

· 论著 · 头颈部 ·

高分辨率磁共振成像联合CT血管造影侧支循环评分预测缺血性脑卒中复发风险

冯晓菁^{1,*} 于慧锦² 韩元豪¹

1.驻马店市第一人民医院医学影像科(河南 驻马店 463000)

2.驻马店市中心医院超声医学科(河南 驻马店 463000)

【摘要】目的 探讨高分辨率磁共振成像(HR-MRI)联合计算机断层扫描(CT)血管造影侧支循环评分预测缺血性脑卒中复发风险。**方法** 选取驻马店市第一人民医院于2021年3月至2024年5月收治的106例缺血性脑卒中患者为研究对象,患者均行HR-MRI检查,根据1年的随访结果分为未复发组(n=79)和复发组(n=27)。比较两组患者的一般资料、斑块特征及Tan评分,采用多因素分析缺血性脑卒中患者复发的独立危险因素,运用ROC曲线评估HR-MRI联合Tan评分对患者复发的预测价值。**结果** 多因素分析结果显示,高血压病史、斑块出血、斑块强化及管腔狭窄率、斑块负荷等水平升高均是缺血性脑卒中患者复发的独立危险因素,而Tan评分升高是独立保护因素($P<0.05$)。ROC曲线结果显示,管腔狭窄率、斑块负荷与Tan评分联合检测预测缺血性脑卒中患者复发的价值优于单一指标检测($AUC=0.884$, $P<0.05$)。**结论** 管腔狭窄率、斑块负荷与Tan评分联合检测可提高缺血性脑卒中患者复发的预测价值。

【关键词】 高分辨率磁共振成像; 计算机断层扫描血管造影侧支循环评分; 缺血性脑卒中; 复发

【中图分类号】 R445.2

【文献标识码】 A

DOI:10.3969/j.issn.1009-3257.2026.5.015

High-Resolution Magnetic Resonance Imaging Combined with CT Angiography Collateral Circulation Score Predicts the Risk of Ischemic Stroke Recurrence

FENG Xiao-jing^{1,*}, YU Hui-jin², HAN Yuan-hao¹.

1.Department of Medical Imaging, The First People's Hospital of Zhumadian, Zhumadian 463000, Henan Province, China

2.Department of Ultrasound Medicine, Zhumadian Central Hospital, Zhumadian 463000, Henan Province, China

Abstract: Objective To investigate the risk of recurrent ischemic stroke predicted by high-resolution magnetic resonance imaging (HR-MRI) combined with computed tomography (CT) angiography collateral circulation score. **Methods** 106 patients with ischemic stroke admitted to the First People's Hospital of Zhumadian from March 2021 to May 2024 were selected as the study subjects. All patients underwent HR-MRI examination. According to the 1-year follow-up results, they were divided into non-recurrence group (n=79) and recurrence group (n=27). The general data, plaque characteristics and Tan score of the two groups were compared. Multivariate analysis was used to analyze the independent risk factors of recurrence in patients with ischemic stroke. ROC curve was used to evaluate the predictive value of HR-MRI combined with Tan score for recurrence. **Results** Multivariate analysis showed that hypertension history, plaque hemorrhage, high enhancement degree, lumen stenosis rate and plaque load were independent risk factors for recurrence of ischemic stroke, while Tan score was an independent protective factor ($P<0.05$). The ROC curve showed that the value of combined detection of lumen stenosis rate, plaque load and Tan score in predicting recurrence of ischemic stroke patients was better than that of single index detection ($AUC=0.884$, $P<0.05$). **Conclusion** The combined detection of lumen stenosis rate, plaque load and Tan score can improve the predictive value of recurrence in patients with ischemic stroke.

Keywords: High-Resolution Magnetic Resonance Imaging; Computed Tomography Angiography Collateral Circulation Score; Ischemic Stroke; Recurrence

脑卒中具有高发病率、高复发率及高致残率等特征。在人口老龄化加剧的背景下,脑血管病危险因素持续凸显。卒中复发会加重神经功能缺损,并显著增加死亡风险。规范的二级预防可降低复发率,而早期识别危险因素对改善预后至关重要^[1]。高分辨率磁共振成像(high-resolution magnetic resonance imaging, HR-MRI)可准确评估动脉粥样硬化斑块特征与易损性,识别正性重构等易损标志,在卒中风险分层和预后预测方面优于传统影像学方法,并能动态监测斑块演变^[2]。基于计算机断层扫描(computed tomography, CT)血管造影的Tan评分通过评估侧支循环状态反映脑灌注情况,与临床预后及血管内治疗决策密切相关,已成为卒中治疗的重要指标^[3]。目前,HR-MRI斑块特征与Tan评分相结合的研究尚

少。因此,本研究探讨二者联合对缺血性脑卒中复发风险的预测价值,为早期干预和个体化二级预防提供影像学依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取驻马店市第一人民医院于2021年3月至2024年5月收治的106例缺血性脑卒中患者为研究对象,患者均行HR-MRI检查。

纳入标准:符合急性缺血性脑卒中的诊断标准^[4];年龄>18岁;签署知情同意书。排除标准:伴有颅内肿瘤或其他结构性脑部疾病者;存在MRI扫描禁忌证者;既往有脑出血病史者;临床相关信息缺失者。

1.2 方法

【第一作者】 冯晓菁,女,主管技师,主要研究方向:医学影像科。E-mail: feng1987jingxiao@163.com

【通讯作者】 冯晓菁

1.2.1 资料收集 收集患者一般资料(年龄、性别、高血压、糖尿病及冠心病史)、斑块特征及Tan评分。

1.2.2 HR-MRI检查 采用3.0T MR扫描仪(Siemens Magnetom Skyra)对患者行常规MRI及HR-MRI扫描。由两名影像医师独立分析图像,在勾画狭窄血管、斑块及梗死灶边界后,测量以下参数:血管总面积、管腔直径与面积、管腔狭窄率(%)=(1-最窄处管腔直径/参考段管腔直径)×100%、斑块负荷[(斑块面积/血管总面积)×100%]、斑块出血(T1WI高信号,信号强度>邻近肌肉150%)、正性重构(重构指数RI>1.05, RI=最窄处血管面积/参考血管面积)、斑块强化程度(0级:无强化;1级:轻度强化;2级:显著强化)^[5]。

1.2.3 Tan评分 采用飞利浦64排128层螺旋CT行头颈部CTA检查,扫描范围自主动脉弓至颅顶。以5mL/s速率经肘静脉注射碘普罗胺370mgI/mL造影剂50~80mL及0.9%氯化钠溶液30~40mL。基于CTA图像采用Tan评分系统评估侧支循环:3分(完全充填,100%)、2分(显著充填,50%~99%)、1分(部分充填,<50%)、0分(无侧支供血)^[6]。

1.2.4 随访与分组 患者通过住院复查和电话访问完成为期1年的随访。卒中复发为神经内科和影像科医师共同诊断的复发性短暂性脑缺血发作或急性缺血性卒中。据此将患者分为未复发组(n=79)和复发组(n=27)。

1.3 统计学方法 数据采用SPSS 27.0分析。计量资料如Tan评分等以($\bar{x} \pm s$)表示,行t检验;计数资料如冠心病史等用n(%)表示,组间比较行 χ^2 检验。采用多因素Logistic回归分析缺血性脑卒中患者复发的独立危险因素,运用ROC曲线评估HR-MRI联合Tan评分对患者复发的预测价值,AUC比较采用Delong检验。 $P<0.05$ 表明差异有统计学意义。

2 结果

2.1 单因素分析 复发组管腔狭窄率、斑块负荷、高血压病史、斑块出血及2级强化程度占比均高于未复发组,而复发组Tan评分低于未复发组($P<0.05$),见表1。

2.2 多因素分析 多因素分析结果显示,高血压病史、斑块出血、斑块强化及管腔狭窄率、斑块负荷等水平升高均是缺血性脑卒中患者复发的独立危险因素,而Tan评分升高是独立保护因素($P<0.05$),见表2。

2.3 HR-MRI联合Tan评分预测缺血性脑卒中复发的ROC特征 ROC曲线结果显示,管腔狭窄率、斑块负荷与Tan评分预测缺血性脑卒中患者复发的AUC分别为0.790、0.682、0.789。联合检测预测价值优于单一指标检测($AUC=0.884, P<0.05$),见表3、图1。

表1 单因素分析[n(%)]

指标	n	复发组(n=27)	未复发组(n=79)	t/ χ^2 值	P值
年龄(岁)		61.52±11.78	58.61±10.39	1.214	0.228
男	64	18(66.67)	46(58.23)	0.599	0.439
高血压病史	45	17(62.96)	28(35.44)	6.238	0.013
糖尿病史	22	7(25.93)	15(18.99)	0.589	0.443
冠心病史	16	6(22.22)	10(12.66)	0.787	0.375
血管总面积(mm ²)		15.17±1.82	15.31±2.04	0.316	0.753
管腔直径(mm)		1.74±0.26	1.81±0.32	1.026	0.307
管腔面积(mm ²)		5.94±1.62	5.73±1.58	0.592	0.555
斑块负荷(%)		25.39±4.87	22.17±4.16	3.322	0.001
斑块出血	37	16(59.26)	21(26.58)	9.457	0.002
正性重构	57	17(62.96)	40(50.63)	1.231	0.267
斑块强化				7.259	0.027
0级	5	1(3.70)	4(5.06)		
1级	46	6(22.22)	40(50.63)		
2级	55	20(74.07)	35(44.30)		
管腔狭窄率(%)		43.26±10.45	31.83±8.42	5.716	<0.001
Tan评分(分)		1.03±0.83	1.84±0.97	3.878	<0.001

表2 多因素分析

因素	赋值	β值	S.E.值	Wald值	OR值	95%CI值	P值
斑块负荷(%)	原值输入	0.222	0.087	6.511	1.249	1.053~1.481	0.011
管腔狭窄率(%)	原值输入	0.178	0.065	7.499	1.195	1.052~1.357	0.006
Tan评分(分)	原值输入	-1.003	0.440	5.196	0.367	0.155~0.869	0.023
高血压病史	无=0, 有=1	1.590	0.785	4.103	4.904	1.053~22.842	0.043
斑块出血	无=0, 有=1	1.768	0.826	4.581	5.859	1.161~29.576	0.032
斑块强化	0级=0, 1级=1, 2级=2	1.629	0.690	5.574	5.099	1.319~19.715	0.018

表3 HR-MRI联合Tan评分预测缺血性脑卒中复发的ROC特征

指标	截点值	AUC	敏感度	特异性	95%CI	P值
斑块负荷	26.81%	0.682	0.519	0.848	0.562~0.803	0.005
管腔狭窄率	45.53%	0.790	0.556	0.962	0.685~0.894	<0.001
Tan评分	1.66分	0.789	0.963	0.608	0.705~0.872	<0.001
联合检测	0.25	0.884	0.815	0.810	0.817~0.952	<0.001

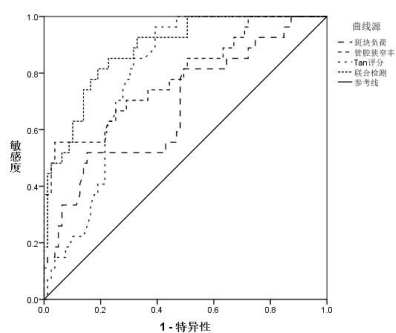


图1 ROC曲线。

3 讨论

缺血性脑卒中主要由脑部血流灌注不足或脑血管闭塞引起,约占脑卒中总数的80%^[7]。该病易复发,且复发患者死亡风险约为初发者的两倍,神经功能结局更差,同时住院负担显著加重^[8]。尽管急性期治疗手段持续改进,但复发率仍居高不下,近半数患者会遗留持续性神经功能缺损。因此,探寻可用于早期诊断和风险预测的指标已成为改善预后的重要研究方向。基于此,本研究探讨HR-MRI联合Tan评分对缺血性脑卒中复发风险的预测价值。

本研究多因素分析显示,高血压史、斑块出血、斑块强化及管腔狭窄率、斑块负荷等升高均是缺血性脑卒中患者复发的独立危险因素,而Tan评分升高是独立保护因素。分析可能原因,高血压可通过损伤血管内皮、降低血管弹性,促进动脉粥样硬化斑块形成与不稳定,并诱发斑块成分改变,从而显著增加血栓形成及卒中复发风险^[9]。斑块出血作为颈动脉斑块易损性的关键标志,常伴随严重狭窄、较大斑块面积、较高壁面指数及钙化与脂质坏死核心等高危特征^[10]。斑块强化是颅内斑块炎症的重要影像学表现,与近期缺血事件、炎症浸润及内皮功能障碍密切相关,急性期强化尤为显著,提示炎症活跃及斑块失稳^[11]。此外,斑块强化程度与脑白质高信号进展相关,其半定量分析有助于识别高危斑块、评估复发风险和指导个体化干预^[12]。管腔狭窄可导致血流灌注不足、远端低灌注和血栓形成风险增高,从而增加卒中复发可能^[13]。斑块负荷升高亦是重要独立危险因素,即使未引起显著管腔狭窄,高负荷仍可通过增大斑块体积、扰乱局部血流及增强易损性,进而提高斑块破裂与栓塞风险^[14]。此外,斑块负荷与狭窄程度呈正相关,且多伴随脂质核心扩大、纤维帽变薄等高危特征^[15]。Tan评分反映侧支循环状态,既体现机体代偿潜力,也提示可能存在严重狭窄与血流代偿失调,整体可反映脑血管病变负荷及不稳定风险^[16]。此外,本研究ROC曲线结果显示,联合检测管腔狭窄率、斑块负荷与Tan评分对缺血性脑卒中复发的预测价值优于任一单一指标。多指标整合可更全面评估血管狭窄程度、斑块易损性及侧支代偿状态,显著提升风险分层能力,为个体化二级预防提供更可靠依据。

综上所述,管腔狭窄率、斑块负荷与Tan评分联合检测可提高缺血性脑卒中患者复发的预测价值。但本研究的局限在于

单中心、小样本设计,未来需通过多中心、大样本研究进一步验证HR-MRI联合Tan评分的预测效能及临床适用性。

参考文献

- [1] Jin J, Ma P, Wang E, et al. Risk factors of recurrence of acute ischemic stroke and construction of a nomogram model for predicting the recurrence risk based on Lasso Regression[J]. Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao, 2024, 44(12): 2375-2381.
- [2] Chu H, Dong S, Zhang Y, et al. Characterizing anterior and posterior circulation strokes using high-resolution magnetic resonance imaging[J]. SLAS Technol, 2025, 33: 100319.
- [3] Yang W, Soomro J, Jansen IGH, et al. Collateral capacity assessment: robustness and interobserver agreement of two grading scales and agreement with quantitative scoring[J]. Clin Neuroradiol, 2023, 33(2): 353-359.
- [4] 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. 中华神经科杂志, 2018, 51(9): 666-682.
- [5] 朱桐, 吴艳云, 陈宇鲜. 基于HR-MRI颅内血管斑块参数与老年初发和再发脑梗死患者预后的相关性分析[J]. 影像科学与光化学, 2023, 41(6): 307-313.
- [6] Tsui B, Nour M, Chen I, et al. MR angiography in assessment of collaterals in patients with acute ischemic stroke: a comparative analysis with digital subtraction angiography[J]. Brain Sci, 2022, 12(9): 1181.
- [7] Ryu CS, Lee KO, Ko EJ, et al. Prognostic associations and functional implications of angiogenesis-related miRNA variants in ischemic stroke[J]. Cells, 2025, 14(17): 1389.
- [8] Lee HG, Kwon S, Jung WS, et al. Clinical efficacy and safety of the herbal prescription, HH333, in preventing recurrent stroke in patients with ischemic stroke induced by small-vessel disease: protocol for multicenter, double-blind, randomized, prospective, pilot clinical trial[J]. JMIR Res Protoc, 2025, 14: e70953.
- [9] Qiao M, Zhou T, Wang R, et al. Risk prediction of recurrent ischemic stroke based on Carotid Plaque-RADS: construction and validation of a nomogram model[J]. Front Aging Neurosci, 2025, 17: 1646916.
- [10] Che F, Mi D, Wang A, et al. Extracranial carotid plaque hemorrhage predicts ipsilateral stroke recurrence in patients with carotid atherosclerosis—a study based on high-resolution vessel wall imaging MRI[J]. BMC Neurol, 2022, 22(1): 237.
- [11] Sun B, Wang L, Li X, et al. Delayed enhancement of intracranial atherosclerotic plaque can better differentiate culprit lesions: a multiphase contrast-enhanced vessel wall MRI study[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2024, 45(3): 262-270.
- [12] Li J, Tian Y, Shi Y, et al. Association of vulnerable plaques with white matter hyperintensities on high-resolution magnetic resonance imaging[J]. Quant Imaging Med Surg, 2024, 14(5): 3606-3618.
- [13] 王进进, 计一丁, 戴慧, 等. MRI技术评估颅内动脉粥样硬化疾病的研究进展[J]. 磁共振成像, 2024, 15(10): 182-186.
- [14] Sanchez S, Veeturi S, Patel T, et al. 7T-high resolution MRI-derived radiomic analysis for the identification of symptomatic intracranial atherosclerotic plaques[J]. Interv Neuroradiol, 2024, 15910199241275722.
- [15] Wang Z, Gong W, Liu C, et al. Association between perforator stroke after middle cerebral artery elective stenting and arterial remodeling patterns: a high-resolution MRI-based retrospective cohort study[J]. Quant Imaging Med Surg, 2024, 14(12): 8852-8863.
- [16] Gao Y, Liu X, Xu B, et al. Effect of collateral circulation in patients with multiple craniocervical artery stenoses[J]. Clin Transl Sci, 2023, 16(12): 2779-2790.

(收稿日期: 2025-09-11)

(校对编辑: 韩敏求)

(排版编辑: 刘淮嘉)