



电子、语音版

·论著·

经颅多普勒超声联合颈动脉超声对颈内动脉病变患者 脑侧支循环与缺血性卒中的相关性研究

唐才发, 董亮艳, 左世伦, 谭彬洁, 王皓香
陆军军医大学第二附属医院神经内科, 重庆 400037

摘要:目的 旨在通过经颅多普勒超声和颈动脉超声的联合应用,探讨单侧颈内动脉颅外段(EICA)重度狭窄或闭塞患者的颅内侧支循环开放类型及其与发生缺血性卒中的相关性。方法 纳入2023年1月至2024年12月陆军军医大学第二附属医院神经内科收治的73例单侧EICA重度狭窄或闭塞患者,根据是否发生缺血性卒中分为观察组(43例)与对照组(30例)。所有受试者均接受经颅多普勒超声与颈动脉超声联合检查。通过经颅多普勒超声判定侧支循环开放类型与程度,记录患侧大脑中动脉收缩期峰值流速(PSV)、搏动指数(PI)等血流动力学参数。对比两组侧支循环特征与血流指标差异。采用多因素Logistic回归分析评估发生缺血性卒中的危险因素。结果 两组EICA狭窄程度(重度或闭塞)分布比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。对照组侧支循环总开放率、一级侧支开放率均高于观察组,二级侧支开放率显著低于观察组,差异有统计学意义($P<0.05$);其中一级+二级侧支联合开放率两组比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。观察组患侧大脑中动脉PSV和PI水平均低于对照组($P<0.001$)。点二列相关分析显示,患侧大脑中动脉PSV和PI水平与发生缺血性卒中呈负相关($r=-0.976, P<0.001$; $r=-0.921, P<0.001$)。多因素Logistic回归分析显示,一级侧支循环未开放、患侧大脑中动脉PSV和PI水平降低是EICA重度狭窄或闭塞患者发生缺血性卒中的危险因素($P<0.05$)。结论 经颅多普勒超声联合颈动脉超声可精准评估EICA重度狭窄或闭塞患者的侧支循环代偿状态与脑血流动力学改变,一级侧支开放效能及大脑中动脉PSV和PI水平与缺血性卒中发生密切相关,可作为缺血性卒中风险分层的无创评估手段。**关键词:**缺血性卒中;经颅多普勒超声;颈动脉超声;颈内动脉重度狭窄;脑侧支循环

中图分类号:R743.3;R445.1

DOI:10.16636/j.cnki.jinn.1673-2642.2026.04.009

Correlation between cerebral collateral circulation and ischemic stroke in patients with internal carotid artery lesions assessed by transcranial Doppler ultrasound combined with carotid ultrasound

TANG Caifa, DONG Liangyan, ZUO Shilun, TAN Binjie, WANG Haoxiang

Department of Neurology, The Second Affiliated Hospital of Army Medical University, Chongqing 400037, China

Corresponding author: WANG Haoxiang, Email: 278615174@qq.com

Abstract: **Objective** To explore the type of intracranial collateral circulation recruitment and its correlation with the occurrence of ischemic stroke in patients with unilateral severe stenosis or occlusion of the extracranial segment of the internal carotid artery (EICA) through the combined application of transcranial Doppler ultrasound and carotid ultrasound. **Methods** A total of 73 patients with unilateral severe EICA stenosis or occlusion admitted to the Department of Neurology, The Second Affiliated Hospital of Army Medical University, between January 2023 and December 2024 were enrolled. They were divided into an observation group (43 cases) and a control group (30 cases) based on the occurrence of ischemic stroke. All subjects underwent combined transcranial Doppler ultrasound and carotid ultrasound examinations. Transcranial Doppler ultrasound was used to determine the type and extent of collateral circulation recruitment, and

基金项目:重庆市卫生健康行业科研计划项目(CQWSKY2024-31)。

收稿日期:2026-03-12;修回日期:2026-07-07

作者简介:唐才发(1977—),男,本科,主管技师,研究方向为神经电生理。

通信作者:王皓香(1980—),女,硕士,副主任医师,研究方向为脑血管病及认知功能障碍。Email:278615174@qq.com。

hemodynamic parameters such as peak systolic velocity (PSV) and pulsatility index (PI) of the ipsilateral middle cerebral artery were recorded. Differences in collateral circulation characteristics and hemodynamic parameters were compared between the two groups. A multivariable logistic regression analysis was used to evaluate the risk factors for the occurrence of ischemic stroke. **Results** There was no significant difference in the distribution of EICA stenosis severity (severe stenosis or occlusion) between the two groups ($P>0.05$). The total recruitment rate of collateral circulation and the recruitment rate of primary collateral circulation in the control group were significantly higher than those in the observation group, while the recruitment rate of secondary collateral circulation was significantly lower than that in the observation group ($P<0.05$). There was no significant difference in the combined recruitment rate of primary and secondary collaterals between the two groups ($P>0.05$). The values of PSV and PI of the ipsilateral middle cerebral artery in the observation group were significantly lower than those in the control group ($P<0.001$). Point-biserial correlation analysis showed that PSV and PI values of the ipsilateral middle cerebral artery were negatively correlated with the occurrence of ischemic stroke ($r=-0.976$, $P<0.001$; $r=-0.921$, $P<0.001$). The multivariable logistic regression analysis showed that non-recruitment of primary collateral circulation and decreased PSV and PI values of the ipsilateral middle cerebral artery were risk factors for ischemic stroke in patients with severe EICA stenosis or occlusion ($P<0.05$). **Conclusions** Transcranial Doppler ultrasound combined with carotid ultrasound can accurately evaluate the compensatory status of collateral circulation and cerebral hemodynamic changes in patients with severe EICA stenosis or occlusion. The recruitment capacity of primary collaterals and the values of PSV and PI of the middle cerebral artery are closely related to the occurrence of ischemic stroke, which can be used as non-invasive indicators for ischemic stroke risk stratification.

Keywords: ischemic stroke; transcranial Doppler ultrasound; carotid ultrasound; severe internal carotid artery stenosis; cerebral collateral circulation

缺血性卒中是全球脑血管疾病的首要致死和致残原因,我国每年新发患者超200万,其中颈动脉病变(如颈内动脉狭窄或闭塞)是核心致病因素,30%~40%的缺血性卒中与颈动脉血流动力学异常直接相关^[1-2]。脑侧支循环作为颈动脉病变后维持脑灌注的关键代偿机制,其开放类型与代偿效率直接决定缺血性卒中的发生风险及严重程度。因此,精准评估侧支循环状态对缺血性卒中的风险分层、干预决策至关重要^[3]。目前,临床常用的颈动脉病变评估手段存在一定的局限性:颈动脉超声仅能明确血管结构(如狭窄程度),无法实时反映脑血流功能;经颅多普勒超声虽可监测颅内血流动力学(如大脑中动脉流速),但难以结合颈动脉解剖病变综合判断代偿机制^[4]。二者联合的“结构+功能”双评估模式虽已在临床初步应用,但其对不同级别颈内动脉狭窄患者侧支循环类型(一级/二级)的识别价值,以及血流指标[大脑中动脉收缩期峰值流速(peak systolic velocity, PSV)、搏动指数(pulsatility index, PI)]与缺血性卒中、神经功能障碍的相关性,尚未得到系统验证。本研究以颈动脉病变患者为对象,采用经颅多普勒超声联合颈动脉超声,分析颈内动脉颅外段(extracranial segment of the internal carotid artery, EICA)狭窄程度、侧支循环开放特征及血流动力学指标的变化,探讨其与缺血性卒中的关联,旨在为缺血性卒中的风险评估提供无创、便捷的临床工具,尤其为基层医院应用提供循证依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究纳入2023年1月至2024年12月陆军军医大学第二附属医院神经内科收治的单侧EICA重度狭窄(狭窄率70%~99%)或闭塞患者共73例作为研究对象。

纳入标准:(1)经颈动脉超声确诊为单侧EICA重度狭窄或闭塞,对侧颈内动脉无器质性病变;(2)可配合完成经颅多普勒超声及颈动脉超声检查;(3)颞窗透声条件良好,便于结果判读。

排除标准:(1)合并颅内血管病变、后循环病变或对侧颈动脉病变;(2)无法完成规范随访;(3)意识障碍、躁动不能配合检查,或生命体征不稳定;(4)双侧大脑前动脉解剖发育不对称。

根据是否发生缺血性卒中及有无神经功能缺损分为两组:观察组(43例)为经头颅弥散加权成像证实的急性缺血性卒中或短暂性脑缺血发作的患者,伴有明确神经功能缺损;对照组(30例)为无缺血性卒中病史、无神经功能缺损症状的EICA病变患者,所有对照组患者均进行头颅弥散加权成像检查,排除静息性脑梗死。

本研究经陆军军医大学第二附属医院医学伦理委员会审查批准(审批号:2025-研第214-01)。所有入组患者均知情同意,并签署书面知情同意书。

观察组患者神经功能缺损表现:肢体偏瘫/轻偏瘫29例、偏身感觉障碍26例、言语功能障碍13例、构音障碍

11例、视野缺损5例;入院时美国国立卫生研究院卒中量表评分为3~14分,中位数6分^[5]。

两组基线资料:对照组中,男25例、女5例,平均年龄(62.18±5.42)岁;观察组中,男35例、女8例,平均年

龄(60.03±4.75)岁。两组患者的高血压史、2型糖尿病史、高脂血症史、吸烟史、冠心病史等脑血管病危险因素比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。见表1。

表1 两组患者基线资料比较

项目	对照组(n=30)	观察组(n=43)	t/χ^2 值	P值
年龄/岁; $(\bar{x}\pm s)$	62.18±5.42	60.03±4.75	1.825	0.072
性别(男/女)/例	25/5	35/8	0.002	0.967
高血压史[例(%)]	19(63.33)	28(65.12)	0.025	0.875
2型糖尿病史[例(%)]	11(36.67)	16(37.21)	0.002	0.961
高脂血症史[例(%)]	16(53.33)	24(55.81)	0.044	0.834
吸烟史[例(%)]	14(46.67)	20(46.51)	0.000	0.990
冠心病史[例(%)]	8(26.67)	12(27.91)	0.015	0.903

1.2 检测方法

本研究采用经颅多普勒超声与颈动脉超声联合检查方案,所有入组患者均完成两项无创血管超声检查。

1.2.1 经颅多普勒超声检测方法

采用中国德力凯EMS-9A型经颅多普勒超声仪。根据《中国脑卒中血管超声检查指导规范》^[6]标准操作流程实施检测。患者取仰卧位,安静状态下检测。以2MHz脉冲波探头经颞窗检测双侧大脑中动脉、大脑前动脉、大脑后动脉及颈内动脉终末段;经眼窗检测眼动脉、颈内动脉虹吸部。以4MHz脉冲波探头经内眦部检测滑车上动脉。记录各血管PSV、舒张末期流速(end diastolic velocity, EDV)、平均流速(mean velocity, MV)及PI。常规进行颈动脉压迫试验辅助血管鉴别,确保检测结果准确。

1.2.2 颈动脉超声检测方法

采用飞利浦EPIQ7型超声诊断仪,线阵探头进行检测。患者取平卧位,头部后仰,系统扫描颈动脉、锁骨下动脉及椎动脉颅外段,观察血管壁斑块形成,测量内膜中层厚度(intima-media thickness, IMT),记录颈动脉最大流速、PI、阻力指数等参数,综合评估颈动脉狭窄程度与粥样硬化严重程度。

1.3 诊断标准

1.3.1 EICA狭窄程度分级标准

参照《中国脑卒中血管超声检查指导规范》^[6],将EICA狭窄分为4级,本研究仅纳入重度狭窄(狭窄率70%~99%)与闭塞(狭窄率100%)患者。

1.3.2 经颅多普勒超声判断侧支循环的标准

由2名具有3年以上经颅多普勒超声操作经验的医师独立检测,结果一致时纳入分析。以超声探头声束方向为参照,血流朝向探头为正向频谱,背离探头为负向频谱,侧支循环开放判定标准如下。

前交通动脉侧支开放:患侧大脑前动脉A1段血流量

向由正常背离探头逆转为朝向探头,伴对侧大脑前动脉流速代偿性升高(PSV差值>30%);压迫健侧颈总动脉后,患侧大脑中动脉流速短暂下降后快速恢复。

后交通动脉侧支开放:患侧大脑后动脉P1段MV显著增快(较对侧升高>30%),血流方向仍为背离探头(正常方向),可伴基底动脉流速代偿性升高;压迫同侧颈总动脉时,大脑后动脉流速无明显下降。P1段血流方向反向(朝向探头)仅见于基底动脉闭塞、前循环向后循环代偿场景,本研究不涉及该情况。

眼动脉侧支开放:经眼窗检测可见颈外动脉向颈内动脉逆向供血,表现为眼动脉血流方向反转或双向频谱,舒张期末流速>16.62 cm/s,伴颞浅动脉流速代偿性升高(PSV>120 cm/s),提示颅外-颅内侧支循环建立。

本研究将Willis环前交通动脉、后交通动脉定义为一级侧支循环,眼动脉颅内外吻合支定义为二级侧支循环;存在任意一级或二级侧支开放即判定为侧支循环总开放;一级、二级侧支均未开放判定为侧支循环未开放。

1.3.3 颈动脉超声对颈动脉粥样硬化评估

诊断标准:以颈动脉IMT≥1.0 mm为内膜增厚,局部IMT≥1.5 mm定义为动脉粥样硬化斑块。

斑块特征评估:根据回声特征判断斑块稳定性,低回声提示脂质核心为主的易损斑块,高回声提示钙化为主的稳定斑块;结合表面形态进一步评估易损性。

血流参数评估:狭窄节段PSV、EDV升高,伴频窗消失、频带增宽;双侧颈动脉流速不对称提示单侧狭窄导致的血流动力学改变。

1.4 观察指标

EICA狭窄程度(重度或闭塞)分布;侧支循环总开放率、不同类型侧支(一级/二级/联合)开放情况;患侧大脑中动脉PSV及PI等血流动力学参数;缺血性卒中发生的危险因素。

1.5 统计学分析

采用SPSS 27.0统计软件对数据进行统计分析。正态分布的计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,两组间比较采用独立样本*t*检验;计数资料以例数和百分率[例(%)]表示,两组间比较采用 χ^2 检验。采用点二列相关分析患侧大脑中动脉PSV及PI水平与缺血性卒中发生的相关性。采用多因素Logistic回归分析评估缺血性卒中的危险因素。以*P*<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者EICA狭窄情况比较

两组均为重度狭窄与闭塞患者,其中对照组重度狭窄22例、闭塞8例;观察组重度狭窄35例、闭塞8例。两组狭窄程度分布比较,差异无统计学意义(*P*>0.05)。见表2。

表2 两组患者EICA狭窄情况比较 [例(%)]			
组别	例数	重度狭窄	闭塞
对照组	30	22(73.33)	8(26.67)
观察组	43	35(81.40)	8(18.60)
χ^2 值		0.062	
<i>P</i> 值		0.803	

2.2 两组侧支循环总开放率比较

对照组侧支循环总共开放25例,总开放率83.33%;观察组侧支循环总共开放24例,开放率55.81%。对照组侧支循环开放率显著高于观察组,差异有统计学意义(*P*<0.05)。见表3。

2.3 两组不同类型侧支循环开放情况比较

对照组单纯一级侧支开放率显著高于观察组(*P*<0.05),单纯二级侧支开放率显著低于观察组(*P*<0.05)。一级+二级侧支联合开放率两组比较差异无统计学意义(*P*>0.05)。见表4。

表3 两组侧支循环开放率比较 [例(%)]			
组别	例数	侧支开放	侧支未开放
对照组	30	25(83.33)	5(16.67)
观察组	43	24(55.81)	19(44.19)
χ^2 值		6.184	
<i>P</i> 值		0.013	

表4 两组不同类型侧支循环开放情况比较 [例(%)]					
组别	例数	单纯一级侧支开放	单纯二级侧支开放	一级+二级侧支联合开放	侧支未开放
对照组	30	21(70.00)	1(3.33)	3(10.00)	5(16.67)
观察组	43	12(27.91)	7(16.28)	5(11.63)	19(44.19)
χ^2 值		12.871	4.195	0.751	6.235
<i>P</i> 值		<0.001	0.041	0.386	0.012

2.4 两组患者患侧大脑中动脉PSV及PI值比较

观察组患侧大脑中动脉PSV及PI均显著低于对照组,差异有统计学意义(*P*<0.001)。见表5。

表5 两组患者患侧大脑中动脉PSV及PI值比较 ($\bar{x}\pm s$)			
组别	例数	患侧大脑中动脉PSV(cm/s)	患侧大脑中动脉PI
对照组	30	118.72±6.89	0.81±0.12
观察组	43	60.35±10.82	0.66±0.13
<i>t</i> 值		26.347	5.012
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001

注:PSV=收缩期峰值流速;PI=搏动指数。

2.5 血流参数与缺血性卒中的相关性分析

患侧大脑中动脉PSV及PI水平与缺血性卒中的发生呈负相关($r=-0.976$, *P*<0.001; $r=-0.921$, *P*<0.001)。见图1。

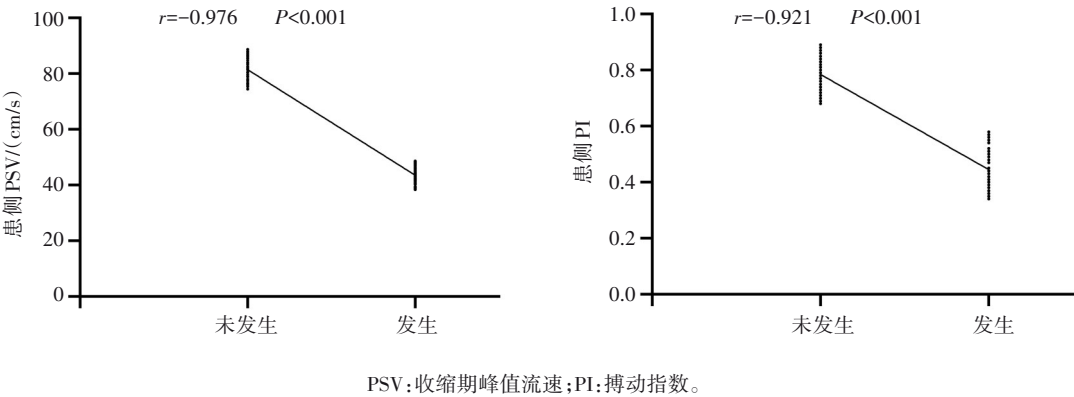


图1 患侧大脑中动脉PSV及PI与缺血性卒中的相关性分析

2.6 缺血性卒中发生的多因素 Logistic 回归分析

将单因素分析有统计学意义($P<0.05$)的变量(一级侧支循环未开放、患侧大脑中动脉 PSV、患侧大脑中动脉 PI)纳入多因素 Logistic 回归模型。自变量赋值:一级侧支循环未开放(是=1,否=0)、患侧大脑中动脉 PSV(连续变

量,cm/s)、患侧大脑中动脉 PI(连续变量);因变量赋值:发生缺血性卒中(是=1,否=0)。结果显示,一级侧支循环未开放、患侧大脑中动脉 PSV 降低、患侧大脑中动脉 PI 降低是 EICA 重度狭窄或闭塞患者发生缺血性卒中的危险因素($P<0.05$)。见表 6。

表 6 缺血性卒中发生的多因素 Logistic 回归分析

变量	B 值	SE 值	Wald χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
一级侧支循环未开放	2.037	0.712	8.182	0.004	7.668	1.902~30.915
患侧大脑中动脉 PSV	-0.131	0.035	14.021	<0.001	0.877	0.819~0.939
患侧大脑中动脉 PI	-2.014	0.845	5.682	0.017	0.133	0.025~0.702

注:PSV=收缩期峰值流速;PI=搏动指数。

3 讨论

本研究聚焦单侧 EICA 重度狭窄或闭塞患者,采用经颅多普勒超声联合颈动脉超声的评估模式,分析侧支循环开放特征与血流动力学改变对缺血性卒中的预测价值,结果显示一级侧支开放效能及颅内血流参数与缺血性卒中发生直接相关,可为临床风险分层提供无创依据。

EICA 重度狭窄或闭塞是侧支循环启动的病理基础,正向血流灌注受损后,脑循环通过各级侧支通路维持远端灌注^[7-8]。本研究排除轻中度狭窄患者,仅纳入重度狭窄或闭塞病例,消除了正向血流充足、侧支无需动员的混杂因素,两组基线狭窄程度无显著差异,提示在同等血管结构病变基础上,侧支循环代偿能力是决定缺血事件发生的核心因素。

侧支循环的保护作用取决于代偿通路的效能,而非单纯开放与否。本研究结果显示,对照组侧支总开放率及一级侧支开放率均显著高于观察组,且一级侧支未开放是缺血性卒中发生的危险因素,与既往研究^[9]结论一致。一级侧支即 Willis 环通路,路径短、阻力低,是 EICA 闭塞后先启动的代偿通路,其有效开放可快速维持大脑中动脉供血区灌注,降低缺血损伤风险^[10-11]。观察组二级侧支开放率更高,提示一级侧支代偿不足时,二级侧支被动激活,但其代偿效能有限,仅能作为补充通路,无法完全逆转灌注不足状态。

本研究的结果显示,一级侧支开放组与一级+二级侧支联合开放组比较,差异无统计学意义,分析其原因主要有两方面:一方面,本研究中联合开放病例数较少,两组分别仅 3 例和 5 例,样本量不足导致统计效能偏低,难以检出组间差异;另一方面,能够启动二级侧支联合代偿的患者,其一级侧支代偿均已达极限,脑血流储备均处于临界水平,无论是否叠加二级侧支开放,整体代偿效能提升有限。未来需扩大样本量,进一步验证联合侧支的代偿价值。

血流动力学参数是脑灌注状态的直接体现^[12]。本研究显示,观察组患侧大脑中动脉 PSV 及 PI 均显著低于对

照组,且二者与缺血性卒中发生呈负相关,是缺血事件的危险因素。大脑中动脉 PSV 直接反映大脑中动脉供血区的灌注压力,流速下降提示前向血流不足,低于阈值即可引发神经元缺血损伤^[13-14];PI 反映远端血管阻力与顺应性,其降低提示脑血管自身调节机制已充分动员,血流储备接近耗竭^[15-16]。上述指标可通过经颅多普勒超声快速获取,适合基层医院用于卒中风险快速筛查。

本研究为单中心研究,样本量有限,未结合 CTA 或 DSA 评估 Willis 环解剖变异,未来需开展多中心大样本研究进一步验证结论。

本研究建立的联合评估模式可同步实现血管结构、侧支代偿、血流功能的一体化评估,无创、便捷、可重复,无需昂贵设备,适合在基层医疗机构推广应用。

参 考 文 献

[1] MAGUIDA G, SHUAIB A. Collateral circulation in ischemic stroke: an updated review[J]. J Stroke, 2023, 25(2): 179-198.

[2] 中华医学会神经病学分会,中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国急性缺血性卒中诊治指南 2023[J]. 中华神经科杂志, 2024, 57(6): 523-559.

[3] FUKUDA K A, LIEBESKIND D S. Evaluation of collateral circulation in patients with acute ischemic stroke[J]. Radiol Clin North Am, 2023, 61(3): 435-443.

[4] 闫灵娟,阴玮伟,金京兰,等. 颈部血管超声及经颅多普勒超声对颈内动脉狭窄的诊断效能分析[J]. 中华解剖与临床杂志, 2024, 29(11): 766-770.

[5] 侯东哲,张颖,巫嘉陵,等. 中文版美国国立卫生院脑卒中量表的信度与效度研究[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2012, 34(5): 372-374.

[6] 国家卫生计生委脑卒中防治工程委员会. 中国脑卒中血管超声检查指导规范[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2015, 12(8): 599-610.

[7] 胡晨,董瑞芳,史方堃,等. 单侧颈内动脉狭窄患者侧支循环建立及脑血流量和认知功能的相关性[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2022, 24(12): 1296-1300.

[8] 李丹,李俊青,王彦,等. 超声多普勒系统联合神经电生理监

测技术对颈动脉内膜剥脱术中血压控制及术后认知功能的影响[J]. 河北医科大学学报, 2024, 45(7): 791-798.

[9] 范娜,周锋,李晓彦,等. 颈动脉超声评估颈动脉斑块易损性与老年短暂性脑缺血发作患者脑白质病变及预后的关系[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2026, 28(3): 393-395.

[10] 张振平,李泽群,凌思卓,等. 颈部多普勒超声联合经颅多普勒超声在老年急性脑梗死患者颈动脉狭窄评估中的价值[J]. 山东医药, 2023, 63(34): 77-79.

[11] 方璐璐,惠晶晶,丁亚芳,等. 单侧颈动脉颅外段中-重度狭窄患者的粥样斑块特征与临床症状的相关性[J]. 中风与神经疾病杂志, 2023, 40(5): 391-396.

[12] LI M X, PANG M, CUI X M, et al. Lesion patterns and mechanism analysis of acute contralateral ischemic stroke accompanying stenosis of unilateral extracranial internal carotid artery[J]. Brain Behav, 2023, 13(9): e3111.

[13] 翟江玉,陆青卫. 经颅彩色多普勒超声血流参数对短暂性脑缺血发作患者颈动脉狭窄的诊断价值[J]. 影像科学与光化学, 2020, 38(4): 632-636.

[14] LIEBESKIND D S, SABER H, XIANG B, et al. Collateral circulation in thrombectomy for stroke after 6 to 24 hours in the DAWN trial[J]. Stroke, 2022, 53(3): 742-748.

[15] OSMANODJA F, SCHEITZ J F, FIEBACH J B, et al. Can intracranial time-of-flight-MR angiography predict extracranial carotid artery stenosis?[J]. J Neurol, 2022, 269(5): 2743-2749.

[16] 张秋怡,陆紫薇,颜燕红,等. 基于血管超声的多模式影像学检查联合评估单侧颈内动脉慢性闭塞脑血流动力学改变[J]. 中国血液流变学杂志, 2022, 32(1): 56-61.

责任编辑:龚学民