检查技术, 其具有高空间分辨率、多参数 MRI 序列和高信噪比等优势, 利用其优势可以直接可视化颅内血管壁及其病理变化, 进而分析斑块的稳定性、血管重构及斑块负荷, 在确定缺血性卒中病因方面具有独特的优势[7], 在此之前, 诊断该疾病的可能性仅限于证明颅内动脉管腔狭窄[8]。并且, ICAD 已被证明与认知能力下降和血管性痴呆等长期后遗症有关, 这些后遗症可能会导致生活质量大幅下降和经济负担沉重[9], 因此, 对于颅内动脉疾病的诊断至关重要。HRMR-VWI 上 ICAD 的典型表现是偏心、异质的轻至中度增强、向外重塑病变, 伴有异质性 T2 信号和并列的 T2 高信号, 通常累及颅内近端分支或分叉点[10], 有研究[11]发现, HRMR-VWI 技术能够对中国缺血性卒中亚型(CISS)进行准确分型, 进而为 ICAD 治疗提供依据。在临床中, ICAD 的治疗流程基于狭窄程度, 在一项试验中[12]发现, 70%狭窄是难治性 ICAD 病变血管内治疗的临界点。然而, 目前的 HRMR-VWI 技术表明, 显著的 ICAD 可能与管腔狭窄无关。初始血管壁重塑可以维持管腔, 而管壁本身会急剧增厚, 并且这些发现与动脉粥样硬化斑块破裂的发生率较高有

关[13][14][15][16]。许多研究表明,包括高血压、糖尿病、高脂血症、卒中和心脏病家族史、吸烟、酗酒、高同型半胱氨酸血症和超重等血管危险因素,与 ICAS 相关[17]。目前已有研究[18]运用 HRMR-VWI 对高血压患者豆纹动脉血管进行特征分析,通过对一部分 II、III 级高血压患者研究,证实高血压会影响患者豆纹动脉的形态,HRMR-VWI 技术在临床运用中可进一步分析豆纹动脉血管特征。因此,HRMR-VWI 技术可以在更多血管危险因素中探索更多可能性与相关性。HRMR-VWI 可能为未来试验中 ICAD 病变的选择提供更好的影像学标志物[10]。此外,HRMR-VWI 技术对动脉粥样硬化、动脉瘤、动脉炎、动脉夹层、烟雾病等疾病的鉴别诊断具有一定价值。

3. HRMR-VWI 技术的优势

对于 CT 血管造影术(CTA)、数字减影血管造影术(DSA)及磁共振血管造影术(MRA)等传统成像技术而言,CTA 检查技术具有一定的辐射暴露风险,需要静脉注射造影剂,并且仅仅反映出管腔的狭窄程度,简单且不具备特异性;现如今,诊断颅内血管病变的“金标准”是 DSA 检查,但不作为常规运用方法,是由于其存在有创性并且操作难度高的限制[19]。MRA 解决了 DSA 和 CTA 的局限性,无需电离辐射或静脉注射造影剂,但容易出现血流伪影,可能高估狭窄测量值,并且在无管腔狭窄的情况下检测血管病变可能受到限制[9],高分辨率血管壁成像(HRMR-VWI)是目前唯一可以在体内评估特定血管壁病理的检查技术,凭借其高组织分辨率、无创性的绝对优势,可以可视化血管壁,从而评价血管狭窄程度、斑块成分与分布、斑块稳定性。MR 评估 ICAS 主要采用的技术包括:(1) 3D-TOF 序列,即“亮血”技术,在评价脑血管的整体狭窄程度方面有优越性,充当定位器来评估血管变窄的部位,但对于血管壁无法显露;(2) T1 加权对比增强序列,静脉注射钆对比剂之后获得的血管图像,其用于更好地表征单个病变,能够很好地表示病变炎症部位,并评价斑块稳定性特征;(3) HRMR-VWI,俗称“黑血”技术,通过对血管内血液信号的抑制,仅保留在血管壁的小病灶,能够清晰显示斑块细节,解析斑点成分并精确定位,以鉴别炎症成分、微血栓和新生血管[20]。3D TOF-MRA 充当定位器来评估血管变窄的部位,HRMR-VWI 更好地显示血管壁,补充 MRA 的不足,从而发现 MRA 上难以发现的斑块,进而分析其稳定性、成分及分布等特征。

4. HRMR-VWI 对斑块的影像学评估

4.1. 对斑块稳定性的评估

4.1.1. 斑块强化

斑块强化被认为是斑块持续炎症、新生血管和不稳定的指标,[21]也可能是斑块进展的标志之一。斑块强化采用先前的分级量表[22]进行分级,通过与垂体柄的信号强度进行比较,斑块强化可以分为 0, 1 和 2 级;1 级和 2 级分别表示强化程度小于或大于垂体柄,0 级表示强化程度与无斑块的颅内动脉壁相似[23]。2 级被证明与致病斑块具有独立关联,并表明其与近期缺血事件(4 周内)相关,这与厚度无关[24]。在一项前瞻性纵向研究中,颅内斑块强化与非强化斑块相比,1 年时复发性卒中发生率高四倍[25]。斑块强化可能是一种相对简单的方法来检测高风险血管壁特征,在诊断卒中病因方面,该特征可能与管腔狭窄测量起到补充作用。

4.1.2. 斑块内出血

斑块内出血(IPH)是指红细胞外渗或铁在斑块内积聚[20],斑块破裂会导致斑块内出血。IPH 是缺血性卒中强有力的独立预测因子已被广泛证实[26][27]。颅内动脉易损斑块的主要特征之一是增强 T1WI 呈高信号[28]。一些相关研究表明,提示破裂或糜烂的腔外出血/血栓形成可能导致血栓形成的复发,IPH

可用作卒中复发的新影像学预测指标, 并作为抗凝治疗个体化评估的标志物, 根据一项多因素分析[29]表明, IPH 和斑块表面不规则性与动脉间梗死独立相关, 可作为独立预后因素, 并且 HRMR-VWI 技术可以进行鉴别。慢性肾病可能与 IPH 有关, 此外可能还有其它因素, 易损斑块中 IPH 的预测因子有待进一步研究。

4.1.3. 血管重构

HRMR-VWI 可以用于动脉重塑的定性和定量评估, 通过观察血管重构的状态及计算管腔的重构指数, 包括正性及负性重构, 重构指数 > 1.05 表示正性重构, 被认为是动脉壁向外扩张的代偿性, 以在斑块形成的情况下保持管腔通畅。但是, 正性重构会增加斑块的易损性, 是不稳定斑块的一个特征, 正性重构的机制可能是代偿性扩张保留实际的管腔面积, 从而预防管腔狭窄。然而, 更大的负担最终会增加斑块破裂的风险, 这种代偿过程显然是有限的[30], 管腔损伤主要是由于斑块扩张超过代偿性重塑的极限[31] [32]。重构指数 < 0.95 表示负性重构, 被定义为血管的适应性收缩状态, 其原理与平滑肌收缩及内膜增生可能有关, 这种代偿改变可能会加剧管腔狭窄, 相比之下, 负性重构似乎加速了管腔狭窄程度, 斑块却趋向于稳定, 可能与临床并发症有关[33], 并且研究表明当斑块本身很小时, 斑块破裂的风险较小[34]。

4.2. 对斑块分布的评估

斑块的分布也与缺血性脑卒中发生密切相关。一项研究将斑块在横断面上划分为上、下、背、腹侧[35]。在一项针对 40 例症状性狭窄和 52 例无症状狭窄的 MCA 研究中, 发现斑块定位在前壁和下壁显著高于穿透动脉起源的上壁和后壁, 对比无症状狭窄组患者, 症状性狭窄患者斑块更常位于上壁[35]。因此, 利用 HRMR-VWI 技术可以进一步研究更多患者的斑块分布, 从而发现更多可能性与相关性。

4.3. 对血管狭窄的评估

对于颅内血管狭窄的评估, 3D TOF-MRA 对于狭窄程度存在过度评价的局限性, 而 HRMR-VWI 技术改善了狭窄严重程度的量化, 与 DSA 具有较好的一致性, 具有较高的敏感度和特异性, 并且具有无创成像的优势, 是目前更好的选择, 但其可能会存在高估管腔狭窄率的情况, 例如血液或脑脊液抑制不全, 从而管壁出现假性增厚的现象, 因此 DSA 仍是“金标准”[36] [37]。

5. 小结

缺血性脑卒中在我国脑卒中中占主要比例, 最常见原因是颅内动脉狭窄, 其主要病因是颅内动脉粥样硬化, 目前的指南仅仅依靠管腔的狭窄率来对脑卒中风险进行分层, 决定治疗方案, 判断严重程度, 是存在一定的局限性的。近年来, HRMR-VWI 技术的应用, 可以克服以往成像技术的局限性, 将颅内动脉粥样硬化的评估由传统的管腔狭窄提升至斑块稳定性的评估, 有助于脑卒中风险的分层, 并通过斑块的特征及血管壁的异常来进行鉴别诊断, 其具有无辐射, 软组织分辨率高, 多序列、多维度灵活观察脑血管的优势, 因此可以利用 HRMR-VWI 更深层次的探讨易损斑块的临床危险因素, 从而提升缺血性脑卒中的预防及治疗。但该项技术的局限性也十分明显, 有较多禁忌症, 检查时间长, 部分患者无法坚持, 并且对设备及技术要求较高, 目前来说研究的样本量比较少, 期待未来的研究有所克服。

参考文献

- [1] 王拥军, 李子孝, 谷鸿秋, 等. 中国卒中报告 2020(中文版) (1) [J]. 中国卒中杂志, 2022, 17(5): 433-447.
- [2] 张国滨, 黄华玮, 郭伟. 中国及非洲青年脑卒中的现状及防治[J]. 中华预防医学杂志, 2022, 56(8): 1142-1149.

- [3] Herpich, F. and Rincon, F. (2020) Management of Acute Ischemic Stroke. *Critical Care Medicine*, **48**, 1654-1663. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000004597>
- [4] Shi, Z., Li, J., Zhao, M., et al. (2021) Progression of Plaque Burden of Intracranial Atherosclerotic Plaque Predicts Recurrent Stroke/Transient Ischemic Attack: A Pilot Follow-Up Study Using Higher-Resolution MRI. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, **54**, 560-570. <https://doi.org/10.1002/jmri.27561>
- [5] Vranic, J.E., Hartman, J.B. and Mossa-Basha, M. (2021) High-Resolution Magnetic Resonance Vessel Wall Imaging for the Evaluation of Intracranial Vascular Pathology. *Neuroimaging Clinics of North America*, **31**, 223-233. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2021.01.005>
- [6] Ojha, R., Huang, D., An, H., et al. (2015) Distribution of Ischemic Infarction and Stenosis of Intra- and Extracranial Arteries in Young Chinese Patients with Ischemic Stroke. *BMC Cardiovascular Disorders*, **15**, Article No. 158. <https://doi.org/10.1186/s12872-015-0147-5>
- [7] Kang, H.G., Lee, C.H., Shin, B.S., et al. (2021) Characteristics of Symptomatic Basilar Artery Stenosis Using High-Resolution Magnetic Resonance Imaging in Ischemic Stroke Patients. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, **28**, 1063-1070. <https://doi.org/10.5551/jat.58214>
- [8] Pacheco, F.T., Cruz Junior, L., Padilha, I.G., et al. (2020) Current Uses of Intracranial Vessel Wall Imaging for Clinical Practice: A High-Resolution MR Technique Recently Available. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, **78**, 642-650. <https://doi.org/10.1590/0004-282x20200044>
- [9] Song, J.W. and Wasserman, B.A. (2020) Vessel Wall MR Imaging of Intracranial Atherosclerosis. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*, **10**, 982-993. <https://doi.org/10.21037/cdt-20-470>
- [10] Mossa-Basha, M., Alexander, M., Gaddikeri, S., et al. (2016) Vessel Wall Imaging for Intracranial Vascular Disease Evaluation. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, **8**, 1154-1159. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2015-012127>
- [11] 赵凡, 杨春华, 王波, 等. 高分辨磁共振血管壁成像对缺血性卒中 CISS 病因分型的临床意义[J]. 宁夏医学杂志, 2021, 43(7): 621-623.
- [12] Chimowitz, M.I., Lynn, M.J., Howlett-Smith, H., et al. (2005) Comparison of Warfarin and Aspirin for Symptomatic Intracranial Arterial Stenosis. *The New England Journal of Medicine*, **352**, 1305-1316. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa043033>
- [13] Chung, G.H., Kwak, H.S., Hwang, S.B., et al. (2012) High Resolution MR Imaging in Patients with Symptomatic Middle Cerebral Artery Stenosis. *European Journal of Radiology*, **81**, 4069-4074. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2012.07.001>
- [14] Xu, W.H., Li, M.L., Gao, S., et al. (2010) In Vivo High-Resolution MR Imaging of Symptomatic and Asymptomatic Middle Cerebral Artery Atherosclerotic Stenosis. *Atherosclerosis*, **212**, 507-511. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2010.06.035>
- [15] Shi, M.C., Wang, S.C., Zhou, H.W., et al. (2012) Compensatory Remodeling in Symptomatic Middle Cerebral Artery Atherosclerotic Stenosis: A High-Resolution MRI and Microemboli Monitoring Study. *Neurological Research*, **34**, 153-158. <https://doi.org/10.1179/1743132811Y.0000000065>
- [16] Varnava, A.M., Mills, P.G. and Davies, M.J. (2002) Relationship between Coronary Artery Remodeling and Plaque Vulnerability. *Circulation*, **105**, 939-943. <https://doi.org/10.1161/hc0802.104327>
- [17] Cai, B. and Peng, B. (2017) Intracranial Artery Stenosis: Current Status of Evaluation and Treatment in China. *Chronic Diseases and Translational Medicine*, **3**, 197-206. <https://doi.org/10.1016/j.cdtm.2017.09.003>
- [18] 林威龙, 贾琳, 王云玲, 等. 高分辨磁共振血管壁成像对高血压患者豆纹动脉血管特征分析的应用研究[J]. 新疆医科大学学报, 2019, 42(11): 1430-1432, 1436.
- [19] 刘明, 张国平, 李德炯, 等. 3.0T MR 血管壁高分辨成像在颅内血管疾病诊断中的运用价值[J]. 贵州医药, 2022, 46(5): 804-805.
- [20] 马念俄. 颅内动脉责任斑块 MR 血管壁成像的研究进展[J]. 实用放射学杂志, 2021, 37(10): 1724-1727.
- [21] Gupta, A., Baradaran, H., Al-Dasuqi, K., et al. (2016) Gadolinium Enhancement in Intracranial Atherosclerotic Plaque and Ischemic Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the American Heart Association*, **5**, e003816. <https://doi.org/10.1161/JAHA.116.003816>
- [22] Van Der Kolk, A.G., Zwanenburg, J.J., Brundel, M., et al. (2011) Intracranial Vessel Wall Imaging at 7.0-T MRI. *Stroke*, **42**, 2478-2484. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.111.620443>
- [23] Ye, Q., Li, L., et al. (2019) Temporal Course and Implications of Intracranial Atherosclerotic Plaque Enhancement on High-Resolution Vessel Wall MRI. *Neuroradiology*, **61**(6). <https://doi.org/10.1007/s00234-019-02190-4>
- [24] Qiao, Y., Zeiler, S.R., Mirbagheri, S., et al. (2014) Intracranial Plaque Enhancement in Patients with Cerebrovascular Events on High-Spatial-Resolution MR Images. *Radiology*, **271**, 534-542. <https://doi.org/10.1148/radiol.13122812>

-
- [25] Kim, J.M., Jung, K.H., Sohn, C.H., *et al.* (2016) Intracranial Plaque Enhancement from High Resolution Vessel Wall Magnetic Resonance Imaging Predicts Stroke Recurrence. *International Journal of Stroke*, **11**, 171-179. <https://doi.org/10.1177/1747493015609775>
- [26] Yang, D., Liu, Y., Han, Y., *et al.* (2020) Signal of Carotid Intraplaque Hemorrhage on MR T1-Weighted Imaging: Association with Acute Cerebral Infarct. *AJNR American Journal of Neuroradiology*, **41**, 836-843. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A6498>
- [27] Andreas, S., Regina, S., Nishaf, A., *et al.* (2018) Prediction of Stroke Risk by Detection of Hemorrhage in Carotid Plaques. *JACC: Cardiovascular Imaging*, **13**, 395-406.
- [28] 乔晨, 宋清伟, 王峰. 高分辨 MR 血管壁成像用于颅内动脉粥样硬化疾病研究进展[J]. 中国医学影像技术, 2022, 38(8): 1266-1269.
- [29] Zhai, S.J., Jia, L., Kukun, H.J., *et al.* (2022) Predictive Power of High-Resolution Vessel Wall Magnetic Resonance Imaging in Ischemic Stroke. *American Journal of Translational Research*, **14**, 664-671.
- [30] Luo, J., Bai, X., Tian, Q., *et al.* (2023) Patterns and Implications of Artery Remodeling Based on High-Resolution Vessel Wall Imaging in Symptomatic Severe Basilar Artery Stenosis. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **13**, 2098-2108. <https://doi.org/10.21037/qims-22-771>
- [31] Zhu, X.J., Du, B., Lou, X., *et al.* (2013) Morphologic Characteristics of Atherosclerotic Middle Cerebral Arteries on 3T High-Resolution MRI. *AJNR American Journal of Neuroradiology*, **34**, 1717-1722. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A3573>
- [32] Wexberg, P., Gyöngyösi, M., Sperker, W., *et al.* (2000) Pre-Existing Arterial Remodeling Is Associated with In-Hospital and Late Adverse Cardiac Events after Coronary Interventions in Patients with Stable Angina Pectoris. *Journal of the American College of Cardiology*, **36**, 1860-1869. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(00\)00949-9](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(00)00949-9)
- [33] 杨丽, 王效春. 高分辨率磁共振血管壁成像在缺血性脑卒中的应用进展[J]. 磁共振成像, 2022, 13(5): 136-139.
- [34] Pasterkamp, G., Galis, Z.S. and De Kleijn, D.P. (2004) Expansive Arterial Remodeling: Location, Location, Location. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, **24**, 650-657. <https://doi.org/10.1161/01.ATV.0000120376.09047.fe>
- [35] Xu, W.H., Li, M.L., Gao, S., *et al.* (2011) Plaque Distribution of Stenotic Middle Cerebral Artery and Its Clinical Relevance. *Stroke*, **42**, 2957-2959. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.111.618132>
- [36] Tian, X., Tian, B., Shi, Z., *et al.* (2021) Assessment of Intracranial Atherosclerotic Plaques Using 3D Black-Blood MRI: Comparison with 3D Time-of-Flight MRA and DSA. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, **53**, 469-478. <https://doi.org/10.1002/jmri.27341>
- [37] Mazzacane, F., Mazzoleni, V., Scola, E., *et al.* (2022) Vessel Wall Magnetic Resonance Imaging in Cerebrovascular Diseases. *Diagnostics (Basel)*, **12**, Article No. 258. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12020258>