



电子、语音版

· 论 著 ·

## 平扫及增强高分辨磁共振管壁成像评估 基底动脉粥样硬化性狭窄

朱先进<sup>1</sup>, 姜彬<sup>1</sup>, 刘奇<sup>1</sup>, 艾泉山<sup>1</sup>, 张拥波<sup>1</sup>, 刘尊敬<sup>2</sup>

1. 首都医科大学附属北京友谊医院神经内科, 北京 100050

2. 北京大学人民医院神经内科, 北京 100044

**摘要:**目的 使用高分辨磁共振管壁成像(HRMR-VWI)研究基底动脉粥样硬化性狭窄的管壁特点。方法 回顾性分析2020年9月至2022年12月首都医科大学附属北京友谊医院的HRMR-VWI数据库里30例基底动脉中重度狭窄(50%~99%)患者的临床资料,包括T1平扫及T1增强HRMR-VWI图像。测量最窄层面及参考层面的血管面积(VA)、最窄层面最大管壁厚度(WT)及最小WT。计算血管病变的重构指数,并评估斑块的强化程度及斑块位置。对比症状性狭窄与无症状性狭窄患者在这些指标上的差异。结果 最终27例患者纳入分析,其中症状性狭窄患者20例、无症状性狭窄患者7例。27例患者的重构指数为 $1.2\pm0.3$ ,偏心指数为 $0.6\pm0.2$ ,有17例患者可见斑块明显强化。症状性狭窄患者与无症状性狭窄患者相比,最窄层面VA、最窄层面的最大WT、参考层面最大WT、最窄层面的重构指数更大,正性重构的比例更高,差异均具有统计学意义( $P<0.05$ )。症状性狭窄患者与无症状性狭窄患者最窄层面的最小WT、参考层面VA、偏心指数等比较差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。2组患者的斑块位置分布比较差异无统计学意义( $P>0.05$ );增强后图像显示,2组患者斑块明显强化的比例差异无统计学意义( $P>0.05$ )。结论 与无症状性狭窄患者相比,症状性基底动脉狭窄患者的最窄层面VA、最窄层面的最大WT、参考层面最大WT、重构指数均更大,存在正性重构的比例更高。这些发现对评估基底动脉狭窄患者的卒中风险具有重要的意义。

[国际神经病学神经外科学杂志, 2024, 51(3): 13-17]

**关键词:** 动脉粥样硬化; 基底动脉; 斑块; 高分辨磁共振管壁成像

中图分类号: R743.1

DOI: 10.16636/j.cnki.jinn.1673-2642.2024.03.002

## Pre- and post- contrast high-resolution magnetic resonance vessel wall imaging for assessing atherosclerotic stenosis of the basilar artery

ZHU Xianjin<sup>1</sup>, JIANG Bin<sup>1</sup>, LIU Qi<sup>1</sup>, AI Quanshan<sup>1</sup>, ZHANG Yongbo<sup>1</sup>, LIU Zunjing<sup>2</sup>

1. Department of Neurology, Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China

2. Department of Neurology, Peking University People's Hospital, Beijing 100044, China

Corresponding author: ZHU Xianjin, Email: xianjinzhu@ccmu.edu.cn

**Abstract:** **Objective** To investigate the features of vessel wall in atherosclerotic stenosis of the basilar artery using high-resolution magnetic resonance vessel wall imaging (HRMR-VWI). **Methods** A retrospective analysis was performed for the clinical data of 30 patients with moderate or severe (50%-99%) atherosclerotic stenosis of the basilar artery who were included in the HRMR-VWI database of Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University, from September 2020 to December 2022, including pre- and post-contrast T1-weighted HRMR-VWI images. Vessel area (VA), maximal wall thickness (WT), and minimal WT were measured at the maximal lumen narrowing (MLN) sites and the reference sites. Remodeling index (RI) and eccentric index (EI) were calculated for vessel lesions, and plaque enhancement and position were assessed. The above indicators were compared between the patients with symptomatic stenosis and those with

基金项目:首都医科大学培育基金(自然类)课题资助(PYZ23070)。

收稿日期:2024-01-06;修回日期:2024-05-10

作者简介:朱先进(1979—),男,博士,副主任医师,主要从事脑血管病的诊治及研究工作。Email:xianjinzhu@ccmu.edu.cn。

asymptomatic stenosis. Plaque distribution at MLN site and enhancement characteristics was assessed. **Results** A total of 27 patients were finally included for analysis, among whom there were 20 patients with symptomatic stenosis and 7 with asymptomatic stenosis. The 27 patients had an RI of  $1.2 \pm 0.3$  and an EI of  $0.6 \pm 0.2$ , and significant enhancement of plaques was observed in 17 patients. Compared with the patients with asymptomatic stenosis, the patients with symptomatic stenosis had significantly higher VA, maximal WT, and RI at the MLN sites, significantly higher maximal WT at the reference sites, and a significantly higher proportion of patients with positive remodeling ( $P < 0.05$ ); however, there were no significant differences between the two groups in minimal WT and EI at MLN sites and VA at the reference sites ( $P > 0.05$ ). There was no significant difference in the distribution of plaques between the two groups ( $P > 0.05$ ), and post-enhancement images showed no significant difference in the proportion of patients with significant plaque enhancement between the two groups ( $P > 0.05$ ). **Conclusions** Compared with the patients with asymptomatic stenosis, the patients with symptomatic stenosis tend to have higher VA, maximal WT and RI at MLN sites, higher maximal WT at reference sites, and a higher proportion of patients with positive remodeling. These results have an important significance in assessing the risk of stroke in patients with basilar artery stenosis. [Journal of International Neurology and Neurosurgery, 2024, 51(3): 13–17]

**Keywords:** atherosclerosis; basilar artery; plaque; high-resolution magnetic resonance vessel wall imaging

中国人颅内动脉粥样硬化性狭窄的发生率高<sup>[1]</sup>,是导致脑梗死最主要的原因之一。基底动脉是脑干的主要供血动脉,并且富含穿支及边支动脉。基底动脉狭窄可以导致后循环缺血甚至脑梗死<sup>[2]</sup>。基底动脉狭窄导致脑梗死的病因机制,除了与血管的狭窄程度有关外,与斑块的稳定性也密切相关<sup>[3]</sup>。由于基底动脉直径较小,位置深入颅内,传统的成像方法,如磁共振血管成像(MR angiography, MRA)、计算机断层扫描血管成像(CT angiography, CTA)及数字减影血管造影(digital subtract angiography, DSA)可以显示血管狭窄程度,但是不能提供高质量的管壁成像,无法评估基底动脉斑块的特点。高分辨磁共振管壁成像(high resolution magnetic resonance imaging, HRMR-VWI)可以评估动脉斑块的特点<sup>[3-10]</sup>,使用最新的三维容积扫描及后处理重建技术,可以更好地评估基底动脉狭窄。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

回顾性分析首都医科大学附属北京友谊医院2020年9月至2022年12月完成的HRMR-VWI数据库中基底动脉粥样硬化狭窄患者的临床资料。记录患者的基线资料及相关危险因素,包括高血压、糖尿病、脂代谢紊乱、吸烟等。

纳入标准:①HRMR-VWI图像数据库中同时包含T1平扫及T1增强HRMR-VWI图像;②CTA或MRA提示基底动脉中重度狭窄(50%~99%);③2种及以上动脉粥样硬化危险因素,包括年龄 $\geq 60$ 岁、高血压、糖尿病、高脂血症、冠心病、吸烟(目前吸烟或既往吸烟但戒烟未滿3年)等。

排除标准:①图像质量差或部分图像缺失,影响评估;②病因怀疑为血管炎、动脉夹层或心源性栓塞等非动

脉粥样硬化;③无动脉粥样硬化危险因素。

分组:①症状性狭窄组(3个月内出现基底动脉供血区内的缺血症状或短暂性脑缺血发作,并在DWI序列上存在对应的高信号改变);②无症状性狭窄组(3个月内无基底动脉供血区内脑缺血症状发作、MRI平扫无阳性病变)

### 1.2 研究方法

1.2.1 HRMR-VWI检查 使用3.0 T超导磁共振扫描仪进行扫描,首先进行MRA检查,获得定位图像。制订扫描计划时,以病变最窄处为中心,进行三维容积扫描。HRMR-VWI成像序列包括:T1平扫及T1增强扫描,空间分辨率为 $0.6 \text{ mm} \times 0.6 \text{ mm} \times 0.6 \text{ mm}$ 。

1.2.2 图像评估及参数测量 首先进行图像的后处理重建获得冠状位和轴状位重建图像,轴状位图像包括斑块最窄层面及参考层面。

在血管最窄层面及病变参考层面分别手动描出基底动脉的管壁外边界,自动计算出血管面积(vessel area, VA)。参考层面优先选择病变近心端正常层面作为参考层面,如果无适合近心端层面,则选择远心端正常层面作为参考层面。

重构指数=最窄层面VA/参考VA。重构指数 $\geq 1.05$ 为正性重构,RI $< 1.05$ 非正性重构<sup>[10]</sup>。手动测量最窄层面的最大管壁厚度部位(wall thickness, WT)和最小WT,以及参考层面的最大WT。计算斑块的偏心指数(eccentric index, EI)=(最窄层面中最大WT-最小WT)/最窄层面中最大WT<sup>[11]</sup>。

用T1增强后的图像评估斑块的强化程度,如斑块的强化程度与垂体柄的强化程度类似,定义为明显强化<sup>[12]</sup>,否则定义为无明显强化。

在最窄层面轴状位图像中将斑块位置分为4个象限,

分别为腹侧壁、左侧壁、右侧壁和背侧壁<sup>[13]</sup>。如果斑块分布在1个以上的象限,将根据最大WT所在象限定义为斑块所在象限。

### 1.3 统计学方法

所有数据均采用SPSS 20.0软件包进行统计学处理。计量资料以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,2组间比较采用成组 $t$ 检验。计数资料以例数和百分率[ $n(\%)$ ]表示,2组间比较采用Fisher确切概率法。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。图像测量者与数据统计及临床资料采集人员均保持盲法。

## 2 结果

### 2.1 基本临床资料

共入组30例基底动脉中重度狭窄患者,其中3例,因图像缺失或图像不清楚无法分析图像被排除,最终共27例患者的图像及数据纳入分析。27例患者中,男性19例,女性8例;平均年龄( $62.7 \pm 8.4$ )岁;高血压23例(85.2%),糖尿病15例(55.6%),高脂血症22例(81.5%),冠心病6例(22.2%),吸烟11例(40.7%)。20例(74.1%)存在后循环急性脑梗死,为症状性狭窄。症状性狭窄患者与无症状性狭窄患者相比较,在年龄、性别及动脉硬化危险因素方面差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。见表1。

表1 症状性狭窄患者与非症状性狭窄患者的临床资料对比

指标	症状性狭窄组 ( $n=20$ )	非症状性狭窄 组( $n=7$ )	$t$ 值	$P$ 值
年龄/岁; $(\bar{x} \pm s)$	62.4±8.8	63.7±7.8	-0.348	0.730
男性[ $n(\%)$ ]	14(70.0)	5(71.4)	-	1.000
高血压[ $n(\%)$ ]	17(85.0)	6(85.7)	-	1.000
高脂血症[ $n(\%)$ ]	15(75.0)	7(100)	-	0.283
糖尿病[ $n(\%)$ ]	10(50.0)	5(71.4)	-	0.408
冠心病[ $n(\%)$ ]	4(20.0)	2(28.6)	-	0.633
吸烟[ $n(\%)$ ]	8(40.0)	3(42.9)	-	1.000

### 2.2 HRMR-VWI的参数

27例患者中,最窄层面VA为( $27.2 \pm 9.2$ )mm<sup>2</sup>,最窄层面最大WT为( $3.3 \pm 0.9$ )mm,最窄层面最小WT为( $1.2 \pm 0.5$ )mm。参考层面VA为( $24.4 \pm 8.9$ )mm<sup>2</sup>,参考层面的最大WT为( $1.6 \pm 0.5$ )mm。斑块的重构指数为( $1.2 \pm 0.3$ ),偏心指数为 $0.6 \pm 0.2$ 。正性重构17例(63.0%),非正性重构10例(37.0%)。

斑块累及区域广泛,所有斑块均累及2个及2个以上象限,在最窄层面横断面图像中,最大WT累及区域分别为腹侧壁(8/27,29.6%)、左侧壁(6/27,22.2%)、右侧壁(6/27,22.2%)及背侧壁(7/27,25.9%)。在增强的图像中,17例(63.0%)可见斑块明显强化。见图1。

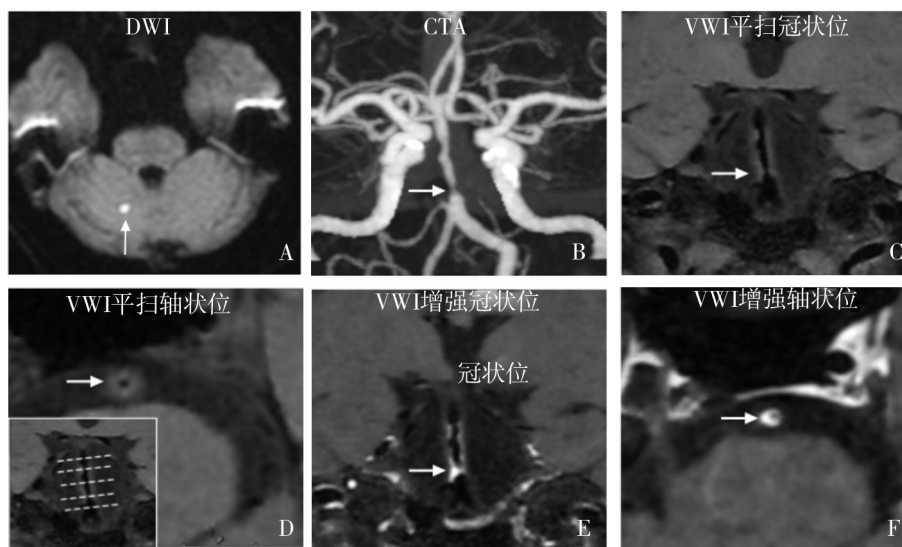


图1 症状性基底动脉重度狭窄患者的典型图像  
A:DWI序列可见右侧小脑急性脑梗死(白色箭头);B:CTA可见基底动脉弥漫性粥样硬化,管腔重度狭窄(白色箭头);C:T1平扫HRMR-VWI冠状位图像可见沿基底动脉弥漫分布的斑块(白色箭头);D:T1平扫HRMR-VWI轴状位图像可见斑块累及多个象限(白色箭头);E:T1增强HRMR-VWI冠状位图像可见斑块弥漫不均匀强化,近端重度狭窄处强化最明显(白色箭头);F:T1增强HRMR-VWI轴状位图像可见斑块呈明显偏心强化(白色箭头)。

图1 症状性基底动脉重度狭窄患者的典型图像

### 2.3 2组患者的管壁特点比较

与无症状性狭窄患者相比,症状性狭窄患者的最窄层面VA、最窄层面的最大WT、参考层面最大WT、最窄层面的重构指数更大,正性重构的比例更高,差异均具有统

计学意义( $P < 0.05$ )。2组最窄层面的最小WT、参考层面VA、偏心指数等比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。2组斑块位置分布和明显强化的比例比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。见表2。



表2 2组患者的管壁特点对比

指标	症状性狭窄组(n=20)	非症状性狭窄组(n=7)	t值	P值
最窄层面血管面积/mm <sup>2</sup> ; $(\bar{x}\pm s)$	29.6±9.4	20.4±4.4	3.445	0.002
最窄层面最大管壁厚度/mm; $(\bar{x}\pm s)$	3.5±0.9	2.8±0.3	2.920	0.007
最窄层面最小管壁厚度/mm; $(\bar{x}\pm s)$	1.3±0.5	1.0±0.3	1.160	0.257
参考层面血管面积/mm <sup>2</sup> ; $(\bar{x}\pm s)$	24.7±10.1	23.9±4.6	0.199	0.844
参考层面最大管壁厚度/mm; $(\bar{x}\pm s)$	1.7±0.5	1.3±0.2	2.964	0.007
重构指数 $(\bar{x}\pm s)$	1.3±0.3	0.9±0.1	3.858	0.001
正性重构[n(%)]	16(80.0)	1(14.3)	—	0.004
偏心指数 $(\bar{x}\pm s)$	0.6±0.2	0.6±0.1	-0.034	0.973
明显强化[n(%)]	14(70.0)	3(42.9)	—	0.365
斑块位置[n(%)]			—	0.675
腹侧壁	5(25.0)	3(42.8)		
左侧壁	5(25.0)	1(14.3)		
右侧壁	4(20.0)	2(28.6)		
背侧壁	6(30.0)	1(14.3)		

3 讨论

本研究显示,HRMR-VWI能够清晰显示基底动脉的斑块特点,包括管壁形态、斑块大小、斑块位置及强化程度等,加上后处理重建技术的使用,更加适合迂曲的颅内动脉,在显示基底动脉粥样硬化斑块方面具有明显优势。

血管重构现象广泛存在于冠状动脉及脑动脉的粥样硬化进程中,目前认为这是一种适应性变化,可分为:向外扩张的正性重构和向内收缩的负性重构<sup>[14]</sup>。有研究显示,血管的重构方式与斑块的稳定性密切相关<sup>[14]</sup>。本团队先前的研究提示,大脑中动脉及基底动脉均存在与冠状动脉类似的重构现象<sup>[11,15]</sup>。本研究显示,症状性狭窄患者中,病变的重构指数更大,更多的患者表现为正性重构,再次提示了重构模式与斑块稳定性的关系,使用HRMR-VWI对基底动脉狭窄的重构模式进行评价,对于指导病变的危险分层,并制定个性化治疗方案具有重要意义。

斑块的稳定性与斑块大小相关<sup>[10]</sup>。本研究发现,症状性狭窄患者中,最窄层面的血管面积更大,管壁的厚度也更厚,考虑斑块的稳定性可能与斑块负荷有关。此外,在症状性狭窄患者中,除了最窄层面外,参考层面的管壁厚度也更大,说明症状性狭窄患者的斑块可能更加趋向于弥漫性分布。

有研究显示,偏心性斑块与急性冠脉综合征密切相关<sup>[16]</sup>。明显偏心的冠状动脉斑块被认为是易损性斑块,考虑可能与血流动力学中的剪切力等因素相关,血流动力学变化容易导致血小板激活及斑块破裂。但是在脑动脉的研究中,偏心分布与斑块稳定性的关系尚无定论。本研究显示,症状性狭窄与无症状性狭窄的偏心指数类似,可能与本研究的病例较少有关。

斑块是否强化是斑块稳定性的指征之一<sup>[12]</sup>。斑块强化表明,斑块中存在新生血管和内皮通透性增加,是斑块

存在炎症的标志。本研究中,症状性基底动脉狭窄患者,明显强化的比例更高,但是差异没有达到统计学意义,考虑可能与样本量较小有关。

斑块位置和分布特点也是影响患者临床表现的重要因素。本研究显示,斑块分布往往较广泛,在最窄层面轴状位图像中,斑块往往累及多个象限,并且多数斑块累及基底动脉的侧壁和背侧壁,即基底动脉的穿支血管经常发出的部位<sup>[17]</sup>,因此,斑块位置与穿支动脉开口的关系可能是导致穿支卒中发生的重要因素之一。

本研究存在一些不足:第一,样本量较少,需要更大的样本量去证实本研究的结果。第二,目前的图像数据的测量仍基于人工手动方法测量,不同的测量者可能会存在差异,未来人工智能的发展及斑块影像组学的应用<sup>[18]</sup>,将有助于提高效率和测量的准确度。

总之,本研究显示,HRMR-VWI可以清晰显示基底动脉粥样硬化性狭窄的管壁特点,有助于评估病变的重构模式、强化特点、偏心分布及斑块的位置特点。与无症状性狭窄患者相比,症状性狭窄患者的最窄层面VA、最窄层面的最大WT、最窄层面的重构指数、参考层面最大WT更大,正性重构的比例更高。这些发现对于基底动脉狭窄的风险评估及危险分层具有重要的意义。

参 考 文 献

[1]

中国卒中学会神经介入分会. 症状性颅内动脉粥样硬化性狭窄血管内治疗中国专家共识2022[J]. 中国卒中杂志, 2022, 17(8): 863-888.

[2]

瞿琳娣,张辉,汪凯,等. 双侧椎动脉/基底动脉重度狭窄或闭塞的急性后循环梗死患者临床特点及预后分析[J]. 国际神经病学神经外科学杂志, 2018, 45(2): 110-114.

[3]

SONG JW, PAVLOU A, XIAO JY, et al. Vessel wall magnetic resonance imaging biomarkers of symptomatic intracranial atherosclerosis: a meta-analysis[J]. Stroke, 2021, 52(1): 193-202.

- [4] 刘娜,赵建华,鲍婕妤,等. 大脑中动脉粥样硬化斑块的特征及意义[J]. 国际神经病学神经外科学杂志, 2022, 49(2): 6-10.
- [5] HUANG J, JIAO S, CHEN YH, et al. Efficacy of medical treatment and balloon angioplasty for severe intracranial atherosclerosis: a high-resolution MR vessel wall imaging[J]. Eur Radiol, 2023, 33(4): 2478-2488.
- [6] LU MM, ZHANG HT, LIU ST, et al. Long-term outcomes of moyamoya disease versus atherosclerosis-associated moyamoya vasculopathy using high-resolution MR vessel wall imaging[J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 2023, 94(7): 567-574.
- [7] FAKIH R, ROA JA, BATHLA G, et al. Detection and quantification of symptomatic atherosclerotic plaques with high-resolution imaging in cryptogenic stroke[J]. Stroke, 2020, 51(12): 3623-3631.
- [8] KIM HJ, CHOI EH, CHUNG JW, et al. Luminal and wall changes in intracranial arterial lesions for predicting stroke occurrence[J]. Stroke, 2020, 51(8): 2495-2504.
- [9] SHI Z, LI J, ZHAO M, et al. Quantitative histogram analysis on intracranial atherosclerotic plaques: a high-resolution magnetic resonance imaging study[J]. Stroke, 2020, 51(7): 2161-2169.
- [10] SHI Z, LI J, ZHAO M, et al. Progression of plaque burden of intracranial atherosclerotic plaque predicts recurrent stroke/transient ischemic attack: a pilot follow-up study using higher-resolution MRI[J]. J Magn Reson Imaging, 2021, 54(2): 560-570.
- [11] ZHU XJ, DU B, LOU X, et al. Morphologic characteristics of atherosclerotic middle cerebral arteries on 3T high-resolution MRI[J]. Am J Neuroradiol, 2013, 34(9): 1717-1722.
- [12] SONG XW, ZHAO XH, LIEBESKIND DS, et al. Incremental value of plaque enhancement in predicting stroke recurrence in symptomatic intracranial atherosclerosis[J]. Neuroradiology, 2020, 62(9): 1123-1131.
- [13] LUO J, BAI X, HUANG K, et al. Clinical relevance of plaque distribution for basilar artery stenosis[J]. Am J Neuroradiol, 2023, 44(5): 530-535.
- [14] VARNAVA AM, MILLS PG, DAVIES MJ. Relationship between coronary artery remodeling and plaque vulnerability[J]. Circulation, 2002, 105(8): 939-943.
- [15] GUO RC, ZHANG XB, ZHU XJ, et al. Morphologic characteristics of severe basilar artery atherosclerotic stenosis on 3D high-resolution MRI[J]. BMC Neurol, 2018, 18(1): 206.
- [16] YAMAGISHI M, TERASHIMA M, AWANO K, et al. Morphology of vulnerable coronary plaque: insights from follow-up of patients examined by intravascular ultrasound before an acute coronary syndrome[J]. J Am Coll Cardiol, 2000, 35(1): 106-111.
- [17] CHEN ZS, LIU AF, CHEN HJ, et al. Evaluation of basilar artery atherosclerotic plaque distribution by 3D MR vessel wall imaging[J]. J Magn Reson Imaging, 2016, 44(6): 1592-1599.
- [18] SHI Z, ZHU CC, DEGNAN AJ, et al. Identification of high-risk plaque features in intracranial atherosclerosis: initial experience using a radiomic approach[J]. Eur Radiol, 2018, 28(9): 3912-3921.

责任编辑:龚学民