

高分辨率磁共振成像在颅内疾病中的应用

冷丹丹, 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

近几年来, 影像技术快速发展。在辨别脑血管疾病方面, 除了传统的影像技术, 如磁共振血管造影(MRA), 计算机断层扫描血管造影, 数字减影血管造影术(DSA)等, 高分辨率磁共振成像(HR-MRI)利用其优势在近几年脱颖而出。不同于传统影像检查的空间分辨率和时间分辨率, 让高分辨率磁共振成像(HR-MRI)在诊断脑血管疾病发生机制方面有更多的可能性。

关键词

高分辨率磁共振成像, 脑血管疾病, 诊断价值

The Application of High-Resolution Magnetic Resonance Imaging in Intracranial Diseases

Dandan Leng, 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

In recent years, imaging technology has developed rapidly. In the identification of cerebrovascular diseases, in addition to traditional imaging techniques, such as magnetic resonance angiography (MRA), computed tomography angiography, digital subtraction angiography (DSA), etc., high-resolution magnetic resonance imaging (HR-MRI) has gained its advantages in recent years. HR-MRI uses a specific sequence to generate images of intracranial vascular walls, allowing simultaneous wall and luminal imaging. Different from the spatial and temporal resolution of traditional imaging examinations, high-resolution magnetic resonance imaging (HR-MRI) has more possibilities in diagnosing the pathogenesis of cerebrovascular diseases.

*通讯作者。

Keywords

HR-MRI, Cerebral Vascular Disease, Diagnostic Value

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

目前, 在判断颅内血管病变方面的“金标准”是 DSA, 该项技术对操作要求高、而且属于有创操作。CTA 检查有辐射性, 且只能单纯反映血管管腔的狭窄程度[1]。与传统成像相比, 高分辨率磁共振成像(HR-MRI)更适合检测动脉壁状态和区分组织特征。HR-MRI 使用特定序列生成颅内血管壁的图像, 可以同时进行壁面和管腔成像。这有助于识别各种颅内血管疾病, 包括颅内动脉粥样硬化性疾病(ICAD)、中枢神经系统血管炎(ACNS)、烟雾病(MMD)、颅内动脉夹层(IAD)、动脉瘤等[2]。本文探讨高分辨率磁共振成像(HR-MRI)在颅内血管多种疾病中的诊断运用价值。

2. 动脉夹层

自发性颅内动脉夹层(ICAD)是中青年人卒中的重要病因, 在亚洲人群中更常见[3]。颈动脉夹层通常定义为壁性血肿。壁腔血肿可继发于内膜撕裂, 或因血管破裂而直接出血进入动脉壁, 导致唯一表现为无其他特异性体征的解剖血肿。其位于内膜或外膜下方, 前者可导致继发性血管狭窄和闭塞, 而后者则容易引起管腔扩张。

头颈动脉夹层(CAD)是亚洲中青年缺血性卒中的重要病因。由于缺乏临床表现的特异性, 动脉夹层的诊断很大程度上取决于影像学检查。尽管数字减影血管造影术(DSA)被认为是诊断颅内血管疾病的标准, 但无法观察到血管壁本身的状况。因此, 其对腔内正常或非特异性狭窄或闭塞的动脉夹层的诊断价值有限。夹层疾病的诊断需要壁内血肿的证据或动态影像学改变的特征。根据时间飞跃法 MR 血管成像(TOF-MRA)结果展现, 解剖血管的形态分为狭窄闭塞性、动脉瘤扩张和珍珠串征。动脉瘤扩张和血管直径增加, 在视觉上被定义为与正常出现的动脉相比血管直径的增加, 在 TOF-MRA、PD 以及造影前和造影剂后 T1 加权磁共振(MR)影像上, 还评估是否存在解剖皮瓣、解剖血管处的双腔体征、小脑后动脉受累、长度和重塑指数。症状发作与 HR-MRI 之间的间隔与壁内血肿 T1 信号强度之间有关系[4]。Wang 等人的一项研究发现中, 壁内血肿(61%的患者)、双腔(50%的患者)和内膜皮瓣(42%的患者)被认为是高分辨率 MRI 解剖的特征性改变。

高分辨率磁共振成像(HR-MRI)作为具有理想组织对比度和空间分辨率的多参数成像序列, 不仅能够获得腔内形态信息, 更重要的是, 可以通过壁成像直接可视化由动脉夹层引起的特征性壁内血肿、内膜皮瓣和双腔征[5]。高分辨率 VW-MRI 可能为自发性颈动脉夹层的病理生理学和演变提供有价值的见解[6]。因此, 推荐 HR-MRI 作为诊断动脉夹层的首选[7]。

3. 动脉瘤

数字减影血管造影是颅内动脉瘤诊断的标准, 但不能显示 TIA 的完整大小, 并且该技术是侵入性的。计算机断层扫描血管造影(CTA)是颅内动脉瘤最常用的检查方法, 但使用这种方法检测动脉瘤中的血栓具有挑战性。这两种动脉瘤检测方法可导致 TIA 的诊断遗漏或误诊。采用黑血造影序列的高分辨率磁共振

成像(HR-MRI)已成功应用于准确显示头颈部区域的血管壁斑块。它是目前血管壁斑块成像的标准,在制定头颈部斑块的临床治疗计划中起着决定性作用。在诊断动脉瘤方面,已使用采用动脉瘤壁增强(AWE)技术的 HR-MRI 来预测动脉瘤破裂的风险。HR-MRI 不仅可以识别动脉瘤的真实周长,还可以清楚地显示动脉瘤壁和血栓的形态和分布,以及血管血栓形成,而不会受到血流的干扰[8] [9]。一些研究评估了 HR-VWI 的壁增强与动脉瘤破裂的典型危险因素之间的关系,钆增强 HR-VWI 研究还表明,动脉瘤壁增强、炎症变化和不稳定之间存在显著相关性[10]。

HR-MRI 的扫描序列包括三维 T1 加权图像(3D-T1WI), 三维 T2 加权图像, 三维飞行时间 MRA (3D-TOF-MRA)和采用稳态采集的三维快速成像(3D-FIESTA)。这些方法是无创和可重复的,并且对解剖结构(例如壁内水肿和皮瓣)表现出高分辨率。

4. 动脉粥样硬化

随着生活质量的提高和人口的老龄化, ICAS 诱发的脑血管疾病在临床实践中越来越普遍[11]。动脉粥样硬化斑块是卒中的最重要原因,通常与不稳定斑块有关[12]。颅内动脉粥样硬化性疾病(ICAD)被定义为影响脑底大颅内动脉的动脉粥样硬化病变,包括颅内颈动脉(ICA), 大脑中动脉(MCA)和基底动脉等。

动脉粥样硬化是一种进行性疾病。它的发生和发展与局部血流动力学应激有关,通常由血管几何结构的变化引起[13]。ICAS 具有独特的特征,例如密集的内部弹性层(IEL),几乎没有外部弹性层(EEL)以及外患期血管的相对缺乏。ICAD 曾经被认为是全球最常见的卒中亚型之一,特别是在亚洲人和西班牙裔人中。

常规成像方法包括磁共振血管造影(MRA), 计算机断层扫描血管造影, 数字减影血管造影术通常用于临床实践中的 ICAS 识别。在这些血管成像中,管腔狭窄程度被认为是评估疾病严重程度和预测卒中预后的主要指标。然而,来自几项大型试验的数据表明,管腔狭窄并不是 ICAS 患者不良结局的唯一危险因素[14]。各种斑块内因子,如斑块形态、斑块成分和炎症,也与动脉粥样硬化斑块的脆弱性密切相关。在这方面,高分辨率磁共振成像(HR-MRI)是直接描绘血管壁并表现出病理变化的适当工具,包括血管壁的形态(偏心 and 重塑)和斑块特征(数量, 体积, 分布和组分)。

与传统磁共振成像相比, HR-MRI 有几个优点。除了亚毫米级动脉壁的可视化外,它还可实现高信噪比和最短的扫描持续时间。狭窄程度不再是易感动脉粥样硬化病变的唯一预测指标。传统的腔内图像仅限于显示斑块,但 HR-MRI 能够直接显示斑块特征[15]。

在神经介入领域,由于许多原因,颅内动脉病变的特征很重要。动脉粥样硬化性病变的特征被称为影响围手术期并发症发生率的主要因素,因此可用于选择经皮腔内血管成形术和支架置入术的患者,以及设计个体化手术计划。

幸运的是,颅内动脉的 HR-MRI 是基于先前涉及颈动脉壁 MRI 的研究的良好基准模型。基于颈动脉内膜切除术的大量临床研究,颈动脉壁 MRI 正在成为评估颈动脉狭窄的最佳候选者,并具有与患者管理相关的其他诊断特征。

颅内动脉钙化(IAC)被认为是颅内动脉粥样硬化(ICAS)的代表。IAC 可能主要涉及两层:内膜和介质。通过显示低血压,可通过 HR-MRI 检测 IAC。HR-MRI 揭示了血管壁的超微结构,使神经科医生能够识别不同位置(例如,浅表和深层)的钙沉积物及其与其他斑块成分的位置关系。通过比较尸检和多造 HR-MRI, Jiang 等人在 T1 序列上完成了脂质核心(等同感/高分),纤维帽(等分素)和钙化(低精)之间的显著区分。HR-MRI 和 CT 的组合可能有益于 IAC 的诊断和鉴别,此外,还表明有必要对位于血管壁不同层(内膜和介质)的 IAC 进行分类[16]。

5. 斑块

目前, 在所有用于评估颈动脉斑块的常用非侵入性临床成像方法中, 颈动脉超声因其简单、方便、无创且成本低廉而在临床实践中得到广泛应用。然而, 由于空间, 时间和分辨率的限制, 超声在评估颈动脉斑块性质方面的准确性降低。因此, 颈动脉超声识别脆弱斑块的能力有限。大量关于影像学和病理学的比较研究表明, HR-MRI 在识别和定量分析颈动脉粥样硬化斑块方面产生的结果与组织病理学的结果高度一致, 其敏感性和特异性水平已达到 90%~100%的准确性。随着成像技术的发展, 先前已经证明高分辨率磁共振成像(HR-MRI)在检测颈动脉易受斑块方面表现出高灵敏度和特异性[17]。HR-MRI 可用于定性和定量评估斑块位置、负荷、增强比例、大小、长度和面积, 以及重塑指数[18]。而不会对患者造成辐射损伤。斑块成分的详细评估对于仅评估管腔狭窄更为重要, 因为动脉粥样硬化斑块的形成和破坏可能在急性缺血事件发生之前导致血管壁上的一些血流动力学变化[19]。

PH (伴或不伴斑内出血)是由斑块内形成的脆弱和曲折的新血管破裂引起的。被认为是一种重要的致动脉粥样硬化刺激, 可促进巨噬细胞浸润, 从而使斑块更加不稳定。IPH 与斑块进展高度相关。随着斑块的进展, 覆盖它的纤维帽变得更薄并引起活动性炎症。巨噬细胞等炎症因子在斑块内积聚, 并在破裂时导致缺血性卒中, 基平行解剖扫描(BPAS)是一种通过使用快速脊柱回声序列识别椎体 OBA 外轮廓的方法, 使用 T2 加权成像是一种相对简单的方法, 并且可以相对较快(在两分钟内)获得该测试的结果。高分辨率 MRI 比 BPAS 方法需要更长的时间, 并且它使用造影剂。然而, 预计它可以提高诊断准确性, 因为可以识别血管轮廓的内部状况以及血管的内部和外部轮廓[20]。

6. 血管炎

中枢神经系统(CNS)血管炎是一种累及 CNS 的炎症性血管疾病。其临床表现不是很明确, 因此很难诊断中枢神经系统血管炎。成像可以对此做出宝贵贡献, 尤其能够确定疾病的程度和受影响血管的数量。经典的成像方法, 如 CT (CTA)或 MR 血管造影(MRA)以及数字减影血管造影术(DSA)主要关注管腔直径的变化, 这些方法通常不能充分显示血管壁。超声检查可以评估管腔和血管壁, 但只能测出具有足够分辨率的选定颅外血管。由于血管活性物质主要基于血管壁的变化, 所发现的管腔变化通常是非特异性的, 也可能发生在其他疾病中, 因此常用方法的有效性往往受到限制。随着颈部和颅内血管的高分辨率 MRI, 一种有前途的新方法是可行的, 它能够无创地详细显示炎症血管壁, 而无需使用电离射线[21] [22]。

中枢神经系统血管炎的 MRI 显示, 血管壁多为非病灶性狭窄性病变, 典型病变呈平滑同心增厚和明显增强。高分辨率磁共振(HR-MRI)技术不仅有助于诊断中枢神经系统血管炎, 而且有效评估其治疗效果[23]。HR-MRI 可以同时进行壁和腔成像, 并准确评估血管狭窄的程度和程度。同时, HR-MRI 可以根据血管壁结构的变化, 为确定血管狭窄的原因提供重要信息。

7. 烟雾病

烟雾病(MMD)是一种罕见的脑血管疾病, 其特征在于颅内大动脉(包括远端颈内动脉)和称为烟雾血管的基底侧支的模糊网络进行性狭窄[24]。主要发生在亚洲人群中[25]。MMD 保持经典的双峰年龄分布模式。第一个高峰发生在五岁左右, 第二个高峰发生在 40 岁左右。缺血特征在儿科年龄组中占主导地位。在成人中, 缺血和颅内出血(ICH)都是可能的。

尽管数字减影血管造影(DSA)被推荐用于 MMD 和 MMD 分期的明确诊断(称为 6 级铃木分期系统), 尤其是在外科血运重建的候选者中, 但众所周知, 该程序具有持续神经功能缺损的潜在风险。当使用 ≥ 1.5 特斯拉扫描仪、磁共振血管造影(MRA)也可以提供明确诊断。然而, TOF MRA 没有时间分辨率。如果能无创地显示脑血管系统内的动态血流模式来监测 MMD 的临床病程, 那将是理想的。越来越多的证据表

明, 3.0-Tesla MR 扫描仪提供了更高的信噪比, 允许更高的空间分辨率和颅内神经和血管结构特征的精细可视化, 包括 MMD 患者的病理血管系统。最近, 使用动脉自旋标记技术(ASL-4D MRA)开发了非对比增强时间分辨四维 MRA, 以描绘脑血管系统内的动态流动模式[26] [27]。

8. 结论

HR-MRI 的优点是其在显示血管壁方面的高空间分辨率, 从而提高了 MRI 帮助了解脑血管疾病发病机制的能力。HR-MRI 有助于诊断颅内动脉粥样硬化、动脉夹层、烟雾病、血管炎、可逆性脑血管收缩综合征和放疗诱导的颅内血管病变[28]。相较于其他几个影像学检查方法, HR-MRI 对患者没有辐射影响。但由于 HR-MRI 的扫描时间较长, 且是在一个密闭空间内进行, 所以对患者的忍耐性要求极高。需要患者极高的配合度。

参考文献

- [1] Wang, Y., Lou, X., Li, Y., *et al.* (2014) Imaging Investigation of Intracranial Arterial Dissecting Aneurysms by Using 3 T High-Resolution MRI and DSA: From the Interventional Neuroradiologists' View. *Acta Neurochirurgica*, **156**, 515-525. <https://doi.org/10.1007/s00701-013-1989-1>
- [2] Mac Grory, B., Yaghi, S., Cordonnier, C., *et al.* (2022) Advances in Recurrent Stroke Prevention: Focus on Antithrombotic Therapies. *Circulation Research*, **130**, 1075-1094. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.121.319947>
- [3] Liu, Z., Zhong, F., Xie, Y., *et al.* (2022) A Predictive Model for the Risk of Posterior Circulation Stroke in Patients with Intracranial Atherosclerosis Based on High Resolution MRI. *Diagnostics*, **12**, Article 812. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12040812>
- [4] Yun, S.Y., Heo, Y.J., Jeong, H.W., *et al.* (2018) Spontaneous Intracranial Vertebral Artery Dissection with Acute Ischemic Stroke: High-Resolution Magnetic Resonance Imaging Findings. *The Neuroradiology Journal*, **31**, 262-269. <https://doi.org/10.1177/1971400918764129>
- [5] Han, M., Choi, J.W., Jung, W.S., *et al.* (2022) Isolated Posterior Inferior Cerebellar Artery Dissection with Ischaemic Stroke: Evaluating the Radiological Features and Diagnostic Feasibility of High-Resolution Vessel Wall Imaging. *Clinical Radiology*, **77**, 584-591. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2022.05.004>
- [6] Lin, X., Guo, W., She, D., *et al.* (2023) Initial and Follow-Up High-Resolution Vessel Wall MRI Study of Spontaneous Cervicocranial Artery Dissection. *European Radiology*, **34**, 1704-1715. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-10207-z>
- [7] Zhang, Y., Miao, C., Gu, Y., *et al.* (2021) High-Resolution Magnetic Resonance Imaging (HR-MRI) Imaging Characteristics of Vertebral Artery Dissection with Negative MR Routine Scan and Hypoperfusion in Arterial Spin Labeling. *Medical Science Monitor*, **27**, e929445. <https://doi.org/10.12659/MSM.929445>
- [8] Gu, Y., Miao, C., Li, A., *et al.* (2022) High-Resolution Magnetic Resonance Imaging (HR-MRI) Evaluation of the Distribution and Characteristics of Intra-Aneurysm Thrombosis to Improve Clinical Diagnosis of Thrombotic Intracranial Aneurysm. *Medical Science Monitor*, **28**, e935613. <https://doi.org/10.12659/MSM.935613>
- [9] Endo, H., Mori, N., Mugikura, S., *et al.* (2022) Quantitative Assessment of Microstructural Evolution of Intracranial Aneurysm Wall by Vessel Wall Imaging. *Neuroradiology*, **64**, 1343-1350. <https://doi.org/10.1007/s00234-021-02877-7>
- [10] Cox, M., Song, J.W., Nabavizadeh, S.A., *et al.* (2021) Detection of Angiographically Occult Ruptured Basilar Sidewall Perforator Aneurysm by Vessel Wall MR Imaging. *The Neurohospitalist*, **11**, 156-159. <https://doi.org/10.1177/1941874420963648>
- [11] Yang, H., Zhu, Y., Geng, Z., *et al.* (2015) Clinical Value of Black-Blood High-Resolution Magnetic Resonance Imaging for Intracranial Atherosclerotic Plaques. *Experimental and Therapeutic Medicine*, **10**, 231-236. <https://doi.org/10.3892/etm.2015.2469>
- [12] Kim, J.H., Kwak, H.S., Hwang, S.B., *et al.* (2021) Differential Diagnosis of Intraplaque Hemorrhage and Dissection on High-Resolution MR Imaging in Patients with Focal High Signal of the Vertebrobasilar Artery on TOF Imaging. *Diagnostics*, **11**, Article 1024. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11061024>
- [13] Sun, J., Liu, G., Zhang, D., *et al.* (2021) The Longitudinal Distribution and Stability of Curved Basilar Artery Plaque: A Study Based on HR-MRI. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, **28**, 1333-1339. <https://doi.org/10.5551/jat.62448>
- [14] Lin, Q., Liu, X., Chen, B., *et al.* (2020) Design of Stroke Imaging Package Study of Intracranial Atherosclerosis: A Multicenter, Prospective, Cohort Study. *Annals of Translational Medicine*, **8**, Article 13. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.11.111>

-
- [15] Lv, Y., Ma, X., Zhao, W., *et al.* (2023) Association of Plaque Characteristics with Long-Term Stroke Recurrence in Patients with Intracranial Atherosclerotic Disease: A 3D High-Resolution MRI-Based Cohort Study. *European Radiology*. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-10278-y>
- [16] Du, H., Yang, W. and Chen, X. (2021) Histology-Verified Intracranial Artery Calcification and Its Clinical Relevance with Cerebrovascular Disease. *Frontiers in Neurology*, **12**, Article 789035. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.789035>
- [17] Sun, Y., Xu, L., Jiang, Y., *et al.* (2020) Significance of High Resolution MRI in the Identification of Carotid Plaque. *Experimental and Therapeutic Medicine*, **20**, 3653-3660. <https://doi.org/10.3892/etm.2020.9091>
- [18] Wu, F., Zhang, M., Qi, Z., *et al.* (2023) Imaging Features of Vertebrobasilar Dolichoectasia Combined with Posterior Circulation Ischemic Stroke: A Vessel Wall Magnetic Resonance Imaging Study. *European Journal of Radiology*, **166**, Article 110971. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2023.110971>
- [19] Chen, L., Liu, Q., Shi, Z., *et al.* (2018) Interstudy Reproducibility of Dark Blood High-Resolution MRI in Evaluating Basilar Atherosclerotic Plaque at 3 Tesla. *Diagnostic and Interventional Radiology*, **24**, 237-242. <https://doi.org/10.5152/dir.2018.17373>
- [20] 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>
- [21] Saam, T., Habs, M., Cyran, C.C., *et al.* (2010) [New Aspects of MRI for Diagnostics of Large Vessel Vasculitis and Primary Angiitis of the Central Nervous System]. *Der Radiologe*, **50**, 861-871. <https://doi.org/10.1007/s00117-010-2004-y>
- [22] Corrêa, D.G., Pacheco, F.T., Nunes, R.H., *et al.* (2023) Intracranial Vessel Wall Magnetic Resonance Imaging Features of Infectious Vasculitis. *Clinical Imaging*, **98**, 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2023.03.014>
- [23] Sundaram, S., Kumar, P.N., Sharma, D.P., *et al.* (2021) High-Resolution Vessel Wall Imaging in Primary Angiitis of Central Nervous System. *Annals of Indian Academy of Neurology*, **24**, 524-530. https://doi.org/10.4103/aian.AIAN_106_21
- [24] Bang, O.Y., Chung, J.W., Kim, D.H., *et al.* (2020) Moyamoya Disease and Spectrums of *RNF213* Vasculopathy. *Translational Stroke Research*, **11**, 580-589. <https://doi.org/10.1007/s12975-019-00743-6>
- [25] Xue, S., Cheng, W., Wang, W., *et al.* (2018) The Association between the Ring Finger Protein 213 Gene R4810K Variant and Intracranial Major Artery Stenosis/Occlusion in the Han Chinese Population and High-Resolution Magnetic Resonance Imaging Findings. *Brain Circulation*, **4**, 33-39. https://doi.org/10.4103/bc.BC_9_17
- [26] Xia, C., Chen, H.S., Wu, S.W., *et al.* (2017) Etiology of Isolated Pontine Infarctions: A Study Based on High-Resolution MRI and Brain Small Vessel Disease Scores. *BMC Neurology*, **17**, Article No. 216. <https://doi.org/10.1186/s12883-017-0999-7>
- [27] Park, J.I., Ryu, J. and Choi, S.K. (2023) High Resolution Vessel-Wall Imaging for Peripheral Aneurysms in Adult Moyamoya Disease: A Report of Three Cases. *Acta Neurochirurgica*, **165**, 2811-2817. <https://doi.org/10.1007/s00701-023-05781-6>
- [28] 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>