

论 著

HRVWI联合CTP技术
对大脑中动脉斑块特
征与缺血性脑卒中相
关性研究*杨 珊¹ 朱明慧² 段 亿²
朱 潇² 郝 璐^{2,*}1.新疆医科大学第二附属医院教学科研
管理办公室2.新疆医科大学第二附属医院影像科
(新疆 乌鲁木齐 830063)

【摘要】目的 探讨MRI高分辨率管壁成像(HRVWI)联合双源CT脑灌注(CTP)成像技术对大脑中动脉(MCA)粥样硬化性狭窄患者粥样硬化斑块特征、缺血性脑组织微循环状态与脑卒中相关性分析。方法 回顾性分析新疆医科大学第二附属医院 2022年1月至2023年10月收治经症状性单侧MCA狭窄率50%-99%颅内动脉粥样硬化性狭窄(ICAS)患者41例,依据DWI分为急性缺血性卒中组(18例)和短暂性脑缺血(TIA)组(23例),使用专业软件处理MCA斑块增强指数、管腔重构指数、斑块面积、斑块负荷及管腔狭窄程度进行定量分析,同时利用CTP成像评估两组患者责任血管区域脑组织灌注差异。结果 HRVWI成像显示急性缺血性卒中组MCA粥样硬化斑块增强指数高于TIA组($P<0.05$),CTP成像显示急性脑梗死组较TIA组CBV、CBF减小,Tmax、TTP、MTT延长,均有统计学差异($P<0.05$)。结论 HRVWI联合CTP成像技术能全面评估MCA粥样硬化性狭窄患者的粥样硬化斑块特征和缺血性脑组织的微循环状态。

【关键词】单侧大脑中动脉狭窄;
高分辨率管壁成像;双源CT脑灌注;
侧支循环

【中图分类号】R543.5

【文献标识码】A

【基金项目】新疆神经系统疾病研究重点实验室
(XJDX1711-2226)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.05.001

Correlation Study of Middle Cerebral Artery
Plaque Characteristics and Ischemic Stroke
by HRVWI Combined with CTP Technique*YANG Shan¹, ZHU Ming-hui², DUAN Yi², ZHU Xiao², HAO Lu^{2,*}.1.Teaching and Research Management Office, The Second Affiliated Hospital of Xinjiang Medical
University, Wulumuqi 830063, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China2.Department of Imaging, The Second Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University,
Wulumuqi 830063, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

ABSTRACT

Objective To investigate the correlation between the characteristics of atherosclerotic plaque, microcirculation status of ischemic brain tissue and ischemic stroke in patients with middle cerebral artery (MCA)'s atherosclerotic stenosis by high-resolution tube wall imaging (HRVWI) combined with dual-source CT cerebral perfusion (CTP) imaging. **Methods** A retrospective analysis was performed on 41 patients with intracranial atherosclerotic stenosis (ICAS) with symptomatic unilateral MCA stenosis rate of 50%-99% admitted to the Second Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University from January 2022 to October 2023, who were divided into acute ischemic stroke group (18 cases) and transient cerebral ischemia (TIA) group (23 cases) according to DWI. Professional software was used to process MCA plaque enhancement index, lumen remodeling index, plaque area, plaque load and lumen stenosis degree for quantitative analysis. Meanwhile, CTP imaging was used to evaluate the cerebral tissue perfusion differences in the responsible vascular region between the two groups. **Results** HRVWI imaging showed that MCA plaque enhancement index in ACI group was higher than that in the TIA group ($P<0.05$), CTP imaging showed that CBV and CBF in ACI group were lower than that in TIA group, and Tmax, TTP and MTT were longer. There were statistical differences ($P<0.05$). **Conclusion** HRVWI combined with CTP imaging can comprehensively evaluate the characteristics of atherosclerotic plaques and the microcirculation status of ischemic brain tissue in patients with MCA atherosclerotic stenosis.

Keywords: Unilateral Middle Cerebral Artery Stenosis; High Resolution Wall Imaging; Dual Source CT Cerebral Perfusion; Collateral Circulation

急性缺血性脑血管病 (acute ischemic cerebrovascular disease, AICVD) 病因复杂多样, 病因的30%~50%由颅内动脉粥样硬化性狭窄 (intracranial atherosclerotic stenosis, ICAS) 所引起, 大脑中动脉 (middle cerebral artery, MCA) 作为颅内血管管腔直径最粗且血流供应最为丰富的血管^[1], 是颅内供血血管中极其重要的血管。传统观点认为卒中事件发生主要由血管狭窄程度所致, 重度狭窄出现脑卒中的风险显著增加^[2], 然而既往研究发现, 斑块的形状、脂质核心、薄且不均匀的纤维帽、斑块内出血、溃疡、炎症细胞浸润以及血管重构方式与卒中事件发生息息相关。高分辨率管壁成像 (high-resolution vessel wall imaging, HRVWI) 不仅可以清晰显示管壁结构, 还能够显示斑块内部成分、斑块形态, 从而评估斑块稳定性。双源CT“一站式”脑灌注成像技术 (CT perfusion imaging, CTP)^[3], 可以及时发现早期脑部缺血区域及责任血管, 了解大脑缺血区域的侧支血管解剖结构、功能变化及局部脑组织的微循环状态改变, 两种技术联合使用, 为高危斑块识别提供了新的诊断思路, 从而预测病变进展或致病风险, 帮助临床制定个体化治疗方案^[4]。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析2022年1月至2023年10月于新疆医科大学第二附属医院神经内科住院的41例符合症状性大脑中动脉ICAS患者, 依据CTP成像及DWI图像分为急性缺血性卒中组(18例)和TIA组(23例)。

纳入标准: 经CTA证实单侧大脑中动脉 M1/M2段存在中度或重度狭窄, 测量采用 (NASCET法MCA狭窄为50%-99%); 包含下列动脉粥样硬化高危因素至少2项: 包括高血压($\geq 130/80$ mmHg)、糖尿病、吸烟、血液高胆固醇水平、高同型半胱氨酸血症。排除标准: 存在神经系统其他疾病, 例如患者既往有脑出血、遗传性及变性疾病、多发性硬化、蛛网膜下腔出血、脑积水、癫痫及慢性硬膜下血肿等病史; 单、双侧大脑半球多处存在脑梗死的患者; 患有严重肝肾功能不全或障碍的患者; 存在磁共振禁忌证。

分组标准: 根据责任血管供血区域存在DWI高信号和表观弥散系数低信号病灶的患者归入急性缺血性卒中组, 其余患者归入TIA组。

本研究及包含的实验程序经我院伦理委员会批准。所有患者实验前均被告知研究相关内容并签署书面知情同意书。

1.2 检查方法

1.2.1 MRI检查 入院后一周内, 采用Philips Ingenia CX 3.0T MRI 扫描仪, SENSE Torso 32通道线圈进行扫描。受试者呈仰卧位, 平躺于磁共振成像检查床上, 激光标志线于

【第一作者】杨 珊, 女, 副主任医师, 主要研究方向: 药物化学、神经系统疾病。E-mail: joyys229935@163.com

【通讯作者】郝 璐, 女, 副主任医师, 主要研究方向: 中枢系统影像诊断。E-mail: 362314557@qq.com

眉心位置，以头先进的方向进入磁体设备内。平扫序列：3D-T1-VISTA、DWI、T2WI-FLAIR，随后静脉推注15 mL莫迪斯进行3D-T1WI-VISITA增强检查，(参数见表1)。

表1 MRI扫描参数表

	T1WI VISTA	T2WI-FLAIR	DWI	T1WI VISTA+C
扫描方位	横轴位	冠状位	横轴位	横轴位
TR/TE(ms)	800/18	2500/230	400/40	800/18
FOV(mm)	200×180×40	200×180×90	230×230×119	200×180×40
NSA	1	2	3	1
采集体素大小(mm)	0.6×0.6×0.6	0.6×0.6×1	0.6×0.6×1	0.6×0.6×0.6
重建体素大小(mm)	0.3×0.3×0.3	0.5×0.5×0.5	0.3×0.3×0.3	0.3×0.3×0.3
层厚(mm)	0.3	0.5	0.5	0.3
层间距(mm)	-0.3	-0.5	-0.5	-0.3

1.2.2 CTP检查 入院后三天内，通过德国西门子双源128排螺旋CT(dual-source Computer Tomography, DSCT)扫描仪对患者进行全脑灌注成像。扫描范围为：从患者颅底至颅顶。采用双筒高压注射器，以流率5mL/s向肘正中静脉注入对比剂优维显370，随后再注射生理盐水40mL，注射后延迟8s，进行预定层面动态监测扫描操作，扫描总计用时44s，层厚1.2mm，探测器24.0mm×1.2mm。

1.3 图像后处理与分析

1.3.1 HRVWI图像后处理与分析 由两位高年资的放射科神经组医师独立、双盲阅片并测量相关数据。应用(Philips Intellispace portal)软件对取得的原始图像进行测量，主要数据包括责任血管最狭窄层面(maximal lumen narrowing, MLN)的狭窄程度、管腔面积(lumen area, LA)、血管面积(vessel area, VA)、管壁面积(wall area, WA)、斑块面积(plaque area, PA)、重塑指数(remodeling index, RI)、斑块负荷百分比和斑块强化率。首先目测确定参考层面(referential lumen, RL)，优先选取斑块近心端的正常血管，如果近心端的血管情况不佳，则改为远心端的正常血管层面。各斑块特征计算方法如下：管壁面积^[5-8] WAMLN = VAMLN - LAMLN；狭窄程度=(1 - LAMLN/LARL)×100%；重塑指数^[6] RI = VAMLN/VARL；斑块面积 PA = WAMLN - WARL；斑块负荷百分比 = PA/VAMLN×100%；斑块强化率=(斑块增强信号强度 - 斑块平扫信号强度)/斑块平扫信号强度。

1.3.2 CTP图像后处理与分析 将灌注原始数据传入SIEMENS Syngo Navigator工作站，首先通过伪彩图观察责任血管供血区域颜色变化，选择感性兴趣区域(region of Interest, ROI)，分别测量脑血流量(cerebral blood flow, CBF)、脑血容量(cerebral blood volume, CBV)、平均通过时间(mean transit time, MTT)和达峰时间(Time To Peak, TTP)灌注参数图。CTP原始图像将自动生成25期多时相CTA重建图像，利用多平面重建(multi-planar reconstruction, MPR)及容积再现(volume rendering, VR)，依据基于多时相ASPECTS(alberta stroke program early CT score)侧支循环评分标准，将侧支循环代偿程度细分为一个6分评分体

系，其中3-5分为侧支循环良好组和0-2分为侧支循环不良组。

1.4 统计学方法 用SPSS 22.0统计学软件包将原始数据进行处理，计量资料以($\bar{x} \pm s$)的形式表示，通过t检验的方式进行组间对比；计数资料以率(%)的形式表示，用 χ^2 检验开展组间比较。用 Logistic 回归方程对单因素分析有差异的指标进行计算，分析有可能导致卒中的相关危险因素。检验水准为0.05，差异均有统计学意义(P均<0.05)。

2 结 果

2.1 临床基线资料比较 见表2。

表2 研究对象人口统计学和临床资料

临床特征	急性缺血性 脑卒中组(18例)	TIA(23例)	P值
年龄(岁)	65±13	63±12	0.678
高血压(%)	16 (88.8)	15(65.2)	0.378※
糖尿病(%)	12(68.6)	14 (63.3)	0.682
吸烟史(%)	11(62.9)	12(50.7)	0.398※
三酰甘油(mol/L)	1.445±0.432	1.632±0.521	0.339※
总胆固醇(mol/L)	4.326±0.858	4.265±0.706	0.474※
高密度脂蛋白(mol/L)	1.491±0.407	1.470±0.336	0.767
低密度脂蛋白(mol/L)	2.170±0.452	2.199±0.388	0.728
同型半胱氨酸(mol/L)	15±6.28	14±5.32	0.127※

注：※表示两组间相比有统计学意义，P<0.05。

2.2 斑块特征比较 与非急性缺血性卒中组对比，急性缺血性卒中组狭窄率更低，而且责任血管最狭窄层面斑块面积和重塑指数明显更小，而且斑块增强指数相较而言更高(P<0.05)(见表3)。

表3 两组患者 MCA 斑块影像学特征检出值比较

组别	例数	狭窄率(%)	斑块面积(mm ²)	血管重构率(%)	斑块负荷(%)	增强指数(%)	LSA 数量	LSA深度mm
急性缺血性脑卒中组	18	68.47±4.07	1.22±0.31	81.00±14.00	0.73±0.21	0.89±0.22	5.52±1.09	16.70±1.52
TIA	23	69.21±3.37	1.27±0.28	82.00±16.00	0.70±0.18	0.71±0.32	5.82±0.79	20.79±4.78
t		1.357	1.174	0.184	1.259	3.958	1.154	5.241
P		0.147	0.243	0.847	0.074	0.031	0.207	0.000

2.3 Logistic 回归分析 通过统计回归分析发现，随着增强指数上升，病患发生卒中的几率也会随之增加，增加诱发卒中病的概率，是脑卒中病的其中一个危险因素； 极低密度脂蛋白可以被看

做是保护性因素之一，随着极低密度脂蛋白深度的拓展，患者发生卒中的风险也呈下降趋势(见表4)。

2.4 两组间TRA区CBV值差别无统计学意义(P>0.05)，侧支循环良

好组与不良组比较得出：CBF增加，MTT、TTP均缩短，差异均有统计学意义($P<0.05$)(见表5)。

表4 多因素 Logistic 回归分析结果统计

预测指标	B	S.E.	Wald	P值	OR	95% CI
LSA 深度	-0.368	0.142	11.846	0.001	0.688	0.552~0.851
增强指数	2.404	1.179	4.156	0.043	11.112	1.104~111.498
狭窄率	-0.073	0.076	0.873	0.338	0.933	0.802~1.081
WA	-1.327	1.044	1.575	0.258	0.269	0.034~2.072
血管重构率	0.265	1.485	0.035	0.866	1.304	0.071~24.109
斑块负荷	1.113	1.462	0.067	0.452	3.032	0.174~52.964
LSA 数量	-0.225	0.326	0.538	0.468	0.787	0.421~1.493

2.5 症状性卒中患者，侧支循环良好组急性缺血性脑卒中发生率低于侧支循环不良组，差异有统计学意义($P<0.05$)(见表6)。

表5 两组患者责任血管供血区域灌注参数值比较

TRA灌注参数	侧支循环良好组	侧支循环不良组	t值	P
CBF($\text{ml} \cdot 100\text{g}^{-1}$)	48.32 ± 4.35	34.23 ± 5.69	6.336	0.023 [*]
CBV($\text{ml} \cdot 100/\text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	5.67 ± 2.17	3.98 ± 2.42	2.579	0.064
MTT(s)	8.46 ± 10.27	11.22 ± 8.67	0.08	0.030 [*]
TTP(s)	18.83 ± 1.78	23.79 ± 1.84	-0.02	0.035 [*]

注：*表示两者之间相比有统计学意义， $P<0.05$ 。

表6 侧支循环建立与患者脑梗死的相关性[n(%)]

组别	急性缺血性脑卒中组	TIA
侧支循环良好组(n=)	7(38.9)	15(65.2)
侧支循环不良组(n=)	11(61.1)	8(34.8)
P值	<0.01	<0.01

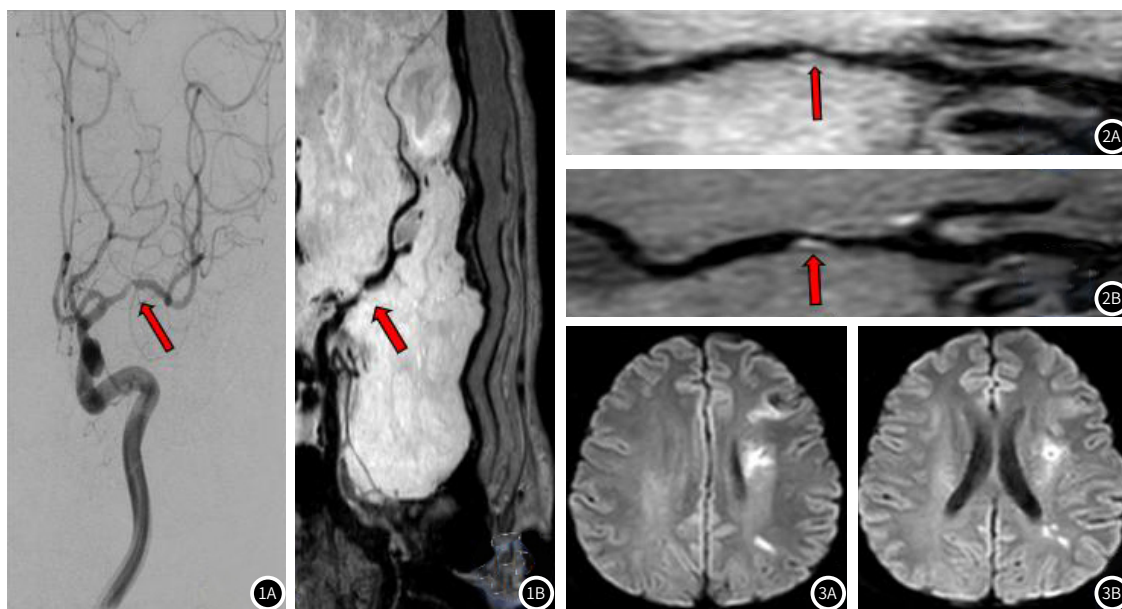


图1A-图1B DSA及高分辨率血管壁成像示左侧MCA M1段局限性重度狭窄。图2A-图2B T1WI-VISTA增强前后扫描MCA曲面重建图像示左侧MCA M1段重度狭窄。图3A-图3B DWI左侧半卵圆中心及侧脑室旁多发急性腔梗。

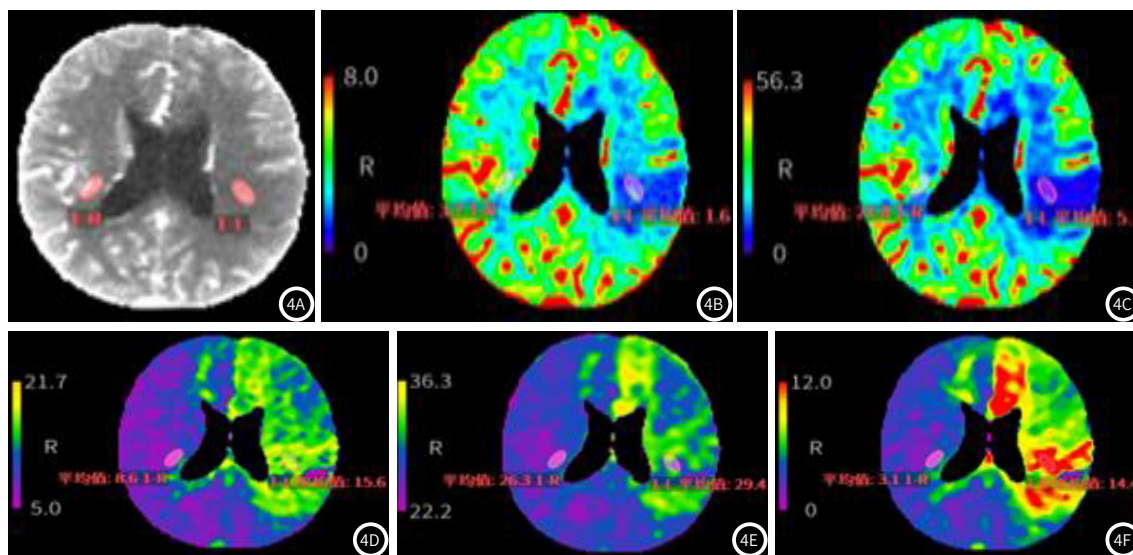


图4A-图4F CT脑灌注成像图，见左侧大脑半球状灌注减低。图4B-4C为CBV、CBF图，患侧测值较健侧减小。图4D-4F为MTT、TTP、Tmax图，患侧测值较健侧延长。图4F为Tmax图，红色区域为核心梗死区，绿色区域为缺血半暗带区。

3 讨 论

如今,血管重度狭窄往往被国际学术界视为脑缺血的标志。但是相当一部分的人对于狭窄严重程度与缺血性卒中之间关联性认识仍有不足,其相关认知仍处于相对落后^[9]。基于使用高分辨率颅内血管壁成像的研究,发现如斑块强化和正性重塑等动脉粥样硬化斑块特征,可以作为缺血性卒中的潜在高危标志物。

本项研究通过利用HR-VMI技术对症状性MCA斑块进行相关统计学分析,如定性和定量分析,结果表明缺血性卒中事件的发生概率与颅内血管管壁的狭窄程度的轻重和斑块特征都有一定的相关性,具有统计学意义。急性卒中组由于斑块中新血管出现和炎性反应,如典型病例分析图(1A-3B),在影像上斑块主要表现为偏心性、不均匀强化,强化程度轻度至中等。此外,内皮通透程度增加也会一定程度上影响在影像图像上斑块强化的结果^[10-11],因此,提示斑块强化可能是反映脑卒中病因和改善预后的潜在影像学标志,这将对于评估斑块不稳定程度与卒中发生概率具有重大价值^[12-13]。同时,本研究发现,急性缺血性脑卒中组 MCA狭窄患者以正性重建为主,ASL组以负性重建为主。相较于负性重建,正性重建患者的斑块负荷与重构指数相较而言更多,斑块更不稳定,使患者发生卒中的概率明显上升^[14-15]。对于症状性脑卒中患者,侧支循环良好组急性缺血性脑卒中发生率低于侧支循环不良组,差异均有统计学意义,说明处于易损状态的动脉粥样硬化斑块发生破裂的几率更高,致使远端动脉发生栓塞,如典型病例图(4A-4F)导致远端区域出现低灌注的风险也随之增大。由ICAS导致的脑卒中,发生机制主要包括血管分支闭塞、原位血栓闭塞。动脉-动脉栓塞和低灌注在脑卒中发生发展中也具有一定作用。然而,这些机制往往不是单一作用的,在脑卒中发生发展过程中相互作用,加速加重疾病发展^[16-18]。

本研究目前仍有一定的局限性:研究为单中心研究,相关数据样本量不足。后期需开展多中心研究方向,提高相关实验步骤制订严谨性、在实际操作中应用性和操作人员专业性。

综上所述,本项研究通过运用高分辨率磁共振管壁成像技术,在显示责任血管的形状特征的同时,实现管腔内无创成像,能够更好地反映血管内壁的情况,对脑卒中疾病发生、进展和检测起到了积极作用。本研究采用多序列的成像的方式,反映斑块的成分和性质,通过对斑块纤维帽、钙化、脂质核心、斑块内出血成分的定量测定,实现了更早、更准确地识别到斑块的高危因素,同时联合双源CT灌注成像,“一站式”扫描可得到CT平扫、多时相4D-CTA及3D-CTP图像,评估责任血管局部脑组织缺血状态及周边侧支血管建立情况,对临床生理病理机制、治疗方式选择的更多可能性及预后评估提供了一条新的研究途径。

参考文献

- [1]《中国脑卒中防治报告》编写组.《中国脑卒中防治报告2019》概要[J].中国脑血管病杂志,2020,17(5):272-281.
- [2]马运萍,张佳.CT血管造影与大脑中动脉狭窄程度及临床预后相关性研究[J].中国CT和MRI杂志,2023,21(7):4-7.
- [3]贾琳,王云玲,韩秉艳,等.高分辨血管壁成像对健康人群豆纹动脉血管形态特征分析[J].新疆医科大学学报,2020,43(7):919-922.
- [4]Al-Smadi A S, Abdalla R N, Elmokadem A H, et al. Diagnostic accuracy of high-resolution black-blood mri in the evaluation of intracranial large-vessel arterial occlusions[J]. American Journal of Neuroradiology, 2019, 40(6): 954-959.
- [5]于蒙蒙,任昕晨,邓雯雯,等.全脑CT灌注联合头颈部CTA“一站式”检查在前循环急性缺血性脑卒中的诊断价值[J].中国CT和MRI杂志,2023,21(7):8-11.
- [6]钟丽玲,徐棣豪,宋建勋.基于血管壁磁共振成像的颅内动脉粥样硬化斑块分布[J].国际脑血管病杂志,2019,27(7):537-542.
- [7]赵义,金灿,王礼同,等.症状性大脑中动脉粥样硬化斑块分布及形态学特征的高分辨率磁共振成像研究[J].中华神经科杂志,2019,52(9):724-731.
- [8]Song J W, Rafla S D, Obusez E C, et al. High resolution vessel wall MR imaging in prestenotic intracranial atherosclerotic disease[J]. Journal of Clinical Neuroscience, 2019, 63: 278-280.
- [9]张园园,任思颢,李盼盼,等.探讨CT灌注成像(CTP)联合CT血管造影(CTA)对短暂性脑缺血发作(TIA)患者进展为急性脑梗死(ACI)的预测价值[J].中国CT和MRI杂志,2023,21(7):27-29.
- [10]林威龙,贾琳,王云玲,等.高分辨率磁共振血管壁成像对大脑中动脉粥样硬化斑块与豆纹动脉血管特征分析的应用研究[J].磁共振成像,2020,11(2):109-112.
- [11]石增强,贾琳,贾文霄,等.HRMR-VWI对椎-基底动脉粥样硬化血管壁改变与急性脑梗死的关系研究[J].磁共振成像,2019,10(10):5-7.
- [12]张明宇,陈红燕,马丁.高分辨率磁共振血管壁成像评估椎-基底动脉硬化血管壁对急性脑梗死患者预后的评估价值[J].卒中与神经疾病,2020,27(3):323-326.
- [13]Boujan T, Neuberger U, Pfaff J, et al. Value of contrast-enhanced MRA versus time-of-flight MRA in acute ischemic stroke MRI[J]. American Journal of Neuroradiology, 2018, 39(9): 1710-1716.
- [14]周莹雪,崔英哲,南东,等.后循环脑缺血的基底动脉高分辨磁共振成像研究[J].磁共振成像,2021,12(2):15-18, 23.
- [15]徐胜男,王璐,王方圆.CT平扫影像学征象对自发性脑出血患者早期血肿扩张的预测分析[J].罕少疾病杂志,2024,31(5):19-20.
- [16]徐子奇.HR MRI探讨ICAS易损斑块特点的影响因素及其对介入治疗安全性的指导[D].浙江大学,2019.11(10):860-867.
- [17]杨浩,武乐乐,曹阿丹,等.经头颈部CTA联合三维重建技术用于脑血管疾病动脉狭窄的诊断价值[J].罕少疾病杂志,2024,31(5):12-14.
- [18]张穿洋,朱文莉,李晓冉,等.急性脑卒中预后预测模型:机器学习与传统回归模型比较[J].中国CT和MRI杂志,2023,21(7):24-26.

(收稿日期:2024-07-31)
(校对编辑:江丽华)