

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2026.03.006

磁共振灌注加权成像对短暂性脑缺血发作患者 疾病进展为急性脑梗死的预测价值

唐 毅¹, 崔安伟¹, 曹亚丽²

(1. 洛阳伊洛医院 影像科, 河南洛阳 471000; 2. 河南省人民医院 医学影像科, 河南郑州 450003)

【摘要】目的 探讨磁共振灌注加权成像(magnetic resonance perfusion weighted imaging, MR-PWI)对短暂性脑缺血发作(transient ischemic attack, TIA)患者发展为急性脑梗死(acute cerebral infarction, ACI)的预测价值。**方法** 本研究纳入2022年9月至2024年2月洛阳伊洛医院收治的64例因颈动脉狭窄导致TIA的患者。所有患者均接受脑血管数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)检查及MR-PWI检查,并给予控制血压、降低血糖等基础治疗,之后用硫酸氢氯吡格雷片治疗3个月,治疗结束后随访3个月。分析患者疾病进展情况,对比发生组和未发生组的磁共振脑灌注参数,采用受试者操作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线分析其预测价值。**结果** 随访期间,12例患者发展为ACI,发生率为18.75%。发生组相对脑血容量(regional cerebral blood volume, rCBV)、相对脑血流量(regional cerebral blood flow, rCBF)较未发生组下降($t=4.759, 4.707$, 均 $P<0.05$),而相对平均通过时间(relative mean transit time, rMTT)、达峰时间(time to peak, TTP)比较差异均无统计学意义($t=0.878, 0.812$, 均 $P>0.05$);ROC曲线分析显示,rCBV预测ACI的曲线下面积(area under the curve, AUC)为0.789,敏感度、特异度及准确性分别为80.25%、72.00%、76.33%;rCBF的AUC为0.842,敏感度、特异度及准确性分别为64.10%、100%、73.50%。**结论** TIA患者进展为ACI时,磁共振脑灌注参数会发生变化,rCBV、rCBF可用于预测TIA患者发展为ACI的进程,具有一定临床价值。

【关键词】 短暂性脑缺血发作; 急性脑梗死; 磁共振灌注加权成像; 预测价值**【中图分类号】** R743.3**【文献标志码】** A

文章编号: 1674-1242 (2026) 03-0035-05

The predictive value of magnetic resonance perfusion weighted imaging for the progression of transient ischemic attack patients to acute cerebral infarction

TANG Yi¹, CUI Anwei¹, CAO Yali²

(1. Department of Imaging, Luoyang Yiluo Hospital, Luoyang 471000, Henan, China;

2. Department of Medical Imaging, Henan Provincial People's Hospital, Zhengzhou 450003, Henan, China)

【Abstract】Objective To explore the predictive value of magnetic resonance perfusion weighted imaging (MR-PWI) for the progression of transient ischemic attack (TIA) patients to acute cerebral infarction (ACI). **Methods** This study included 64 patients with TIA caused by carotid artery stenosis who were admitted to Luoyang Yiluo Hospital from September 2022 to February 2024. All patients underwent digital subtraction angiography (DSA) for cerebral vascular examination and MR-PWI examinations, and received basic treatments such as controlling blood pressure and lowering blood sugar. Then, they were treated with clopidogrel bisulfate tablets for 3 months, and were followed up for 3 months after the treatment. The disease progression of the patients was analyzed, and the magnetic resonance cerebral perfusion parameters of the occurrence group and the non-occurrence group were compared. The receiver operator characteristic (ROC) curve was used to analyze its predictive value. **Results** During the follow-up period, 12 patients developed ACI, with an incidence rate of 18.75%. The relative cerebral blood volume (rCBV) and relative cerebral blood flow (rCBF) in the occurrence group were lower than those in the non-occurrence group ($t = 4.759, 4.707$, both $P < 0.05$), while there were no statistically significant differences in relative mean transit time (rMTT) and time to peak (TTP) ($t = 0.878, 0.812$, both $P > 0.05$); ROC curve analysis showed that the area under the curve (AUC) of rCBV for predicting ACI was 0.789, with a sensitivity, specificity, and accuracy of 80.25%, 72.00%, and 76.33%, respectively; the AUC of rCBF was 0.842, with a sensitivity, specificity, and accuracy of 64.10%, 100%, and

收稿日期: 2025-08-02。

作者简介: 唐 毅, 本科, 主治医师, 研究方向: CT和磁共振。

通信作者: 曹亚丽, 主治医师, 研究方向: 影像诊断与应用研究。E-mail: 543375222@qq.com。

73.50%。 **Conclusion** When TIA patients progress to ACI, the magnetic resonance cerebral perfusion parameters will change. rCBV and rCBF can be used to predict the progression of TIA patients to ACI and have certain clinical value.

【 **Key words** 】 Transient ischemic attack; Acute cerebral infarction; Magnetic resonance perfusion weighted imaging; Predictive value

短暂性脑缺血发作(transient ischemic attack, TIA)是指因脑血管病变而导致的短暂性局部脑功能缺失,通常持续 10~20 min,不超过 24 h^[1]。其症状包括头晕、肢体一过性瘫痪、偏瘫等。研究表明,TIA 是急性脑梗死(acute cerebral infarction, ACI)的高危因素。若患者血管病变严重,进展为 ACI 的风险较高;且发作后若血栓继续形成并阻塞脑血管,也可导致脑梗死^[2-3]。既往临床诊断 TIA 多采用头颅计算机断层扫描(computed tomography, CT)、头颅磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)等;数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)是诊断脑血管疾病的金标准,作为一种常用侵入性影像学检查方法,它通过将造影剂注入脑血管系统,利用 X 射线和数字成像技术生成脑血管高分辨率图像,可评估脑血管详细情况,但因有创,会增加患者并发症发生风险^[4]。磁共振灌注加权成像(magnetic resonance perfusion weighted imaging, MR-PWI)是一种无创、无辐射的影像学检查方法,其可通过测量脑组织血氧水平依赖性效应或动态对比增强技术,生成脑血流的定量或半定量图像,进而评估脑组织血流灌注情况,临床应用价值较高^[5]。基于此,本研究探讨 MR-PWI 对 TIA 患者病情发展为 ACI 的预测价值,内容报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究中纳入 2022 年 9 月至 2024 年 2 月洛阳伊洛医院因颈动脉狭窄出现 TIA 的 64 例患者。其中男性 49 例,女性 15 例;平均年龄(49.85 ± 10.36)岁;基础疾病:高血压 16 例,糖尿病 9 例,高脂血症 3 例。纳入标准:①符合《短暂性脑缺血发作与轻型卒中抗血小板治疗中国专家共识》^[6]相关标准;②影像学检查显示单侧颈内动脉狭窄;③发病 7 d 内入院;④临床资料完整。排除标准:①脑出血患者;②血管畸形者;③ DSA 检查禁忌证者等。

1.2 检查方法

1.2.1 脑血管 DSA 检查方法

患者仰卧,局部麻醉后采用 Seldingers 法行右股

动脉穿刺,进行主动脉弓、双侧颈动脉等造影。根据《颈动脉狭窄介入治疗操作规范(专家共识)》^[7]计算血管狭窄率并分组,分为轻、中、重度,血管狭窄率 $<30\%$ 为轻度; $30\% \sim 69\%$ 为中度; $\geq 70\%$ 为重度。

1.2.2 MR-PWI 检查方法

采用超导型磁共振成像系统(西门子磁共振有限公司,注册证号:国械注准 20173284488,型号:MAGNETOM ESSENZA Galaxy),正交头部线圈,行全脑扫描。先进行轴位自旋回波 T2 加权成像(T2-weighted imaging, T2WI)检查,设置参数后进行 MR-PWI,改为自由衰减平面回波成像(free induction decay echo planar imaging, FID-EPI)序列,设置参数,扫描 60 s。前 5 次不注射对比剂,第 6 次注射钆喷酸葡胺注射液(生产单位:广州康臣药业有限公司;批准文号:国药准字 H10950272;规格:15 ml:7.04 g),设置注射剂量与速率。将影像学图片传输至工作站处理,计算脑血容量(cerebral blood volume, CBV)、平均通过时间(mean transit time, MTT)等。两名影像科医生观察检查图像,在病变范围绘制感兴趣区(region of interest, ROI),结合临床症状、神经功能缺损定位及常规 MRI 图像[T2WI、液体抑制反转恢复序列(fluid attenuated inversion recovery sequence, FLAIR)],明确责任脑血管供血区域,优先选择灌注参数图上显示异常灌注[MTT 延长、脑血流量(cerebral blood flow, CBF)/CBV 降低]的区域作为目标 ROI,同时在对侧镜像正常脑组织设置对照 ROI,确保两侧 ROI 解剖位置、大小完全匹配,计算相关检查参数。所有灌注参数的组内及组间组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)值均 >0.75 ,提示 ROI 绘制及参数提取具有极好重复性。采用 Kappa 值分析两名医师评估的一致性, Kappa 值 >0.8 代表抑制性较高。

1.2.3 治疗方法与随访

在给予所有患者基础治疗的前提下,采用硫酸氢氯吡格雷片(生产单位:深圳信立泰药业股份有限公司;批准文号:国药准字 H20203616;规格:75 mg)

治疗, 负荷剂量 300 mg, 后续 75 mg/d, 治疗 3 个月。患者治疗完成后随访 3 个月, 按病情是否进展为 ACI 分为发生组和未发生组, ACI 诊断标准参照《中国急性缺血性脑卒中诊治指南》^[8]。

1.3 观察指标

① 分析 TIA 患者疾病进展情况。② 对比发生组和未发生组患者各项磁共振脑灌注参数, 以对侧正常半球为参照, 计算相对脑血容量 (relative cerebral blood volume, rCBV)、相对平均通过时间 (relative mean transit time, rMTT)、相对脑血流量 (relative cerebral blood flow velocity, rCBF), $rCBF = rCBV/rMTT$ 。③ 采用受试者操作特征 (receiver operator characteristic, ROC) 曲线分析磁共振脑灌注参数对 ACI 的预测价值。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 24.0 软件行统计学分析, 发生组和未发生组患者各项磁共振脑灌注参数以均数±标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 比较采用 t 检验; 患者病情发展情况统计以例 (%) 表示, 比较采用 χ^2 检验, 绘制 ROC 曲线分析磁共振脑灌注参数预测 ACI 的临床价值, 并计算曲线下面积 (area under the curve, AUC)。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 TIA 患者疾病进展情况

随访期间, 64 例 TIA 患者共有 12 例病情进展为 ACI, 发生率为 18.75%。

2.2 ACI 发生组和未发生组患者各项磁共振脑灌注参数比较

发生组患者 rCBV、rCBF 相较于未发生组下降 ($t = 4.759, 4.707$, 均 $P < 0.05$), 两组患者 rMTT、TTP 指标比较差异均无统计学意义 ($t = 0.878, 0.812$, 均 $P > 0.05$) (表 1)。

表 1 ACI 发生组和未发生组患者各项磁共振脑灌注参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	rCBV (ml/min·100 g)	rMTT (s)	rCBF (ml/100 g)	TTP (s)
发生组 (n=12)	1.02±0.20	1.04±0.21	0.90±0.23	0.98±0.17
未发生组 (n=52)	1.30±0.18	0.99±0.17	1.21±0.20	0.94±0.15
<i>t</i>	4.759	0.878	4.707	0.812
<i>P</i>	<0.001	0.383	<0.001	0.420

注: rCBV: 相对脑血容量; rMTT: 相对平均通过时间; rCBF: 相对脑血流量; TTP: 达峰时间。

2.3 磁共振脑灌注参数预测 ACI 发生的临床价值

ROC 曲线分析结果显示, rCBV 预测 ACI 发生的 AUC 为 0.789, 敏感度、特异度及准确性分别为 80.25%、72.00%、76.33%; rCBF 预测 ACI 发生的 AUC 为 0.842, 敏感度、特异度及准确性分别为 64.10%、100%、73.50% (表 2)。

表 2 磁共振脑灌注参数预测 ACI 发生的临床价值

脑灌注参数	AUC	最佳阈值	敏感度	特异度	准确性
rCBV	0.789	0.509	80.25%	72.00%	76.33%
rCBF	0.842	0.631	64.10%	100%	73.50%

注: rCBV: 相对脑血容量; rCBF: 相对脑血流量; AUC: 曲线下面积。

2.4 典型病例影像分析

患者, 女, 52 岁, 以“突发右侧肢体无力伴言语不清 2 d”为主诉入院。灌注加权成像 (perfusion weighted imaging, PWI) 灌注图像示左侧基底节区、侧脑室、半卵圆中心、额顶颞叶、右侧侧脑室旁 MTT 及 TTP 延长, 左侧基底节区及侧脑室旁、颞叶、额叶局部 rCBF、rCBV 显著减低, 提示低灌注 (脑缺血失代偿期); 弥散加权成像 (diffusion weighted imaging, DWI) 显示左侧侧脑室旁 ACI; 表观扩散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC) 显示左侧侧脑室旁 ACI (图 1)。

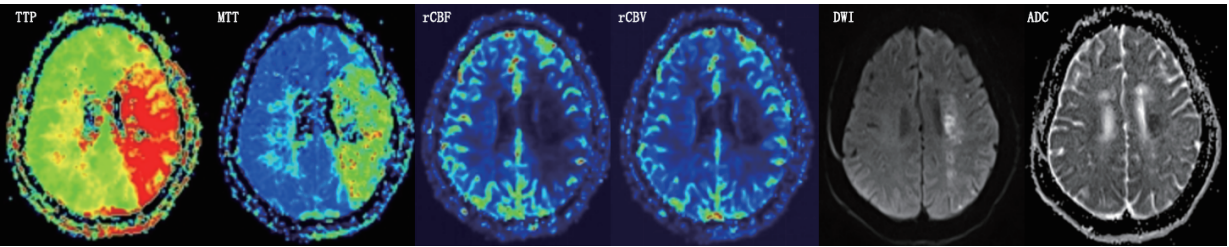


图 1 典型病例影像学图片

注: TTP: 达峰时间; MTT: 平均通过时间; rCBF: 相对脑血流量; rCBV: 相对脑血容量; DWI: 弥散加权成像; ADC: 表观扩散系数。

3 讨论

TIA 是脑部某一区域血流暂时性减少或中断,致局部脑组织缺血但未发生永久性损伤。其发病机制包括动脉粥样硬化、血栓形成等,动脉粥样硬化最常见,它导致血管狭窄、血流受阻,易形成血栓,血栓脱落或血管痉挛时,可致局部脑缺血^[9]。TIA 症状通常在短时间内(一般不超过 24 h)自行缓解,却是 ACI 的重要预警信号。TIA 与 ACI 的病理机制相似,均涉及脑部血管狭窄或闭塞。TIA 是血管暂时性阻塞导致的短暂性脑缺血,ACI 是血管持续性阻塞致脑组织坏死。TIA 提示脑血管存在易损斑块或血流动力学异常,增加 ACI 风险^[10]。

有报道指出,MR-PWI 在预测 TIA 患者疾病进展为 ACI 方面作用重大^[11]。其原理是通过测量脑组织血氧水平依赖性效应或动态对比增强技术,生成脑血流定量或半定量图像。与传统血管造影相比,MR-PWI 需要对比剂,因其无创、无动脉插管,可避免介入相关并发症发生;能提供高分辨率脑血流图像,帮助精确定位病变区域;还可通过计算 CBF、CBV 等参数,提供定量血流灌注数据^[12]。MR-PWI 可早期发现因血管狭窄或闭塞导致的脑组织灌注不足区域,其存在提示患者 ACI 风险较高。

本研究对 64 例 TIA 患者疾病进展情况分析发现,随访期间共有 12 例病情进展为 ACI,发生率为 18.75%,与陈丽颖等^[13]的研究结果基本相符。有报道称,灌注参数如 CBF、CBV 的异常变化与 TIA 进展为 ACI 的风险紧密相关,其异常可能预示脑组织缺血程度和进展风险。本研究对比发生组和未发生组患者各项磁共振脑灌注参数发现,发生组患者 rCBV、rCBF 指标较未发生组下降,两组 rMTT、TTP 指标无明显差异。分析原因,正常脑组织有“灌注储备”,血管狭窄导致血流速度减慢(rMTT、TTP 延长)时,脑组织可通过“毛细血管扩张”增加 CBV,维持 CBF 稳定,此时 rMTT、TTP 虽延长,但组织未缺血;未进展为 ACI 组灌注储备未耗竭,即使 rMTT、TTP 延长,CBF 仍正常;进展为 ACI 组灌注储备已耗竭,CBV 无法进一步升高,CBF 随之下落,最终导致缺血损伤。而 rMTT、TTP 仅反映血流速度延迟,与 CBF 无直接线性关联,即使两组 CBF 差异显著,rMTT、TTP 也因“侧支循环路径相似”而无统计学差异。这表明可将 rCBV、rCBF 作为预测 TIA 患者进展为 ACI 的重要

指标,因其是病变区域脑血容量与正常对照区域的比值,通过计算可定量评估脑组织血流灌注情况,反映脑组织血流灌注状态,有助于早期识别脑缺血区域和评估缺血程度,其异常变化可能预示脑组织缺血程度和进展风险^[14-15]。

本研究分析了磁共振脑灌注参数预测 ACI 发生的临床价值,结果显示,rCBV 预测 ACI 发生的 AUC 为 0.789,敏感度、特异度及准确性分别为 80.25%、72.00%、76.33%;rCBF 预测 ACI 发生的 AUC 为 0.842,敏感度、特异度及准确性分别为 64.10%、100.00%、73.50%,证实上述两项指标可用于预测 TIA 患者进展为 ACI。对急诊或门诊就诊的 TIA 患者,可先通过 rCBF 评估。王斌等^[16]研究纳入 97 例 TIA 患者,所有患者均在发病 24 h 内进行 MR-PWI 检查及 MRI(含 DWI)检查,并进行 TIA 患者短期中风风险评估量表(age, blood pressure, clinical features, duration of symptoms, and diabetes score, ABCD2 评分)及 MR-PWI 联合 ABCD2 评分,7 d 内复查了解有无新发脑梗死,结果显示,MR-PWI 联合 ABCD2 评分对 TIA 后患者 1 周内脑梗死发生风险的预测有较高临床价值。

综上,TIA 患者进展为 ACI 过程中,磁共振脑灌注参数水平会发生变化,rCBV、rCBF 可用于预测其进展为 ACI,临床价值较高,建议对 TIA 患者常规进行 PWI 检查。但本研究存在不足,如样本量较小,尤其是发生组样本量不足,可能影响统计结果的稳定性和外推性;且所有患者均为颈动脉狭窄导致的 TIA,限制了研究结论普适性,结果可能存在偏倚,后续可开展大样本多中心研究进一步验证。

参考文献

- [1] 黎洁洁,谷鸿秋,彭玉晶,等. 血脂谱对急性轻型卒中/短暂性脑缺血发作患者抗血小板治疗后出血风险的影响: CHANCE 研究的亚组分析[J]. 中华内科杂志, 2018, 57 (10): 723-730.
- [2] 黄丽,王磊,吴亚琴,等. 血小板活化因子和 ABCD3- I 评分预测老年短暂性脑缺血发作后进展为脑梗死的价值[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2023, 25 (4): 399-403.
- [3] 陈娟,杜春华,陶景山,等. MSCTA 联合 ABCD2 评分对短暂性脑缺血发作早期进展为脑梗死的预测价值[J]. 卒中与神经疾病, 2018, 25 (5): 525-528.
- [4] 钟才,韦英海,欧阳强,等. ABCD3 评分联合数字减影血管造影结果预测短暂性脑缺血发作患者近期发生脑卒中的价值[J]. 广西医学, 2022, 44 (5): 496-500.
- [5] 金可鑫,丁佳悦,孟然. 磁共振灌注成像在预警和预后缺血

- 性脑卒中的应用[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2020, 22 (2): 216-218.
- [6] 短暂性脑缺血发作中国专家共识组. 短暂性脑缺血发作与轻型卒中抗血小板治疗中国专家共识(2014年)[J]. 中华医学杂志, 2014, 94 (27): 2092-2096.
- [7] 中华医学会放射学分会介入学组. 颈动脉狭窄介入治疗操作规范(专家共识)[J]. 中华放射学杂志, 2010, 44 (9): 995-998.
- [8] 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.
- [9] 沈耀亮, 范佳, 陈波, 等. 银杏二萜内酯葡胺对轻型缺血性脑卒中/短暂性脑缺血发作的疗效及相关 miRNA 水平的影响[J]. 实用药物与临床, 2022, 25 (6): 499-502.
- [10] 张园园, 任思懿, 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.
- [11] 王华. 磁共振血管成像与三维动脉自旋标记脑灌注成像技术诊断缺血性脑血管疾病一致性比较[J]. 实用医院临床杂志, 2020, 17 (1): 36-39.
- [12] 何洁, 吉训明. 脑血流灌注显像与磁共振灌注成像在诊断老年人缺血性脑血管病中的价值比较[J]. 医学影像学杂志, 2018, 28 (6): 873-876.
- [13] 陈丽颖, 余辉云, 向入平, 等. CTP参数对短暂性脑缺血发作近期进展为急性脑梗死的预测价值探讨[J]. 国际神经病学神经外科学杂志, 2022, 49 (2): 20-23.
- [14] 孙凤涛, 张厚宁, 禹璐, 等. CT灌注成像参数在预测急性脑梗死溶栓后出血转化中的价值[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2021, 23 (1): 63-66.
- [15] 钟凯, 黎本丰, 俸跃波, 等. 磁共振脑灌注成像在颈动脉狭窄致短暂性脑缺血发作患者的预后应用价值[J]. 血栓与止血学, 2018, 24 (5): 730-733.
- [16] 王斌, 徐雪, 姚振威, 等. 磁共振灌注加权成像联合ABCD2评分评估短暂性缺血发作后脑梗死发生风险的价值[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2018, 24 (6): 455-459.