



电子、语音版

·论著·

急性脑梗死磁共振弥散加权成像特征在血管内血栓切除术 后颅内出血的预测价值

李刚, 陆志前, 刘建光
宣城市人民医院, 安徽 宣城 242000

摘要:目的 探讨急性脑梗死(ACI)中磁共振弥散加权成像(MRI DWI)特征在血管内血栓切除术(EVT)后颅内出血的预测价值。方法 将2021年8月—2023年12月在宣城市人民医院行EVT治疗的ACI患者107例纳入研究。根据EVT后有无颅内出血分组,收集患者一般资料,计算DWI梗死体积及最大达峰时间(T_{max})。结果 两组患者从发病到入院、EVT及静脉溶栓时间等比较,差异无统计学意义($P>0.05$),但术后颅内出血组空腹血糖(FBG)、糖化血红蛋白(HbA_{1c})水平及DWI值高于无出血组($P<0.05$)。HbA_{1c}、FBG、DWI梗死体积是预测ACI患者EVT后出血的预测因子($P<0.05$)。结论 ACI中MRI DWI特征、FBG和HbA_{1c}可作为EVT后颅内出血的预测指标,与术后颅内出血发生风险相关。

关键词:急性脑梗死;磁共振成像;弥散加权成像;颅内出血;糖化血红蛋白

中图分类号:R651.12

DOI:10.16636/j.cnki.jinn.1673-2642.2025.04.002

Value of diffusion-weighted imaging features in predicting intracranial hemorrhage after endovascular thrombectomy in patients with acute cerebral infarction

Li Gang, LU Zhiqian, LIU Jianguang
Xuancheng People's Hospital, Xuancheng, Anhui 242000, China

Abstract: **Objective** To investigate the value of MRI diffusion-weighted imaging (MRI DWI) in predicting intracranial hemorrhage after endovascular thrombectomy (EVT) in patients with acute cerebral infarction (ACI). **Methods** A total of 107 patients with ACI who underwent EVT in Xuancheng People's Hospital from August 2021 to December 2023 were enrolled, and according to the presence of absence of intracranial hemorrhage after EVT, the patients were divided into hemorrhage group and non-hemorrhage group. General data were collected, and infarct volume and T_{max} on DWI were calculated. **Results** There were no significant differences between the two groups in the time from disease onset to admission, EVT, and the time of intravenous thrombolysis ($P>0.05$), and after treatment, the hemorrhage group had significantly higher fasting blood glucose, HbA_{1c} and DWI value than the non-hemorrhage group ($P<0.05$). HbA_{1c}, fasting blood glucose, and DWI infarct volume were predictive factors for hemorrhage after EVT in patients with ACI ($P<0.05$). **Conclusions** MRI DWI features, fasting blood glucose, and HbA_{1c} can be used as predictive factors for intracranial hemorrhage after EVT in patients with acute cerebral infarction, and these factors are significantly associated with the risk of postoperative intracranial hemorrhage.

Keywords: acute cerebral infarction; magnetic resonance imaging; diffusion-weighted imaging; intracranial hemorrhage; HbA_{1c}

急性脑梗死(acute cerebral infarction, ACI)是指由于脑部血液供应中断,导致脑组织缺血和缺氧,进而引起脑细胞损伤和功能障碍的一种急性疾病^[1]。有研究^[2]表明

动脉粥样硬化是其发生的重要病理因素,动脉内壁的脂肪沉积会导致血管狭窄和血栓形成。此外心脏疾病(如心房颤动、心脏瓣膜疾病等)导致血栓脱落,进入脑血管,

收稿日期:2024-10-19;修回日期:2025-06-06

也是导致ACI的重要因素^[3]。ACI的治疗目标是恢复脑血流、减轻脑损伤并改善预后^[3]。血管内血栓切除术(endovascular thrombectomy, EVT)是一种治疗ACI特别是大血管闭塞性脑梗死的有效方法。相关研究^[4]表明,接受EVT的患者在功能恢复和生存率方面优于仅接受静脉溶栓治疗的患者。虽然手术相对安全,但可能出现并发症,如出血、血管损伤、感染等。颅内出血(intracranial hemorrhage, ICH)是ACI患者在接受血管内治疗后可能发生的严重并发症,发生率为30%~40%^[5]。ICH不仅会导致患者的功能性恢复受损,还与较高的病死率和发病率相关。因此,识别ICH的预测因子对于优化围手术期管理、加强监测和制定个体化治疗方案至关重要。弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)是一种磁共振成像(MRI)技术,主要用于评估水分子在组织中的运动情况。由于脑组织在缺血或出血后水分子的扩散会发生变化,DWI能够在早期识别脑组织的病理变化。有研究^[6-7]发现,对于发生ICH的成人患者,空腹血糖(fasting blood glucose, FBG)升高、中性粒细胞(Neutrophil, NEU)计数增加以及中性粒细胞与淋巴细胞比值(neutrophil-to-lymphocyte ratio, NLR)升高,是导致远离出血原发灶的脑组织出现继发性病变的危险因素。此外,有研究^[7]发现,DWI-Alberta卒中项目早期CT评分(DWI-ASPECTS)可实现对急性缺血性脑卒中不良预后的评估,提示MRI DWI在EVT后ICH的预测中展现了良好的潜力。国外有研究^[8]表明,在接受血管内治疗的ACI患者中,术后DWI序列上出现的高信号区域(提示局部脑组织存在缺血损伤或细胞水肿),与术后ICH的发生存在相关,这表明DWI是一种有价值的预测工具。基于此,本研究分析本院ACI患者MRI DWI及临床特征,旨在为临床采取更优化预测因子分析ACI术后ICH提供依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

将2021年8月—2023年12月在宣城市人民医院进行EVT治疗的ACI患者107例纳入回顾性研究。其中,男性68例,女性39例;年龄58~80岁,平均(67.34±5.45)岁。本研究已获医院医学伦理委员会审批(20210810)。分组方法:根据EVT后有无ICH,分为无出血组67例,出血组40例。

纳入标准:①符合ACI诊治标准^[9];②首次急性前循环卒中;③发病24 h内进行手术;④签署知情同意书,且各项临床资料完整。

排除标准:①缺失神经功能评分测量资料;②缺失MRI影像学检查资料;③拒绝EVT治疗。

1.2 检查方法

扫描仪采用3.0 T MRI扫描仪(西门子Skyra 3.0 T)。

MRI序列类型:反转恢复序列。重复时间(repetition time, TR):7 000 ms。回波时间(echo time, TE):120 ms。采集矩阵:356×151。视野(field of view, FOV):230 mm×230 mm。翻转角:90°。层数:18。层厚:6 mm。层间距:1.3 mm。

DWI序列。序列类型:自旋回波序列。TR:2 501 ms。TE:98 ms。采集矩阵:152×122。方向:3方向。FOV:230 mm×230 mm。翻转角:90°。层数:18层。层厚:6 mm。层间距:1.3 mm。b值:0和1 000 s/mm²

此外采取3D-MRA序列。序列类型:快速回波(FFE)序列。TR:4.9 ms。TE:1.82 ms。采集矩阵:256×256。FOV:230 mm×230 mm。翻转角:15°。

1.3 检查指标

收集患者一般资料,包括从发病到入院、MRI检查、EVT、血管再通的时间,FBG及糖化血红蛋白(glycated hemoglobin, HbA1c),美国国立卫生研究院卒中量表(National Institute of Neurological Disorders and Stroke Scale, NIHSS),改良Rankin量表(modified Rankin Scale, mRS)等。

在影像学评估环节,采用成像数据的快速自动处理(rapid automatic processing of imaging data, RAPID)软件对DWI序列进行分析,自动计算DWI梗死体积并评估最大达峰时间(time to maximum, Tmax)。DWI梗死区量化:通过DWI序列识别脑组织中水分子弥散受限的高信号区域,软件自动勾勒并计算梗死核心区体积,该区域代表不可逆损伤的脑组织。Tmax灌注参数评估:基于灌注加权成像(perfusion weighted imaging, PWI)数据,Tmax用于反映脑组织血流动力学延迟程度,其中Tmax>6 s的区域提示存在缺血性损伤或组织低灌注状态。DWI-PWI不匹配体积计算:通过计算Tmax>6 s的低灌注体积与DWI梗死体积的差值,获得DWI-PWI不匹配体积(即“缺血半暗带”体积),该参数可反映潜在可挽救的缺血脑组织范围。

1.4 统计学方法

研究数据纳入SPSS 25.0处理。计数资料采用例表示,比较采用 χ^2 检验。计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,比较用 t 检验。影响因素分析采用多因素Logistic回归方法。采用受试者操作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线及曲线下面积(area under curve, AUC)来判断检验效能。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组一般情况

两组一般资料比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$),但术后出血组FBG、HbA1c水平高于无出血组($P < 0.05$)。见表1。

表1 单因素分析

组别	年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	从发病到 入院时间 (h, $\bar{x} \pm s$)	从发病到 MRI时间 (h, $\bar{x} \pm s$)	从发病到 EVT时间 (h, $\bar{x} \pm s$)	从发病到 静脉溶栓 时间 (h, $\bar{x} \pm s$)	FBG (mg/L, $\bar{x} \pm s$)	HbA1c (%, $\bar{x} \pm s$)	男/女 /例	体质指数 (kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	高血压 病 史(是/ 否)/例	糖尿 病 史(是/ 否)/例
无出血组(n=67)	66.34±12.61	4.22±0.37	54.22±10.57	6.85±1.21	7.43±0.53	11.82±1.51	5.81±0.43	39/28	24.12±3.27	45/22	22/45
出血组(n=40)	67.56±13.55	4.17±0.27	57.62±10.64	6.98±1.44	7.57±0.56	13.57±1.42	6.34±0.25	29/11	24.89±3.51	28/12	15/25
χ^2/t 值	0.848	0.139	1.502	0.236	0.286	8.372	7.286	0.032	1.023	0.156	0.389
P值	0.215	0.817	0.136	0.972	0.671	0.001	0.001	0.858	0.310	0.692	0.533

2.2 两组影像学指标及神经功能评分情况

两组PWI容积、DPM容积、入院NIHSS评分和入院时mRS评分、Tmax>6s低灌注体积及DWI-PWI不匹配体积

比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),但出血组DWI容积高于无出血组($P<0.05$)。见表2。

表2 影像学指标及神经功能评分比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	DWI容积/mL	PWI容积/mL	DPM容积/mL	入院NIHSS评分/分	入院时mRS评分/分	Tmax>6s低灌注体积/mL	DWI-PWI不匹配体积/mL
无出血组(n=67)	29.64±2.82	181.12±10.27	151.22±11.57	6.85±1.21	3.82±0.35	148.6±19.5	119.2±17.6
出血组(n=40)	51.38±5.38	196.27±22.27	147.62±10.64	6.98±1.44	3.97±0.36	152.3±22.7	122.7±18.9
t值	2.848	0.639	0.202	0.236	0.872	0.821	0.913
P值	0.015	0.317	0.836	0.813	0.241	0.413	0.363

2.3 多因素 Logistic 回归分析结果

Logistic 回归分析发现, HbA1c、FBG水平、DWI梗死体积是ACI患者EVT后出血的影响因素($P<0.05$)。见表3。

2.4 ROC及相应截断值

HbA1c的AUC=0.723, FBG水平的AUC=0.731, DWI梗死体积的AUC=0.737, 均介于0.70~0.90, 说明HbA1c、

表3 多因素 Logistic 回归分析情况

自变量	b	S _b	Wald χ^2 值	OR	95%CI	P值
HbA1c	1.187	0.558	4.521	3.241	1.034~6.345	0.031
FBG水平	0.051	0.023	5.124	1.056	1.095~3.214	0.018
DWI梗死体积	-0.283	0.133	4.391	0.752	0.514~8.095	0.035

FBG水平、DWI梗死体积预测风险价值较高。见图1。

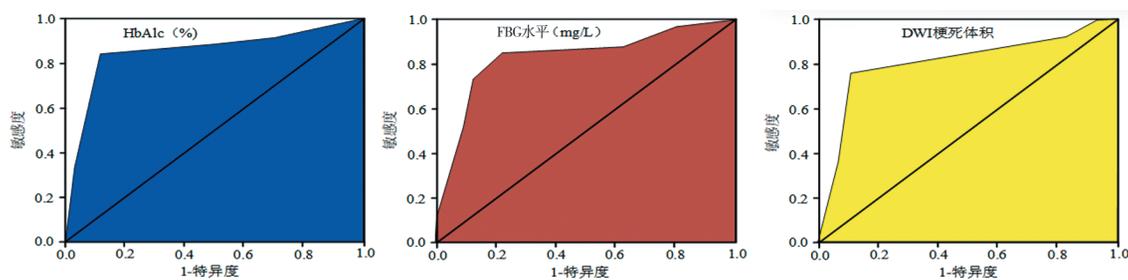


图1 ROC及相应截断值

3 讨论

近年来,随着EVT的广泛应用,ACI的治疗取得了显著进展^[10]。国内外关于MRI DWI对ACI的相关研究也逐渐增多, DWI对超早期脑梗死(发病6h内)的检出率优于CT,尤其对腔隙性梗死等小病灶敏感性更高^[11]。许首英等^[12]通过检测水分子弥散受限特性,可精准界定缺血核心区边界,较传统CT更早揭示组织损伤(表4)。本研究

中DWI梗死体积的预测价值与许首英的研究一致,提示不可逆缺血核心区的大小是术后出血的基础病理因素。此外上述研究表明ACI的发生涉及2个关键区域,即缺血性核心区和缺血半暗带。缺血性核心区是急性缺血而导致不可逆性损伤的脑组织所在区域,通常在发病后很短的时间内细胞就会死亡,无法恢复功能,多项临床试验结果表明,接受EVT的患者相较于仅接受静脉溶栓治

疗的患者,神经功能恢复更好。但是 EVT 后 ICH 的发生率一般在 19%~50%^[13-14]。有研究^[15]表明, DWI 能够清晰显示缺血性核心区(通常为高信号)和缺血半暗带(相对低信号)。在 EVT 后,如果 DWI 检查显示缺血半暗带的

体积较大,表明存在更高的出血风险,探究 ACI 中 MRI DWI 特征在 EVT 后 ICH 的预测价值对改善患者预后有着重要意义。

表4 MRI DWI对ACI的相关研究文献

文献序号	作者	文章标题	刊物名称	主要研究结果
[11]	刘沂洲	早期腔隙性脑梗死 CT 和 MRI 检查的诊断效能分析	世界复合医学	发现 MRI(尤其是 DWI 序列)对早期腔隙性脑梗死的检出率高于 CT, DWI 可在发病 6 h 内显示明确高信号病灶,而 CT 在 24 h 内常呈阴性,提示 DWI 对超早期小病灶诊断具有优势
[12]	许首英,等	MRI 与 CT 诊断脑梗死并脑出血的应用价值	影像研究与医学应用	对比 MRI 和 CT 对脑梗死后出血转化的诊断效能,显示 MRI(尤其是梯度回波序列和 DWI)对微小出血灶的检出率更高,可识别 CT 难以发现的点状出血或渗血,且 DWI 能同时评估缺血核心区与出血灶的空间关系,为精准诊断提供依据
[13]	刘荣,等	磁共振 DWI 纹理分析预测高血压脑出血扩大的价值	新疆医学	基于 DWI 图像的纹理特征(如能量、熵值)分析,发现出血灶周边 DWI 纹理异质性与血肿扩大相关,联合纹理参数可提高早期预测脑出血进展的准确性,为临床评估病情恶化风险提供新的影像学指标
[14]	Mouchtouris, et al	Low diagnostic yield in follow-up MR imaging in patients with spontaneous intracerebral hemorrhage with a negative initial MRI	Neuroradiology	对于初始 MRI 阴性的自发性脑出血患者,随访 MRI 的诊断价值较低,仅发现少数病例存在微小出血灶或缺血性改变,提示早期 DWI 阴性不能完全排除后续出血风险,但需结合临床动态观察
[15]	Gandhi, et al	Susceptibility-weighted MRI as an imaging marker for reperfusion injury in acute ischemic stroke following mechanical thrombectomy	Neurology India	磁敏感加权成像(SWI)可检测 EVT 后微出血灶,与 DWI 梗死体积联合分析显示, SWI 阳性患者的 DWI 核心梗死体积更大,提示 SWI 结合 DWI 有助于评估再灌注损伤程度,预测症状性 ICH 风险
[16]	徐礼侠,等	静脉性脑梗死的 MRI 特点	医学影像学杂志	静脉性脑梗死在 DWI 上多表现为皮质及皮质下多发小病灶,呈不规则高信号,常伴脑肿胀及静脉窦血栓信号, DWI 联合增强 MRI 可提高静脉窦血栓显示率,为临床鉴别动脉性与静脉性梗死提供关键影像依据
[17]	马潇越,等	氨基质子转移 MRI 在脑出血患者中的应用	临床放射学杂志	发现氨基质子转移(APT)成像信号强度与脑出血灶周围水肿区 DWI 高信号范围呈正相关, APT 可定量评估血肿周围神经元损伤程度,补充 DWI 对缺血-出血交界区的微观结构显示,为评估预后提供新的功能影像参数
[18]	徐艳丽,等	TEG 参数、HbA1c 联合梗死体积对急性缺血性脑卒中患者治疗后颅内出血的预测价值	临床心身疾病杂志	联合血栓弹力图(TEG)参数、HbA1c 及 DWI 梗死体积,可有效预测 EVT 术后 ICH 风险,其中 HbA1c>6.0% 且 DWI 体积>40.5 mL 的患者出血发生率升高,提示多模态指标联合评估优于单一参数
[19]	李恒,等	静脉性脑梗死的多模态 MRI 诊断价值分析	临床医学研究与实践	通过 DWI、增强 MRI 及 MR 静脉成像(MRV)联合分析,发现静脉性脑梗死的 DWI 病灶分布与静脉引流区一致,常伴皮层静脉或静脉窦充盈缺损, DWI 联合 MRV 对静脉性梗死的诊断准确率达 92.3%,高于单一 DWI 序列
[20]	郑雄辉,等	MRI 弥散成像及灌注成像检查在脑梗死早期诊断中的临床应用	西藏医药	对比 DWI 与 PWI 在超早期脑梗死中的表现,发现 DWI 可更早显示缺血核心区(发病 3 h 内),而 PWI 能反映血流动力学改变(如 Tmax 延长),两者结合可准确评估缺血半暗带范围,为急性期再灌注治疗(如 EVT)提供精准的时间窗及靶点选择依据

本次研究中 ICH 在 ACI 患者 EVT 后发生率为 37.38%,与临床调查研究结果相似,这么高的发生率,表明了解 ICH 的影响因素至关重要。为了最大限度减少选择偏倚对结果的不良影响,本研究中调整了多种潜在的混杂因素,包括从发病到入院、EVT、静脉溶栓的时间进行比较,这是因为较短的发病到入院时间通常意味着患者能够更快接受治疗,及时进行血管再通(如 EVT)。这可以减少脑组织的缺血时间,从而降低继发性损伤和出

血的风险,因此本研究避免了此混杂因素的影响。

本次研究结果表明 HbA1c、FBG 水平是预测 ACI 患者 EVT 后出血的重要因子。这是因为长期高血糖可导致血管内皮功能受损,增加出血风险^[16-17]。有研究表明,高 HbA1c 水平与慢性炎症相关,这可进一步增加出血倾向,综合因素下高 HbA1c 水平与术后 ICH 风险增加相关^[18]。HbA1c 反映了患者过去 2~3 个月的血糖控制,较高的 HbA1c 通常提示血糖控制不佳。此外术前 FBG 水平升高

也与脑出血风险增加相关。相关研究显示,FBG水平升高会影响缺血后再灌注损伤,导致出血风险上升。患者在EVT前FBG控制不佳,会增加术后并发症的风险,包括脑出血^[19]。ACI患者常出现持续高血糖状态,这种高血糖不仅是应激反应的一部分,还归因于应激激素(如肾上腺素和皮质醇)的增加。持续高血糖会促进糖原的无氧糖酵解,导致乳酸等代谢产物的积累,从而造成体液的酸性环境。酸性环境会抑制细胞内许多酶的活性,影响能量代谢和细胞功能。

本研究显示,在ACI患者中,DWI梗死体积的增大可能引起ICH风险增加。这意味着DWI梗死体积不仅反映了脑组织的缺血程度,也是评估ICH发生风险的重要指标。研究发现,接受EVT治疗的患者中,发生ICH患者的DWI梗死体积大于未发生ICH患者,这表明DWI梗死体积作为一种影像学指标,与ICH的发生风险相关^[20]。PWI是一种MRI成像技术,用于评估脑组织的血流灌注状态。其可以帮助识别脑区的灌注不足和潜在的缺血区域。但在评估ICH风险时,其无法单独作为有效的预测指标,需要结合其他临床和影像学因素进行综合评估。

综上所述,ACI中MRI DWI特征、FBG和HbA1c可作为EVT后ICH的预测指标。

参 考 文 献

- [1] JOLINK WM, LINDENHOLZ A, VAN ETTEN ES, et al. Contrast leakage distant from the hematoma in patients with spontaneous ICH: a 7 T MRI study[J]. *J Cereb Blood Flow Metab*, 2020, 40(5): 1002-1011.
- [2] 郭群, 吴含, 陆小妍, 等. MRI在急性脑梗死患者血管内血栓切除术后颅内出血的预测价值[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2024, 22(5): 1-3.
- [3] ORAKCIOGLU B, BECKER K, SAKOWITZ OW, et al. MRI of the perihemorrhagic zone in a rat ICH model: effect of hematoma evacuation[J]. *Neurocrit Care*, 2008, 8(3): 448-455.
- [4] 李敏, 李锦师, 陈娟, 等. 高脂血症是头颅MRI指导的静脉溶栓脑出血的高危因素[J]. *脑与神经疾病杂志*, 2023, 31(7): 438-441.
- [5] 张波, 孙善全, 甘胜伟, 等. 两种脑出血动物模型的AQP4表达与磁共振成像的比较研究[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2012, 30(3): 329-332.
- [6] 蔡瑞兴, 苏莉, 张秦, 等. 成人ICH患者基于MRI-DWI检查远隔病灶发生危险因素研究[J]. *中华养生保健*, 2024, 42(2): 54-57.
- [7] 吴江, 朱艳, 柏根基, 等. 治疗后DWI-ASPECTS评分对急性缺血性脑卒中的预后评估[J]. *临床放射学杂志*, 2023, 42(12): 1866-1870.
- [8] CHAUDHARY N, PANDEY AS, GRIAUZDE J, et al. Brain tissue iron quantification by MRI in intracerebral hemorrhage: current translational evidence and pitfalls[J]. *J Cereb Blood Flow Metab*, 2019, 39(3): 562-564.
- [9] 赵建国. 脑梗死[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2006: 15.
- [10] 赵珺志, 闫兴利, 梁杨. 脑梗死患者MRI检查与认知功能关系的临床分析[J]. *医学影像学杂志*, 2023, 33(7): 1255-1258.
- [11] 刘沂洲. 早期腔隙性脑梗死CT和MRI检查的诊断效能分析[J]. *世界复合医学*, 2024, 10(5): 149-152.
- [12] 许首英, 陈任政, 陈智慧. MRI与CT诊断脑梗死并脑出血的应用价值[J]. *影像研究与医学应用*, 2024, 8(2): 15-17.
- [13] 刘荣, 丁祥华, 王建力, 等. 磁共振DWI纹理分析预测高血压脑出血扩大的价值[J]. *新疆医学*, 2023, 53(8): 939-942, 950.
- [14] MOUCHTOURIS N, SAIEGH FA, CHALOUHI N, et al. Low diagnostic yield in follow-up MR imaging in patients with spontaneous intracerebral hemorrhage with a negative initial MRI[J]. *Neuroradiology*, 2021, 63(7): 1009-1012.
- [15] GANDHI JM, CHERIAN PM, MEHTA P, et al. Susceptibility-weighted MRI as an imaging marker for reperfusion injury in acute ischemic stroke following mechanical thrombectomy[J]. *Neurol India*. 2022, 70(3): 1041-1047. doi: 10.4103/0028-3886.349638. PMID: 35864636.
- [16] 徐礼侠, 刘丽, 吕秀花, 等. 静脉性脑梗死的MRI特点[J]. *医学影像学杂志*, 2023, 33(3): 389-392.
- [17] 马潇越, 李玉成, 窦社伟, 等. 氨基质子转移MRI在脑出血患者中的应用[J]. *临床放射学杂志*, 2018, 37(9): 1441-1445.
- [18] 徐艳丽, 卢才磊, 张晓钰. TEG参数HbA1c联合梗死体积对急性缺血性脑卒中患者治疗后颅内出血的预测价值[J]. *临床心身疾病杂志*, 2024, 30(3): 26-30.
- [19] 李恒, 张明, 牛璇, 等. 静脉性脑梗死的多模态MRI诊断价值分析[J]. *临床医学研究与实践*, 2024, 9(17): 109-112.
- [20] 郑雄辉, 曹春娟, 林登墙. MRI弥散成像及灌注成像检查在脑梗死早期诊断中的临床应用[J]. *西藏医药*, 2024, 45(3): 22-23.

责任编辑:王荣兵