

## • 神经介入 Neurointervention •

## 高分辨率磁共振血管壁成像评估大脑中动脉狭窄斑块特征与支架内再狭窄的相关性

龚宇, 于森, 田甜, 张继伟, 胡军, 崔志新, 白雪东, 韩凤伟,  
褚会松, 王占森, 呼铁民

**【摘要】目的** 采用高分辨率磁共振血管壁成像评估大脑中动脉狭窄患者斑块特征与支架术后再狭窄的关系。**方法** 纳入 2019 年 1 月至 2023 年 3 月就诊于承德医学院附属医院的有症状动脉粥样硬化性大脑中动脉狭窄患者 66 例。均在支架植入术前完成高分辨率磁共振血管壁成像检查。依据术后影像学随访分为支架内再狭窄组与支架内未狭窄组。比较两组术前影像学评估斑块特征。**结果** 支架内再狭窄组 14 例, 支架内未狭窄组 52 例。斑块分布多位于下侧壁(37.8%)和腹侧壁(28.7%), 两组差异无统计学意义( $P>0.05$ )。相较于支架内未狭窄组, 支架内再狭窄组负性重构(64.2%比 28.8%)更高, 差异有统计学意义( $\chi^2=6.026, P=0.049$ ); 支架内再狭窄组斑块负荷  $79.09 \pm 8.82$ , 支架内未狭窄组为  $69.46 \pm 10.49$ , 差异有统计学意义( $t=3.143, P=0.003$ ); 支架内再狭窄组同型半胱氨酸偏高为  $(16.02 \pm 4.24)$  mol/L, 支架内未狭窄组为  $(12.05 \pm 3.34)$  mol/L, 差异有统计学意义( $t=3.717, P<0.001$ )。支架内再狭窄组中明显强化斑块更多(78.5%比 42.3%), 差异有统计学意义( $\chi^2=6.311, P=0.043$ )。多因素 logistic 回归分析显示, 斑块负荷( $OR=1.225, 95\%CI: 1.040 \sim 1.443, P=0.015$ )与同型半胱氨酸( $OR=1.676, 95\%CI: 1.150 \sim 2.442, P=0.007$ )是支架内再狭窄的独立危险因素。ROC 曲线分析显示, 斑块负荷预测支架内再狭窄的  $AUC=0.765, 95\%CI: 0.622 \sim 0.908, P=0.002$ , 特异度 0.731, 灵敏度 0.714; 同型半胱氨酸  $AUC=0.767, 95\%CI: 0.623 \sim 0.911, P=0.002$ , 特异度 0.942, 灵敏度 0.500; 两者联合的预测效能最佳,  $AUC=0.887, 95\%CI: 0.794 \sim 0.981, P<0.001$ , 特异度 0.904, 灵敏度 0.714。**结论** 斑块负荷和同型半胱氨酸预测支架内再狭窄具有较高的特异度与灵敏度。

**【关键词】** 高分辨率磁共振血管壁成像; 大脑中动脉狭窄; 动脉粥样硬化斑块; 支架内再狭窄

中图分类号: R651 文献标志码: A 文章编号: 1008-794X(2024)-12-1282-06

High-resolution magnetic resonance angiography for assessing the correlation between plaque characteristics of middle cerebral artery stenosis and in-stent restenosis GONG Yu, YU Miao, TIAN Tian, ZHANG Jiwei, HU Jun, CUI Zhixin, BAI Xuedong, HAN Fengwei, CHU Huisong, WANG Zhansen, HU Tiemin. Department of Neurosurgery, Affiliated Hospital of Chengde Medical College, Chengde, Hebei Province 067000, China

Corresponding author: HU Tiemin, E-mail: 13831482380@163.com

**【Abstract】Objective** By using high-resolution magnetic resonance angiography to display the vascular wall imaging so as to evaluate the relationship between plaque characteristics and postoperative in-stent restenosis (ISR) in patients with middle cerebral artery stenosis. **Methods** A total of 66 patients with symptomatic atherosclerotic middle cerebral artery stenosis, who were admitted to the Affiliated Hospital of Chengde Medical College of China from January 2019 to March 2023, were enrolled in this study. Before stent implantation, all the 66 patients completed high-resolution magnetic resonance

DOI: 10.3969/j.issn.1008-794X.2024.12.003

基金项目: 河北省政府资助临床医学优秀人才培养项目(ZF2024235); 承德市科学技术研究与发展计划项目(202006A086)

作者单位: 067000 河北承德 承德医学院附属医院神经外科(龚宇、于森、田甜、张继伟、胡军、韩凤伟、褚会松、王占森、呼铁民), 放射科(崔志新、白雪东)

通信作者: 呼铁民 E-mail: 13831482380@163.com

angiography. According to the postoperative imaging follow-up results, the patients were divided into ISR group and non-ISR group. The preoperative plaque characteristics, which were assessed by high-resolution magnetic resonance imaging, were compared between the two groups. **Results** ISR group had 14 patients and non-ISR group had 52 patients. Most of the plaques were located in the inferior lateral wall (37.8%) and the ventral lateral wall (28.7%), in which no statistically significant difference existed between the two groups ( $P > 0.05$ ). Compared with non-ISR group, in ISR group the negative remodeling degree was obviously higher and the difference between the two groups was statistically significant ( $\chi^2 = 6.026, P = 0.049$ ). The plaque load in ISR group and non-ISR group was  $79.09 \pm 8.82$  and  $69.46 \pm 10.49$  respectively, and the difference between the two groups was statistically significant ( $t = 3.143, P = 0.003$ ). The homocysteine level in ISR group and non-ISR group was  $(16.02 \pm 4.24)$  mol/L and  $(12.05 \pm 3.34)$  mol/L respectively, and the difference between the two groups was statistically significant ( $t = 3.717, P < 0.001$ ). In ISR group, there were more significantly contrast-enhanced plaques (78.5% vs. 42.3%), with statistically significant difference ( $\chi^2 = 6.311, P = 0.043$ ). Multivariate logistic regression analysis showed that plaque load ( $OR = 1.225, 95\%CI: 1.040-1.443, P = 0.015$ ) and homocysteine level ( $OR = 1.676, 95\%CI: 1.150-2.442, P = 0.007$ ) were the independent risk factors for ISR. ROC curve analysis showed that in predicting ISR, the AUC, specificity and sensitivity of the plaque load were 0.765 ( $95\%CI: 0.622-0.908, P = 0.002$ ), 0.731 and 0.714 respectively, which of the homocysteine level were 0.767 ( $95\%CI: 0.623-0.911, P = 0.002$ ), 0.942 and 0.500 respectively. The combination use of plaque load and homocysteine level could achieve the best predictive effect, its AUC, specificity and sensitivity were 0.887 ( $95\%CI: 0.794-0.981, P < 0.001$ ), 0.904 and 0.714 respectively. **Conclusion** The plaque load assessed by high-resolution magnetic resonance imaging and the homocysteine level have higher specificity and sensitivity in predicting ISR in patients with middle cerebral artery stenosis.

**【Key words】** high-resolution magnetic resonance vascular wall imaging; middle cerebral artery stenosis; atherosclerotic plaque; in-stent restenosis

颅内动脉粥样硬化性狭窄 (intracranial atherosclerotic stenosis, ICAS) 或闭塞是缺血性脑卒中常见的病因之一, 在我国 ICAS 所导致的缺血性脑卒中占全部脑卒中的 33%<sup>[1]</sup>。症状性支架内再狭窄 (in-stent restenosis, ISR) 定义为伴有新发缺血性脑卒中或短暂性脑缺血发作的 ISR, 当药物治疗无效时, 采取支架植入术是有效的治疗方法<sup>[2]</sup>。ISR 是指在支架内或支架两端 5 mm 之内血管狭窄超过 50%, 或在原有血管狭窄的基础上绝对管腔丢失超过 20%, 会导致缺血性脑卒中复发, 影响支架植入的长期疗效<sup>[3-4]</sup>。研究发现, 症状性 ISR 的发生率为 13.8%, 中位时间为 6 个月<sup>[5]</sup>。颅内动脉支架植入术后, 54.5% 的迟发性脑缺血事件发生与 ISR 有关。高分辨率磁共振血管壁成像 (high resolution magnetic resonance vessel wall image, HRMR-VWI) 作为一项无创检查技术, 具有高空间分辨率、高信噪比等优势, 不仅能判断血管狭窄位置及程度, 还能分析斑块特征及稳定性, 可评估颅内动脉粥样硬化性疾病, 有助于筛选从血管内介入治疗中获益的人群<sup>[6]</sup>。

本研究通过 HRMR-VWI 评估动脉粥样硬化

性大脑中动脉狭窄患者的斑块形态特征与 ISR 的相关性, 预测支架植入术后的血管内再狭窄, 制定干预策略、降低脑缺血事件复发风险。

## 1 材料与方法

### 1.1 一般资料

纳入 2019 年 1 月至 2023 年 3 月承德医学院附属医院就诊的有症状动脉粥样硬化性大脑中动脉狭窄患者 66 例, 男性 40 例, 女性 26 例, 年龄 ( $55.7 \pm 12.2$ ) 岁。纳入标准: ①年龄  $\geq 18$  岁; ②术前临床表现为短暂性脑缺血发作或缺血性卒中症状; ③临床基线资料中至少存在 1 种动脉粥样硬化因素; ④具备大脑中动脉支架置入术指征。排除标准: ①非动脉粥样硬化性临床证据 (动脉炎/痉挛等); ②既往大脑中动脉支架置入史; ③图像质量不合格; ④临床资料不完全或失访。本研究经承德医学院附属医院伦理委员会批准 (CYFYLL2021203)。

### 1.2 方法

纳入患者在术后 3、6、12 个月进行可减少金属伪影影响的双能量头颈部 CTA 或 PETRA MRA

影像检查,依据支架内或支架两端 5 mm 内狭窄是否 $>50\%$ 分为 ISR 组和未狭窄组。将两组基线数据进行均衡性分析,比较两组间影像学评估术前斑块特征的差异。

### 1.3 影像评价分析

使用联影 uMR780 3.0 T 超导磁共振扫描仪和 24 通道头颈部联合线圈。检查包括常规头颅 MRI、3D-时间飞跃法磁共振血管造影(3D-TOF MRA)及 HRMR-VWI。扫描序列包括 T1WI、T2W 和 3D-MATRIX T1WI。3D-MATRIX T1WI 扫描参数:重复时间 500 ms,回波时间 9.6 ms,层厚 0.64 mm,视野  $18 \times 18$ ;增强对比剂为钆特酸葡胺(江苏恒瑞医药股份有限公司)。扫描完成后,图像传输至 AW4.7 后处理工作站。2 名高年资影像科医师分别测量血管参数。在血管最大管腔狭窄横截面处选择 4 个象限(腹侧、背侧、上壁和下壁),当偏心斑块时选择斑块最大厚度位于的象限。测量时首先人工确认最狭窄的血管节段,参考血管选择血管狭窄节段近心侧的正常节段,使用处理软件画出最狭窄部位的血管内外壁,测出血管内外壁轮廓下的面积,在血管最狭窄的部位测出内外壁之间的最大、最小厚度,同样方法测量参考血管的内外壁轮廓下面积,取 2 名医师测量参数的平均值。

图像质量评价<sup>[7]</sup>:优为图像无伪影干扰,可以清楚地显示血管壁的边界及信号特征;良为图像有少量的伪影干扰,但血管壁的边界与信号特征可以清楚显示;一般为图像中血管壁的部分边界及信号特征无法辨别;差为图像模糊且存在较多伪影,血管壁边界与信号特征无法辨别。

斑块稳定性评判<sup>[8]</sup>:如果斑块内包括大的脂质核心、斑块内出血、炎性细胞浸润、薄或破裂的纤维帽,为不稳定斑块;稳定斑块内主要是纤维组织和钙沉积。

测量参数<sup>[9]</sup>:斑块负荷 =  $(1 - \text{血管最窄处内壁轮廓下面积} / \text{血管最窄处外壁轮廓下面积}) \times 100\%$ ;狭窄程度 =  $(1 - \text{血管最窄处内壁轮廓下面积} / \text{参考血管内壁轮廓下面积}) \times 100\%$ ,轻度狭窄血管的狭窄率 $<50\%$ ,中度狭窄为  $50\% \sim 69\%$ ,重度狭窄为  $70\% \sim 99\%$ ;重构指数(RI) =  $(\text{血管最窄处的外壁轮廓下面积} / \text{参考血管外壁轮廓下面积}) \times 100\%$ , $RI \geq 1.05$  为正性重构, $RI \leq 0.95$  为负性重构, $0.95 < RI < 1.05$  为无明显重构;偏心指数 =  $(\text{血管最窄处内外壁间最大厚度} - \text{最小厚度}) / \text{最大厚度}$ ,偏心斑块的偏心指数 $\geq 0.5$ ,反之则为同心斑块。

斑块对比增强分级<sup>[10]</sup>:0 级(无强化),强化程度等于或低于参考血管管壁;1 级(轻中度强化),强化程度介于参考血管管壁与垂体柄之间;2 级(明显强化),强化程度高于垂体柄。

### 1.4 统计学方法

采用 SPSS 25.0 统计软件分析数据。正态分布的计量资料以均数 $\pm$ 标准差表示,比较采用独立样本  $t$  检验;计数资料用频数和百分比表示,比较采用  $\chi^2$  检验。二元 logistic 回归分析大脑中动脉支架术后狭窄的影响因素;绘制 ROC 曲线,评估大脑中动脉狭窄斑块特征对于 ISR 的预测价值。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 一般资料比较

66 例患者中,ISR 组 14 例,未再狭窄组 52 例。ISR 组男 8 例,女 6 例,未再狭窄组男 32 例,女 20 例( $\chi^2 = 0.089, P = 0.765$ );年龄分别为( $54.4 \pm 12.3$ )岁、( $56.1 \pm 12.1$ )岁( $t = 0.438, P = 0.228$ );BMI 分别为( $27.64 \pm 4.21$ )  $\text{kg}/\text{m}^2$ 、( $25.57 \pm 3.38$ )  $\text{kg}/\text{m}^2$ ( $t = 1.895, P = 0.063$ );有吸烟史分别为 7 例、22 例( $\chi^2 = 0.265, P = 0.607$ );有高血压病史分别为 11 例、40 例( $\chi^2 = 0.017, P = 0.896$ );有糖尿病病史分别为 2 例、12 例( $\chi^2 = 0.510, P = 0.475$ );合并急性脑梗死分别为 11 例、23 例( $\chi^2 = 5.208, P = 0.022$ );合并高三酰甘油血症分别为 5 例、28 例( $\chi^2 = 1.451, P = 0.228$ );合并高胆固醇血症分别为 13 例、46 例( $\chi^2 = 0.225, P = 0.635$ );同型半胱氨酸分别为( $16.02 \pm 4.24$ )  $\text{mol}/\text{L}$ 、( $12.05 \pm 3.34$ )  $\text{mol}/\text{L}$ ( $t = 3.717, P < 0.001$ )。术中 1 例急性支架内血栓形成,微导管给予替罗非班后血流通畅;术后 2 例造影剂过敏;随访期间缺血性脑卒中或短暂性脑缺血发作 11 例,症状性 ISR 9 例,影像学 ISR 5 例。除同型半胱氨酸与术前急性脑梗死外,两组一般资料比较差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。术前脑血管造影与 HRMR-VWI 测量狭窄程度比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。

### 2.2 斑块分布比较

两组斑块分布多位于下侧壁(37.8%)与腹侧壁(28.7%),差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。两组狭窄程度比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ );相较于未再狭窄组,ISR 组负性重构更高(64.2%比 28.8%),差异有统计学意义( $\chi^2 = 6.026, P = 0.049$ );ISR 组斑块负荷  $79.09 \pm 8.82$ ,高于未再狭

窄组的  $69.46 \pm 10.49$ , 差异有统计学意义 ( $t = 3.143, P = 0.003$ ); ISR 组中明显强化斑块更多 (78.5% 比 42.3%), 差异有统计学意义 ( $\chi^2 = 6.311, P = 0.043$ )。ISR 组不稳定斑块占比高 (85.7% 比 53.8%), 差异有统计学意义 ( $\chi^2 = 4.692, P = 0.030$ )。

1 例 68 岁女性患者因右侧肢体无力 1 个月入院, 行 HRMR-VWI 检查示左侧大脑中动脉 M1 段粥样硬化斑块形成伴强化, 管腔重度狭窄。脑血管造影示左侧大脑中动脉 M1 段重度狭窄, 成功行支架植入术, 造影示狭窄处血流通畅, 术中及术后无新发神经功能缺失表现, 随访诉右侧肢体无力明显好转, 影像学检查未见 ISR。见图 1。

### 2.3 ISR 的独立危险因素

多因素 logistic 回归分析显示, 斑块负荷 ( $OR = 1.225, 95\%CI: 1.040 \sim 1.443, P = 0.015$ ) 与同型半胱氨酸 ( $OR = 1.676, 95\%CI: 1.150 \sim 2.442, P = 0.007$ ) 是 ISR 的独立危险因素。

### 2.4 ISR 的预测效能

ROC 曲线分析显示, 斑块负荷预测 ISR 的  $AUC = 0.765, 95\%CI: 0.622 \sim 0.908, P = 0.002$ , 特异度 0.731, 灵敏度 0.714; 同型半胱氨酸  $AUC = 0.767, 95\%CI: 0.623 \sim 0.911, P = 0.002$ , 特异度 0.942, 灵敏度 0.500; 两者联合的预测效能最佳,  $AUC = 0.887, 95\%CI: 0.794 \sim 0.981, P < 0.001$ , 特异度 0.904, 灵敏度 0.714。

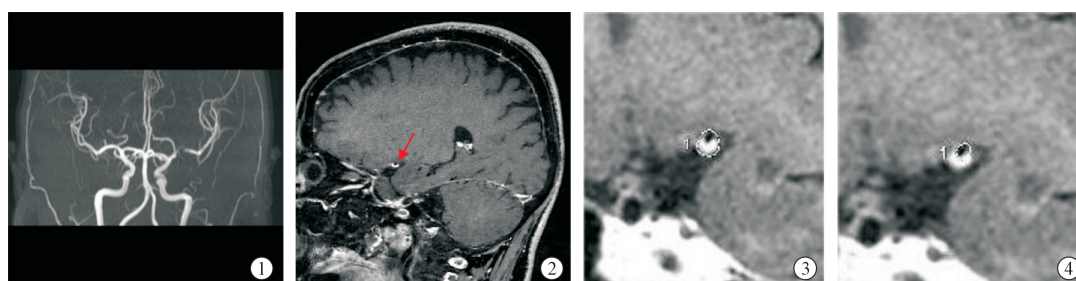
## 3 讨论

相比于欧洲和北美国家, ICAS 引起的缺血性脑卒中在亚洲国家发病率更高<sup>[11]</sup>。支架植入术后 6 个月至 1 年内, ISR 的发生率为 5.7%~35.7%<sup>[12-15]</sup>。一项大样本的荟萃分析发现, 在术后平均 17.8 个月以内, 14.8% 的患者出现 ISR, 有症状 ISR 患者达到 28.8%<sup>[16]</sup>。与 ICAS 卒中复发相关的因素有管腔狭

窄程度、血管壁特征以及血流动力学等<sup>[17]</sup>。因此 ICAS 的筛选和影像学评估越来越被重视。HRMR-VWI 作为新兴影像学技术, 不同于计算机断层扫描血管造影、磁共振血管造影, 不仅可评价管腔狭窄程度, 还可以准确识别斑块分布、结构、性质及稳定性, 如斑块象限分布、管壁重塑模式、偏心指数、强化幅度、斑块负荷、纤维帽破裂、斑块内出血、炎性浸润及侧支循环等。斑块内出血、较大的脂质坏死核心、炎性细胞浸润、较薄的纤维帽等是缺血性脑卒中发生或复发的重要危险因素<sup>[8]</sup>。HRMR-VWI 可显示动脉粥样硬化性狭窄血管节段的斑块形态学特点和相邻穿支血管的情况, 有助于发现病因、制定干预措施、减少缺血性脑卒中复发<sup>[18]</sup>。本研究纳入大脑中动脉粥样硬化性狭窄并行支架植入术患者 66 例, 其中 ISR 占 21.21%, 术后 6 个月发现 ISR 8 例, 可能与术后血管平滑肌细胞迁移并覆盖在支架上的内膜层, 产生细胞外基质有关<sup>[3]</sup>。

本研究中, ISR 组的负性重构、明显强化、斑块负荷、斑块不稳定性及术前脑梗死发生率均高于未再狭窄组。研究表明, 症状性 ICAS 患者的狭窄程度、斑块负荷、负性重构等特征高于无症状患者<sup>[19]</sup>。在颅内动脉支架置入术后, ISR 与斑块在支架植入前 HRMR-VWI 上的同心度和较高的增强率独立相关<sup>[20]</sup>。血管内介入治疗术后发生急性缺血事件的患者存在较大斑块负荷和血管壁正性重构的特点, 考虑为较大的斑块负荷和血管壁正性重构会增加斑块易损性, 斑块的不稳定会增加术后缺血事件发生的概率<sup>[21]</sup>。

斑块负荷影响斑块的易损性, 负荷越重意味着破损的概率越大, 脑梗死风险也越大<sup>[22]</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>[23]</sup>。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



①3D-TOF MRA 示左侧大脑中动脉 M1 段狭窄; ②3D-MATRIX T1 增强矢状位中左侧大脑中动脉最狭窄层面 (红色箭头所指); ③3D-MATRIX T1 增强扫描图像中勾画血管壁轮廓; ④3D-MATRIX T1 增强扫描图像中勾画血管腔轮廓

图 1 左侧大脑中动脉 M1 段重度狭窄患者影像学表现

复发的风险增加 2.26 倍<sup>[17]</sup>。本研究得出,斑块负荷及同型半胱氨酸是 ISR 的独立危险因素,高斑块负荷对于大脑中动脉 ISR 具有预测价值。

正性重构是指血管代偿性向外扩张,负性重构为血管发生向内收缩的改变<sup>[24]</sup>。血管代偿性向外扩张在缓解血管腔狭窄的同时也增加了斑块的易损性<sup>[25]</sup>。正性重构是颅内斑块的一种特异性易损标志,具有不稳定斑块的特点,与脑卒中的发生相关<sup>[26-28]</sup>。可能的原因是正性重构更容易使斑块表面破裂而形成血栓,阻塞小穿支血管,从而引起一系列脑缺血症状<sup>[29]</sup>。本研究中 ISR 组负性重构较支未再狭窄组高,考虑与支架植入过程扩张管壁造成血管内皮损伤及斑块破裂有关。

同型半胱氨酸作为一种人体非必需含硫氨基酸,血液中含有过高会诱发氧化应激,破坏血管舒张功能和血脑屏障,诱发神经毒性等后果<sup>[30-31]</sup>。高同型半胱氨酸血症(Hyperhomocysteinemia, HHcy)是缺血性脑卒中的独立危险因素,且与缺血性脑卒中的不良预后相关<sup>[32-35]</sup>。本研究得出较高的同型半胱氨酸是 ISR 的独立危险因素,同时可预测 ISR 的发生。

本研究的不足之处:①为单中心回顾性研究,病例数有限;②缺乏颅内血管壁组织病理学证据比较;③管腔、管壁勾勒均为手动完成,存在一定误差;④术后随访缺乏高分辨率磁共振血管壁成像评估,无法比较支架植入术前及术后的血管壁及斑块特征。今后应进行前瞻性大样本、多中心研究,优化磁共振序列,减少检查时间。

综上所述,在动脉粥样硬化性大脑中动脉狭窄患者的术前评估中,较高的斑块负荷和同型半胱氨酸与 ISR 独立相关;斑块负荷及同型半胱氨酸预测 ISR 具有较高的特异度与灵敏度;对于斑块负荷较高患者,术中应注意支架释放的位置与时机,术后坚持药物治疗的同时应及早复查 HRMR-VWI,及时发现斑块破裂与进展情况,并给予对症治疗,避免术后 ISR 的发生。HRMR-VWI 可以为颅内动脉狭窄患者的病因鉴别、治疗策略及预后提供更多的参考依据。

#### [参考文献]

- [1] 高 鹏,王志飞. 中国颅内动脉粥样硬化性狭窄介入治疗的现状与未来[J]. 中国脑血管病杂志,2023,20:289-297.
- [2] 张继伟,李 亮,齐宝柱,等. 脑血管侧支循环建立程度预测大脑中动脉狭窄患者支架置入术后转归的价值[J]. 中华老年心脑血管病杂志,2022,24:124-127.
- [3] 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,2021,16:619-624.
- [4] Mehran R, Dangas G, Abizaid AS, et al. Angiographic patterns of in-stent restenosis: classification and implications for long-term outcome[J]. Circulation, 1999, 100: 1872-1878.
- [5] Derdeyn CP, Fiorella D, Lynn MJ, et al. Nonprocedural symptomatic infarction and in-stent restenosis after intracranial angioplasty and stenting in the SAMMPRIS trial (stenting and aggressive medical management for the prevention of recurrent stroke in intracranial stenosis) [J]. Stroke, 2017, 48: 1501-1506.
- [6] 王泽华,高 阳. 磁共振高分辨力血管壁成像在缺血性脑卒中的研究进展[J]. 磁共振成像,2023,14:156-160,165.
- [7] 张雨晴,金海洋,李 奎. 探讨能谱计算机断层(CT)联合磁共振(MR)高分辨率管壁成像(HR-VWI)对颈动脉斑块成分的评估价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志,2023,21:55-57.
- [8] 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,2017,12:473-476.
- [9] 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,2020,39:2152-2155.
- [10] 李亚楠,石 莹,吴海珊,等. 对比增强高分辨率血管壁成像评估不同钆基对比剂对颅内斑块强化效果的差异[J]. 磁共振成像,2023,14:79-84.
- [11] Wang CX, Cironi K, Mathkour M, et al. Anatomical study of the posterior spinal artery branches to the medulla oblongata [J]. World Neurosurg, 2021, 149: e1098-e1104.
- [12] 赵新宇,朱良付. 颅内动脉粥样硬化性狭窄血管内支架成形术后支架再狭窄相关危险因素的研究进展[J]. 介入放射学杂志,2023,32:1150-1155.
- [13] Alurkar A, Karanam LSP, Oak S, et al. Role of balloon-expandable stents in intracranial atherosclerotic disease in a series of 182 patients[J]. Stroke, 2013, 44: 2000-2003.
- [14] Shin YS, Kim BM, Suh SH, et al. Wingspan stenting for intracranial atherosclerotic stenosis: clinical outcomes and risk factors for in-stent restenosis[J]. Neurosurgery, 2013, 72: 596-604.
- [15] 马敏敏,殷勤,徐格林,等. Wingspan 支架治疗症状性颅内动脉狭窄术后再狭窄的相关因素分析[J]. 中华医学杂志,2011,91:1303-1307.
- [16] 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.
- [17] Ran Y, Wang Y, Zhu M, 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.
- [18] 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,2021,18:575-584.
- [19] Lin GH, Song JX, Fu NX, et al. Quantitative and qualitative analysis of atherosclerotic stenosis in the middle cerebral

- artery using high-resolution magnetic resonance imaging[J]. Can Assoc Radiol J, 2021, 72: 783-788.
- [20] Tian B, Zhu C, Tian X, 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.
- [21] Luo J, Li L, Wang T, 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.
- [22] 任 婷. 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: 3659-3662.
- [23] 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: 2206-2214.
- [24] 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: 193-202.
- [25] 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: 136-139.
- [26] Zhang DF, Wu XY, Zhang WD, et al. The relationship between patterns of remodeling and degree of enhancement in patients with atherosclerotic middle cerebral artery stenosis: a high-resolution MRI study[J]. Neurol India, 2021, 69: 1663-1669.
- [27] Won SY, Cha J, Choi HS, et al. High-resolution intracranial vessel wall MRI findings among different middle cerebral artery territory infarction types[J]. Korean J Radiol, 2022, 23: 333-342.
- [28] 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: 711-714.
- [29] Zhao J, Lu Y, Cui J, et al. Characteristics of symptomatic plaque on high-resolution magnetic resonance imaging and its relationship with the occurrence and recurrence of ischemic stroke[J]. Neurol Sci, 2021, 42: 3605-3613.
- [30] Hu F, Yu S, Li J, et al. Association between hyperhomocysteinemia combined with metabolic syndrome and higher prevalence of stroke in Chinese adults who have elevated blood pressure[J]. Med Sci Monit, 2022, 28: e934100.
- [31] Ranjana P. Hyperhomocysteinemia is an emerging comorbidity in ischemic stroke[J]. Exp Neurol, 2021, 336: 113541.
- [32] 邱梓峰, 卢宇轩, 孙永安, 等. 高同型半胱氨酸血症对缺血性脑卒中影响的研究进展[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2023, 25: 879-881.
- [33] Huang S, Cai J, Tian Y. The prognostic value of homocysteine in acute ischemic stroke patients: a systematic review and meta-analysis[J]. Front Syst Neurosci, 2020, 14: 600582.
- [34] Wang X, Cao Q, Lai Y, et al. Association between plasma total homocysteine levels and risk of early hemorrhagic transformation in patients with acute ischemic stroke: a hospital-based study[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2021, 30: 105538.
- [35] Kim KY, Shin KY, Chang KA. Potential biomarkers for post-stroke cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis[J]. Int J Mol Sci, 2022, 23: 602.

(收稿日期: 2023-12-19)

(本文编辑: 新 宇)

欢迎投稿      欢迎订阅      欢迎刊登广告