

磁共振弥散加权成像对急性小脑梗死患者不良预后的预测作用

张艳芳¹, 白亮亭¹, 李全浩¹, 马玲君², 李永华^{1*}

¹高密市人民医院神经内一科, 山东 潍坊

²高密市人民医院病案室, 山东 潍坊

收稿日期: 2026年4月28日; 录用日期: 2026年5月22日; 发布日期: 2026年5月29日

摘要

目的: 对有神经功能恶化风险的小脑梗死患者的早期识别仍具有挑战性。基于MRI的大脑中动脉(MCA)梗死评估可预测不良预后。本研究的目的是, 验证以下假设: 基于MRI的小脑梗死体积可以预测急性小脑梗死患者不良预后的发生。方法: 我们回顾性纳入了80例连续接受弥散加权成像(DWI)MRI检查的小脑卒中患者(年龄 59.2 ± 11.43 岁)。受试者分为预后不良组($n = 17$)和预后良好组($n = 63$)。预后不良定义为符合以下至少一项标准: (1) 死亡; (2) 减压颅骨切除术; (3) 脑室造瘘术; (4) 意识水平下降; (5) 出院后3个月随访, mRS ≥ 3 分的患者。DWI参数及小脑体积通过表观扩散系数图进行评估, 并计算病灶体积与全小脑体积的比值。结果: 逻辑回归分析显示, 病灶体积($P = 0.005$)和体积比($P = 0.004$)与不良预后风险增加相关, 即使在调整年龄和NIHSS后仍如此。经年龄和NIHSS校正的逻辑回归模型显示, 病灶体积的AUC为0.890 (95% CI: 0.768~0.995), 体积比的AUC为0.939 (95% CI: 0.868~0.999)。结论: 定量体积测量可预测小脑梗死患者的不良预后, 即使在控制年龄和NIHSS评分后仍具预测价值。弥散加权成像MRI定量分析有助于识别神经系统功能恶化风险高的小脑梗死患者, 进一步行前瞻性研究验证。

关键词

卒中, 小脑梗死, 磁共振成像(MRI), 脑水肿, 曲线下面积

Diffusion-Weighted Magnetic Resonance Imaging for Predicting Poor Outcomes in Patients with Acute Cerebellar Infarction

Yanfang Zhang¹, Liangting Bai¹, Quanhao Li¹, Lingjun Ma², Yonghua Li^{1*}

¹Department I of Neurology, Gaomi People's Hospital, Weifang Shandong

²Medical Record Room, Gaomi People's Hospital, Weifang Shandong

*通讯作者。

文章引用: 张艳芳, 白亮亭, 李全浩, 马玲君, 李永华. 磁共振弥散加权成像对急性小脑梗死患者不良预后的预测作用[J]. 临床医学进展, 2026, 16(5): 3424-3435. DOI: 10.12677/acm.2026.1652165

Abstract

Objective: Early identification of patients with cerebellar infarction who are at risk of neurological deterioration remains challenging. MRI-based assessment of middle cerebral artery (MCA) infarction has been shown to predict poor outcomes. This study aimed to test the hypothesis that MRI-based cerebellar infarct volume can predict the occurrence of poor outcomes in patients with acute cerebellar infarction. **Methods:** We retrospectively enrolled 80 consecutive patients with acute cerebellar infarction (age 59.2 ± 11.43 years) who underwent diffusion-weighted imaging (DWI) MRI. The patients were divided into a poor outcome group ($n = 17$) and a favorable outcome group ($n = 63$). Poor outcome was defined as meeting at least one of the following criteria: (1) death; (2) decompressive craniectomy; (3) ventriculostomy; (4) decreased level of consciousness; or (5) a modified Rankin Scale (mRS) score ≥ 3 at the 3-month follow-up visit. DWI parameters and cerebellar volume were assessed using apparent diffusion coefficient maps, and the ratio of lesion volume to total cerebellar volume was calculated. **Results:** Logistic regression analysis revealed that lesion volume ($P = 0.005$) and volume ratio ($P = 0.004$) were associated with an increased risk of poor outcome, even after adjusting for age and National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS) score. After adjusting for age and NIHSS score, the logistic regression model showed an area under the curve (AUC) of 0.890 (95% CI: 0.768~0.995) for lesion volume and 0.939 (95% CI: 0.868~0.999) for volume ratio. **Conclusion:** Quantitative volumetric measurement predicts poor outcomes in patients with cerebellar infarction, even after controlling for age and NIHSS score. Quantitative analysis of DWI MRI may help identify patients with cerebellar infarction at high risk of neurological deterioration. Further prospective studies are warranted to validate these findings.

Keywords

Stroke, Cerebellar Infarction, Magnetic Resonance Imaging (MRI), Brain Edema, Area under the Curve

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

小脑梗死发病率相对较低，占同期缺血性脑卒中的 2%~3% [1]，由于后颅窝空间狭小、毗邻脑干和第四脑室，一旦发生恶性脑水肿，病情可在数小时至数天内急剧恶化，病死率高达 15%~30% [2]-[6]。

据报道[4] [7]-[9]，约 10%~20%的小脑梗死患者会出现危及生命的水肿[10]，即恶性小脑水肿(Malignant cerebellar edema, MCE)，是一种严重的卒中并发症，多见于大面积小脑梗死患者，需要外科手术治疗，否则将导致严重的残疾或死亡[11]，即使接受手术干预后仍约有 50%的患者仍存在致残性功能障碍[12]，尽管手术应用广泛，但其最佳时机选择、适应症判定、手术方式及长期疗效仍存在不确定性，目前临床上尚未形成统一的标准[13]。针对这类卒中患者，早期预测和预防恶性小脑水肿是改善预后更有效的方法[14]，及时识别有发展为 MCE 风险的小脑梗死患者具有重要的临床意义。由于小脑梗死患者，常以头晕为主诉，临床症状缺乏特异性，临床医师在繁忙的门诊急诊工作中，往往容易误诊及遗漏，同时，后颅窝狭小的空间等原因，临床症状进展迅速，因此基于症状的分层诊疗具有挑战性[15]。有研究表明[16]，

小脑梗死患者的影像学表现恶化通常预示着临床恶化，因此基于影像学变化的标志物研究对于及时识别高风险小脑梗死患者更为重要[17] [18]。

脑卒中最常用的影像学检查方法是计算机断层扫描(CT)，CT在脑梗死症状出现的24小时内对梗死灶的检出灵敏度较低[19]。在出现占位效应的小脑梗死患者中，约25%的患者初始CT影像表现正常[7]。磁共振成像(MRI)在急性缺血性卒中诊断中灵敏度远高于CT，尤其对后颅窝区域的病变检出具有显著优势[20] [21]。研究已证实[22]-[25]，通过基线梗死体积测量，MRI对预测大脑中动脉梗死患者不良预后具有高特异性价值。这些研究的终点指标包括神经功能恶化(如意识水平变化、影像学表现、手术干预、死亡等)。研究表明定量MRI技术可为早期治疗决策及病情监测提供指导。本研究旨在评估并识别可预测小脑梗死后神经功能恶化所致不良预后的早期影像学特征，验证定量MRI参数对急性小脑梗死患者神经功能恶化具有预测价值的假设。为临床医师早期判断不良预后的发生，以及实施相应治疗决策提供参考依据。

2. 研究对象与方法

2.1. 研究对象

本研究是一项在高密市人民医院进行的单中心、回顾性病例分析研究。连续性收集在高密市人民医院(2019年12月~2025年12月期间)神经科住院的急性大面积小脑梗死(梗死最大直径 ≥ 3 cm)患者的资料。按照下述纳入和排除标准进行筛选，并进行定量MRI参数的分析。

由神经科医师对所有MRI图像进行复核，并筛选出小脑弥散受限的病例。入院时神经功能缺损严重程度通过美国国立卫生研究院卒中量表评分(NIHSS)评估。神经外科医师的评估由卒中医师酌情决定，所有病例中手术决策均需经家属同意。若出现意识水平改变，需进行随访神经影像学检查。同时收集其他人口统计学及临床变量。对所有患者均进行出院后3个月进行回访。

纳入标准：(1) 符合《中国急性缺血性脑卒中诊治指南2023》诊断标准[26]，且有颅脑磁共振(Magnetic resonance imaging, MRI)的弥散加权成像(Diffusion weighted imaging, DWI)结合表观弥散系数(Apparent Diffusion Coefficient, ADC)证实为急性大面积小脑梗死(在轴位DWI上梗死最大直径 ≥ 3 cm [27])的患者。(2) 有一般资料、实验室检查等检查结果。(3) 有明确的症状发作时间，症状体征在入院24小时内采集。排除标准：(1) 合并前循环及脑干梗死。(2) 合并有颅内肿瘤、头部外伤等。(3) 全身严重心、肝、肾衰竭等多种内科疾病的患者。(4) 脑出血、蛛网膜下腔出血。

2.2. 临床结局

患者临床结局终点：“预后良好”被定义为经内科保守治疗，症状好转，出院到康复科行康复治疗或出院回家。而“不良预后”被定义为符合下列条件之一：(1) 住院期间死亡；(2) NIHSS评分第1a项意识水平下降至1分或更高，且未发现其他继发恶性原因；(3) 入院时或住院期间行后颅窝减压术和/或侧脑室外引流术；手术标准为：① 意识水平下降至GCS评分 ≤ 12 分，和/或② 小脑梗死引起的脑水肿导致的脑干压迫和/或阻塞性脑积水，征得患者家属的知情同意后[28]，根据外科医师的决定，同时或稍后进行脑室引流。(4) 住院期间出现神经功能恶化，需要手术治疗，因各种原因拒绝手术治疗，且出院时需要长期护理或临终关怀的患者[14] [29] [30]。(5) 出院3个月回访，mRS ≥ 3 分的患者。住院期间神经功能恶化的判定依据病历记录的NIHSS量表。NIHSS量表第1a项用于评估患者意识水平。NIHSS量表评分升高与后循环卒中患者神经系统及内科并发症风险增加相关，同时也是恶性大脑中动脉梗死患者接受减压手术的入选标准[31] [32]。预后评估独立于MRI检查结果进行且不参与数据分析。

为评估梗死体积对不同严重程度临床结局的预测价值，在主要复合终点之外，我们预先设定了两个

独立的次要终点，以进行亚组分析：(1) 外科干预终点：住院期间接受后颅窝减压术和/或侧脑室外引流术的患者(无论术后结局如何)。(2) 严重残疾或死亡终点：出院后 3 个月回访时，改良 Rankin 量表(mRS) 评分 ≥ 4 分(即中度重度残疾或死亡)。

2.3. 磁共振弥散加权成像

MRI 检查均在症状出现后 72 小时内进行。所有 MRI 检查均采用 Siemen Avanto 1.5T 或 GE Discovery MR750 3.0T 完成。1.5T 系统获取的扩散加权(DWI)图像覆盖全脑区域，层厚 5 毫米且层间距 1 毫米。视野(FoV)采用 220 或 230 毫米，采集矩阵为 134×192 像素。GE Discovery MR750 3.0T 系统则采用 240×240 毫米视野。所有 DWI 图像均在轴位平面通过双自旋回波平面成像(EPI)方法获取扩散参数。在 b 值为 $1000 \text{ s} \cdot \text{mm}^2$ 时进行三个正交方向的加权处理。弥散加权成像(DWI)的回波时间(TE)分别为：1.5T 扫描 86 ms (重复时间 TR = 5400 ms)和 3T 扫描 74 ms (重复时间 TR = 4425 ms)。

2.4. 容积测量与感兴趣体积(The Volume of Interest, VOI)分析

在确定受试者的临床结局之前，基于 ADC 图测量体积和表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值。首先，测量正常小脑组织 ADC 值：为减少脑脊液信号干扰，我们设定了一个阈值，即将 ADC 值高于 $1 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 的体素排除在外。然后在每个层面上，只勾画紧邻病灶的一小块正常组织，如病灶占满层面时勾画同一层面的对侧正常小脑组织，获得与病灶同区域、同层面的“正常基线”，避免因小脑不同部位 ADC 值存在生理差异而导致误差。记录感兴趣体积“VOI”的平均体素强度。其次，全小脑的体积与平均 ADC 值测量：采用类似的操作流程：手动勾画出整个小脑的轮廓作为 VOI。同样设置阈值，排除 ADC 值大于 $1 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 的体素(即排除脑脊液)。记录全小脑的平均 ADC 值、标准差以及总体积。最后，梗死病灶的体积与 ADC 值测量：首先，在 ADC 图上手动勾画出病灶边缘，获得病灶的 VOI。为了只保留最可能代表受损组织的体素，设置一个更严格的阈值：只保留 ADC 值低于(正常组织平均 ADC 值减去 1 个标准差)的体素。记录该 VOI 的平均 ADC 值。所有体积测量值均通过整合所有相关切片数据得出。计算出所有病灶阈值下病灶体积与小脑总体积的比值(rVolume)，以及病灶平均 ADC 值与正常小脑平均 ADC 值的比值(rADC)。轮廓勾画的流程(见图 1)。

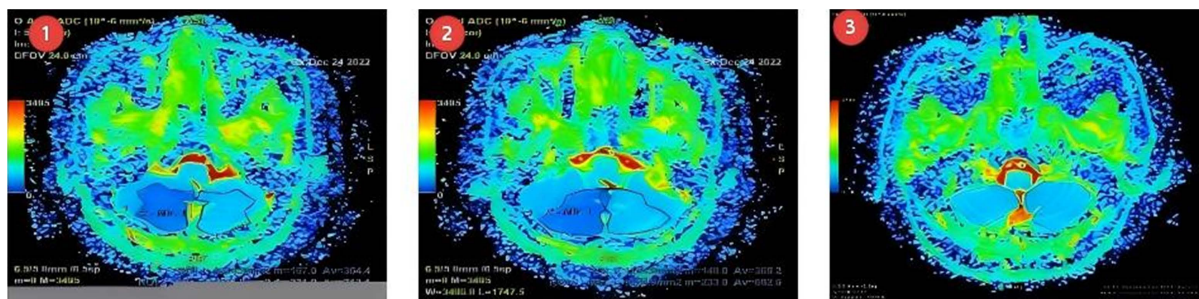


Figure 1. Schematic diagram of the cerebellar outline. The entire cerebellum ③, infarcted area ①② (right cerebellar region), and non-infarcted tissue ①② (left cerebellar region) were delineated on the ADC map derived from diffusion-weighted imaging (DWI)

图 1. 小脑轮廓示意图。在弥散加权成像(DWI)衍生的 ADC 图谱上勾勒出整个小脑③、梗死区①②(右侧小脑区域)及非梗死组织①②(左侧小脑区域)

2.5. 统计分析

采用 SPSS25.0 统计软件进行统计学分析，为验证主要假设，我们以不良结局为因变量进行多变量逻辑回归分析。影像学标志物被纳入逐步选择逻辑回归模型，并对年龄和 NIHSS 进行校正。正态分布的计

量资料应用两独立样本 t 检验进行比较, 用($\bar{x} \pm s$)表示。计数资料两组间比较采用卡方检验或 Fisher 精确检验, 用百分率(%)表示。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义, 对 $P < 0.05$ 的变量进行多因素 Logistic 回归分析, 同时绘制 ROC (受试者工作特征)曲线, 并计算曲线下面积 AUC。

3. 结果

3.1. 急性小脑梗死患者基本特征比较

在研究期间, 共有 80 例急性小脑梗死患者符合纳入标准。人口统计学特征与临床特征(见表 1)。其中 17 例(21.3%)患者符合不良预后标准, 其中有 7 例(8.8%)行手术治疗, 死亡 3 (3.8%)例。NIHSS ($P = 0.053$)差异无统计学意义。

Table 1. Comparison of baseline characteristics between good and poor prognosis groups in acute cerebellar infarction
表 1. 急性小脑梗死患者预后良好组和预后不良组基本特征比较

变量	小脑梗死患者 (n = 80)	预后良好组 (n = 63)	预后不良组 (n = 17)	检验值	P 值
男性[例(%)]	58 (72.5)	43 (68.3)	15 (88.2)	1.772 ^a	0.183
年龄[岁($\bar{x} \pm s$)]	59.2 \pm 11.43	59.83 \pm 11.46	56.88 \pm 11.37	0.941 ^b	0.349
高血压病史[例(%)]	58 (72.5)	48 (76.2)	10 (58.8)	1.248 ^a	0.264
糖尿病史[例(%)]	23 (28.7)	19 (30.2)	4 (23.5)	0.055 ^a	0.815
冠心病史[例(%)]	22 (27.5)	19 (30.2)	3 (17.6)	0.517 ^a	0.472
吸烟史[例(%)]	33 (41.3)	26 (41.3)	7 (41.2)	0.000 ^a	0.994
饮酒史[例(%)]	30 (37.5)	22 (34.9)	8 (47.1)	0.842 ^a	0.359
心房颤动[例(%)]	10 (12.5)	10 (15.9)	0 (0)	1.803 ^a	0.179
眼球震颤[例(%)]	10 (12.5)	7 (11.1)	3 (17.6)	0.096 ^a	0.757
NIHSS 评分[分($\bar{x} \pm s$)]	5.2 \pm 1.8	4.9 \pm 1.6	6.18 \pm 2.3	-2.056 ^b	0.053
梗死部位				2.774 ^a	0.250
左侧小脑[例(%)]	35 (43.8)	29 (46.0)	6 (35.3)		
右侧小脑[例(%)]	32 (40.0)	26 (41.3)	6 (35.3)		
双侧小脑[例(%)]	13 (16.3)	8 (12.7)	5 (29.4)		
LDL-C [mmol/l ($\bar{x} \pm s$)]	2.6 \pm 0.9	2.6 \pm 0.9	2.9 \pm 1.0	-1.326 ^b	0.199
TG [mmol/l ($\bar{x} \pm s$)]	1.4 \pm 0.7	1.3 \pm 0.6	1.5 \pm 1.0	-0.594 ^b	0.444
HDL-C [mmol/l ($\bar{x} \pm s$)]	1.2 \pm 0.3	1.2 \pm 0.3	1.2 \pm 0.3	-0.044 ^b	0.965
葡萄糖[mmol/l ($\bar{x} \pm s$)]	6.3 \pm 2.2	6.3 \pm 2.2	6.5 \pm 2.1	-0.399 ^b	0.693

注: ^a: 卡方检验的卡方值; ^b: 两样本 t 检验的 t 值; NIHSS 评分: 美国国立卫生研究院卒中量表。LDL-C: 低密度脂蛋白胆固醇; TG: 甘油三酯; HDL-C: 高密度脂蛋白胆固醇。

其中, 性别、年龄、高血压病、糖尿病、冠心病、心房颤动、吸烟史、饮酒史、眼球震颤、梗死部位(左侧、右侧、双侧小脑)、血脂分析、血糖分析、血糖分析等在预后良好组和预后不良组两组间均无统计学差异($P > 0.05$)。

3.2. 磁共振参数比较

定量 MRI 参数(见表 2)。不良预后与较大梗死体积($P = 0.001$)、较低全小脑平均 ADC 值($P = 0.001$)、及较大梗死体积/小脑总体积之比($P = 0.001$)显著相关。

Table 2. Quantitative measurements of cranial magnetic resonance imaging
表 2. 颅脑磁共振定量测量

变量	小脑梗死 (n = 80)	预后良好组 (n = 63)	预后不良组 (n = 17)	检验值	P 值
梗死体积[cm^3 ($\bar{x} \pm s$)]	21.2 \pm 8.3	18.1 \pm 3.7	32.7 \pm 10.4	-9.264 ^b	0.001
梗死 ADC [$\times 10^{-6}$ mm^2/s ($\bar{x} \pm s$)]	490.2 \pm 49.1	493.5 \pm 48.7	478.1 \pm 50.1	1.125	0.271
小脑体积[cm^3 ($\bar{x} \pm s$)]	109.7 \pm 16.5	108.0 \pm 14.9	116.1 \pm 20.9	-1.817 ^b	0.073
小脑 ADC [$\times 10^{-6}$ mm^2/s ($\bar{x} \pm s$)]	704.4 \pm 44.4	718.2 \pm 32.1	653.2 \pm 11.4	6.671 ^b	0.001
体积比[% ($\bar{x} \pm s$)]	19.1 \pm 5.7	16.7 \pm 2.1	27.8 \pm 6.3	-5.587 ^b	0.001

^b: 两样本 t 检验的 t 值; 体积比: 为急性小脑梗死灶体积与小脑总体积之比。

3.3. 急性小脑梗死患者不良预后的多因素 Logistics 回归分析

在逐步逻辑回归分析中, 梗死体积与小脑总体积之比被确定为最重要的预后影像学测量指标, 因此被纳入包含 NIHSS 评分和年龄的逻辑回归模型。由于病灶体积与体积比高度相关, 故同时进行病灶体积分析。逻辑回归结果显示病灶体积($P = 0.005$)和体积比($P = 0.004$)与不良预后风险增加相关, 即使在调整年龄和 NIHSS 后仍如此。经年龄和 NIHSS 校正的逻辑回归模型显示, 病灶体积的 AUC 为 0.890 (95% CI: 0.768~0.995), 体积比的 AUC 为 0.939 (95% CI: 0.868~0.999)。不良预后的逻辑回归模型 ROC 曲线(见图 2、表 3)。

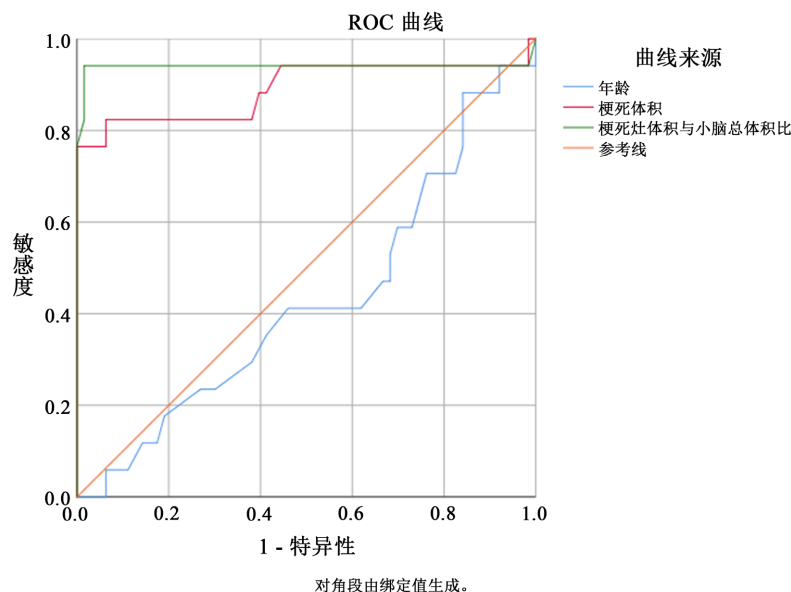


Figure 2. Receiver operating characteristic (ROC) curves for evaluating the predictive value of infarct volume measured by ADC based on brain MRI and the ratio of infarct volume to cerebellar volume for poor prognosis

图 2. 评估基于颅脑磁共振的 ADC 测量梗死体积、梗死灶体积与小脑体积之比对不良预后的预测能力的受试者工作特征曲线

Table 3. Area under the curve**表 3.** 曲线下方的区域

变量	区域	标准误	P 值	95% 置信区间
年龄	0.428	0.08	0.365	0.272~0.584
梗死体积	0.890	0.063	0.001	0.768~0.995
体积比	0.939	0.057	0.001	0.868~0.999

注：梗死体积：小脑梗死体积；体积比：小脑梗死灶体积与小脑体积之比。

根据 logistics 回归分析及 ROC 曲线，我们验证了基于颅脑磁共振的 ADC 测量的梗死体积、梗死体积与小脑体积之比是急性小脑梗死患者发生预后不良的一个重要预测指标。梗死体积截断值为 27.6 cm³，敏感度为 76.5%；小脑梗死灶体积与小脑体积之比截断值为 19.5%，即当体积之比为 19.5% 时，可识别预后不良的发生，敏感度为 94%，特异度为 98%。可以帮助识别具有不良预后风险的患者。

亚组分析：梗死体积对不同严重程度终点的预测价值：

在 80 例患者中，共有 7 例(8.8%)接受了外科干预(后颅窝减压术和/或脑室外引流术)，9 例(11.3%)在 3 个月时达到严重残疾或死亡(mRS ≥ 4)。

以外科干预为因变量的 logistics 回归分析(经年龄和 NIHSS 校正)显示，梗死体积(P = 0.001)与体积比(P < 0.001)仍是显著预测因子。ROC 分析显示，梗死体积预测外科干预的 AUC 为 0.912 (95% CI: 0.768~0.998)，最佳截断值为 31.2 cm³；体积比的 AUC 为 0.932 (95% CI: 0.828~0.999)，最佳截断值为 22.5%。

以 3 个月严重残疾或死亡(mRS ≥ 4)为因变量的逻辑回归分析显示，梗死体积(P = 0.012)和体积比(P = 0.008)仍具有预测价值，但效应量较外科干预终点有所降低(AUC 分别为 0.839 和 0.867)。

上述亚组分析结果表明，梗死体积对危重患者的临床结局(需要手术干预)的预测效能最高，且截断值高于主要复合终点(31.2 cm³ vs. 27.6 cm³)，提示体积越大，患者越可能需要外科手术治疗。

4. 讨论

我们分析了小脑梗死的 MRI 特征，以评估其作为小脑梗死患者不良预后的预测价值。不良预后的定义与大脑中动脉(MCA)病变研究中的标准相似，包括死亡、无其他明显病因的意识状态进行性恶化，以及因恶性水肿并发症需进行手术干预。研究发现多个定量参数可单独预测不良预后：弥散加权成像(DWI)病灶体积、全小脑平均扩散系数(ADC)、及小脑梗死灶体积与小脑体积之比。在控制年龄和 NIHSS 评分后，梗死灶体积与小脑体积指标与梗死病灶体积仍有统计学显著性。

在前循环梗死中，弥散加权成像(DWI)可识别恶性脑水肿和不良预后的患者[22] [23]。ADC 值测量与潜在病理生理机制(严重缺血及氧代谢降低导致的肿胀和不良预后)之间的相关性已在大脑中动脉梗死研究中得到验证[23] [24]。对于后循环梗死患者，早期识别可能引发肿胀的小脑梗死具有更重要的临床意义，因解剖特点所致，该区域神经功能缺损常被低估[33]。

本研究探讨了小脑梗死患者中不同弥散加权成像(DWI)病灶体积及相对体积值对不良预后的预测价值。根据回归分析和受试者工作特征(ROC)曲线分析结果，预测不良预后的最佳病灶体积 27.6 cm³ 左右、小脑梗死灶体积与小脑体积比在 19.5% 左右可预测不良预后的发生。其中，性别、年龄、高血压病、糖尿病、冠心病、心房颤动、吸烟史、饮酒史、眼球震颤、梗死部位(左侧、右侧、双侧小脑)、血脂分析、血糖分析、血糖分析等在预后良好组和预后不良组两组间均无统计学差异(P > 0.05)。值得注意的是，亚组分析显示，外科手术干预这一危重结局的梗死体积截断值为 31.2 cm³，高于预测不良预后的 27.6 cm³。这提示体积与临床严重程度之间存在着关系：随着梗死体积增大，患者需要外科手术干预的可能性更大，

可为临床决策提供一定的参考：当梗死体积接近 31 cm^3 时，应高度警惕外科干预的必要性。

本研究发现 NIHSS 评分在预后良好组和预后不良组未达到统计学显著性，与既往的研究相似，NIHSS 评分不能预测小脑梗死患者临床结局[29] [31] [34] [35]。可能的原因包括：(1) NIHSS 量表主要针对前循环卒中(尤其是大脑中动脉供血区)设计的工具[36] [37]。该量表对以下前循环体征赋予了较高权重：失语(最高 7 分)、忽视(最高 2 分)、偏瘫(运动功能评分)等，但对小脑梗死常见的(眩晕、共济失调、构音障碍、复视、眼球震颤等)症状赋值不足[36] [38]；(2) 后循环卒中患者常呈现“零分卒中”或低分卒中表现，但仍有较大梗死体积[36]；即使是 NIHSS 为 0 分的患者，仍可发生具有临床意义的卒中，依靠 NIHSS 筛查可能会漏掉高风险的小脑梗死患者。(3) 小脑功能的代偿能力与延迟性恶化：小脑部分区域在静息状态下具有代偿能力，早期神经功能缺损可能不显著。但当恶性水肿进展、压迫脑干或第四脑室时，临床状况可在数小时内急剧恶化。使得单时间点 NIHSS 无法捕捉时间延迟性恶化的风险。

针对后循环卒中的影像学评估，PC-ASPECTS 评分已被证实可有效预测功能预后[39] [40]。该评分系统基于 CT 或 MRI 均可评估，将后循环划分为 10 个区域(中脑、脑桥各 2 分，双侧丘脑、小脑、PCA 区各 1 分)，每出现一处缺血改变扣除相应分值。本研究基于 MRI 的 DWI 进行梗死体积与小脑总体积之比的测量，未来研究可探索将体积测量与 PC-ASPECTS 相结合，构建更优的后循环卒中预后预测模型。

有研究表明[10]，脑积水、脑干畸形及基底池受压是伴占位效应的小脑梗死患者病情恶化的信号。与不良预后相关的其他因素包括更高的梗死前改良 Rankin 量表(mRS)、入院时较高的 NIHSS 评分、脑干梗死、高龄和涉及小脑深核的梗死[41]。有研究表明，即使对于格拉斯哥昏迷评分(GCS)为 12~15 分的患者也应考虑手术[42]治疗。本研究采用弥散加权 MRI 图像分析技术预测急性临床结局，未对脑积水、基底池受压或第四脑室受压等主观定性分类指标进行评估。

本研究存在的局限性：首先，采用回顾性设计且单一医院提供的，小脑梗死患者相对发病率较低，导致研究对象筛选过程难以严格控制，进而影响后续分析。本研究设计了对小脑梗死后扫描时间的控制，但扫描时间并非不良预后的显著预测因素。早期小脑梗死诊断困难，故部分患者 MRI 检查间隔时间较长[12] [33]，未来研究需采用固定时间间隔的 MRI 检查方案。在本研究中所有患者均在症状出现后 72 小时内完成检查，但未进一步细分为更窄的时间窗。早期(如 <6 小时)与晚期(如 24~48 小时)的 DWI 病灶体积存在显著差异，后者更接近最终梗死体积。王薇等[43]的研究显示，早期时间窗组($\leq 300 \text{ min}$)治疗后 DWI 梗死体积增长显著小于晚期时间窗组(11 mL vs. 29 mL, $P = 0.027$)。此外，有研究指出急性期 DWI 体积与最终梗死体积仅呈中度相关($r = 0.548$)，提示早期扫描可能低估真实梗死范围[44]。这可能导致部分早期扫描患者的病灶体积被低估，从而影响预测模型的稳定性。

值得注意的是，后循环梗死的时间依赖性可能更为复杂。Grosse-Dresselhaus 等[45]发现，DWI-FLAIR 不匹配在幕下(小脑/脑干)梗死中识别发病 < 4.5 小时的敏感度仅为 55%，特异性为 61%，显著低于幕上梗死。这提示小脑梗死的影像学演变规律可能与幕上梗死存在差异，更需要对扫描时间窗进行严格统一。

Fabritius 等[46]人发现，在急性小脑梗死患者中，全脑 CT 灌注成像(WB-CTP)对最终梗死体积的预测价值优于常规 CT 检查。该研究表明，CBF 缺陷体积与随访确认的最终梗死体积显著相关，在超急性期，CT 灌注参数可能提供比常规影像更多的预后信息[46]。未来的前瞻性研究应采用统一且更窄的扫描时间窗(如症状出现后 12~24 小时内)。此外，Sakamoto 等[47]的研究表明，入院后 24 小时 DWI 体积(DWI 24 h)和梗死增长量(IG)均能独立预测患者预后，将这两项指标加入传统预测模型可显著提高预测准确性。因此，采集两个时间点(入院时及 24~48 小时)的 DWI，评估梗死体积增长速度(而非单一时间点的绝对体积)对预后的预测价值，可能是未来研究的重要方向。

此外，部分小脑卒中患者同时存在脑干梗死，但该特征未被证实为不良预后的显著预测指标。鉴于这些局限性，因此，希望以后实现技术的突破，能尽可能全面地收集患者相关资料，进行大型前瞻性研

究是有必要的。

在急性卒中影像学检查中,研究表明,全脑CT灌注成像(WB-CTP)是预测术后MCE的关键检查。Fabritius等人发现,22 mL脑血流(CBF)缺陷体积临界值预测MCE的敏感性为100%,特异性为90% [46],WB-CTP在急性小脑卒中的预后方面优于标准CT。此外,Tchopev及其团队将磁共振成像扩散加权成像病变与小脑体积比与不良预后联系起来,有助于及时做出临床决策和干预措施,以改善患者结果[29]。此外,人工智能在自动测量小脑梗死体积[48]和从神经影像数据预测早期水肿扩大[49]方面显示出越来越大的潜力。这些应用可以增强战略决策和风险分层。未来整合前瞻性验证的人工智能工具有望显著提高预后准确性,并使小脑梗死的管理更加个性化。磁共振成像(MRI)仍优于计算机断层扫描(CT),这主要得益于其对急性缺血灶的检测能力,尤其在后颅窝区域[19]。通过扩散加权像计算得出的表观扩散系数图对急性梗死灶的敏感性更高,而传统的T2加权磁共振成像(T2MRI)和平均扩散系数(ADC)图谱具有更强的评估者间一致性,且能更准确反映最终梗死范围[50]。这些研究结果表明,扩散MRI是后颅窝卒中影像学检查中最有效的参数指标[19]。

综上所述,我们对80例急性大面积小脑梗死患者的分析表明,即使在逻辑回归模型中控制年龄和NIHSS评分后,梗死体积与小脑体积之比是急性小脑梗死患者不良预后的有效预测指标。这项回顾性分析结果提示,预测不良预后的最佳临界值可能为体积之比介于19.5%以上或体积27.6 cm³左右。卒中MRI及容积分析有助于筛选早期干预患者以预防临床恶化,或识别发生脑水肿并发症风险最高的患者群体。目前急需小脑梗死患者的前瞻性观察数据来验证这些初步发现。小脑卒中MRI病灶体积可能有助于筛选适合早期干预的患者,以改善临床预后。

声 明

本研究获得高密市人民医院伦理委员会批准(审批号:2024-01-K01)患者均签署知情同意书。

基金项目

潍坊市科技发展计划项目(2024YX134)。

参考文献

- [1] Calic, Z., Cappelen-Smith, C., Cuganesan, R., Anderson, C.S., Welgampola, M. and Cordato, D.J. (2017) Frequency, Aetiology, and Outcome of Small Cerebellar Infarction. *Cerebrovascular Diseases Extra*, **7**, 173-180. <https://doi.org/10.1159/000481459>
- [2] Amarenco, P., Lévy, C., Cohen, A., Touboul, P.J., Roullet, E. and Bousser, M.G. (1994) Causes and Mechanisms of Territorial and Nonterritorial Cerebellar Infarcts in 115 Consecutive Patients. *Stroke*, **25**, 105-112. <https://doi.org/10.1161/01.str.25.1.105>
- [3] Bogousslavsky, J., Van Melle, G. and Regli, F. (1988) The Lausanne Stroke Registry: Analysis of 1,000 Consecutive Patients with First Stroke. *Stroke*, **19**, 1083-1092. <https://doi.org/10.1161/01.str.19.9.1083>
- [4] Hornig, C.R., Rust, D.S., Busse, O., Jauss, M. and Laun, A. (1994) Space-Occupying Cerebellar Infarction. Clinical Course and Prognosis. *Stroke*, **25**, 372-374. <https://doi.org/10.1161/01.str.25.2.372>
- [5] Lindeskog, D., Lilja-Cyron, A., Kelsen, J. and Juhler, M. (2019) Long-Term Functional Outcome after Decompressive Suboccipital Craniectomy for Space-Occupying Cerebellar Infarction. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, **176**, 47-52. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2018.11.023>
- [6] Tohgi, H., Takahashi, S., Chiba, K. and Hirata, Y. (1993) Cerebellar Infarction. Clinical and Neuroimaging Analysis in 293 Patients. the Tohoku Cerebellar Infarction Study Group. *Stroke*, **24**, 1697-1701. <https://doi.org/10.1161/01.str.24.11.1697>
- [7] Koh, M.G., Phan, T.G., Atkinson, J.L.D. and Wijndicks, E.F.M. (2000) Neuroimaging in Deteriorating Patients with Cerebellar Infarcts and Mass Effect. *Stroke*, **31**, 2062-2067. <https://doi.org/10.1161/01.str.31.9.2062>
- [8] Chen, H.J., Lee, T.C. and Wei, C.P. (1992) Treatment of Cerebellar Infarction by Decompressive Suboccipital

- Craniectomy. *Stroke*, **23**, 957-961. <https://doi.org/10.1161/01.str.23.7.957>
- [9] Mathew, P., Teasdale, G., Bannan, A. and Oluoch-Olunya, D. (1995) Neurosurgical Management of Cerebellar Haematoma and Infarct. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, **59**, 287-292. <https://doi.org/10.1136/jnnp.59.3.287>
- [10] 闫琳琳, 谢佳蕾, 张小龙. 占位性小脑梗死[J]. 国际脑血管病杂志, 2020, 28(3): 212-215.
- [11] Mühlbacher, T., Bohner, G., Bühner, C. and Dame, C. (2017) Cerebellar Infarction: Unusual Manifestation with Facial Palsy, Focal Seizures, and Secondary Generalization. *Neonatology*, **113**, 33-36. <https://doi.org/10.1159/000480423>
- [12] Savitz, S.I., Caplan, L.R. and Edlow, J.A. (2007) Pitfalls in the Diagnosis of Cerebellar Infarction. *Academic Emergency Medicine*, **14**, 63-68. <https://doi.org/10.1197/j.aem.2006.06.060>
- [13] Suyama, Y., Wakabayashi, S., Aihara, H., et al. (2019) Evaluation of Clinical Significance of Decompressive Suboccipital Craniectomy on the Prognosis of Cerebellar Infarction. *Fujita Medical Journal*, **5**, 21-24.
- [14] Jensen, M.B. and St. Louis, E.K. (2005) Management of Acute Cerebellar Stroke. *Archives of Neurology*, **62**, 537-544. <https://doi.org/10.1001/archneur.62.4.537>
- [15] Choi, K.D., Lee, H. and Kim, J.S. (2016) Ischemic Syndromes Causing Dizziness and Vertigo. *Handbook of Clinical Neurology*, **137**, 317-340.
- [16] Ayling, O.G.S., Alotaibi, N.M., Wang, J.Z., Fatehi, M., Ibrahim, G.M., Benavente, O., et al. (2018) Suboccipital Decompressive Craniectomy for Cerebellar Infarction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *World Neurosurgery*, **110**, 450-459.e5. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.10.144>
- [17] Wijdicks, E.F.M., Sheth, K.N., Carter, B.S., Greer, D.M., Kasner, S.E., Kimberly, W.T., et al. (2014) Recommendations for the Management of Cerebral and Cerebellar Infarction with Swelling: A Statement for Healthcare Professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*, **45**, 1222-1238. <https://doi.org/10.1161/01.str.0000441965.15164.d6>
- [18] Sporns, P.B., Minnerup, J., Warneke, N., Dziewas, R., Hanning, U., Berkemeyer, S., et al. (2015) Impact of the Implementation of Thrombectomy with Stent Retrievers on the Frequency of Hemicraniectomy in Patients with Acute Ischemic Stroke. *Clinical Neuroradiology*, **27**, 193-197. <https://doi.org/10.1007/s00062-015-0478-8>
- [19] Hwang, D.Y., Silva, G.S., Furie, K.L. and Greer, D.M. (2012) Comparative Sensitivity of Computed Tomography vs. Magnetic Resonance Imaging for Detecting Acute Posterior Fossa Infarct. *The Journal of Emergency Medicine*, **42**, 559-565. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2011.05.101>
- [20] Mullins, M.E., Schaefer, P.W., Sorensen, A.G., Halpern, E.F., Ay, H., He, J., et al. (2002) CT and Conventional and Diffusion-Weighted MR Imaging in Acute Stroke: Study in 691 Patients at Presentation to the Emergency Department. *Radiology*, **224**, 353-360. <https://doi.org/10.1148/radiol.2242010873>
- [21] Chalela, J.A., Kidwell, C.S., Nentwich, L.M., Luby, M., Butman, J.A., Demchuk, A.M., et al. (2007) Magnetic Resonance Imaging and Computed Tomography in Emergency Assessment of Patients with Suspected Acute Stroke: A Prospective Comparison. *The Lancet*, **369**, 293-298. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(07\)60151-2](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(07)60151-2)
- [22] Oppenheim, C., Samson, Y., Manai, R., Lalam, T., Vandamme, X., Crozier, S., et al. (2000) Prediction of Malignant Middle Cerebral Artery Infarction by Diffusion-Weighted Imaging. *Stroke*, **31**, 2175-2181. <https://doi.org/10.1161/01.str.31.9.2175>
- [23] Thomalla, G., Hartmann, F., Juettler, E., Singer, O.C., Lehnhardt, F., Köhrmann, M., et al. (2010) Prediction of Malignant Middle Cerebral Artery Infarction by Magnetic Resonance Imaging within 6 Hours of Symptom Onset: A Prospective Multicenter Observational Study. *Annals of Neurology*, **68**, 435-445. <https://doi.org/10.1002/ana.22125>
- [24] Thomalla, G.J., Kucinski, T., Schoder, V., Fiehler, J., Knab, R., Zeumer, H., et al. (2003) Prediction of Malignant Middle Cerebral Artery Infarction by Early Perfusion- and Diffusion-Weighted Magnetic Resonance Imaging. *Stroke*, **34**, 1892-1899. <https://doi.org/10.1161/01.str.0000081985.44625.b6>
- [25] Arenillas, J.F., Rovira, A., Molina, C.A., Grivé, E., Montaner, J. and Álvarez-Sabín, J. (2002) Prediction of Early Neurological Deterioration Using Diffusion- and Perfusion-Weighted Imaging in Hyperacute Middle Cerebral Artery Ischemic Stroke. *Stroke*, **33**, 2197-2205. <https://doi.org/10.1161/01.str.0000027861.75884.df>
- [26] 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. 中国急性缺血性卒中诊治指南 2023 [J]. 中华神经科杂志, 2024, 57(6): 523-559.
- [27] Zhang, S., Wang, W., Ma, X., Xia, Y. and Liu, A. (2014) Anticoagulation Therapy Is Harmful to Large-Sized Cerebellar Infarction. *CNS Neuroscience & Therapeutics*, **20**, 867-873. <https://doi.org/10.1111/cns.12299>
- [28] Tchopov, Z., Hiller, M., Zhuo, J., Betz, J., Gullapalli, R. and Sheth, K.N. (2013) Prediction of Poor Outcome in Cerebellar Infarction by Diffusion MRI. *Neurocritical Care*, **19**, 276-282. <https://doi.org/10.1007/s12028-013-9886-2>
- [29] Wang, Y., Binkley, M.M., Qiao, M., Pardon, A., Keyrouz, S., Dhar, R., et al. (2022) Rate of Infarct-Edema Growth on CT Predicts Need for Surgical Intervention and Clinical Outcome in Patients with Cerebellar Infarction. *Neurocritical Care*, **36**, 1011-1021. <https://doi.org/10.1007/s12028-021-01414-x>

- [30] Jüttler, E., Schweickert, S., Ringleb, P.A., Huttner, H.B., Köhrmann, M. and Aschoff, A. (2009) Long-Term Outcome after Surgical Treatment for Space-Occupying Cerebellar Infarction: Experience in 56 Patients. *Stroke*, **40**, 3060-3066. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.109.550913>
- [31] Boone, M., Chillon, J.-M., Garcia, P.-Y., et al. (2012) NIHSS and Acute Complications after Anterior and Posterior Circulation Strokes. *Therapeutics and Clinical Risk Management*, **8**, 87-93. <https://doi.org/10.2147/tcrm.s28569>
- [32] Vahedi, K., Hofmeijer, J., Juettler, E., Vicaut, E., George, B., Algra, A., et al. (2007) Early Decompressive Surgery in Malignant Infarction of the Middle Cerebral Artery: A Pooled Analysis of Three Randomised Controlled Trials. *The Lancet Neurology*, **6**, 215-222. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(07\)70036-4](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(07)70036-4)
- [33] Edlow, J.A., Newman-Toker, D.E. and Savitz, S.I. (2008) Diagnosis and Initial Management of Cerebellar Infarction. *The Lancet Neurology*, **7**, 951-964. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(08\)70216-3](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(08)70216-3)
- [34] Linfante, I., Llinas, R.H., Schlaug, G., Chaves, C., Warach, S. and Caplan, L.R. (2001) Diffusion-Weighted Imaging and National Institutes of Health Stroke Scale in the Acute Phase of Posterior-Circulation Stroke. *Archives of Neurology*, **58**, 621-628. <https://doi.org/10.1001/archneur.58.4.621>
- [35] Yoo, A.J., Barak, E.R., Copen, W.A., Kamalian, S., Gharai, L.R., Pervez, M.A., et al. (2010) Combining Acute Diffusion-Weighted Imaging and Mean Transmit Time Lesion Volumes with National Institutes of Health Stroke Scale Score Improves the Prediction of Acute Stroke Outcome. *Stroke*, **41**, 1728-1735. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.110.582874>
- [36] Makharia, A., Agarwal, A., Garg, D., Vishnu, V.Y. and Srivastava, M.V.P. (2024) The Pitfalls of NIHSS: Time for a New Clinical Acute Stroke Severity Scoring System in the Emergency? *Annals of Indian Academy of Neurology*, **27**, 15-18. https://doi.org/10.4103/aian.aian_842_23
- [37] Olivato, S., Nizzoli, S., Cavazzuti, M., Casoni, F., Nichelli, P.F. and Zini, A. (2016) E-Nihss: An Expanded National Institutes of Health Stroke Scale Weighted for Anterior and Posterior Circulation Strokes. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, **25**, 2953-2957. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2016.08.011>
- [38] Siniscalchi, A., Sztajzel, R., Malferrari, G. and Gallelli, L. (2017) The National Institutes of Health Stroke Scale: Its Role in Patients with Posterior Circulation Stroke. *Hospital Topics*, **95**, 79-81. <https://doi.org/10.1080/00185868.2017.1322888>
- [39] Lu, W., Lin, H., Bai, C. and Lin, S. (2021) Posterior Circulation Acute Stroke Prognosis Early CT Scores in Predicting Functional Outcomes: A Meta-analysis. *PLOS ONE*, **16**, e0246906. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246906>
- [40] Puetz, V., Sylaja, P.N., Coutts, S.B., Hill, M.D., Dzialowski, I., Mueller, P., et al. (2008) Extent of Hypoattenuation on CT Angiography Source Images Predicts Functional Outcome in Patients with Basilar Artery Occlusion. *Stroke*, **39**, 2485-2490. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.107.511162>
- [41] Baki, E., Baumgart, L., Kehl, V., Hess, F., Wolff, A.W., Wagner, A., et al. (2024) Functional Outcomes after Decompressive Surgery in Patients with Malignant Space-Occupying Cerebellar Infarction. *Neurology International*, **16**, 1239-1246. <https://doi.org/10.3390/neurolint16060094>
- [42] Lucia, K., Reitz, S., Hattingen, E., Steinmetz, H., Seifert, V. and Czabanka, M. (2023) Predictors of Clinical Outcomes in Space-Occupying Cerebellar Infarction Undergoing Suboccipital Decompressive Craniectomy. *Frontiers in Neurology*, **14**, Article ID: 1165258. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1165258>
- [43] 王薇, 赵静, 彭明洋, 等. 探讨不同时间窗的急性缺血性脑卒中机械取栓术后预后的差异[J]. *磁共振成像*, 2021, 12(3): 39-43.
- [44] 孙海珍, 张慧, 倪红艳, 等. 缺血性脑卒中早期 DKI, DWI 预测病灶最终转变的对比研究[J]. *磁共振成像*, 2016, 7(10): 732-737.
- [45] Grosse-Dresselhaus, F., Galinovic, I., Villringer, K., Audebert, H.J. and Fiebach, J.B. (2014) Difficulty of MRI Based Identification of Lesion Age by Acute Infra-Tentorial Ischemic Stroke. *PLOS ONE*, **9**, e92868. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092868>
- [46] Fabritius, M.P., Reidler, P., Froelich, M.F., Rotkopf, L.T., Liebig, T., Kellert, L., et al. (2019) Incremental Value of Computed Tomography Perfusion for Final Infarct Prediction in Acute Ischemic Cerebellar Stroke. *Journal of the American Heart Association*, **8**, e013069. <https://doi.org/10.1161/jaha.119.013069>
- [47] Sakamoto, Y., Aoki, J., Nishi, Y., Shoda, S., Kimura, R., Saito, T., et al. (2025) Acute DWI Volume Is a Strong Imaging Predictor of Favorable Outcomes in Patients with Acute Stroke and Treated with Mechanical Thrombectomy. *Journal of the Neurological Sciences*, **468**, 123334. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2024.123334>
- [48] Wong, K.K., Cummock, J.S., Li, G., Ghosh, R., Xu, P., Volpi, J.J., et al. (2022) Automatic Segmentation in Acute Ischemic Stroke: Prognostic Significance of Topological Stroke Volumes on Stroke Outcome. *Stroke*, **53**, 2896-2905. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.121.037982>
- [49] Wouters, A., Robben, D., Christensen, S., Marquering, H.A., Roos, Y.B.W.E.M., van Oostenbrugge, R.J., et al. (2022) Prediction of Stroke Infarct Growth Rates by Baseline Perfusion Imaging. *Stroke*, **53**, 569-577. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.121.034444>

-
- [50] Bra, B.T., Bastan, B., Fisher, M., Bouley, J. and Henninger, N. (2009) Ischemic Lesion Volume Determination on Diffusion Weighted Images vs. Apparent Diffusion Coefficient Maps. *Brain Research*, **1279**, 182-188.
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.05.002>