

# Progress in the Application of High-resolution Magnetic Resonance Vascular Wall Imaging to Evaluate the Characteristics of Intracranial Arterial Stenosis Plaques in Stent Implantation Surgery

Yu Gong Huisong Chu Tiemin Hu\*

Affiliated Hospital of Chengde Medical College, Chengde, Hebei, 067000, China

## Abstract

High resolution magnetic resonance vessel wall imaging is increasingly used in the diagnosis of intracranial atherosclerotic stenosis and preoperative evaluation of intravascular treatment. It can not only accurately assess the extent of stenosis, but also further clarify the morphological characteristics and stability of plaque, which is conducive to screening out the population who benefit from intravascular treatment, providing a basis for the selection of stent types, and reducing the risk of surgery. This paper reviews the application of high-resolution magnetic resonance angiography in the qualitative and quantitative assessment of the characteristics of intracranial atherosclerotic stenosis plaque in stent implantation.

## Keywords

high resolution magnetic resonance vascular wall imaging; intracranial atherosclerosis; patch characteristic; stent implantation

# 高分辨率磁共振血管壁成像评估颅内动脉狭窄斑块特征在支架植入术中的应用进展

龚宇 褚会松 呼铁民\*

承德医学院附属医院, 中国·河北承德 067000

## 摘要

高分辨率磁共振血管壁成像越来越多被应用于颅内动脉粥样硬化性狭窄的诊断与血管内治疗的术前评估,其不仅可以准确评估管腔狭窄程度,还可进一步明确斑块形态学特征及其稳定性,有利于筛选出在血管内治疗中受益的人群,并为支架类型的选择提供依据,降低手术风险。论文就使用高分辨率磁共振血管壁成像技术定性、定量评估颅内动脉粥样硬化性狭窄斑块特征在支架植入术中的应用展开综述。

## 关键词

高分辨率磁共振血管壁成像; 颅内动脉粥样硬化; 斑块特征; 支架植入术

## 1 引言

颅内动脉粥样硬化性狭窄 (intracranial atherosclerotic stenosis, ICAS) 是导致缺血性脑卒中的主要病因之一<sup>[1]</sup>。北美地区 8%~10% 的脑卒中源于 ICAS,而在亚洲人群中,有 30%~50% 的脑卒中病因是 ICAS<sup>[2]</sup>。支架植入术作为 ICAS 常用治疗方法之一,可改善因血管狭窄导致脑组织低灌注状态,防止不稳定斑块纤维帽破裂、斑块内出血、血栓

形成等情况发生,避免狭窄部位的斑块脱落、减少远端栓塞事件发生,避免狭窄斑块直接阻塞穿支血管<sup>[3-4]</sup>。

在一项纳入 5043 例 ICAS 患者的影像随访荟萃分析显示,在平均 17.8 个月的影像随访期间,ICAS 患者的支架内再狭窄 (in-stent restenosis, ISR) 发生率为 14.8%<sup>[5]</sup>。ISR 作为支架植入术的一个并发症,可以导致卒中复发,是影响支架长期疗效的主要原因之一<sup>[6]</sup>。研究显示,ICAS 卒中复发风险不单纯与 ICAS 管腔重度狭窄相关,ICAS 管壁结构学以及跨狭窄血流动力等也可能与复发存在密切关系<sup>[7]</sup>。因此,ICAS 影像学评估是治疗的重要前提和依据。

高分辨率核磁共振血管壁成像 (high resolution magnetic resonance vessel wall image, HRMR-VWI) 可在传统的管腔狭窄程度评价之上,进一步了解斑块结构和功能的稳定性。

【作者简介】龚宇 (1998-),男,满族,中国河北承德人,硕士,从事脑血管疾病研究。

【通讯作者】呼铁民 (1974-),男,中国河北承德人,硕士,主任医师,从事脑血管疾病研究。

通常将大脂质坏死核心、薄纤维帽斑块、斑块内出血、炎症浸润以及新生血管形成等定义为不稳定斑块或易损斑块的特征。应用管壁成像评价病变局部的形态病理学特点以及相邻穿支情况,即可推测缺血事件病因及发生机制,也可为筛选受益患者、制定干预策略、降低脑缺血事件复发风险提供依据<sup>[7]</sup>。

论文就使用高分辨率磁共振血管壁成像技术定性、定量评估颅内动脉粥样硬化性狭窄斑块特征在支架置入术中的应用,综述如下。

## 2 HRMR-VWI 定量评估斑块特征在支架置入术中的应用

在术前评估方面,传统血管影像学技术如 CTA 和 DSA 均是通过充盈缺损判断管腔狭窄程度,而 HRMR-VWI 通过对病变血管进行纵向扫描或重建,可直接观测到动脉粥样硬化斑块形态学特征,借此筛选出在血管内治疗中受益的人群,并为支架类型的选择提供依据<sup>[8]</sup>。SHI 等<sup>[9]</sup>用 HRMR-VWI 技术对大脑中动脉(middle cerebral artery, MCA)狭窄血管经腔内血管成形术(percutaneous transluminal angioplasty, PTA)和 Wingspan 支架植入进行评估,相比 Wingspan 支架植入能恢复 MCA 管径,PTA 改变了 MCA 管壁结构,从而导致斑块不稳定,这也证明 HRMR-VWI 能清晰显示介入前后管壁及斑块变化。

### 2.1 斑块位置

通过 HRMR-VWI 检查,不仅可确定缺血性卒中的责任血管,准确地鉴别颅内动脉狭窄的各种原因,选择最合适的治疗方法<sup>[10]</sup>,还能确定斑块与穿支动脉位置关系;早期有研究<sup>[11]</sup>提出 HRMR-VWI 可用于评估动脉粥样硬化偏心斑块和基底动脉主要侧支的开口位置,有助于指导基底动脉支架置入术以降低术后并发症风险。后续研究显示支架治疗风险与斑块及穿支动脉开口位置具有显著相关性,大脑中动脉 M1 段斑块主要发生在穿支动脉开口对侧管壁上,其次为腹侧壁、下壁和上壁,只有极少数的患者可能发生在背侧壁<sup>[12]</sup>。当斑块处于穿支动脉附近时,在支架与球囊作用下,斑块很容易堵塞穿支动脉,从而出现“雪梨”效应<sup>[13]</sup>。这也提示斑块位置距穿支入口较近时,应慎重选择血管内介入治疗。

### 2.2 重构指数

正性重构是指血管代偿性向外扩张,可以改善血管管腔狭窄,却使斑块易损性增加,负性重构是指血管发生向内收缩的改变<sup>[14]</sup>。研究表明发生正性重构的颅内动脉粥样硬化性斑块多为不稳定斑块,具有大的脂质核心、薄的纤维帽、斑块内炎症成分增多等特点,与卒中事件的发生具有相关性<sup>[15]</sup>。在大脑中动脉狭窄的研究中,发现正性重构组不仅观察到微栓子,还更容易发生斑块破裂引起缺血性脑卒中<sup>[16-17]</sup>;一项以症状性 MCA 狭窄患者为研究对象的 HRMR-VWI 研究发现颅内动脉管壁的正性重构不仅与卒中

发生相关,而且参与动脉-动脉栓塞机制和过程<sup>[18]</sup>。另一项研究比较了动脉-动脉栓塞与穿支动脉梗死患者责任动脉的重构情况,结果发现动脉-动脉栓塞患者责任动脉正性重构发生率高于穿支动脉梗死患者( $P = 0.013$ )<sup>[19]</sup>。Luo 等<sup>[20]</sup>通过 HRMR-VWI 对基底动脉粥样硬化狭窄血管内治疗后新发缺血性卒中的研究共纳入 107 例患者,发现具有较大斑块负荷和正性重构的患者在血管内治疗后更容易发生急性缺血性脑卒中,分析其原因可能是由于较大的斑块负荷和正性重构更容易导致斑块不稳定,增加了血管内治疗期间斑块破裂的风险,进一步增加血管内治疗术后缺血性卒中的发生。

### 2.3 偏心程度

偏心度是动脉粥样硬化病变的一个关键特征。偏心指数定义为(管壁的最大厚度-管壁的最小厚度)/(管壁的最大厚度),偏心指数 $\geq 0.5$ 定义为偏心斑块<sup>[21]</sup>。相关的研究发现<sup>[22]</sup>,偏心斑块在症状性颅内动脉粥样硬化性狭窄患者中更常见。考虑与斑块的成分相关,是由于偏心性斑块的胶原纤维数量较同心性斑块显著减少,而胶原纤维含量具有维持斑块稳定性的作用,因此斑块稳定性下降,导致出现卒中症状<sup>[23,24]</sup>。虽然 Dieleman 等<sup>[25]</sup>的研究发现偏心斑块在无症状患者中常见,Tian 等<sup>[26]</sup>随访 64 例经支架植入术后的患者,发现同心斑块形态比偏心斑块有更高的 ISR 风险。但也有研究<sup>[27]</sup>认为中国人与西方人相比,斑块的外观有所不同,中国患者的斑块似乎更厚,更偏心。针对斑块偏心程度与缺血性卒中的相关性还需进一步研究。

### 2.4 斑块负荷

斑块负荷的大小也可体现斑块的易损性,斑块负荷=(最窄层面血管面积-最窄层面管腔面积)/最窄层面的血管面积 $\times 100\%$ ,负荷越重意味着破损的概率越大,是脑梗死风险因素<sup>[28]</sup>。在对大脑中动脉斑块的研究中发现,斑块负荷可用于确定脑梗死责任斑块<sup>[29]</sup>。冉云彩等研究通过磁共振血管壁成像评估大脑中动脉斑块特征,发现高斑块负荷与复发性缺血性卒中独立相关,MCA 区域斑块负荷每增加 10%,卒中复发的风险增加 2.26 倍<sup>[30]</sup>。

## 3 HRMR-VWI 对斑块定性评估在支架置入术中的应用

斑块内富含脂质的坏死核心增大、斑块内出血、炎症细胞浸润、纤维帽变薄或破裂为不稳定斑块的重要标志,而稳定斑块则主要是纤维组织和钙沉积,不稳定斑块是缺血性卒中发生或复发的重要危险因素<sup>[31]</sup>。通过与传统检查方法相比,HRMR-VWI 可以对斑块稳定性及成分更为准确的表示<sup>[32]</sup>。

### 3.1 大脂质核心

富含脂质的坏死核心由胆固醇晶体、凋亡细胞、钙颗粒组成,在 HRMR-VWI 上表现为长 T1 短 T2 的信号;纤维帽是一层纤维结缔组织,将斑块核心与动脉管腔分隔开

来,在HRMR-VWI上显示为等长T2的信号。有研究报道,HRMR-VWI诊断斑块脂质核心的灵敏度可达88%,特异度可达92%,通过对其进行分析可以发现,脂质核心的体积越大,具有越高的斑块破裂风险,也就是所说的不稳定斑块<sup>[33]</sup>。

### 3.2 斑块内出血

斑块内出血(intraplaque hemorrhage,IPH)是缺血性脑卒中的一个强有力的独立预测因子,这一点已被广泛证实<sup>[34]</sup>。在缺氧、炎症刺激下形成的新生血管容易破裂出血造成IPH,IPH对斑块进展有直接及长期的作用,它通过积聚的红细胞膜促进游离胆固醇的沉积及通过扩张坏死核心使得斑块趋于不稳定<sup>[35]</sup>。据调查研究显示,患者存在斑块内出血的情况时T1像在HRMR-VWI检查斑块时呈短信号,斑块内出血的检出率在无症状性中动脉M1段狭窄患者中为2%左右,而检出率在症状性中动脉M1段狭窄患者中为20%左右。因此,在大脑中动脉狭窄患者中,如果存在不稳定斑块,为减少斑块破裂发生血管栓塞,要最大限度避免斑块出血,可适当放宽手术指征,予以患者积极有效治疗。

### 3.3 斑块强化

斑块强化是斑块易损性标志之一,与斑块内的新生血管及内皮细胞的通透性增加有关。该类斑块破裂的可能性较大,可能出现动脉到动脉的栓塞。斑块强化是缺血性脑卒中发生的独立危险因素。血管及结构影像学均无法精确显示手术过程中动脉管壁的损伤,而HRMR-VWI可评估ICAD患者血管内治疗后责任血管管壁的变化,以预测临床预后<sup>[36]</sup>。一项以症状性ICAD患者为对象的研究利用HRMR-VWI比较了血管内治疗和静脉rt-PA溶栓后血管再通管壁的特点,结果显示,血管内治疗再通组动脉闭塞段及其近端管壁环形强化发生率高于静脉溶栓血管再通组(66%vs14%);血管再通后管壁环形强化考虑与血管内治疗操作次数相关;多元回归分析证实,病变血管再通后管壁的环形强化可独立预测出血转化风险(OR11.18,95%CI1.07~117.40,P=0.044)。

## 4 结论与展望

高分辨率磁共振血管壁成像可无创显示颅内动脉管腔及管壁情况,在症状性颅内动脉粥样硬化性患者的鉴别诊断、危险性评估及治疗评价等方面具有重要价值。尽管有很多临床研究证明HRMR-VWI评估的斑块特征在血管内治疗方面具有重要作用<sup>[37]</sup>。但由于颅内动脉MR血管壁成像的质量和效果受到磁场强度、接收线圈、成像维度、成像序列、空间分辨率等软硬件条件和成像参数的影响,对斑块具体组分的判定以及量化仍缺乏公认的标准及证据。

HRMR-VWI在颅内动脉粥样硬化性狭窄介入治疗中具有重要作用,相信未来在提高核磁分辨率,优化核磁序列,减少检查时间后,将会在血管内治疗中筛选受益人群及术中

决策中发挥更为重要的作用。

### 参考文献

- [1] Barnard Zachary R,Alexander Michael J,Update in the treatment of intracranial atherosclerotic disease.[J]. Stroke Vasc Neurol,2020,5:59-64.
- [2] Gruber Philipp,Singh Samarth,Andereggen Lukas et al.Drug-Coated Balloons for the Treatment of Symptomatic Intracranial High-Grade Stenosis:A Review of the Current Rationale.[J].Front Neurol,2021,12:692208.
- [3] Yu Simon C H,Lau Tiffany W W,Wong Simon S M et al.Long-Term Evolutionary Change in the Lumen of Intracranial Atherosclerotic Stenosis Following Angioplasty and Stenting.[J]. Oper Neurosurg (Hagerstown),2018,14:128-138.
- [4] 陆军,王大明.中国神经介入发展略览[J].中国神经免疫学和神经病学杂志,2019,26(4):237-239.
- [5] Peng G,Zhang Y,Miao Z,Incidence and Risk Factors of In-Stent Restenosis for Symptomatic Intracranial Atherosclerotic Stenosis:A Systematic Review and Meta-Analysis.[J].AJNR Am J Neuroradiol,2020,41:1447-1452.
- [6] 余莹,姜亚柯,崔荣荣等.颅内动脉支架内再狭窄的研究进展[J].中国卒中杂志,2021,16(06):619-624.
- [7] 高鹏.颅内动脉粥样硬化性狭窄影像学评价专家共识[J].中国脑血管病杂志,2021,18(08):575-584.
- [8] 刘翠琴,李文君,贾亚南等.高分辨率磁共振血管壁成像与症状性颅内动脉粥样硬化性疾病的评估[J].中国卒中杂志,2019,14(08):792-796.
- [9] Shi MingChao,Wang ShouChun,Zhou HongWei et al.Wingspan stenting of symptomatic middle cerebral artery stenosis and perioperative evaluation using high-resolution 3 Tesla MRI.[J].J Clin Neurosci,2012,19:912-914.
- [10] 蔡颖.老年人颈动脉粥样硬化斑块特征的高分辨率磁共振血管壁成像研究[D].江苏:扬州大学,2017.
- [11] Jiang Wei-Jian,Yu Wengui,Ma Ning et al. High resolution MRI guided endovascular intervention of basilar artery disease.[J].J Neurointerv Surg,2011,3:375-8.
- [12] 秦海强,王伊龙.动脉管壁磁共振扫描在缺血性卒中诊疗中的临床价值[J].中国卒中杂志,2017,12(6):473-476.
- [13] 杨欢.3D高分辨磁共振血管壁成像评估颅内动脉粥样硬化性疾病特征[D].山东:山东大学,2017.
- [14] 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(05):136-139.
- [15] 李文君,刘俊艳.高分辨率磁共振成像与颅内动脉粥样硬化性疾病的诊断[J].中华神经科杂志,2015,48(8):711-714.
- [16] Kurosaki Yoshitaka,Yoshida Kazumichi,Fukumitsu Ryu et al.Carotid artery plaque assessment using quantitative expansive remodeling evaluation and MRI plaque signal intensity.[J].J

- Neurosurg,2016,124:736-42.
- [17] Song Jae W,Pavlou Athanasios,Xiao Jiayu et al.Vessel Wall Magnetic Resonance Imaging Biomarkers of Symptomatic Intracranial Atherosclerosis:A Meta-Analysis.[J].Stroke,2021, 52:193-202.
- [18] Zhao Deng-Ling,Deng Gang,Xie Bo et al.Wall characteristics and mechanisms of ischaemic stroke in patients with atherosclerotic middle cerebral artery stenosis:a high-resolution MRI study.[J]. Neurol Res,2016,38:606-13.
- [19] Chung Jong-Won,Bang Oh Young,Lee Mi Ji et al.Echoing Plaque Activity of the Coronary and Intracranial Arteries in Patients With Stroke.[J].Stroke,2016,47:1527-1533.
- [20] Luo Jichang,Li Long,Wang Tao et al.Risk Factors of New Cerebral Infarctions After Endovascular Treatment for Basilar Artery Stenosis Based on High-Resolution Magnetic Resonance Imaging.[J].Front Neurol,2020,11:620031.
- [21] Tan HW, Chen X, Maingard Jet al.Intracranial Vessel Wall Imaging with Magnetic Resonance Imaging: Current Techniques and Applications. World Neurosurg. 2018 Apr;112:186-198.
- [22] Liu L,He X,Zhu X.Wall thickening pattern in atherosclerotic basilar artery stenosis[J].Neurological Sciences Official Journal of the Italian Neurological Society & of the Italian Society of Clinical Neurophysiology,2016,37: 269-276.
- [23] 程训民,何国祥,全识非,等.中度狭窄病变中斑块分布对冠状动脉生物力学特性的影响[J].中国循环杂志,2004,19: 335-337.
- [24] 吴静静,贾琳,王云玲等.磁共振血管壁成像对症状性大脑中动脉粥样硬化斑块的定量评估[J].临床放射学杂志,2020,39(11): 2152-2155.
- [25] Dieleman N,Yang WJ,Abrigo JM,et al.Magnetic Resonance Imaging of Plaque Morphology,Burden,and Distribution in Patients With Symptomatic Middle Cerebral Artery Stenosis[J].Stroke; a Journal of Cerebral Circulation,2016,47:1797-1802.
- [26] Tian Bing,Zhu Chengcheng,Tian Xia et al.Baseline vessel wall magnetic resonance imaging characteristics associated with in-stent restenosis for intracranial atherosclerotic stenosis.[J].J Neurointerv Surg,2023,15:288-291.
- [27] Dieleman N,van der Kolk AG,van Veluw SJ,et al.Patterns of intracranial vessel wall changes in relation to ischemic infarcts[J]. Neurology,2014,83:1316-1320.
- [28] 任婷,陈阳美.高分辨率磁共振颅内血管壁成像在脑梗死中的应用进展[J].现代医药卫生,2018,34(23):3659-3662.
- [29] TENG Z,PENG W,ZHAN Q,et al.An assessment on the incremental value of high-resolution magnetic resonance imaging to identify culprit plaques in atherosclerotic disease of the middle cerebral artery[J].Eur Radiol,2016,26(7):2206-2214.
- [30] Ran Yuncai,Wang Yuting,Zhu Ming et al.Higher Plaque Burden of Middle Cerebral Artery Is Associated With Recurrent Ischemic Stroke: A Quantitative Magnetic Resonance Imaging Study.[J]. Stroke,2020,51:659-662.
- [31] Yang Wen-Jie,Wong Ka-Sing,Chen Xiang-Yan,Intracranial Atherosclerosis:From Microscopy to High-Resolution Magnetic Resonance Imaging.[J].J Stroke,2017,19:249-260.
- [32] Saba Luca,Saam Tobias,Jäger H Rolf et al.Imaging biomarkers of vulnerable carotid plaques for stroke risk prediction and their potential clinical implications.[J].Lancet Neurol,2019,18:559-572.
- [33] 徐曼曼,徐运.高分辨率磁共振成像对颅内动脉病变的精准化诊疗[J].中国卒中杂志,2017,12(8):720-724.
- [34] Wang Guang-Xian,Li Wen,Lei Sheng et al.Relationships between aneurysmal wall enhancement and conventional risk factors in patients with intracranial aneurysm:A high-resolution MRI study. [J].J Neuroradiol,2019,46:25-28.
- [35] Yang D,Liu Y,Han Y et al.Signal of Carotid Intraplaque Hemorrhage on MR T1-Weighted Imaging: Association with Acute Cerebral Infarct.[J].AJNR Am J Neuroradiol,2020,41:836-843.
- [36] Sun Jie,Underhill Hunter R,Hippe Daniel S et al.Sustained acceleration in carotid atherosclerotic plaque progression with intraplaque hemorrhage:a long-term time course study.[J].JACC Cardiovasc Imaging,2012,5:798-804.
- [37] Alkhalil Mohammad,Choudhury Robin P.Intraplaque Hemorrhage as a Marker of Stroke Risk.[J].JACC Cardiovasc Imaging,2020, 13:407-409.