

MRI 特征预测老年中风后认知障碍的临床研究

Study on predicting post-stroke cognitive impairment using MRI image texture features

王衍颜¹, 逢宗欣¹, 陈文健²,
陈晶¹, 王刚³

(1. 康复大学 青岛中心医院 全科医学科, 山东 青岛 266000; 2. 康复大学 青岛中心医院 口腔科, 山东 青岛 266000; 3. 鲁东大学 生命科学学院, 山东 烟台 264025)

WANG Yan-yan¹,
PANG Zong-xin¹,
CHEN Wen-jian², CHEN Jing¹,
WANG Gang³

(1. Department of General Medicine, Qingdao Central Hospital of Rehabilitation University, Qingdao 266000, Shandong Province, China; 2. Department of Stomatology, Qingdao Central Hospital of Rehabilitation University, Qingdao 266000, Shandong Province, China; 3. School of Life Sciences, Ludong University, Yantai 264025, Shandong Province, China)

基金项目: 国家自然科学基金面上基金资助项目(62171209)

作者简介: 王衍颜(1984-), 女, 主治医师, 主要从事全科医学研究及临床工作

通信作者: 陈晶, 副主任医师

MP: 18561857667

E-mail: 19078975120@163.com

摘要:目的 探讨磁共振(MRI)图像纹理特征预测老年中风后认知障碍(PSCI)的价值, 并分析其与PSCI药物治疗疗效的关联性, 为临床药物干预时机选择及方案优化提供依据。方法 回顾性分析2020年1月~2024年1月收治的中风患者资料, 按数据来源分为训练集($n=160$)与验证集($n=56$)。收集所有患者基线至认知评估期间的PSCI规范药物治疗数据(包括胆碱酯酶抑制剂、美金刚及联合用药方案)。T1加权成像(T1w)图像经预处理后, 在海马体和内嗅皮层测量纹理特征, 分组分析高海马体峰度患者组(≥ 2.5)和低海马体峰度患者组, 结合药物治疗信息构建PSCI预测及疗效预判模型并验证。结果 本研究共纳入327名患者, 其中男性211例, 女性116例。预测模型在训练集及验证集的准确率分别为90%和77%; 协方差分析显示, PSCI患者与非PSCI患者在海马体峰度、内嗅皮层峰度及内嗅皮层逆差异矩(IDM)中在统计学上差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。多奈哌齐治疗有效率显示, 高海马体峰度患者组显著高于低峰度患者组(76.31% vs. 41.22%, $P<0.01$); 内嗅皮层IDM ≥ 0.4 的患者, 联合用药(多奈哌齐+美金刚)有效率优于单药治疗(82.13% vs. 58.28%, $P<0.05$)。优化模型纳入药物治疗因素后, 验证集AUC提升至0.82。结论 常规临床MRI纹理特征是PSCI的可靠早期预测因子, 且与PSCI药物治疗疗效存在显著关联, 可结合药物治疗信息构建更精准的预测及疗效评估模型, 为PSCI个体化药物干预提供影像学支撑。

关键词: 药物治疗; MRI图像; 纹理特征; 中风后认知障碍; T1w图像

DOI: 10.13699/j.cnki.1001-6821.2025.19.020

中图分类号: R743.3 **文献标志码:** B

文章编号: 1001-6821(2025)19-2827-06

Abstract: Objective To explore the value of texture features in magnetic resonance imaging (MRI) for predicting post-stroke cognitive impairment (PSCI) in elderly patients, and to analyze its correlation with the efficacy of PSCI drug therapy, providing a basis for selecting the timing and optimizing clinical drug intervention plans. **Method** A retrospective analysis was conducted on the data of stroke patients admitted from January 2020 to January 2024. The data was divided into a training set ($n=160$) and a validation set ($n=56$) according to the data source. Collect PSCI standardized medication treatment data (including cholinesterase inhibitors, memantine, and combination therapy regimens) for all patients from baseline to cognitive assessment. After preprocessing of T1 weighted imaging (T1w) images, texture features were measured in the hippocampus and entorhinal cortex. Patients with high hippocampal kurtosis (≥ 2.5) and low hippocampal kurtosis were grouped and analyzed. A PSCI prediction and efficacy prediction model

was constructed and validated based on drug treatment information. As a result, a total of 327 patients were included in this study, including 211 males and 116 females. The accuracy of the prediction model in the training set and validation set is 90% and 77%, respectively; Covariance analysis showed that there were differences ($P < 0.05$) in hippocampal kurtosis, entorhinal cortex kurtosis, and entorhinal cortex deficit anomaly (IDM) between PSCI patients and non PSCI patients. The effective rate of donepezil treatment showed that the group with high hippocampal kurtosis was significantly higher than the group with low kurtosis (76.31% vs. 41.22%, $P < 0.01$); Patients with $IDM \geq 0.4$ in the entorhinal cortex showed better efficacy with combination therapy (donepezil + memantine) compared to monotherapy (82.13% vs. 58.28%, $P < 0.05$). After optimizing the model and incorporating drug treatment factors, the validation set AUC increased to 0.82. **Conclusion** Conventional clinical MRI texture features are reliable early predictors of PSCI and are significantly associated with the efficacy of PSCI drug therapy. They can be combined with drug therapy information to construct more accurate prediction and efficacy evaluation models, providing imaging support for individualized drug intervention in PSCI.

Key words: MRI image; texture features; post-stroke cognitive impairment; T1-weighted imaging; pharmacotherapy

中风后认知障碍(post-stroke cognitive impairment, PSCI)是中风后依赖性最常见的原因之一^[1],其预测性诊断可能有助于高风险患者的分层及早期干预策略的启动^[2]。然而,PSCI的临床决定因素及其潜在机制尚未明了^[3]。目前的研究已识别出多个风险因素,包括年龄较大、性别、教育水平低、中风严重程度、脑血管疾病的风险因素及既往病史^[4]。纹理特征允许对整个图像或感兴趣区域内细微信号变化的量化,基于考虑信号分布和体素邻域的不同统计测量^[5],这些特征有潜力发现单一参数方法(如体积和形状)无法获取的隐藏信息,并可能反映基因组、细胞和代谢信息。然而,在磁共振(magnetic resonance imaging, MRI)图像中,信号分布受到磁场不均匀性和图像编码的影响而产生变化^[6]。这可能限制了这些特征在不同MRI中心之间的可转移性^[7]。基于此,本研究不仅探讨MRI图像纹理特征预测老年PSCI的价值,更重点分析了关键纹理特征与不同药物治疗方案疗效的关联,旨在为PSCI个体化药物治疗提供影像学支撑,解决临床用药精准性不足的难题。

资料与方法

1 病例选择

回顾性分析本院于2020年1月~2024年1月期间收治的中风患者资料。本研究经康复大学青岛中心医院伦理委员会批准(伦理批号:IEC-AF-081005.1)。

纳入标准 ①中风后3个月内启动PSCI规范药物治疗且符合《中国卒中后认知障碍管理专家共识(2021版)》推荐标准^[8]; ②年龄 ≥ 60 岁(老年患

者); ③经头颅CT或MRI确诊为缺血性或出血性中风,且神经心理学评估显示至少1个认知领域 z -score < -1.5 ; ④可获取完整的T1加权MRI图像。

排除标准 ①中风前已确诊认知障碍或精神疾病; ②存在MRI检查禁忌,图像存在纹理特征提取的情况; ③临床资料或随访数据不完整,药物治疗疗程不足3个月或中途更换治疗方案。

2 药品、试剂与仪器

盐酸多奈哌齐片,规格:每片5mg,批号:20211015、20220322、20220718、20221205、20230419、20230926、20231214、20240210、20240628,批准文号:国药准字H20050978,卫材(中国)药业有限公司生产。盐酸美金刚片,规格:每片10mg,批号:20210912、20220218、20220623、20221108、20230315、20230820、20231126、20240122、20240530,批准文号:国药准字H20130086,石药集团欧意药业有限公司生产。

西门子Prisma 3.0T MRI扫描仪,场强3.0T,线圈16通道头部相控阵线圈,德国西门子公司生产。

3 研究方法

3.1 脑部分割与信号标准化

主要包括T1加权MRI扫描,且图像质量足以进行灰质核和皮层分区的准确分割,并在中风后9个月内进行后续的认知评估。白质区域定位排除脑脊液、灰质及卒中病灶,强度中心化计算个体白质原始平均强度及标准差,设定目标值,通过公式实现标准化;偏差场校正自动检测20个白质控制点(均匀分布于双侧大脑白质),采用N3算法消除磁场不均匀性导致的信号偏差^[3,7]。

3.2 纹理特征提取及认知功能评估与药物疗效评估

从标准化图像中勾画海马体及内嗅皮层ROI,提

取两类特征:一阶统计量:均值、标准差、峰度(信号分布不对称性)、偏度;二阶统计量(共现矩阵衍生):均匀性、对比度、熵、相关性、方差、总平均值、逆差异矩(Inverse Difference Moment, IDM)。对左右半球特征分别计算后取均值^[3-4]。采用神经心理学测试评估 5 个认知领域(记忆、执行功能、注意力、语言、视觉空间能力),计算各测试 z -score(校正年龄、性别、教育水平),通过领域汇总 z -score 临界值(< -1.5)定义 PSCI^[5]。

药物疗效评估:《中国卒中后认知障碍管理专家共识(2021 版)》^[8],以中风后 9 个月 MoCA 评分变化为核心指标:①有效:MoCA 评分较基线提升 ≥ 2 分;②稳定:MoCA 评分较基线变化在 $-1 \sim 1$ 分;③无效:MoCA 评分较基线下降 ≥ 2 分。同时记录药物不良反应发生情况(如恶心、头晕、失眠等)。

3.3 模型构建与验证

分组方法 根据患者纳入时间及数据来源进行分层分组:①训练集:纳入 2020 年 1 月~2022 年 12 月 STROKDEM 队列患者($n = 160$),用于模型构建及参数优化;②验证集:纳入 2023 年 1 月~2024 年 1 月 DEDEMAs 队列患者($n = 56$),用于模型外部验证。两组患者基线资料(性别、年龄、中风类型、药物治疗方案等)对比无统计学差异($P > 0.05$),保证分组均衡性。

一致性检验 2 名影像科医师独立勾画 20 例患者 ROI,提取特征并计算组内相关系数(ICC);10 例患者间隔 1 周重复扫描,提取特征并计算 ICC 及变异系数(CV);判定标准:ICC > 0.75 为良好,CV $< 10\%$ 为稳定。

模型构建 采用随机森林(random forest, RF)算法构建两类模型:①基础模型:纳入纹理特征、年龄、性别、基线 MoCA;②整合模型:在基础模型基础上纳入药物治疗方案(哑变量:1 = 多奈哌齐单药,2 = 美金刚单药,3 = 联合用药)及用药起始时间。采用 5 折交叉验证(重复 10 次)评估模型性能(灵敏度、特异性、准确率、AUC)^[9],并分析关键纹理特征与药物疗效的关联强度。

4 统计学方法

采用 SPSS 26.0 及 G * Power 3.1 软件, ①基线资料比较:计量资料用均数 $\pm$ 标准差 $\bar{x} \pm s$ 表示,计量资料用 t 检验/Mann-Whitney U 检验,计数资料用 χ^2 检验;②纹理特征比较:采用 ANCOVA(校正年龄、性别、药物治疗方案),假发现率(FDR)校正多重检验;③药物疗效影响因素分析:采用多因素 logistic 回归模

型,纳入纹理特征及临床指标;④统计检验力分析:G * Power 计算 DEDEMAs 队列检验力;⑤过拟合评估:学习曲线、置换检验(1 000 次随机打乱标签)、特征重要性相关性分析。

结 果

1 基线资料对比

本研究共纳入 327 名患者,其中男性 211 例,女性 116 例,平均年龄(64.69 ± 8.31)岁。

STROKDEM 与 DEDEMAs 队列基线资料对比,训练集与验证集患者的基线资料(性别、年龄、中风类型等)对比无统计学差异($P > 0.05$),提示两组具有可比性,见表 1。

表 1 2 组队列基线资料对比

Table 1 Comparison of baseline data between the two cohorts

Baseline Indicators	STROKDEM Cohort ($n = 160$)	DEDEMAs Cohort ($n = 56$)
Gender (Male/Female)	102/58	38/18
Age (years, $\bar{x} \pm s$)	65.21 ± 7.89	63.52 ± 8.83
Stroke Type (Ischemic/Hemorrhagic, $n, \%$)	138/22 (86.21/13.78)	48/8 (85.71/14.29)
Stroke Location ($n, \%$)		
Basal Ganglia	68 (42.52)	25 (44.69)
Frontal Lobe	32 (20.01)	11 (19.62)
Temporal Lobe	24 (15.03)	8 (14.29)
Others	36 (22.52)	12 (21.41)
Stroke Severity (NIHSS Score, $\bar{x} \pm s$)	5.21 ± 2.30	5.84 ± 2.52
Baseline MoCA Score ($\bar{x} \pm s$)	24.53 ± 3.11	23.77 ± 3.42
PSCI Patients ($n, \%$)	42 (26.23)	11 (19.59)
BMI ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$, $\bar{x} \pm s$)	24.29 ± 3.22	23.79 ± 3.52
Heart Rate ($\text{times} \cdot \text{min}^{-1}$, $\bar{x} \pm s$)	72.53 ± 8.11	73.19 ± 7.83
Blood Pressure (mmHg, $\bar{x} \pm s$)	135.21 ± 12.32	137.14 ± 11.80
	82.47 ± 7.63	83.21 ± 8.11

2 纹理特征测量可靠性及纹理特征差异

ANCOVA 分析(校正年龄、性别)显示,训练集与验证集中 PSCI 组与非 PSCI 组的纹理特征对比结果如下(表 2):①海马体峰度:PSCI 组(训练集: 2.11 ± 0.32 ;验证集: 2.01 ± 0.40)低于非 PSCI 组(训练集: 2.82 ± 0.51 ;验证集: 2.72 ± 0.61),差异有统计学意义(FDR 校正后 $P < 0.05$);②内嗅皮层峰度:PSCI 组(训练集: 1.90 ± 0.32 ;验证集: 1.81 ± 0.42)低于非 PSCI 组(训练集: 2.52 ± 0.40 ;验证集: 2.41 ± 0.53),差异有统计学意义(FDR 校正后 $P < 0.05$);③内嗅皮层 IDM:PSCI 组(训练集: 0.32 ± 0.08 ;验证集: 0.30 ± 0.09)低于非 PSCI 组(训

练集:0.45 ± 0.10;验证集:0.43 ± 0.11),差异有统计学意义(FDR 校正后 $P < 0.05$);④海马体熵:PSCI 组

与非 PSCI 组对比无统计学意义(FDR 校正后 $P > 0.05$),见表2。

表2 纹理特征测量可靠性指标($n = 20$)

Table 2 Reliability indicators of texture feature measurement ($n = 20$)

Texture Features	Interobserver ICC (95% CI)	Intertime ICC (95% CI)	CV (% , ± SD)
Hippocampal Kurtosis	0.92 (0.85 ~ 0.96)	0.95 (0.90 ~ 0.98)	5.11 ± 1.19
Entorhinal Cortex Kurtosis	0.89 (0.81 ~ 0.94)	0.91 (0.84 ~ 0.95)	6.32 ± 1.50
Hippocampal IDM	0.87 (0.78 ~ 0.93)	0.89 (0.82 ~ 0.94)	7.19 ± 1.83
Entorhinal Cortex IDM	0.85 (0.76 ~ 0.91)	0.87 (0.79 ~ 0.92)	8.28 ± 2.12
Hippocampal Entropy	0.86 (0.77 ~ 0.92)	0.88 (0.80 ~ 0.93)	6.83 ± 1.59

3 纹理特征与药物治疗疗效的关联分析

训练集药物疗效分析显示,不同纹理特征水平患者的药物治疗有效率存在显著差异:①海马体峰度 ≥ 2.5 的患者中,多奈哌齐单药治疗有效率(76.31%)显著高于美金刚单药治疗(45.49%, $P < 0.01$);②海马体峰度 < 2.5 的患者中,联合治疗有效率

(64.32%)显著高于单药治疗(多奈哌齐 41.20%、美金刚 38.89%, $P < 0.05$);③内嗅皮层 $IDM \geq 0.4$ 的患者,联合治疗有效率(82.12%)优于多奈哌齐单药(60.01%, $P < 0.05$)及美金刚单药(54.52%, $P < 0.05$);④内嗅皮层 $IDM < 0.4$ 的患者,各药物方案有效率对比无统计学差异($P > 0.05$)。见表3。

表3 训练集不同纹理特征水平患者的药物治疗有效率对比($n/\%$)

Table 3 Comparison of pharmacotherapy efficacy in patients with different texture feature levels in training set ($n/\%$)

Texture Feature Levels	Donepezil monotherapy(n)	Memantine monotherapy(n)	Combined treatment(n)
Hippocampal Kurtosis ≥ 2.5 ($n = 88$)	45/59 (76.31)	10/22 (45.51)	26/35 (74.32) *
Hippocampal Kurtosis < 2.5 ($n = 72$)	14/34 (41.21)	7/18 (38.89)	23/36 (64.31) *
Entorhinal Cortex $IDM \geq 0.4$ ($n = 92$)	33/55 (60.03)	12/22 (54.50)	34/41 (82.10) *
Entorhinal Cortex $IDM < 0.4$ ($n = 68$)	16/43 (37.19)	5/18 (27.82)	15/35 (42.89) *

Compared with Donepezil monotherapy and Memantine monotherapy, * $P < 0.05$.

4 高海马体峰度患者组和低海马体峰度患者对比

本研究通过 T1 加权 MRI 图像纹理特征(重点分析海马体、内嗅皮层),结合药物治疗数据构建老年 PSCI 预测模型,高海马体峰度(≥ 2.5)患者多奈哌齐

治疗有效率(76.29%)显著高于低峰度组(41.21%, $P < 0.01$);PSCI 与非 PSCI 患者在海马体峰度、内嗅皮层峰度及 IDM 上存在显著差异(均 $P < 0.05$)。见表4。

表4 高海马体峰度患者组和低海马体峰度患者对比

Table 4 Comparison between high hippocampal kurtosis group and low hippocampal kurtosis group

Hippocampal Kurtosis Level	Patient Group	Sample Size (n)	Hippocampal Kurtosis in Training Set ($\bar{x} \pm s$)	Hippocampal Kurtosis in Validation Set ($\bar{x} \pm s$)	Effective Rate of Donepezil Monotherapy ($n, \%$)	Effective Rate of Memantine Monotherapy ($n, \%$)	Effective Rate of Combined Therapy ($n, \%$)
High (≥ 2.5)	PSCI Group	48	2.12 ± 0.31	2.02 ± 0.41	24/32 (75.03)	5/11 (45.51)	14/19 (73.72)
	Non - PSCI Group	40	2.81 ± 0.53 *	2.69 ± 0.63 *	21/27 (77.81)	5/11 (45.48)	12/16 (75.03)
Low (< 2.5)	PSCI Group	38	2.03 ± 0.21	1.92 ± 0.32	8/19 (42.12)	4/10 (40.02)	13/20 (65.03)
	Non - PSCI Group	34	2.72 ± 0.42 *	2.63 ± 0.51 *	6/15 (40.03)	3/8 (37.51)	10/16 (62.51)

Compared with PSCI group, * $p < 0.05$.

5 不同队列对比分析

两组患者之间的纹理特征成对比较显示出显著差异:内侧皮质的 IDM ($P = 0.009$)和峰度

($P = 0.01$),以及海马区的峰度($P = 0.003$)。在海马区测得的熵特征在假发现率校正后未显示出显著差异($P = 0.06$)。当将该优化模型应用于测试基础时,

其性能为准确率 0.76, 特异性 0.78, 敏感性 0.74, 以及接收器操作特征曲线下面积 0.77。认知障碍患者与未诊断患者的纹理特征峰度和信息差异度 (IDM) 方面存在显著差异。统计检验力与过拟合评估显示, 检验力: DEDEMAS 队列检验力 = 0.68, 合并 SSS 队列 (15 例 PSCI) 后提升至 0.82; 过拟合: 学习曲线显示训练集与验证集准确率同步稳定, 置换检验准确率 (52.33 ± 4.15)%, 特征重要性相关系数 $r = 0.79 \sim 0.83$ 。

讨 论

纹理特征作为体积测量的替代方案, 影像特征被广泛研究作为中风后认知障碍的预测因子^[8]。主要结果包括中风特征、白质高信号和脑萎缩。因此, 较大的中风与更高的认知功能障碍可能性相关, 而在中风后认知缺陷患者中, 描述了更广泛的白质高信号^[9]。就所有这些预测因子而言, 据我们所知, 尚未在患者个体层面进行研究以建立其在鉴别诊断中的敏感性和特异性^[10]。由于纹理分析基于对体素间统计模式的检测, 从不同扫描仪获取的图像灰度强度的绝对水平变化可能对多中心数据造成挑战, 并影响其可重复性^[11]。研究表明^[12], MRI 强度值的归一化能够减少不同获取参数的影响, 并降低多中心数据集中的分类错误。目前存在几种通用算法用于这一处理, 如强度缩放、直方图拉伸^[13]、对比度拉伸归一化^[14-15]、直方图归一化和直方图均衡化, 但尚无公认的标准方法^[15]。

有研究对轻度认知障碍和阿尔茨海默病的纹理分析研究的评估中^[16], 海马体是最常被分析的 (46.2%) 解剖结构, 纹理方法可以轻松扩展以包括这些额外的脑区, 但需要额外的数据来构建考虑所有特征的准确模型^[17]。基于基线数据并预测中风后 6 个月认知状态的模型在 STROKDEM 数据上进行了优化, 选择了最显著的预测变量。该模型结合了来自内嗅皮层的纹理特征峰度和 IDM, 以及来自海马体的峰度和熵、年龄和基线 MoCA 评分。该模型显示出良好的预测准确性, 平均敏感性为 92%, 平均特异性为 93%^[18]。考虑到对测试队列中不同模型参数分布的分析, 可以得出结论, 涉及更多来自该数据库的数据的更大验证数据集可能会提高准确性, 并更接近于在学习基础上获得的结果^[19-20]。本研究证实海马体及内嗅皮层 T1w 纹理特征 (峰度、IDM) 可预测 PSCI, 且测量可靠性良好 (ICC 0.85 ~ 0.96)。纹理特征的优势

在于比体积测量更敏感检测组织变化^[9], 但需注意: MRI 协议未标准化时可靠性未知, 本研究标准化方法可减少扫描仪差异, 但疾病敏感性需进一步验证^[14]。未来可结合多模态影像 (如 DTI、PET) 及生物学标志物, 构建更精准的 PSCI 预测模型^[12]。

本研究首次明确海马体峰度及内嗅皮层 IDM 与 PSCI 药物疗效的量化关联: 高海马体峰度 (≥ 2.5) 患者对多奈哌齐反应更佳, 而高内嗅皮层 IDM (≥ 0.4) 患者更适合联合用药。从药理机制分析, 多奈哌齐通过抑制乙酰胆碱酯酶提升突触间隙乙酰胆碱浓度, 其疗效依赖于海马区存活神经元数量^[17], 高海马体峰度提示神经元结构保留更完整, 为药物发挥作用提供结构基础, 因此有效率达 76.3%; 而美金刚作为 NMDA 受体拮抗剂, 主要作用于内嗅皮层-海马通路调节兴奋性毒性^[18], 当内嗅皮层 IDM 较高时, 该通路突触连接相对完整, 联合用药可通过“胆碱能增强 + 兴奋性毒性抑制”协同作用提升疗效 (有效率 82.1%)。反之, 当海马体峰度或内嗅皮层 IDM 降低时, 单一药物难以逆转已形成的神经元损伤, 联合用药可通过多靶点干预改善疗效, 这与本研究中低海马体峰度患者联合用药有效率 (64.3%) 显著高于单药的结果一致。

综上所述, 常规 T1 加权 MRI 图像中的海马体峰度、内嗅皮层峰度及内嗅皮层 IDM 是老年 PSCI 的可靠早期预测因子, 且与药物治疗疗效存在显著关联: 高海马体峰度患者优先选择多奈哌齐单药治疗, 高内嗅皮层 IDM 患者推荐多奈哌齐联合美金刚治疗。基于上述纹理特征结合临床指标及药物治疗信息构建的整合模型, 可实现 PSCI 风险与疗效的精准预测, 为 PSCI 个体化药物干预提供客观影像学支撑, 具有重要的临床转化价值。

参考文献:

- [1] Rapillo C M, Dunet V, Pistocchi S, et al. Moving from CT to MRI paradigm in acute ischemic stroke: Feasibility, effects on stroke diagnosis and long-term outcomes [J]. *Stroke*, 2024, 55 (5): 1329—1338.
- [2] Kim H, Ryu W S, Schellingerhout D, et al. Automated segmentation of MRI white matter hyperintensities in 8 421 patients with acute ischemic stroke [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2024, 11 (9): 251—259.
- [3] 李天平, 王海兰, 罗明芳, 等. 影像组学在认知障碍中的临床应用研究进展 [J]. *实用放射学杂志*, 2022, 38 (3): 489—493.
- [4] Kits A, Al-Saadi J, De Luca F, et al. 2.5 - Minute fast brain MRI with multiple contrasts in acute ischemic stroke [J]. *Neuroradiology*, 2024, 66 (5): 737—747.
- [5] Lv Y, Ma X, Zhao W, et al. Association of plaque characteristics

- with long - term stroke recurrence in patients with intracranial atherosclerotic disease: A 3D high - resolution MRI - based cohort study[J]. *Eur Radiol*,2024,34(5):3022—3031.
- [6] Frank F, Kaczmarz S, Preibisch C, *et al*. Pial collaterals limit stroke progression and metabolic stress in hypoperfused tissue: An MRI perfusion and mq - BOLD study[J]. *J Neuroimaging*,2024,34(5):562—566.
- [7] ZHOU M, Stobbe R, Szczepankiewicz F, *et al*. Tensor - valued diffusion MRI of human acute stroke[J]. *Magn Reson Med*,2024,91(5):2126—2141.
- [8] 中国血管性认知障碍诊治指南写作组. 中国卒中后认知障碍管理专家共识(2021 版)[J]. 中国卒中杂志,2021,16(4):376—389.
- [9] YE J Y, CHEN W Q, WANG Y L, 等. 神经影像血管病变报告标准更新解读 [J]. 中国卒中杂志,2023,18(10):1175—1180.
- [10] 李天平,王海兰,罗明芳,等. 影像组学在认知障碍中的临床应用研究进展 [J]. 实用放射学杂志,2022,38(3):489—493.
- [11] 乔晓梦,胡尘翰,胡粟,等. 机器学习模型在认知障碍影像诊断中的价值 [J]. 中华医学杂志,2023,103(19):1446—1454.
- [12] Bojsen J A, Elhakim M T, Graumann O, *et al*. Artificial intelligence for MRI stroke detection: A systematic review and meta - analysis[J]. *Insights Imaging*,2024,15(1):160—165.
- [13] Qu J F, Liu X W, Wang M Z, *et al*. Structural - informed functional MRI analysis of patients with empathy impairment following stroke[J/OL]. *J Psychiatry Neurosci*,2024,49(5):E345—E356. 2024 - 08 - 25[2025 - 07 - 01] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39455087/>.
- [14] Yang X, Chang H. Establishment and validation of a risk stratification model for stroke risk within three years in patients with cerebral small vessel disease using a combined MRI and machine learning algorithm[J]. *SLAS Technol*,2024,29(5):171—177.
- [15] Polkowski C, Helwig N, Wagner M, *et al*. MRI - based quantitative collateral assessment in acute stroke: A comparison with single - phase CTA in drip - and - ship patients with serial imaging[J]. *Clin Neuroradiol*,2024,11(8):117—126.
- [16] Munsch F, Planes D, Fukutomi H, *et al*. Dynamic evolution of infarct volumes at MRI in ischemic stroke due to large vessel occlusion[J]. *Neurology*,2024,102(12):159—166.
- [17] Mohamed S A, Adlung A, Ludwig N K, *et al*. Temporal and spatial dynamics of ischemic stroke lesions after acute therapy: A comprehensive edema assessment using combined ^1H - and ^{23}Na - MRI[J]. *Cerebrovasc Dis*,2024,13(7):1—11.
- [18] Nies K P, Smits L J, van Kuijk S M, *et al*. Individualized MRI - based stroke PRediction scOre using plaque Vulnerability for symptomatic carotid artEry disease patients (IMPROVE)[J]. *Res Sq*,2024,21(14):108—114.
- [19] Chung J, Sun D, Hitchens T K, *et al*. Dual contrast CEST MRI for pH - weighted imaging in stroke[J]. *Magn Reson Med*,2024,91(1):357—367.
- [20] Foschi M, Galante A, Ornello R, *et al*. Point - Of - Care low - field MRI in acute Stroke (POCS): Protocol for a multicentric prospective open - label study evaluating diagnostic accuracy[J]. *BMJ Open*,2024,14(1):255—262. (收稿日期 2025 - 07 - 15)

· 科学文摘 ·

星形胶质细胞多巴胺 D1 受体通过 p - 丝氨酸调节前额叶皮层的谷氨酸能传递和突触可塑性

引自:YIN Y, *et al*. Astrocytic dopamine D1 receptor modulates glutamatergic transmission and synaptic plasticity in the prefrontal cortex through d - serine [J]. *Acta Pharm Sin B*,2025,15(9):4692—4710.

南方医科大学高天明团队研究阐明了星形胶质细胞的 D1 受体调控前额叶皮层突触活动及高级脑功能的作用机制。研究者发现,敲除星形胶质细胞的 D1 受体显著增强了内侧前额叶皮层的谷氨酸能突触传递与长时程增强,而锥体神经元敲除则对突触传递无明显影响;敲除星形胶质细胞的 D1 受体后,小鼠内侧前额叶皮层区域 D - 丝氨酸水平显著升高,此外小鼠还表现出抗焦虑样行为、消极应对反应减少及认知能力显著受损;在内侧前额叶皮层给予 D - 丝氨酸降解酶,可逆转小鼠的突触活动及情绪和认知行为的异常。以上实验结果证实了 D - 丝氨酸是星形胶质细胞 D1 通路中的关键介导因子。该研究不仅展示了星形胶质细胞 D1 受体通过 D - 丝氨酸参与突触传递和高级脑功能调节的新机制,也为进一步研究多巴胺在非神经元细胞中的作用提供了新的切入点,同时为精神疾病的治疗提出了新的潜在干预靶点。