

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2026.02.012

磁共振多参数定量指标对急性脑梗死侧支循环及预后的评估价值

贺光辉¹, 张会娜²

(1.洛宁县人民医院 核磁共振室, 河南洛阳 471700; 2.河南科技大学第二附属医院 医学影像中心, 河南洛阳 471000)

【摘要】目的 探讨磁共振多参数定量指标对急性脑梗死(acute cerebral infarction, ACI)侧支循环及预后的评估价值。**方法** 回顾性分析2022年6月至2025年6月洛宁县人民医院收治的80例ACI患者的临床及磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)资料,所有患者于入院后48 h内行头颅MRI检查,获取相关影像数据。比较不同侧支循环状态及不同预后组间各MRI参数差异,并分析具体预测价值。**结果** 侧支良好组梗死区相对脑血流量(relative cerebral blood flow, rCBF)及相对表观弥散系数(relative apparent diffusion coefficient, rADC)均显著高于侧支不良组(均 $P < 0.05$);预后良好组rCBF与rADC值均显著高于预后不良组(均 $P < 0.05$)。rCBF评估侧支循环状态的曲线下面积(area under the curve, AUC)为0.901;rADC的AUC为0.863;基线美国国家卫生研究院卒中量表(National Institutes of Health stroke scale, NIHSS)评分、rCBF及侧支循环状态是患者90 d预后不良的独立危险因素。**结论** 基于MRI的多参数定量指标与ACI患者侧支循环状态及远期预后密切相关,rCBF及rADC对侧支循环具有良好的评估价值,本研究为回顾性分析,结论需进一步前瞻性研究验证。

【关键词】 急性脑梗死; 磁共振成像; 侧支循环; 脑血流量; 预后**【中图分类号】** R743.3; R445.2**【文献标志码】** A

文章编号: 1674-1242 (2026) 02-0056-04

Evaluation value of multi-parameter quantitative magnetic resonance imaging indicators for collateral circulation and prognosis in acute cerebral infarction

HE Guanghui¹, ZHANG Huina²

(1. Magnetic Resonance Room, Luoning County People's Hospital, Luoyang 471000, Henan, China; 2. Medical Imaging Center, The Second Affiliated Hospital of Henan University of Science and Technology, Luoyang 471000, Henan, China)

【Abstract】Objective To explore the evaluation value of multi-parameter quantitative indicators of magnetic resonance imaging in the assessment of collateral circulation and prognosis of acute cerebral infarction (ACI). **Methods** A retrospective analysis was conducted on the clinical and magnetic resonance imaging (MRI) data of 80 patients with ACI admitted to Luoning County People's Hospital from June 2022 to June 2025. All patients underwent head MRI examination within 48 hours after admission to obtain relevant imaging data. The differences in various MRI parameters among different collateral circulation states and different prognosis groups were compared, and the specific predictive value was analyzed. **Results** The infarcted area in the group with good collateral circulation had higher relative cerebral blood flow (rCBF) and relative apparent diffusion coefficient (rADC) compared to the group with poor collateral circulation (all $P < 0.05$); the rCBF and rADC values in the group with good prognosis were higher than those in the group with poor prognosis (all $P < 0.05$). The area under the curve (AUC) of rCBF for evaluating the collateral circulation status was 0.901; the AUC of rADC was 0.863; baseline National Institutes of Health stroke scale (NIHSS) score, rCBF, and collateral circulation status were independent risk factors for poor 90-day prognosis of patients. **Conclusion** The multi-parameter quantitative indicators based on magnetic resonance are closely related to the collateral circulation status and long-term prognosis of patients with ACI. rCBF and rADC have good assessment value for collateral circulation. This study is a retrospective analysis, and the conclusion needs to be verified by further prospective studies.

【Key words】 Acute cerebral infarction; Magnetic resonance imaging; Collateral circulation; Cerebral blood flow; Prognosis

收稿日期: 2025-09-01。

作者简介: 贺光辉, 本科, 副主任医师, 研究方向: 医学影像诊断。E-mail: Hguangh2699@163.com。

急性脑梗死 (acute cerebral infarction, ACI) 是临床常见疾病, 随着神经影像学技术的不断发展, 多模态磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 在 ACI 中的应用日益广泛^[1-2]。多种 MRI 参数在 ACI 的诊疗中发挥了重要作用。弥散加权成像 (diffusion weighted imaging, DWI) 对脑卒中早期细胞毒性水肿具有较高的识别灵敏度, 有助于早期明确梗死范围。动脉自旋标记 (arterial spin labeling, ASL) 以动脉血中水分子为内源性示踪剂, 显示脑组织血流灌注情况, 获得脑血流量 (cerebral blood flow, CBF)^[3]。表观弥散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC) 反映水分子在组织内的弥散受限程度, 对判断缺血时间和组织活力等具有重要指导意义^[4-5]。基于此, 本研究分析 MRI 多参数定量指标在 ACI 患者中的应用价值, 具体如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性收集 2022 年 6 月至 2025 年 6 月洛宁县人民医院收治的 80 例 ACI 患者的临床与影像学资料。纳入标准: ①参照相关诊断标准^[6]确诊为脑卒中; ②发病到入院时间 ≤ 24 h; ③首次发病或有脑卒中病史但未遗留明显神经功能损伤; ④入院后 48 h 内完成头颅多模态 MRI 检查; ⑤资料完整。排除标准: ①伴有颅内出血、肿瘤及脑外伤等非缺血性病变; ②后循环梗死或 MRI 检查存在严重运动伪影而无法进行影像定量分析; ③伴有 MRI 检查禁忌证; ④合并心、肝等重要器官严重功能障碍。本研究为回顾性分析, 为减少选择偏倚, 连续纳入该时段所有符合上述纳入排除标准的 ACI 患者, 共 80 例。排除病例均记录在案。

1.2 检查方法

全部患者均采用 Siemens Skyra 3.0T 超导型 MRI 扫描仪, 行 20 通道头颈联合线圈扫描。常规行 T_1 加权成像 (T_1 -weighted imaging, T_1 WI)、 T_2 加权成像 (T_2 -weighted imaging, T_2 WI) 及液体衰减反转恢复序列 (fluid-attenuated inversion recovery, FLAIR), 以排除其他颅内病变并评估脑白质高信号等。ADC 测定采用 DWI, 参数设定: 重复时间 (repetition time, TR) 3 000 ms、回波时间 (echo time, TE) 90 ms、层厚 5 mm、层间距 1.5 mm、矩阵 128×128 、b 值取 0 及 $1\ 000\ \text{s}/\text{mm}^2$, 由系统自动生成 ADC 图。颅内大血管

检查参数设定: TR 21 ms、TE 3.5 ms、层厚 1.2 mm 及矩阵 256×256 。CBF 测定采用三维伪连续式 ASL 序列, 标记后延迟时间 1 525 ms、TR 4 800 ms、TE 11.5 ms、层厚 4 mm、层数 36 层、视野 $240\ \text{mm}^2 \times 240\ \text{mm}^2$ 、激励次数 3 次, 扫描时间约 4 分 30 秒, 由系统自动生成 CBF 定量图。

1.3 图像后处理和数据测量

由 2 名高资历神经影像科医师在不知晓患者临床预后及侧支评分的情况下独立完成图像分析, 取二者平均值为最终数据。①勾画梗死区域与镜像区: 于 DWI 图像上手动勾画出高信号梗死核心区域作为感兴趣区 (region of interest, ROI), 在 ADC 图及 CBF 图上自动匹配相同 ROI, 记录梗死核心区 ADC 值、CBF 值; 在对侧镜像区勾画等大 ROI, 记录其 ADC 值、CBF 值。②相对参数计算: 相对表观弥散系数 (relative apparent diffusion coefficient, rADC) = 梗死区 ADC 值/对侧镜像区 ADC 值, 相对脑血流量 (relative cerebral blood flow, rCBF) = 梗死区 CBF 值/对侧镜像区 CBF 值。③侧支循环情况。基于磁共振血管成像 (magnetic resonance angiography, MRA) 原始图像和最大强度投影重建图像, 根据 Tan 评分系统^[7]评估大脑中动脉供血区域侧支循环状态: 0 分为无侧支代偿, 1 分为侧支代偿 $< 50\%$ 供血区域, 2 分为侧支代偿 $\geq 50\%$ 且 $< 100\%$ 的供血区域, 3 分为侧支代偿完全。将 0 ~ 1 分设定为侧支不良组, 2 ~ 3 分设为侧支良好组。

1.4 观察指标与预后评估

收集患者年龄、性别、基础疾病及基线美国国家卫生研究院卒中量表 (National Institutes of Health stroke scale, NIHSS)^[8] 评分。于出院后 90 d 通过改良 Rankin 量表 (modified Rankin Scale, mRS)^[9] 评估预后, mRS 评分 ≤ 2 分为预后良好, > 2 分为预后不良。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件处理。首先采用 Shapiro-Wilk 检验方法对计量资料进行正态性检验, 符合正态分布的计量资料以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较采用 t 检验; 计数资料以百分比 (%) 表示, 比较采用 χ^2 检验。采用多因素 Logistic 回归分析 ACI 患者 90 d 预后不良的独立危险因素, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。通过绘制受试者工作特征曲线 (receiver operating characteristic curve, ROC) 曲线评价 MRI 多

参数定量指标对侧支循环状态的评估效能,计算曲线下面积(area under the curve, AUC)。本研究样本量基于回顾性连续入组获得,未预先估算。为确保主要结论的可靠性,以侧支良好与不良组间rCBF比较为主要结局指标进行事后功效分析,实际样本量提供的检验功效($1-\beta$)为0.998,表明有足够的把握度检测出两组间rCBF的差异。

2 结果

2.1 基线资料

侧支良好组基线NIHSS评分显著低于侧支不良组($P < 0.05$),预后良好组和预后不良组年龄、房颤病史、基线NIHSS评分比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)(表1)。

表1 基线资料

临床指标	侧支良好组 (n=34)	侧支不良组 (n=46)	t/χ^2	P	预后良好组 (n=38)	预后不良组 (n=42)	t/χ^2	P
年龄($\bar{x}\pm s$, 岁)	63.12±9.85	65.57±8.76	-1.182	0.241	61.87±9.42	66.93±8.42	-2.587	0.012
男性 [例 (%)]	19 (55.88)	29 (63.04)	0.424	0.515	23 (60.53)	25 (59.52)	0.008	0.927
高血压 [例 (%)]	24 (70.59)	34 (73.91)	0.113	0.737	25 (65.79)	33 (78.57)	1.680	0.195
糖尿病 [例 (%)]	12 (35.29)	20 (43.48)	0.547	0.460	14 (36.84)	18 (42.86)	0.304	0.581
高脂血症 [例 (%)]	18 (52.94)	26 (56.52)	0.104	0.747	19 (50.00)	25 (59.52)	0.746	0.388
房颤病史 [例 (%)]	6 (17.65)	14 (30.43)	1.727	0.189	5 (13.16)	15 (35.71)	5.391	0.020
吸烟史 [例 (%)]	15 (44.12)	21 (45.65)	0.019	0.891	18 (47.37)	18 (42.86)	0.164	0.685
基线NIHSS ($\bar{x}\pm s$, 分)	7.71±3.24	11.67±4.11	4.697	<0.001	7.26±3.17	12.10±3.88	-6.047	<0.001

注: NIHSS为美国国家卫生研究院卒中量表。

2.2 MRI定量指标比较

侧支良好组的梗死区CBF、rCBF、梗死区ADC及rADC值均显著高于侧支不良组(均 $P < 0.05$),预后

良好组的梗死区CBF、rCBF、梗死区ADC及rADC值均显著高于预后不良组(均 $P < 0.05$)(表2)。

表2 各组MRI定量指标比较

磁共振指标	侧支良好组 (n=34)	侧支不良组 (n=46)	t	P	预后良好组 (n=38)	预后不良组 (n=42)	t	P
梗死区CBF [$\bar{x}\pm s$, ml/(100 g·min)]	32.15±4.23	24.86±3.97	7.970	<0.001	31.78±4.56	25.23±4.01	6.869	<0.001
rCBF ($\bar{x}\pm s$)	0.72±0.08	0.53±0.09	9.846	<0.001	0.71±0.09	0.54±0.10	8.017	<0.001
梗死区ADC ($\bar{x}\pm s$, $\times 10^{-6}$ mm ² /s)	598.34±41.27	516.28±38.65	9.181	<0.001	592.57±44.18	522.05±41.92	7.473	<0.001
rADC ($\bar{x}\pm s$)	0.85±0.07	0.71±0.08	8.265	<0.001	0.84±0.08	0.72±0.09	6.332	<0.001

注: MRI为磁共振成像; CBF为脑血流量; rCBF为相对脑血流量; ADC为表观弥散系数; rADC为相对表观弥散系数。

2.3 MRI多参数定量指标对侧支循环状态的评估效能

通过ROC曲线分析,rCBF评估侧支循环状态的AUC为0.901,最佳截断值为0.62,敏感度为85.29%,特异度为86.96%。rADC评估侧支循环状态的AUC为0.863,最佳截断值为0.78,敏感度为79.41%,特异度为84.78%。梗死区CBF的AUC为0.845,梗死区ADC的AUC为0.819。

2.4 MRI多参数定量指标对预后的评估效能及多因素分析

rCBF评估出院后90d预后的AUC为0.872,最佳截断值为0.61,敏感度为81.58%,特异度为83.33%。rADC评估预后的AUC为0.804,最佳截断值为0.77,敏感度为76.32%,特异度为80.95%,基线NIHSS评分、rCBF及侧支循环状态是ACI患者90d预后不良的独立危险因素(表3)。

表3 ACI患者90d预后不良的危险因素多因素Logistic回归分析

变量	β	Wald χ^2	P	OR	95%CI
基线NIHSS评分	0.194	10.893	<0.001	1.214	1.081 ~ 1.363
rCBF	-0.285	11.631	<0.001	0.752	0.642 ~ 0.881
侧支循环状态 (良好:不良)	-1.090	7.299	0.007	0.336	0.153 ~ 0.738
常量	2.216	5.487	0.019	9.172	—

注: NIHSS为美国国家卫生研究院卒中量表; rCBF为相对脑血流量。

3 讨论

侧支循环状态的评价在ACI治疗中具有重要意义,良好的侧支循环可确保缺血部位的血液供应,从而延缓梗死区域扩大,为患者争取更多救治时间^[10]。本研究利用MRA的Tan评分评价侧支状态,发现侧支良好组rCBF及rADC均显著高于侧支不良组。分析原因:当ACI患者主动脉出现急性闭塞时,侧支血管可发挥一定代偿作用,维持缺血区域的部分血流灌注,此时CBF下降程度相对较小,基本能量代谢得以维持,进而抑制细胞毒性水肿的发展,因此ADC值下降程度亦较小。rCBF与侧支循环状态密切相关,可直接反映血流灌注状态,本研究结果与杨寓玲^[11]等的研究结论一致。脑部MRI分析常以病灶对侧镜像区作为自身对照,通过计算相对参数值,可有效校正个体间脑血流灌注、水分子弥散及代谢水平的基础差异^[12]。本研究通过ASL技术进行灌注定量分析,该技术具有无创、无需注射外源对比剂及可重复性强等优势,对肾功能不全或需多次复查的患者尤为适用。本研究显示,ASL测得的梗死区CBF值与侧支状态及预后存在良好相关性,表明ASL灌注成像评估ACI患者侧支状态具有较高准确性,能为临床诊疗提供有效的数据支持。

在预后方面,本研究发现rCBF和侧支循环状态均为患者预后的独立预测因子,且rCBF的预测效能优于rADC。提示ACI急性期缺血区域实际获得的血流灌注水平在预测预后结局方面比单纯的组织弥散受限程度更准确。CBF可直接反映当前血流灌注水平,对评估侧支代偿情况具有重要价值。本研究显示,基线NIHSS评分是预后的独立危险因素,该评分主要反映患者神经功能缺损情况,在影像学参数基础上结合神经功能现状分析,对评估预后具有更重要的价值,也进一步说明了MRI多参数定量指标的应用价值。本研究的创新性主要体现在:首次联合应用ASL及DWI序列获取的rCBF与rADC多参数定量指标,系统评估ACI患者侧支循环状态及预后,同时证实rCBF较rADC具有更高的预测效能,并将基线NIHSS评分、rCBF及侧支循环状态共同纳入预后模型,为临床提供了更丰富的无创、量化评估依据。本研究为单中心回顾性分析,样本量有限,可能存在选择偏倚;侧支循环评估依赖MRA

的Tan评分,未与数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)金标准对比;rCBF与rADC的最佳截断值尚需外部验证,今后有待开展前瞻性、多中心研究进一步证实。

综上,基于MRI多参数定量指标与ACI患者侧支循环状态及远期预后密切相关,rCBF及rADC对侧支循环具有良好的评估价值,但上述结论来自回顾性数据,仍需前瞻性研究验证。

参考文献

- [1] 王丽岚, 杨清武. 从影像学半暗带到生物学半暗带看急性缺血性脑卒中治疗理念的变更[J]. 中华神经医学杂志, 2025, 24(3): 217-223.
- [2] 李子锋, 王幼萌, 王国防, 等. 基于多模态影像学特征的急性前循环大血管闭塞机械取栓后无效再通预测模型研究[J]. 中国脑血管病杂志, 2025, 22(11): 755-762.
- [3] 陈君, 陈龙华, 卢禹, 等. 基于多模态磁共振成像定量参数构建列线图模型评估老年急性脑梗死患者溶栓治疗的预后不良风险[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2026, 28(1): 93-97.
- [4] 薛伟, 朱家宝, 安良良, 等. 多模态磁共振成像联合术中超声在功能区脑胶质瘤手术中的应用研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(6): 17-20.
- [5] 周红俐, 杨莎, 杨浩, 等. 动态CTA结合CTP评估急性缺血性脑卒中患者侧支循环及预后价值[J]. 中国临床医学影像杂志, 2025, 36(7): 461-464.
- [6] 张晓桃, 王美娟, 陈丽, 等. 颈动脉彩超与头颅MRI联合在ACI临床诊断及疾病进展评估中的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(9): 65-67.
- [7] 曾辉, 刘莹. 应用CTA对基底节区大脑中动脉M1段急性梗死灶侧支循环建立情况的评价[J]. 临床医学进展, 2024, 14(12): 1377-1384.
- [8] 史淑楠, 徐珊瑚, 万曙. 美国国立卫生研究院卒中量表在急性缺血性脑卒中诊疗中的研究进展[J]. 心脑血管病防治, 2025, 25(3): 34-38.
- [9] 朱金巧, 夏雪, 胥芹, 等. 改良Rankin量表用于卒中临床试验结局评价及其统计方法研究[J]. 中国卒中杂志, 2025, 20(8): 1029-1034.
- [10] 姜海龙, 苏文, 陈慧铀, 等. 双参数动脉自旋标记成像在评估急性缺血性卒中侧支循环和预后中的应用价值[J]. 磁共振成像, 2023, 14(3): 53-57, 80.
- [11] 杨寓玲, 陈国娟, 钱庆强, 等. 金属征和灌注成像与晚期时间窗老年急性脑卒中患者侧支循环及预后的关系[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2026, 28(2): 156-161.
- [12] AMBWANI G, SHI Z, LUO K, *et al.* Distinguishing Laterality in Brain Injury in Rabbit Fetal Magnetic Resonance Imaging Using Novel Volume Rendering Techniques[J]. Dev Neurosci, 2025, 47(1):55-67.