

CT 脑灌注成像联合经颅多普勒超声对急性脑梗死侧支循环及溶栓效果有预测价值

胡海涛¹ 计一丁¹ 倪健坤¹ 郑晓明² 徐敏³

¹ 苏州大学附属苏州九院影像科, 江苏苏州 215200; ² 苏州大学附属苏州九院介入科, 江苏苏州 215200; ³ 苏州大学附属苏州九院超声科, 江苏苏州 215200

摘要 目的:探讨 CT 脑灌注成像联合超声检查在急性脑梗死(ACI)侧支循环评估及溶栓疗效预测中的应用价值。方法:回顾性分析接受溶栓治疗的 92 例 ACI 患者临床资料,所有患者在溶栓后 24 h 进行数字减影血管造影(DSA)、CT 脑灌注成像及经颅多普勒超声(TCD)检查。根据 DSA 结果分为侧支循环不良组(83 例)和侧支循环良好组(9 例),再根据溶栓效果分为有效组(58 例)和无效组(34 例),评价 CT 脑灌注成像、TCD 对 ACI 患者侧支循环及溶栓疗效的预测价值。结果:以 DSA 结果为金标准,CT 脑灌注成像检查评估侧支循环不良的准确率较 TCD 检查的准确率更高(85.87% vs 70.65%, $P < 0.05$),且二者联合评估的准确率(98.91%)较单项检查更高($P < 0.05$),二者联合检查与 DSA 结果的一致性更高(Kappa 值=0.941)。经溶栓治疗 7 d 后,92 例 ACI 患者 58 例有效,其中侧支循环良好组的溶栓有效率明显高于侧支循环不良组($P < 0.05$)。有效组的脑血容量(CBV)、强化峰值(PE)、平均血流速度(Vm)高于无效组,血流搏动指数(PI)低于无效组(P 均 < 0.05)。受试者工作特征(ROC)曲线分析显示,CBV、PE、PI、Vm 对 ACI 患者溶栓效果有预测效能(P 均 < 0.05),其中 PE 的诊断效能最高,约登指数最大时截断值为 6.683 Hu,曲线下面积为 0.827,敏感度为 65.52%,特异性为 91.18%,但四项指标联合预测的效能更高,曲线下面积为 0.913,敏感度为 70.69%,特异性为 97.06%。结论:CT 脑灌注成像联合 TCD 检查在 ACI 患者侧支循环评估及溶栓疗效预测中有应用价值。

关键词 CT 脑灌注成像; 经颅多普勒超声; 急性脑梗死; 侧支循环; 溶栓疗效
中图分类号 R742.3 **文献标识码** A **DOI** 10.11768/nkjwzzzz20250306

Predictive value of CT cerebral perfusion imaging combined with transcranial Doppler ultrasound on collateral circulation and thrombolytic effect in acute cerebral infarction HU Hai-tao¹, JI Yi-ding¹, NI Jian-kun¹, ZHENG Xiao-ming², XU Min³. ¹Department of Imaging, Suzhou Ninth Hospital Affiliated to Soochow University, Jiangsu Suzhou 215200, China; ²Interventional Department, Suzhou Ninth Hospital Affiliated to Soochow University, Jiangsu Suzhou 215200, China; ³Department of Ultrasound, Suzhou Ninth Hospital Affiliated to Soochow University, Jiangsu Suzhou 215200, China
Corresponding author: JI Yi-ding, E-mail: jiyiding2020@126.com

Abstract Objective: To explore the application value of CT cerebral perfusion imaging combined with ultrasound examination on the evaluation of collateral circulation and the prediction of thrombolytic efficacy in acute cerebral infarction (ACI). Methods: The clinical data of 92 patients with ACI who received thrombolytic therapy were retrospectively analyzed. All the above patients received digital subtraction angiography (DSA), CT cerebral perfusion imaging and transcranial Doppler ultrasound (TCD) at 24 h after thrombolysis. According to DSA examination results, the patients were divided into poor collateral circulation group (83 cases) and good collateral circulation group (9 cases). By means of thrombolytic effect, they were divided into effective group (58 cases) and ineffective group (34 cases). The predictive value of CT cerebral perfusion imaging and TCD on collateral circulation and thrombolytic efficacy of patients with ACI was evaluated. Results: Taking DSA result as the gold standard, the accuracy rate of CT cerebral perfusion imaging in assessing collateral circulation was higher than that of TCD (85.87% vs 70.65%, $P < 0.05$), and the accuracy rate of the combination of the two examination methods (98.91%) was higher than that of the two alone, and the consistency with the DSA result was better (Kappa = 0.941). After 7 days of thrombolysis, 58 of 92 patients with ACI were effective, and the effective rate of thrombolysis in good collateral circulation group was significantly higher than that in poor collateral circulation group ($P < 0.05$). The cerebral blood volume (CBV), peak enhancement (PE) and mean blood flow velocity (Vm) in effective group were higher than those in ineffective group while the PI was lower than that in ineffective group (all $P < 0.05$). Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis showed that the CBV, PE, PI and Vm had predictive efficiency on thrombolytic effect in patients

with ACI (all $P < 0.05$), and PE had the highest diagnostic efficiency, and when its Youden index was the largest, the corresponding cut-off value, area under the curve, sensitivity and specificity were 6.683 Hu, 0.827, 65.52% and 91.18%, respectively. However, the combined prediction of the four indicators had higher efficiency, with area under the curve of 0.913, sensitivity of 70.69% and specificity of 97.06%. Conclusion: CT cerebral perfusion imaging combined with TCD has significant application value in evaluating collateral circulation and the prediction of thrombolytic efficacy in patients with ACI.

Key words CT cerebral perfusion imaging; Transcranial Doppler ultrasound; Acute cerebral infarction; Collateral circulation; Thrombolysis efficacy

CT 脑灌注成像可显示血管狭窄程度及侧支循环状态,其检查具有快速、简单、无创等优点。单时相 CT 脑灌注成像只采集一个时相的信息,可能会错过侧支血流的最佳显示而低估侧支循环状态,若采用多时相 CT 脑灌注成像可避免这一缺陷,但会明显增加辐射剂量,不适于常规检查^[1]。经颅多普勒超声(transcranial Doppler, TCD)是检测脑血流动力学的一种常用方法,有无创、操作简单、可实时、可重复等优点,但检查结果的准确性受声窗限制,技术依赖性较高^[2]。若二者联合检查则可能提高其诊断效能,弥补使用单时相 CT 脑灌注成像或 TCD 单项检查时的不足。本研究旨在探讨 CT 脑灌注成像联合 TCD 检查在急性脑梗死(acute cerebral infarction, ACI)侧支循环评估及溶栓疗效预测中的应用价值。

资料与方法

1. 一般资料:回顾性分析 2019 年 6 月-2022 年 6 月苏州大学附属苏州九院影像科接受溶栓治疗的 92 例 ACI 患者临床资料。纳入标准:①根据中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018^[3]确诊为 ACI;②溶栓治疗后进行数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)、CT 脑灌注成像及 TCD 检查;③急救后病情稳定;④年龄 > 18 岁;⑤有完整的影像学资料。排除标准:①精神障碍;②合并颈动脉瘤以及其他恶性肿瘤;③动脉畸形;④动脉夹层;⑤冠心病、肾功能不全等重要器官功能障碍或系统性疾病;⑥造影剂过敏。本研究经医院医学伦理委员会批准[批号:(2020)伦研批第(76)号]。

根据 DSA 结果分为侧支循环不良组(83 例)和侧支循环良好(9 例),再根据溶栓效果分为有效组(58 例)和无效组(34 例)。

2. 治疗方法:所有患者在症状发作后 4.5 h 内使用阿替普酶(德国,勃林格殷格翰药业有限公司,进口药品注册证号 S20160055,规格 50 mg)溶栓治疗,剂量为 0.9 mg/kg(最大剂量 90 mg),溶于 100 mL 生理盐水后于 1 min 内经外周静脉注入 10%,剩余 90%在 1 h 内采用静脉滴注方式注入。

溶栓后 24 h 进行 DSA、CT 脑灌注成像及 TCD 检查,无出血者给予抗血小板聚集治疗:口服阿司匹林片(拜耳医药保健有限公司,国药准字 HJ20160685,规格 0.1 g),0.1 g/次,1 次/d;口服硫酸氢氯吡格雷片(乐普药业股份有限公司,国药准字 H20123116,规格 75 mg),75 mg/次,1 次/d。

3. 检查方法:

(1)DSA 检查:采用德国西门子血管造影医用 X 射线装置 Artis one 进行头颈部 DSA 检查,患者术前 4 h 禁食、检查时取仰卧位,充分暴露两侧腹股沟区,根据患者情况给予全麻或局麻,静脉注射碘海醇注射液(通用电气药业有限公司,国药准字 H20000595,100 mL:30 g),头颈部检查时,碘海醇注射液使用剂量为 3 ~ 11 mL,主动脉检查时,碘海醇注射液使用剂量为 60 mL,观察患者颈总动脉、双侧椎动脉与双侧颈内动脉等,评估梗死侧支循环情况。

(2)CT 脑灌注成像检查:应用德国西门子第 2 代双源 CT(西门子 SOMATOM Definition Flash CT 扫描仪,德国),患者检查时取以仰卧位,参数设置:准直 32mm × 1.2 mm;管电流 280 mA;管电压 80/Sn140kV;旋转时间 0.28 s;螺距 1.2;间层距 0.75 mm;重建层厚 1 mm;融合系数 0.6。患者取以仰卧位,充分暴露颈部,足头向扫描,数据采集范围:主动脉弓平面至颅顶。自肘正中静脉以 4.0 ~ 6.0 mL/s 速率推注碘海醇注射液(通用电气药业有限公司,国药准字 H20000595,100 mL:30 g)40 ~ 60 mL(≤45 kg 体重者注射 40 mL,每增加 10 kg 增加 5 mL),后以相同速率追加 50 mL 生理盐水,采用跟踪技术,触发监测设于主肺动脉分叉层面的降主动脉,触发阈值为 100 HU,延迟 2 s 扫描。将数据传至 Siemens 工作站,用 Neuro Perfusion CT 软件后处理,评估梗死侧支循环情况,记录脑血容量(cerebral blood volume, CBV)、强化峰值(peak enhancement, PE)。依据轴向最大密度投影法(maximum intensity projection, MIP)^[4]评估侧支循环分级。0 级:无侧支循环;1 级:存在侧支循环血管,但覆盖缺血面积 < 50%;2 级:存在侧支循环血管,覆盖缺血面积 50% ~

99% ;3 级:侧支循环血管 100% 填充总缺血区域。本研究将 0 ~ 1 级定义为侧支循环不良,2 ~ 3 级定义为侧支循环良好。

(3) TCD 检查:采用 TCD 仪 (Pioneer tc8080 型),用脉冲式 2 MHz 探头,经颞窗探测大脑中动脉主干 (M1 段)、大脑中动脉分支 (M2 段)、颈内动脉终末段、大脑前动脉交通前段 (A1 段)、大脑后动脉交通前段和后段 (P1 和 P2 段),经眶窗探测颈内动脉虹吸段和眼动脉 (ophthalmic artery, OA),经枕窗探测基底动脉 (basilar artery, BA) 和椎动脉。侧支循环良好判定标准^[5]:患侧 A1 段血流方向逆转,对侧 A1 段血流方向不变,但速度明显加快,且压迫对侧颈总动脉时患侧 A1 段和 M1 段血流信号明显减弱;患侧 P1 段血流速较对侧增加 > 20%,BA 流速 > 70 cm/s,压迫对侧颈总动脉时 P1 段和 BA 流速显著增加;患侧 OA 流向逆转,血流搏动指数 (plussatility index, PI) 低于对侧;患侧 A1 段或大脑后动脉流速 > 对侧 35%,方向不变。并记录大脑中动脉 PI、平均血流速度 (mean velocity, Vm)。

4. 侧支循环评估标准:以 DSA 结果为金标准^[6],按美国介入与治疗神经放射学学会/介入放射学协会标准对侧支循环进行分级,缺血区未见侧支血流为 0 级;可见持续存在的充盈缺损区,但缺血区周围可见缓慢侧支血流为 1 级;仍见部分持续存在的充盈缺损区,但缺血区周围有快速侧支血流,且部分已抵达缺血区为 2 级;缺血区有完全侧支充盈,但充盈缓慢,静脉晚期才达完全充盈为 3 级;缺血区可见逆向血流快速完全充盈为 4 级。将 3 ~ 4 级判为侧支循环良好。

5. 溶栓疗效评估标准:于溶栓治疗 7 d 后,运用美国国立卫生研究院卒中量表 (national institutes of health stroke scale, NIHSS)^[7] 进行评估,该表包括 10 个维度,分别为意识、凝视、视野以及面瘫等共 15 项,NIHSS 得分范围 0 ~ 42 分,分值越高,神经功能损伤越严重。有效:NIHSS 评分较溶栓前降低 $\geq 18\%$;无效:NIHSS 评分较溶栓前降低 $\leq 17\%$ 或 NIHSS 评分增加。

6. 统计学分析:采用 SPSS 20.0 统计学软件,计量资料经检验均符合正态分布以 ($\bar{x} \pm s$) 表示,采用 t 检验;计数资料以百分数 (%) 表示,采用 χ^2 检验;CT 脑灌注成像、TCD 及二者联合对侧支循环的诊断效能分别与 DSA 结果的一致性采用配对四表格卡方检验;CT 脑灌注成像、TCD 相关指标对溶栓疗效的预测效能采用受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线分析。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 一般资料:侧支循环不良组 NIHSS 评分高于侧支循环良好组 ($P < 0.05$),见表 1。

2. 不同方法的评估结果:DSA 结果显示,92 例 ACI 患者中,83 例患者侧支循环不良,9 例患者侧支循环良好。以此为金标准,CT 脑灌注成像检查评估侧支循环的准确率为 85.87%;TCD 检查的准确率为 70.65%;二者联合评估的准确率为 98.91%,提示 CT 脑灌注成像检查较 TCD 检查评估的准确率高 ($P < 0.05$),但二者联合评估的准确率更高,二者联合检查与金标准的一致性最高,见表 2。

表 1 2 组一般资料比较

组别	例	年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	男性 [例 (%)]	体重 (kg, $\bar{x} \pm s$)	NIHSS 评分 (分, $\bar{x} \pm s$)	发病至检查时间 (min, $\bar{x} \pm s$)
侧支循环不良组	83	65.42 $\pm$ 8.75	49 (59.04)	62.26 $\pm$ 7.23	11.21 $\pm$ 1.16	60.15 $\pm$ 10.24
侧支循环良好组	9	65.36 $\pm$ 8.64	6 (66.67)	64.28 $\pm$ 7.56	9.19 $\pm$ 1.12	60.21 $\pm$ 10.19
t/χ^2 值		0.020	0.197	0.793	4.977	0.017
P 值		0.984	0.657	0.430	0.000	0.987

表 2 不同方法评估效能比较

检查方法	敏感度 (%)	特异性 (%)	准确率 (%)	阳性预测值 (%)	阴性预测值 (%)	Kappa 值
CT 脑灌注成像	85.54 (71/83)	88.89 (8/9)	85.87 (79/92)	98.61	40.00	0.482
TCD	69.88 (58/83)	77.77 (7/9)	70.65 (65/92)	96.67	21.88	0.223
CT 脑灌注成像联合 TCD	98.80 (82/83)	100.00 (9/9)	98.91 (90/91)	100.00	90.00	0.941

3. 不同侧支循环状态患者溶栓治疗效果:经溶栓治疗 7 d 后,92 例 ACI 患者中 58 例有效,34 例无效。其中侧支循环良好组溶栓治疗有效率明显高于侧支循环不良组($P < 0.05$),见表 3。

表 3 不同侧支循环状态患者溶栓疗效比较[例(%)]

组别	例	有效	无效
侧支循环不良组	83	49(59.04)	34(40.96)
侧支循环良好组	9	9(100.00)	0(0.00)
χ^2 值		5.848	
P 值		0.000	

表 5 不同溶栓效果患者的 CT 脑灌注成像和 TCD 指标($\bar{x} \pm s$)

组别	例	CBV(mL/100g)	PE(Hu)	PI	Vm(cm/s)
有效组	58	3.21 ± 0.32	6.83 ± 0.44	0.92 ± 0.08	44.13 ± 7.29
无效组	34	2.87 ± 0.36	6.39 ± 0.26	1.01 ± 0.14	38.22 ± 6.05
t 值		4.696	5.306	3.930	3.988
P 值		0.000	0.000	0.000	0.000

表 6 CT 脑灌注成像联合 TCD 参数对溶栓疗效的预测效能分析

指标	截断值	曲线下面积	95% 置信区间	P 值	约登指数	敏感度(%)	特异性(%)
CBV	3.108	0.759	0.658 ~ 0.842	0.000	0.449	65.52	79.41
PE	6.683	0.827	0.734 ~ 0.898	0.000	0.567	65.52	91.18
PI	1.036	0.658	0.552 ~ 0.754	0.018	0.395	98.28	41.18
Vm	42.926	0.684	0.579 ~ 0.777	0.001	0.349	67.24	67.65
四项联合	-	0.913	0.836 ~ 0.962	0.000	0.678	70.69	97.06

注:“-”表示无

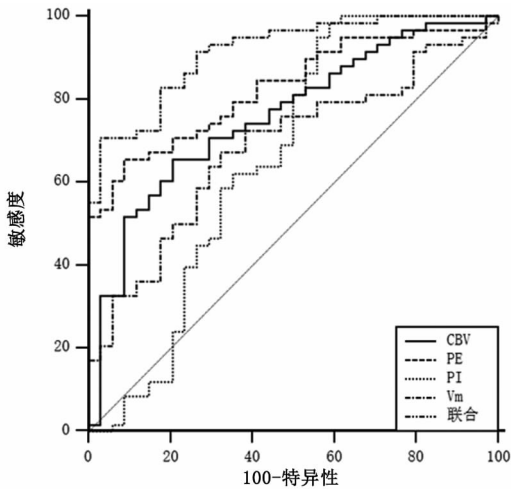


图 1 CT 脑灌注成像联合 TCD 参数预测 ACI 患者溶栓疗效的 ROC 曲线

讨论

ACI 是由于颅内大动脉粥样硬化、动脉瘤内血

栓脱落等原因导致的颅内动脉管腔狭窄甚至闭塞,造成的脑组织局部急性缺血缺氧坏死,致残率、致死率极高,需在时间窗内及时给予规范、有效的治疗^[8]。目前,溶栓治疗是临床常用治疗方式,可达到血管再通,改善脑循环,保护脑组织,改善神经功能损伤。但不是所有患者溶栓治疗均有良好效果,需及时进行评估及时调整治疗方案^[9]。侧支循环是指脑供血动脉狭窄或闭塞时,血液通过侧支或新生的吻合血管到达缺血组织以使缺血区域获得灌注代偿,减缓脑梗死灶扩大^[10,11]。DSA 检查是目前评估侧支循环的金标准^[12]。DSA 分辨率较高,且在动脉期、静脉期对脑血管可直接评估,但其属有创检查,且技术难度大,在手术过程中有血管痉挛、栓子脱落等风险,导致使用受限。

4. 不同溶栓效果患者的 CT 脑灌注成像和 TCD 指标:有效组 CBV、PE、Vm 高于无效组,而 PI 低于无效组(P 均 < 0.05),见表 5。

5. CT 脑灌注成像联合 TCD 参数对溶栓疗效预测:ROC 曲线分析显示,CBV、PE、PI、Vm 及四项指标联合检测对 ACI 患者溶栓效果有预测效能(P 均 < 0.05),其中 PE 的诊断效能最高,约登指数最大时截断值为 6.683 Hu,曲线下面积为 0.827,敏感度为 65.52%,特异性为 91.18%,但四项指标联合预测的效能更高,曲线下面积为 0.913,敏感度为 70.69%,特异性为 97.06%,见表 6、图 1。

有研究表明,侧支循环状态对患者颅内缺血半暗带、血运重建有重要作用,进行侧支循环评估可用于指导临床治疗^[13]。本研究显示,相较于 CT 脑灌注成像或 TCD 单项检查,二者联合检查评估 ACI 患

者侧支循环状态的效能更好,与 DSA 结果的一致性更高,其敏感度为 98.80%,特异性为 100.00%,说明 CT 脑灌注成像联合 TCD 在 ACI 患者溶栓后侧支循环评估中有显著应用价值。分析原因:CT 脑灌注成像检查是通过注射造影剂以显示目标血管狭窄程度,需根据造影剂达峰时间来确定扫描延迟时间,极可能时间把握不佳导致伪影误判;且传统单时相 CT 脑灌注成像检查只采集一个时相的数据信息,可能会错过最佳侧支血流显示图像,不能全面、全时相评估侧支血流状态,导致结果低估侧支循环状态,降低其准确度^[14]。TCD 是利用超声波原理检测颅内动脉的血流动力学改变,来判断血管狭窄程度,其评估前、后交通动脉及 OA 的准确性较高,但对三级侧支循环的敏感性较低,且该项检查对操作者的技术要求较高,导致检查结果有经验依赖性^[15]。CT 脑灌注成像、TCD 两项检查联合评估则可一定程度上规避 CT 脑灌注成像检查中侧支循环被低估及 TCD 检查结果的经验依赖性,提高结果的准确度。

本研究中,侧支循环良好患者的溶栓治疗有效率为 100.00%,稍高于既往研究,可能与本研究样本量少有关。侧支循环良好组溶栓有效率明显高于侧支循环不良组,提示侧支循环与溶栓治疗相关,良好的侧支循环可能提高溶栓效果,侧支循环通过增强梗死区域微血管灌注,挽救缺血半暗带,还可输送溶栓药物进入目标区域,加速溶栓,提高疗效。本研究中溶栓有效患者 CBV、PE、Vm 均高于无效患者,PI 低于无效患者,ROC 曲线分析显示上述四项指标均对 ACI 溶栓效果有预测效能,且四项指标联合检测的预测效能最高,曲线下面积为 0.913,说明 CT 脑灌注成像、TCD 定量指标 CBV、PE、Vm、PI 可用于预测 ACI 的溶栓效果。考虑因为:CBV、PE 可反映脑组织微血管分布情况,Vm、PI 可反映大脑中动脉的血流动力学状态,四项指标联合不仅可间接反映颅内侧支循环状态,还可反映目标血管病理改变,CBV、PE、Vm 越高,PI 越低,说明颅内侧支循环动脉血容量越大,血流速度越快,循环状态越好^[16,17]。侧支循环在 ACI 患者血管再通治疗中发挥着重要作用,不仅可减缓缺血半暗带脑组织损伤,还可通过丰富的侧支循环网促进溶栓药物达到梗死区域,快速溶解血栓,疏通血管^[18~20]。推荐使用 CT 脑灌注成像联合 TCD 检查用于 ACI 患者溶栓后的侧支循环状态评估及溶栓疗效预测,以便了解患者恢复程度及病情状态,及时调整治疗方案。

CT 脑灌注成像联合 TCD 检查在 ACI 患者溶栓后侧支循环评估及溶栓疗效预测中均有显著应用价值。本研究样本量较少,存在选择偏倚,且有关 CT 脑灌注成像联合 TCD 检查对 ACI 患者远期预后的预测价值有待扩大样本量行进一步研究。

参考文献

- 1 赵云凯,薛国芳.侧支循环对缺血性脑卒中的影响及其影像评估[J].中华老年心脑血管病杂志,2021,23(1):105-107.
- 2 杜鑫,张翼,杨旭,等.TCD 脑血流动力学参数与大面积脑梗死颅内侧支循环代偿及神经预后的关系[J].中国实用神经疾病杂志,2023,26(5):627-631.
- 3 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.中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018[J].中华神经科杂志,2018,51(9):666-682.
- 4 田志勇,孟凯龙,王丽红,等.急性脑梗死 CT 血管造影侧支循环分级与 CT 灌注成像量化指标的关系[J].中西医结合心脑血管病杂志,2021,19(14):2451-2454.
- 5 国家卫生健康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.
- 6 楚宝,张继杰,董立朋,等.脑血管侧支循环评价的研究进展[J].中国全科医学,2020,23(5):516-524.
- 7 王微,曹磊,刘雪云,等.软脑膜侧支循环与大脑中动脉急性脑梗死患者的溶栓疗效及预后的相关性研究[J].中风与神经疾病杂志,2022,39(5):400-404.
- 8 季一飞,余静梅.不同 TOAST 分型急性缺血性脑卒中诊疗指南及专家共识解读[J].西部医学,2022,34(11):1565-1570.
- 9 李世超,郭志勇,刘春林,等.血管内治疗与静脉溶栓治疗后循环急性缺血性脑卒中的早期疗效及安全性对比分析[J].实用心脑血管病杂志,2023,31(4):31-34.
- 10 任长安,王文娟,戚游.CTA 检查侧支循环代偿评估急性脑梗死预后的价值分析[J].现代科学仪器,2022,39(2):94-98.
- 11 李如娟,杨川,马晓辉,等.DSA 评估无症状大脑中动脉闭塞患者侧支循环状态研究[J].中国卒中杂志,2022,17(12):1355-1359.
- 12 McVerry F, Liebeskind DS, Muir KW. Systematic review of methods for assessing leptomeningeal collateral flow[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2012, 33(3):576-82.
- 13 卢晨雪.侧支循环在静脉溶栓治疗急性缺血性脑卒中患者预后预测中的价值[D].东南大学,2020.
- 14 崔晶星,朱莉莉,王春儿,等.比较左右侧肘静脉注射对比剂对颈部 CTA 两侧颈动脉不同节段图像质量的影响[J].医学影像学杂志,2019,29(4):548-552.
- 15 郑园园,惠晶晶,韩佳霖,等.经颅多普勒量化评估单侧颈内动脉重度狭窄或闭塞侧支循环的可行性[J].中风与神经疾病杂志,2018,35(9):782-786.
- 16 王芳,杨峰,毛樱,等.经颅多普勒超声与数字减影血管造影评价缺血性脑卒中侧支循环的价值及与预后的相关性分析[J].中国医师进修杂志,2023,46(4):349-352.
- 17 苏俊,李鑫海.肢体缺血预适应联合超早期静脉溶栓减轻急性脑梗死患者神经功能缺损并改善预后[J].内科急危重症杂志,2021,27(6):493-496.
- 18 王海波,郭志松,代荣钦,等.急性缺血性脑卒中病人侧支循环病变程度、血红蛋白水平与预后的关系[J].中西医结合心脑血管病杂志,2022,20(22):4200-4203.
- 19 乔刚,沈文超,王欣,等.液体衰减反转恢复序列高信号血管征可预测急性脑梗死患者短期神经功能预后[J].内科急危重症杂志,2024,30(2):138-141,150.
- 20 孙青,周小燕.发病 3 小时内阿替普酶溶栓可改善急性脑梗死患者的预后[J].内科急危重症杂志,2024,30(6):550-553.

(2023-09-06 收稿 2025-04-08 修回)