

# 高分辨率MR血管壁成像用于椎 - 基底动脉几何形态对斑块形成影响的研究进展

韦佳<sup>1</sup>, 鲍海华<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>青海大学研究生院, 青海 西宁

<sup>2</sup>青海大学附属医院, 青海 西宁

收稿日期: 2023年1月8日; 录用日期: 2023年2月3日; 发布日期: 2023年2月10日

## 摘要

椎 - 基底动脉形态呈现出高度的多样性, 并通过影响局部血流动力学, 对基底动脉粥样硬化斑块的形成和发展过程起重要影响作用。高分辨率磁共振血管壁成像(HR-VWI)可以直接对血管壁进行成像, 评价血管狭窄程度、分析斑块负荷、强化、血管重构、斑块内出血等易损斑块特征, 本文就HR-VWI技术用于评估椎 - 基底动脉形态对基底动脉粥样硬化斑块特征影响的研究进展进行综述。

## 关键词

椎 - 基底动脉, 几何形态, 高分辨磁共振, 血管壁成像, 动脉粥样硬化

# Research Progresses of High-Resolution Magnetic Resonance Vessel Wall Imaging for the Effect of Vertebrobasilar Artery Geometry on Plaque Formation

Jia Wei<sup>1</sup>, Haihua Bao<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Qinghai University, Xining Qinghai

<sup>2</sup>Affiliated Hospital of Qinghai University, Xining Qinghai

Received: Jan. 8<sup>th</sup>, 2023; accepted: Feb. 3<sup>rd</sup>, 2023; published: Feb. 10<sup>th</sup>, 2023

\*通讯作者。

文章引用: 韦佳, 鲍海华. 高分辨率 MR 血管壁成像用于椎 - 基底动脉几何形态对斑块形成影响的研究进展[J]. 临床医学进展, 2023, 13(2): 1612-1617. DOI: 10.12677/acm.2023.132222

## Abstract

The geometry of vertebrobasilar artery shows a high degree of diversity and plays an important role in the formation and development of basilar atherosclerotic plaque by affecting local hemodynamics. High resolution magnetic resonance imaging vascular wall imaging (HR-VWI) can directly image the vascular wall, evaluate the degree of vascular stenosis, analyze plaque load, enhancement, vascular remodeling, intraplaque hemorrhage and other vulnerable plaque characteristics. This article reviewed the research progress of HR-VWI technique in evaluating the effect of vertebrobasilar artery morphology on the characteristics of basilar atherosclerotic plaque.

## Keywords

Vertebrobasilar Artery, Geometry, Magnetic Resonance Imaging, Vascular Wall Imaging, Arteriosclerosis

Copyright © 2023 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

后循环缺血性脑卒中仅占有缺血性卒中病例约 30%，但它与前循环缺血性卒中相比具有更高的死亡率和发病率[1]。基底动脉粥样硬化性疾病是后循环缺血性卒中最常见的病因。而血管的几何形态被认为在动脉粥样硬化的形成和发展中起着至关重要的作用。已有研究表明，血管几何形状引起的机械力变化通过调节血管内皮细胞的信号通路来介导动脉粥样硬化的病理生理过程[2]。在前循环中，大脑中动脉上向 M1 曲线可能为上侧斑块的形成和进展创造不利条件[3]。此外，一些研究表明血管几何形状与斑块位置有关[4]。而后循环比前循环有更大程度的几何形态变化[5]。目前传统的磁共振血管成像(magnetic resonance angiography, MRA)、CT 血管成像(computed tomography angiography, CTA)、数字化减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)等管腔成像的方法常常低估了动脉粥样硬化的负荷，而高分辨率磁共振血管壁成像(high resolution magnetic resonance imaging vascular wall imaging, HR-VWI)是目前唯一可对颅内血管壁进行成像的无创性检查技术，提供亚毫米体素大小的高质量图像，可以直观地显示血管壁，判断狭窄病因，分析斑块的成分及形态特征，对斑块的显示明显优于超声、CT 等检查[6]，可以提高诊断的准确性。Yu 等[7]研究发现椎基底动脉的形态对斑块分布影响较大，本文就 HR-VWI 技术及其评估椎 - 基底动脉形态及基底动脉粥样硬化斑块特征研究进展进行综述。

## 2. 高分辨磁共振血管壁成像评价基底动脉粥样硬化斑块

### 2.1. 血管狭窄程度

管腔狭窄作为评估动脉粥样硬化的重要指标，在测量中通常以管腔狭窄率 =  $(1 - \text{斑块处管腔面积} / \text{参考处管腔面积}) \times 100\%$ 为计算方式，有研究证实 VW-MRI 评价血管狭窄程度与 DSA 高度一致[8]，能够准确的评估 MRA 及 CTA 所低估的轻度狭窄[9]。

### 2.2. 斑块负荷

斑块负荷是评价斑块稳定性的指标之一，高分辨血管壁成像可以对其进行定量评价，常以斑块负荷 =

斑块面积/狭窄处管腔面积为计算方式, 较大的斑块负荷不仅引起管腔狭窄, 导致灌注不足, 也可能表明斑块内成分更复杂, 更容易受到血流剪切力的影响, 且更容易发生斑块破裂, 诱发脑卒中[10]。斑块象限分布通过垂直于管壁长轴的 HR-MR 的横断面, 将基底动脉的管壁横断面顺时针分为四个象限: 腹侧、左侧、背侧、以及右侧[11]。有研究报道, 基底动脉斑块分布在左、右侧象限时斑块负荷更大, 分布在腹侧背侧斑块负荷较小[12]。

### 2.3. 血管重构

血管重构指数  $RI = \text{斑块处管周面积} / \text{参考处管周面积}$ , 如果  $RI > 1.05$ , 则为正性重塑, 表示血管管壁增厚, 代偿性向外扩张, 利于维持管腔内径;  $RI < 0.95$ , 则为负性重塑, 血管壁向腔内增厚, 动脉壁更稳定的同时, 加重管腔狭窄; 以上两种重构方式均可促使脑卒中发生[13]; 有研究证实, 与前循环颅内动脉相比, 后循环颅内动脉发生正性重构的概率明显要高[14]。

### 2.4. 斑块强化

使用钆造影剂后斑块增强是新生血管、炎症和斑块不稳定的标志, 强化所选取的参照物包括垂体、胼胝体和脑灰质等, 有研究[15]以强化指数 = (增强后斑块平均信号值/正常管壁平均信号值)/(增强前斑块平均信号值/正常管壁平均信号值) - 1 为定量计算方式, 提出症状性斑块具有更大的斑块强化体积及更高的斑块强化指数, 有研究[16]发现不仅梗死组病人斑块强化比例更高, 且在椎动脉优势组中亦观察到较高比例的斑块强化, 提出椎基底动脉几何形态可能对动脉粥样硬化斑块不稳定具有潜在影响。

### 2.5. 斑块内出血

斑块内出血(Intraplaque hemorrhage, IPH)是缺血性脑卒中的独立预测因子[17], 被定义为 TIWI 信号高于相邻肌肉组织信号的 150% [18]。Zhu 等[19]在基底动脉的研究中提出 IPH 是症状性斑块的最佳独立标志物, 而与狭窄程度无关。当斑块中出现新生血管并发生破裂时会造成硬化斑块 IPH, 它可以导致斑块体积增大, 斑块壁的压力及斑块负荷增加, 使斑块更加脆弱并加重基底动脉狭窄, 或者栓子可能会进展到基底动脉的远端。随着斑块的发展, 覆盖在斑块上的纤维帽变薄, 炎症因子积聚在斑块内, 当斑块破裂时, 会导致缺血性中风[20]。有研究显示, 在基底动脉中有症状斑块 IPH 的发生率要明显高于无症状斑块[21]。因此, 确定 IPH 对于预防未来的脑血管事件至关重要。

## 3. 椎 - 基底动脉血管几何形态对斑块形成的影响

### 3.1. 椎 - 基底动脉基本解剖形态

椎 - 基底动脉系统分为四种基本解剖形态: Walking 型, Tuning Fork 型, Lambda 型和 No confluence 型。Walking 型定义为: 两侧管径相近的椎动脉(管径差值  $< 0.3 \text{ mm}$ )合并成基底动脉, 在合并成基底动脉之前两侧椎动脉弯向相同方向[22]。Tuning Fork 型定义为: 两侧管径相近的椎动脉(管径差值  $< 0.3 \text{ mm}$ )相对于基底动脉以相当对称的角度合并成基底动脉, 在合并成基底动脉之前两侧椎动脉弯向相反的反向[22]。Lambda 型定义为: 两侧大小不等的椎动脉(管径差值  $\geq 0.3 \text{ mm}$ )合并成为基底动脉[22]。No confluence 型定义为: 一侧椎动脉直接延续为基底动脉, 另一侧椎动脉未与对侧椎动脉汇合而延续为其他动脉, 多延续为小脑后下动脉(posterior inferior cerebellar artery, PICA [23])。有研究表明, 椎基底动脉形态对在四种分型中, 基底动脉斑块的发生率以 Walking 构型患者最高, Tuning Fork 型患者最低。四种基本几何构型间的基底动脉斑块发生率有显著差异[23]。这可能是由于, 在 Walking 型中, 由两个沿相同方向弯曲的椎动脉产生的方向接近的互相缠绕螺旋上升的血流长久冲击基底动脉管壁, 血流动力学复杂, 从

而诱导基底动脉管壁具有低振荡壁剪切应力的内侧壁区域形成粥样硬化斑块。而在 Tuning Fork 形态中, 双侧椎动脉血流在汇入基底动脉时平行上升, 血流动力学相对简单, 对基底动脉管壁作用力小, 导致不易诱导斑块形成、基底动脉弯曲少见[22]。

### 3.2. 基底动脉曲率

基底动脉的弯曲程度有不同的测量方法, 如 Thijs 等[24]对脑梗死和短暂性脑缺血发作的青年患者中颅内动脉扩张和脑小血管病的关系研究里, 将基底动脉曲折度分: 无曲折、轻度曲折( $5\text{ mm} < \text{曲折程度} \leq 10\text{ mm}$ )、中度曲折(曲折程度  $> 10\text{ mm}$ , 直径  $> 5\text{ mm}$ )、严重曲折(曲折程度  $> 10\text{ mm}$ , 有脑干压痕), 将四种情况按程度分为: IADE 为中、重度曲折, 非 IADE 为无、轻度曲折。有研究表明, 与无斑块的 BA 相比, BA 斑块更容易在弯曲的血管内弧处形成, 并与更大的血管曲折相关。此外, 有斑块的 BA 易发生正向重构, 且明显斑块较小斑块有更大的斑块负荷和强化[25]。还有一类为基底动脉曲率 = (基底动脉真实长度/基底动脉直线长度 - 1)  $\times 100\%$ , 该方法较为常见。有研究表示基底动脉曲率与基底动脉高危斑块独立相关[26], 且向右弯曲亚组斑块更多分布于 BA 左侧壁, BA 向左弯曲组斑块倾向分布于其右侧壁, 提示在低血管壁剪切应力影响下, 斑块更易分布于弯曲血管的内侧壁[12]。而高危斑块更常见于管腔侧壁, 提示 BA 几何形态可影响其内斑块分布, 增加高危斑块的不稳定性。

### 3.3. 椎 - 基底动脉角度

椎 - 基底动脉中有多种角度测量方法, 侧位 BA-VA 角(侧位 basilar artery-vertebral artery angle)和 mid-BA 角(mid-basilar artery angle): 从椎动脉汇合处向基底动脉近端(a线)和优势椎动脉(b线)画两条直线, 两条直线的夹角为侧位 BA-VA 角。从基底动脉顶点处向基底动脉远端处画一条直线(c线), 尽可能使直线位于基底动脉远端中心, c线与a线的夹角为侧位 mid-BA 角[12]。有研究发现斑块负荷是桥脑梗塞的独立危险因素, 且 mid-BA 角与斑块负荷的相关性最高, 提示 mid-BA 角可能通过影响斑块负荷在桥脑梗塞的发生和进展中发挥重要作用[10]。还有研究指出梗死组病人 mid-BA 角及 BA-VA 角明显较大, 提示可能在椎 - 基底动脉连接处和 BA 中部易发生血流动力学湍流, 从而促进斑块形成[16]。Kim 等[12]研究指出较大的 mid-BA 角可以增强侧壁斑块的形成, 更大的 BA-VA 角可以增强背侧壁斑块形成。以上研究均表明几何特征可能在高危动脉粥样硬化斑块的进展中发挥作用。

## 4. 小结

HR-VWI 作为一项新兴的非侵入性影像检查技术, 不仅可以早期检出细小的基底动脉内斑块、判断斑块稳定性、评估血管壁病变、且在预测脑血管事件风险方面具有非常高的应用价值。结合椎 - 基底动脉系统的基本解剖形态及不同的几何角度、曲度差异, 我们可以了解到几何形态对基底动脉局部血流动力学及斑块的分布、发展的具体影响, 有助于揭示血管的几何形态对于后循环斑块发展、卒中的发生发展机制, 为临床对后循环脑血管疾病的预防、个性化治疗提供可靠依据。

## 参考文献

- [1] Connell, L., Koerte, I., Laubender, R.P., *et al.* (2012) Hyperdense Basilar Artery Sign—A Reliable Sign of Basilar Artery Occlusion. *Neuroradiology*, **54**, 321-327. <https://doi.org/10.1007/s00234-011-0887-6>
- [2] Hoffman, B.D., Grashoff, C. and Schwartz, M.A. (2011) Dynamic Molecular Processes Mediate Cellular Mechano-transduction. *Nature*, **475**, 316-323. <https://doi.org/10.1038/nature10316>
- [3] 严雪娇, 汤敏, 高洁, 张东升, 张小玲. 大脑中动脉形态与斑块分布及卒中的 HR-MRI 研究[J]. 临床放射学杂志, 2021, 40(2): 206-211.

- [4] Sui, B., Gao, P., Lin, Y., *et al.* (2015) Distribution and Features of Middle Cerebral Artery Atherosclerotic Plaques in Symptomatic Patients: A 3.0 T High-Resolution MRI Study. *Neurological Research*, **37**, 391-396. <https://doi.org/10.1179/1743132815Y.0000000023>
- [5] Kim, B.J., Lee, K.M., Kim, H.Y., *et al.* (2018) Basilar Artery Plaque and Pontine Infarction Location and Vascular Geometry. *Journal of Stroke*, **20**, 92-98. <https://doi.org/10.5853/jos.2017.00829>
- [6] Xu, L., Wang, R., Liu, H., *et al.* (2020) Comparison of the Diagnostic Performances of Ultrasound, High-Resolution Magnetic Resonance Imaging, and Positron Emission Tomography/Computed Tomography in a Rabbit Carotid Vulnerable Plaque Atherosclerosis Model. *Journal of Ultrasound in Medicine*, **39**, 2201-2209. <https://doi.org/10.1002/jum.15331>
- [7] Yu, J., Zhang, S., Li, M.L., *et al.* (2018) Relationship between the Geometry Patterns of Vertebrobasilar Artery and Atherosclerosis. *BMC Neurology*, **18**, 83. <https://doi.org/10.1186/s12883-018-1084-6>
- [8] Adamde Havenon, A., Mossa-Basha, M., Shah, L., *et al.* (2017) High-Resolution Vessel Wall MRI for the Evaluation of Intracranial Atherosclerotic Disease. *Neuroradiology*, **59**, 1193-1202. <https://doi.org/10.1007/s00234-017-1925-9>
- [9] Yang, H., Ji, C., Wang, H., *et al.* (2021) Characterisation of Symptomatic Intracranial Plaque without Substantial Stenosis Using High-Resolution Vessel Wall MRI. *Clinical Radiology*, **76**, 392.e21-392.e26. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2021.01.008>
- [10] Li, Y., Chen, F., Yang, B., *et al.* (2022) Effect of Mid-Basilar Artery Angle and Plaque Characteristics on Pontine Infarction in Patients with Basilar Artery Plaque. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, **30**, 182-191. <https://doi.org/10.5551/jat.63520>
- [11] Chen, Z., Liu, A.F., Chen, H., *et al.* (2016) Evaluation of Basilar Artery Atherosclerotic Plaque Distribution by 3D MR Vessel Wall Imaging. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, **44**, 1592-1599. <https://doi.org/10.1002/jmri.25296>
- [12] Kim, B.J., Kim, H.Y., Jho, W., *et al.* (2019) Asymptomatic Basilar Artery Plaque Distribution and Vascular Geometry. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, **26**, 1007-1014. <https://doi.org/10.5551/jat.47365>
- [13] 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>
- [14] Qiao, Y., Anwar, Z., Intrapromkul, J., *et al.* (2016) Patterns and Implications of Intracranial Arterial Remodeling in Stroke Patients. *Stroke*, **47**, 434-440. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.115.009955>
- [15] Wang, M., Wu, F., Yang, Y., *et al.* (2018) Quantitative Assessment of Symptomatic Intracranial Atherosclerosis and Lenticulostriate Arteries in Recent Stroke Patients Using Whole-Brain High-Resolution Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*, **20**, 35. <https://doi.org/10.1186/s12968-018-0465-8>
- [16] 严雪娇, 高洁, 张东升, 张小玲, 汤敏. 症状性基底动脉粥样硬化病人斑块特征与血管几何形态的 HR-MRI 研究 [J]. 国际医学放射学杂志, 2021, 44(1): 6-12. <https://doi.org/10.19300/j.2021.L18125>
- [17] Yang, D., Liu, Y., Han, Y., *et al.* (2020) Signal of Carotid Intraplaque Hemorrhage on MR T1-Weighted Imaging: Association with Acute Cerebral Infarct. *American Journal of Neuroradiology*, **41**, 836-843. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A6498>
- [18] Alexander, M.D., Yuan, C., Rutman, A., *et al.* (2016) High-Resolution Intracranial Vessel Wall Imaging: Imaging beyond the Lumen. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, **87**, 589-597. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2015-312020>
- [19] Zhu, C., Tian, X., Degnan, A.J., *et al.* (2018) Clinical Significance of Intraplaque Hemorrhage in Low- and High-Grade Basilar Artery Stenosis on High-Resolution MRI. *American Journal of Neuroradiology*, **39**, 1286-1292. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5676>
- [20] Yang, W.J., Wong, K.S. and Chen, X.Y. (2017) Intracranial Atherosclerosis: From Microscopy to High-Resolution Magnetic Resonance Imaging. *Journal of Stroke*, **19**, 249-260. <https://doi.org/10.5853/jos.2016.01956>
- [21] Yu, J.H., Kwak, H.S., Chung, G.H., *et al.* (2015) Association of Intraplaque Hemorrhage and Acute Infarction in Patients with Basilar Artery Plaque. *Stroke*, **46**, 2768-2772. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.115.009412>
- [22] Wake-Buck, A.K., Gatenby, J.C. and Gore, J.C. (2012) Hemodynamic Characteristics of the Vertebrobasilar System Analyzed Using MRI-Based Models. *PLOS ONE*, **7**, e51346. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051346>
- [23] Zheng, J., Sun, B., Lin, R., *et al.* (2021) Association between the Vertebrobasilar Artery Geometry and Basilar Artery Plaques Determined by High-Resolution Magnetic Resonance Imaging. *BMC Neuroscience*, **22**, 20. <https://doi.org/10.1186/s12868-021-00624-5>
- [24] Thijs, V., Grittner, U., Fazekas, F., *et al.* (2017) Dolichoectasia and Small Vessel Disease in Young Patients with Transient Ischemic Attack and Stroke. *Stroke*, **48**, 2361-2367. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.117.017406>

- 
- [25] Zhou, L., Yan, Y., Du, H., *et al.* (2020) Plaque Features and Vascular Geometry in Basilar Artery Atherosclerosis. *Medicine (Baltimore)*, **99**, e19742. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000019742>
- [26] 刘昱琳, 刘红军, 李品雄, 朱超, 吴咪咪, 陈明蕾, 叶蕴锐, 刘再毅, 梁长虹. 高分辨率 MRI 分析基底动脉几何形态与其动脉粥样硬化斑块的相关性[J]. 中国医学影像技术, 2022, 38(8): 1145-1150.