

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2026.18.005

文章编号: 1005-8982 (2026) 18-0030-07

老年疾病专题·论著

静息态功能磁共振成像联合神经黑色素成像对帕金森病的诊断价值*

孙阳¹, 高鹏¹, 左仁智¹, 王丽娜², 孙文琳³

(1. 淮安市第一人民医院 影像中心, 江苏 淮安 223300; 2. 无锡市人民医院 神经内科, 江苏 无锡 214023; 3. 淮安市第一人民医院 康复科, 江苏 淮安 223300)

摘要: **目的** 评估静息态功能磁共振成像(rs-fMRI)联合神经黑色素成像(NM-MRI)对帕金森病(PD)患者的诊断价值。**方法** 回顾性选取2022年1月—2023年12月淮安市第一人民医院收治的85例疑似PD患者,依据临床综合诊断结果分为PD组(45例)与非PD组(40例)。比较两组的临床特征(年龄、性别、神经系统症状、基础疾病史等)、静息态rs-fMRI指标[双侧小脑、左侧中央前回、丘脑、桥脑、双侧额叶、左前扣带回、颞叶、左岛叶的低频振幅(ALFF)值]及NM-MRI指标[黑质(SN)相对对比度、SN体积、SN校正后体积、蓝斑(LC)相对对比度];采用多因素逐步Logistic回归模型分析PD的独立危险因素,绘制受试者工作特征(ROC)曲线评估各指标诊断PD的效能。**结果** 两组性别构成、年龄、神经系统症状、高血压史、糖尿病史、高脂血症、颞叶ALFF值和左岛叶ALFF值比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。PD组双侧小脑ALFF值高于非PD组($P<0.05$),左侧中央前回、丘脑、桥脑、双侧额叶、左前扣带回ALFF值均低于非PD组($P<0.05$),PD组SN相对对比度、SN体积、SN校正后体积和LC相对对比度均低于非PD组($P<0.05$)。多因素逐步Logistic回归分析结果显示:桥脑ALFF值高[OR=0.049(95%CI: 0.003, 0.911)]、双侧额叶ALFF值高[OR=0.071(95%CI: 0.007, 0.700)]、SN相对对比度高[OR=0.767(95%CI: 0.638, 0.923)]、SN体积大[OR=0.921(95%CI: 0.863, 0.983)]均为PD发生的保护因素($P<0.05$)。桥脑ALFF值、双侧额叶ALFF值、SN相对对比度、SN体积联合诊断PD时,曲线下面积最大,为0.981,敏感性最高,为93.3%(95%CI: 0.817, 0.986),特异性最高,为95.0%(95%CI: 0.831, 0.994)。**结论** 静息态rs-fMRI的脑区ALFF值与NM-MRI的SN相关指标可作为诊断PD的有效影像学标志物,两者联合应用能显著提升诊断PD准确性,具有重要临床推广价值。

关键词: 帕金森病; 静息态功能磁共振成像; 神经黑色素成像; 低频振幅; 受试者工作特征曲线

中图分类号: R742.5

文献标识码: A

Resting-state rs-fMRI combined with NM-MRI in diagnosing Parkinson's disease*

Sun Yang¹, Gao Peng¹, Zuo Ren-zhi¹, Wang Li-na², Sun Wen-lin³

(1. Imaging Center, Huai'an First People's Hospital, Huai'an, Jiangsu 223300, China; 2. Department of Neurology, Wuxi People's Hospital, Wuxi, Jiangsu 214023, China; 3. Department of Rehabilitation, Huai'an First People's Hospital, Huai'an, Jiangsu 223300, China)

Abstract: **Objective** To evaluate the value of resting-state functional magnetic resonance imaging (rs-fMRI) combined with neuromelanin MRI (NM-MRI) in diagnosing Parkinson's disease (PD). **Methods** Eighty-five patients with suspected PD admitted to Huai'an First People's Hospital from January 2022 to December 2023 were

收稿日期: 2026-03-25

* 基金项目: 江苏省基础研究计划自然科学基金(BK20240307); 江苏省学生体质健康促进研究中心研究课题(2025B001)

[通信作者] 孙文琳, E-mail: sunwenlin1983@126.com

retrospectively enrolled and divided into a PD group (45 cases) and a non-PD group (40 cases) by comprehensive clinical diagnosis. We compared clinical characteristics, resting-state rs-fMRI indicators [amplitude of low-frequency fluctuation (ALFF) of bilateral cerebellum, left precentral gyrus, thalamus, pons, bilateral frontal lobes, left anterior cingulate gyrus, temporal lobe and left insula] and NM-MRI indicators [substantia nigra (SN) relative contrast, SN volume, corrected SN volume, locus coeruleus (LC) relative contrast] between the two groups. Multivariable logistic regression analysis was used to identify independent factors associated with PD, and receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was used to assess diagnostic performance. **Results** Univariate analysis showed no significant differences between the PD group and the non-PD group in age, sex, neurological symptoms, histories of hypertension, diabetes mellitus, or dyslipidemia, or ALFF values in the temporal lobe and left insula ($P > 0.05$). The PD group exhibited significantly higher ALFF values in the bilateral cerebellum, but significantly lower ALFF values in the left precentral gyrus, thalamus, pons, bilateral frontal lobes, and left anterior cingulate gyrus, as well as significantly lower SN relative contrast, SN volume, corrected SN volume, and LC relative contrast compared with the non-PD group ($P < 0.05$). Multivariable logistic regression analysis revealed that pontine ALFF [$\hat{OR} = 0.049$ (95% CI: 0.003, 0.911)], bilateral frontal ALFF [$\hat{OR} = 0.071$ (95% CI: 0.007, 0.700)], SN relative contrast [$\hat{OR} = 0.767$ (95% CI: 0.638, 0.923)], and SN volume [$\hat{OR} = 0.921$ (95% CI: 0.863, 0.983)] were independent protective factors for PD (all $P < 0.05$). ROC curve analysis demonstrated that the combined use of the above four indicators yielded an area under the curve of 0.981 for diagnosing PD, with a sensitivity of 93.3% (95% CI: 0.817, 0.986) and a specificity of 95.0% (95% CI: 0.831, 0.994). **Conclusion** Regional ALFF values on resting-state rs-fMRI and SN-related NM-MRI indicators are effective imaging markers for PD. Their combination significantly improves diagnostic accuracy, with important clinical value.

Keywords: Parkinson's disease; resting-state functional magnetic resonance imaging; neuromelanin magnetic resonance imaging; amplitude of low-frequency fluctuation; receiver operating characteristic curve

帕金森病 (Parkinson disease, PD) 是一种以黑质 (substantia nigra, SN) 多巴胺能神经元进行性丢失为核心病理特征的神经退行性疾病, 临床以静止性震颤、肌强直、运动迟缓及姿势异常为典型表现, 常伴随嗅觉减退、睡眠障碍等非运动症状。全球 65 岁以上人群 PD 患病率为 1% ~ 2%, 且随年龄增长而升高, 严重影响患者生活质量, 并给家庭和社会带来沉重负担^[1-3]。当前 PD 诊断多依靠临床症状、体格检查及统一帕金森病评分量表 (unified Parkinson disease rating scale, UPDRS) 进行评估, 缺少特异性的早期诊断指标, 容易与特发性震颤等运动障碍疾病相混淆, 并且难以在病理变化的早期作出确诊^[4-5]。静息态功能磁共振成像 (resting-state functional magnetic resonance imaging, rs-fMRI) 可通过低频振幅 (amplitude of low-frequency fluctuation, ALFF) 等指标反映脑区自发神经活动异常, 已在 PD 脑功能环路紊乱评估中展现出应用潜力^[6]; 神经黑色素成像 (neuromelanin magnetic resonance imaging, NM-MRI) 能精准量化 SN、蓝斑 (locus coeruleus, LC) 的神经黑色素含量及体积, 直接对应 PD 核心病理改变, 在神经退行性疾病诊断中效果显著^[7]。为弥补传统诊断手段不足, 提升 PD

诊断准确性与早期识别能力, 本研究采用 rs-fMRI 联合 NM-MRI 技术, 针对特定脑区 ALFF 值及 SN、LC 相关指标开展分析。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性选取 2022 年 1 月—2023 年 12 月淮安市第一人民医院收治的 85 例疑似 PD 患者的临床及影像资料。依据国际运动障碍学会 (movement disorder society, MDS) 2015 年修订的 PD 临床诊断标准^[8], 结合症状表现、体格检查、MDS-UPDRS II + III 部分评分 ≥ 17 分的量表阈值及 3 ~ 6 个月随访验证, 将 45 例确诊者作为 PD 组; 经临床及影像检查排除 PD, 且 MDS-UPDRS II + III 部分评分 < 17 分的 40 例患者作为非 PD 组, 该组含特发性震颤、良性眩晕、功能性运动障碍等, 均无 PD 核心病理改变及疾病进展特征。本研究已通过医院医学伦理委员会审批 (KY-2025-091-01)。

1.2 纳入与排除标准

1.2.1 纳入标准 ① PD 组符合 2015 年 MDS 修订的 PD 临床诊断标准^[8]; ② 非 PD 组因疑似 PD 症状就诊, 但经临床综合诊断排除 PD 及其他神经退行性

疾病；③临床资料、影像学数据完整，可满足指标提取与分析。

1.2.2 排除标准 ①存在MRI检查禁忌证（如体内植入金属异物、幽闭恐惧症、妊娠期女性等）；②合并其他严重神经系统疾病（如脑梗死、脑肿瘤、阿尔茨海默病等）；③有颅脑外伤史、脑部手术史或精神疾病史；④影像资料存在严重运动伪影、信号干扰等，无法进行指标测量；⑤合并严重心、肝、肾等脏器功能不全或恶性肿瘤，可能影响研究结果。

1.3 方法

1.3.1 MRI扫描方案 患者均采用荷兰 Philips 公司的 Ingenia 3.0T 型超导型磁共振扫描仪，配备32通道颅脑相控阵线圈。受试者取仰卧位，头部用海绵垫固定，以减少扫描过程中的运动伪影。扫描序列包括常规结构磁共振成像（magnetic resonance imaging, MRI）、rs-fMRI 及 NM-MRI，具体参数如下：①常规结构MRI。轴位自旋回波T1加权成像（TR 8.1 ms，TE 3.7 ms，层厚 1 mm，视野 256 mm × 256 mm，矩阵 256 × 203）、自旋回波T2加权成像及液体衰减反转恢复序列，用于排除颅内器质性病变；②rs-fMRI。采用梯度回波-平面回波序列，TR 2 000 ms，TE 30 ms，视野 220 mm × 220 mm，层厚 3.7 mm，矩阵 64 × 64，扫描层数 38 层，采集时间点 240 个，患者在清醒、闭眼、无任务状态下完成扫描；③NM-MRI。采用磁化转移加权 T1 加权成像序列，TR 550 ms，TE 13 ms，激励次数 3，视野 200 mm × 200 mm，体素大小 0.6 mm × 0.65 mm，矩阵 332 × 307，磁化转移开启，翻转角 90°，层数 8，层厚 4 mm，层间距 1.5 mm，扫描范围覆盖中脑及桥脑 LC 区域。

1.3.2 图像处理与数据测量 ①rs-fMRI 数据处理：采用 MATLAB R2013b 平台及 SPM12 软件进行预处理，包括时间层校正、头动校正（排除头动超过 2 mm 或 2° 患者）、空间标准化、平滑处理。通过 REST 软件计算指定脑区的 ALFF 值，目标脑区包括双侧小脑、左侧中央前回、丘脑、桥脑、双侧额叶、左前扣带回、颞叶、左岛叶。ALFF 值测量由 2 名具有 5 年以上神经影像诊断经验的医师采用双盲法独立完成，测量结果经组内相关系数（intraclass correlation coefficient, ICC）检验，各脑区

ALFF 值 ICC 均 > 0.85，提示测量一致性良好；②NM-MRI 数据处理：将图像导入 Radiant Dicom Viewer 软件，由 2 名具有 5 年以上神经影像诊断经验的医师采用双盲法勾画感兴趣区域；③SN 相关指标：勾画 SN 区域，选取中脑中组织作为参考区域，计算 SN 相对对比度，SN 相对对比度 = (SN 平均信号强度 - 参考区域平均信号强度) / 参考区域平均信号强度 × 100%；通过 3D Slicer 软件分割 SN 并测量体积，结合颅内总体积（脑灰质、白质及脑脊液体积之和）计算 SN 校正后体积，SN 校正后体积 = SN 体积 / 颅内总体积；④LC 相关指标：勾画 LC 区域，选取桥脑被盖部作为参考区域，计算 LC 相对对比度，LC 相对对比度 = (LC 平均信号强度 - 参考区域平均信号强度) / 参考区域平均信号强度 × 100%。取双侧指标平均值纳入统计分析，各 NM-MRI 指标 ICC 均 > 0.88。

1.4 观察指标

1.4.1 临床特征指标 年龄、性别、是否存在神经系统症状（如震颤、肌强直、运动迟缓等）、基础疾病史（高血压史、糖尿病史、高脂血症史）。

1.4.2 静息态 rs-fMRI 指标 双侧小脑、左侧中央前回、丘脑、桥脑、双侧额叶、左前扣带回、颞叶、左岛叶的 ALFF 值。

1.4.3 NM-MRI 指标 SN 相对对比度、SN 体积、SN 校正后体积、LC 相对对比度。

1.5 统计学方法

数据分析采用 SPSS 27.0 统计软件。计量资料以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示，比较用 t 检验；计数资料以构成比或率 (%) 表示，比较用 χ^2 检验；影响因素的分析采用多因素逐步 Logistic 回归模型；绘制受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组临床资料比较

两组性别构成、年龄、神经系统症状、高血压史、糖尿病史、高脂血症史、颞叶 ALFF 值和左岛叶 ALFF 值比较，经 χ^2/t 检验，差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。两组双侧小脑 ALFF 值、左侧中央前回 ALFF 值、丘脑 ALFF 值、桥脑 ALFF 值、双

侧额叶 ALFF 值、左前扣带回 ALFF 值、SN 相对对比度、SN 体积、SN 校正后体积和 LC 相对对比度比较, 经 t 检验, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); PD 组双侧小脑 ALFF 值高于非 PD 组 ($P < 0.05$), 左

侧中央前回、丘脑、桥脑、双侧额叶、左前扣带回 ALFF 值均低于非 PD 组 ($P < 0.05$), PD 组 SN 相对对比度、SN 体积、SN 校正后体积和 LC 相对对比度均低于非 PD 组 ($P < 0.05$)。见表 1。

表 1 两组临床资料比较

组别	n	男/女/例	年龄/(岁, $\bar{x} \pm s$)	神经系统症状例(%)	高血压史 例(%)	糖尿病史 例(%)	高脂血症史 例(%)
PD 组	45	24/21	65.31 $\pm$ 6.58	8(17.78)	7(15.56)	4(8.89)	2(4.44)
非 PD 组	40	19/21	63.90 $\pm$ 6.41	2(5.00)	5(12.50)	2(5.00)	1(2.50)
χ^2/t 值		0.288	0.998	3.331	0.163	0.488	0.235
P 值		0.591	0.321	0.068	0.686	0.485	0.628

组别	ALFF 值 ($\bar{x} \pm s$)							
	双侧小脑	左侧中央前回	丘脑	桥脑	双侧额叶	左前扣带回	颞叶	左岛叶
PD 组	3.84 $\pm$ 0.46	2.15 $\pm$ 0.45	2.06 $\pm$ 0.55	2.28 $\pm$ 0.35	2.25 $\pm$ 0.54	2.25 $\pm$ 0.36	2.33 $\pm$ 0.42	2.54 $\pm$ 0.39
非 PD 组	2.75 $\pm$ 0.47	2.83 $\pm$ 0.49	2.88 $\pm$ 0.49	2.64 $\pm$ 0.57	2.75 $\pm$ 0.41	2.54 $\pm$ 0.41	2.45 $\pm$ 0.37	2.62 $\pm$ 0.25
χ^2/t 值	10.793	6.669	7.220	3.420	4.748	3.473	1.390	1.110
P 值	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.168	0.270

组别	NM-MRI 特征 ($\bar{x} \pm s$)			LC 相对对比度/(%, $\bar{x} \pm s$)
	SN 相对对比度/%	SN 体积/mm ³	SN 校正后体积	
PD 组	9.85 $\pm$ 4.53	129.20 $\pm$ 15.82	0.089 $\pm$ 0.012	5.45 $\pm$ 1.21
非 PD 组	20.17 $\pm$ 4.80	165.13 $\pm$ 19.44	0.117 $\pm$ 0.015	14.76 $\pm$ 2.33
χ^2/t 值	10.189	9.387	9.549	23.488
P 值	0.000	0.000	0.000	0.000

2.2 影响 PD 发生的多因素逐步 Logistic 回归分析

以是否为 PD 患者 (否=0, 是=1) 为因变量, 桥脑 ALFF 值 (实测值)、双侧额叶 ALFF 值 (实测值)、SN 相对对比度 (实测值) 和 SN 体积 (实测值) 为自变量, 进行多因素逐步 Logistic 回归分析 (引入水准为 0.05, 排除水准为 0.10), 结果显示: 桥

脑 ALFF 值高 [$\hat{OR}=0.049$ (95% CI: 0.003, 0.911)]、双侧额叶 ALFF 值高 [$\hat{OR}=0.071$ (95% CI: 0.007, 0.700)]、SN 相对对比度高 [$\hat{OR}=0.767$ (95% CI: 0.638, 0.923)]、SN 体积大 [$\hat{OR}=0.921$ (95% CI: 0.863, 0.983)] 均为 PD 发生的保护因素 ($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 影响 PD 发生的多因素逐步 Logistic 回归分析参数

自变量	b	S_E	Wald χ^2 值	P 值	$\hat{OR}$ 值	95% CI	
						下限	上限
桥脑 ALFF 值	-3.010	1.488	4.091	0.043	0.049	0.003	0.911
双侧额叶 ALFF 值	-2.651	1.171	5.128	0.024	0.071	0.007	0.700
SN 相对对比度	-0.265	0.094	7.913	0.005	0.767	0.638	0.923
SN 体积	-0.082	0.033	6.102	0.014	0.921	0.863	0.983

2.3 各指标对 PD 患者的诊断效能分析

桥脑 ALFF 值、双侧额叶 ALFF 值、SN 相对对比度、SN 体积联合诊断 PD 时, 曲线下面积最大,

为 0.981, 敏感性最高, 为 93.3% (95% CI: 0.817, 0.986), 特异性最高, 为 95.0% (95% CI: 0.831, 0.994)。见表 3 和图 1。

表 3 各指标对 PD 患者的诊断效能参数

指标	截断值	曲线下面积	95% CI		敏感性/%	95% CI		特异性/%	95% CI	
			下限	上限		下限	上限		下限	上限
桥脑	2.480	0.680	0.561	0.799	75.6	0.605	0.871	62.5	0.458	0.773
双侧额叶	2.655	0.759	0.656	0.862	84.4	0.705	0.935	62.5	0.458	0.773
SN 相对对比度	14.655	0.899	0.818	0.980	93.3	0.817	0.986	92.5	0.796	0.984
SN 体积	148.680	0.926	0.870	0.982	91.1	0.788	0.975	85.0	0.702	0.943
联合		0.981	0.961	1.000	93.3	0.817	0.986	95.0	0.831	0.994

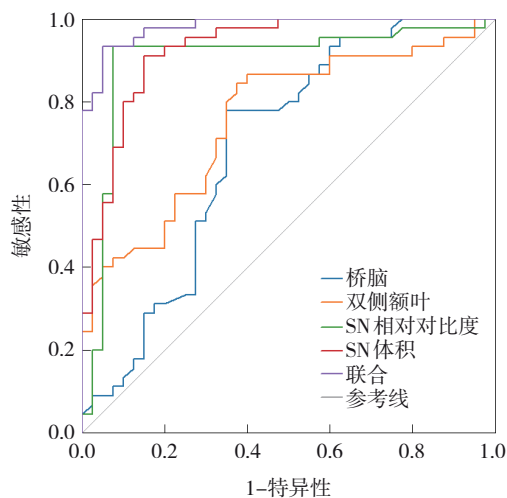


图 1 各指标诊断 PD 患者的 ROC 曲线

3 讨论

PD 作为全球高发的神经退行性疾病，其病理进程不可逆，早期精准诊断对延缓疾病进展、改善患者预后至关重要。目前临床诊断仍以症状学评估为核心，依赖 UPDRS 及体格检查，但该方式在疾病早期病理改变尚不显著时，易与特发性震颤等运动障碍疾病混淆，误诊率较高^[9-11]。影像学技术的发展为 PD 早期诊断提供了新路径，常规 MRI 可排除颅内器质性病变，但对 SN、LC 等核团的微观病理改变敏感性不足；单模态 rs-fMRI 通过 ALFF 值量化脑区自发神经活动，能反映 PD 患者脑功能环路紊乱，却难以直接对应核心病理基础^[12]；NM-MRI 作为特异性成像技术，可精准捕捉 SN 多巴胺能神经元丢失引发的神经黑色素含量变化，直接关联 PD 核心病理特征^[13]。本研究采用 rs-fMRI 联合 NM-MRI 技术，兼顾脑功能异常与病理结构改变的评估，弥补单模态成像的局限性，为 PD 诊断提供更全面的影像学依据，其核心创新性在于实现了“功能-结构”双重评估的有机结合，突破了

单模态成像仅能反映单一维度异常的局限，显著提升 PD 诊断的准确性，为临床提供更具实用性的诊断方案。

本研究单因素分析显示，PD 组与非 PD 组多个脑区 ALFF 值比较有差异，其中 PD 组双侧小脑 ALFF 值较非 PD 组升高，左侧中央前回、丘脑、桥脑、双侧额叶、左前扣带回 ALFF 值较非 PD 组降低，上述脑区均参与 PD 运动调控及认知功能相关环路。ALFF 值作为反映脑区低频振荡信号强度的核心指标，其变化直接提示自发神经活动异常^[14-15]。桥脑与丘脑是锥体外系运动通路的关键节点，PD 患者 SN 多巴胺能神经元丢失会导致丘脑-皮质投射通路功能紊乱，抑制丘脑及桥脑的神经活动，进而表现为 ALFF 值降低，与李锐韬等^[16]研究发现 PD 患者丘脑静息态神经活动减弱的结果一致。双侧小脑通过参与运动协调与平衡调节，在 PD 病理进程中出现代偿性神经活动增强，导致 ALFF 值升高^[17]。双侧额叶及左前扣带回与运动计划、执行功能密切相关，其 ALFF 值降低反映 PD 患者运动调控皮层功能受损，符合 PD 脑功能环路重构的病理生理特点^[18]。两组颞叶、左岛叶 ALFF 值比较无差异，提示上述脑区在 PD 早期病理进程中神经活动改变不明显，对 PD 的诊断价值有限。NM-MRI 指标分析显示，PD 组 SN 相对对比度、SN 体积、SN 校正后体积及 LC 相对对比度均低于非 PD 组，且 SN 相对对比度、SN 体积经多因素 Logistic 逐步回归分析证实为 PD 诊断的独立保护因素。SN 多巴胺能神经元富含神经黑色素，其进行性丢失是 PD 的核心病理特征，NM-MRI 通过磁化转移加权序列可精准量化神经黑色素含量，SN 相对对比度降低直接反映多巴胺能神经元损伤程度^[19-20]。研究表明，PD 患者 SN 神经黑色素含量与多巴胺能神经元数量呈正相关，SN 相对对比度可作为评估神

神经元损伤的特异性指标^[21-22]。SN 体积与校正后体积的缩减,实质上是由多巴胺能神经元丧失导致的核团萎缩引起的。3D Slicer 软件对 SN 进行精确分割与测量,进一步量化了病理结构的变化,其 $\hat{OR}$ 值表明 SN 体积每减少 1 个单位,PD 的发生风险就会相应增加,与 Lakhani 等^[23]关于 SN 体积缩小是 PD 早期影像学标志的结论一致。LC 作为中枢神经系统另一个富含神经黑色素的核团,其神经元丢失可早于 SN,本研究中 LC 相对对比度显著降低,提示 LC 损伤可能参与 PD 早期病理进程,但因纳入样本量限制、LC 相对对比度与 SN 相对对比度、SN 体积存在较强共线性,未进入多因素回归模型,其诊断价值需要扩大样本量并采用剔除共线性的统计模型(如 LASSO 回归、岭回归)进行验证。ROC 曲线分析结果显示,各指标联合预测 PD 的曲线下面积达 0.981,敏感性 & 特异性分别为 93.3%、95.0%,显著优于单一指标诊断效能。单一指标中,SN 体积及 SN 相对对比度诊断曲线下面积较高,提示 NM-MRI 指标对 PD 的诊断价值优于 rs-fMRI 的 ALFF 值,这与 NM-MRI 直接对应 PD 核心病理改变的优势密切相关。桥脑、双侧额叶 ALFF 值单一诊断的曲线下面积分别为 0.680、0.759,诊断效能有限,其原因可能是脑功能异常并非 PD 特异性改变,其他神经退行性疾病也可能出现类似变化。从临床推广角度而言,本研究采用的联合诊断方法操作简便、无需额外增加扫描时间及检查成本,仅通过常规 3.0T MRI 扫描即可完成指标提取与分析,适合在基层医院及综合性医院广泛应用,可有效提升临床对 PD 诊断能力,尤其对疑似 PD 患者的早期筛查具有重要实用价值,这也是本研究相较于以往单模态成像研究的核心创新点与临床应用优势。这与相关研究证实的多模态 MRI 联合诊断可提升 PD 早期诊断准确性的结论一致^[24-25],为临床提供了更可靠的诊断方案。

本研究存在一定局限性:本研究为单中心回顾性研究,样本量仅 85 例且来源单一,存在选择偏倚,导致研究结果的外推性和普适性受限,后续需开展多中心、前瞻性大样本研究进一步验证结论;未对 PD 患者进行 Hoehn-Yahr 分期分层分析,暂无法明确联合指标在早期 PD 中的诊断价值,后续可专门设计亚组研究聚焦早期患者;未长期

随访,无法评估指标与疾病进展的相关性。未来可开展多中心、前瞻性研究,扩大样本量并纳入不同病程 PD 患者,优化统计模型以充分挖掘 LC 指标的潜在价值,进一步验证联合指标的诊断及预后评估价值,同时探索更精准的影像组学模型,为 PD 早期诊断及病情监测提供更全面的技术支撑。

综上所述,双侧小脑、左侧中央前回等脑区 ALFF 值及 SN 相关 NM-MRI 指标可作为 PD 诊断的有效影像学标志物,两者联合应用能显著提升诊断效能。

参 考 文 献:

- [1] 王雪冰,杜薇,王惠艳,等.经颅超声黑质高回声在帕金森病患者中的发生现状、影响因素与其预测价值[J].中国医学物理学杂志,2025,42(8):1042-1046.
- [2] 刘秋皖,张康睿,谈政,等.阿尔茨海默病和帕金森病与肌少症的研究进展[J].中华老年多器官疾病杂志,2025,24(2):157-160.
- [3] Zhu J Q, Cui Y S, Zhang J J, et al. Temporal trends in the prevalence of Parkinson's disease from 1980 to 2023: a systematic review and meta-analysis[J]. Lancet Healthy Longev, 2024, 5(7): e464-e479.
- [4] 杜筱筱,董万惠,李翼,等.¹⁸F-FDG PET 在帕金森病和以帕金森综合征为主要表现的多系统萎缩诊断与鉴别诊断中的应用[J].中国现代神经疾病杂志,2024,24(12):1047-1055.
- [5] 马凌燕,曹杰,陈仲略,等.基于语音特征的帕金森病与多系统萎缩帕金森型的早期鉴别诊断[J].中国康复理论与实践,2025,31(10):1227-1233.
- [6] 王佳乐,叶启慧,姜楠,等.静息态功能磁共振成像技术研究热点的可视化分析[J].中国医疗设备,2025,40(7):115-123.
- [7] 陈红,柏福运,安鹏,等.基于神经黑色素成像的纹理分析在帕金森病诊断中的价值研究[J].磁共振成像,2025,16(6):34-41.
- [8] Postuma R B, Berg D, Stern M, et al. MDS clinical diagnostic criteria for Parkinson's disease[J]. Mov Disord, 2015, 30(12): 1591-1601.
- [9] Reddy A, Reddy R P, Roghani A K, et al. Artificial intelligence in Parkinson's disease: early detection and diagnostic advancements[J]. Ageing Res Rev, 2024, 99: 102410.
- [10] 郝洁,刘昌佳,闫昆,等.血清 lncRNA GAS5、miR-223-3p 对帕金森病的早期诊断价值及其与病情严重程度的相关性分析[J].检验医学与临床,2025,22(12):1655-1660.
- [11] 李金燕,朱可,樊新红,等.血清 lncRNA 牛磺酸上调基因 1、lncRNA 肺腺癌转移相关转录子 1 的表达水平在帕金森病患者严重程度及早期诊断中的意义[J].疑难病杂志,2025,24(4):450-455.
- [12] 白管兵,潘波,潘娜.初治帕金森病非运动症状患者不同治疗方案疗效及脑活动改变的静息态 fMRI 分析[J].中国中西医结合影像学杂志,2024,22(6):676-681.

- [13] 廖琪, 杨晨, 郝璐, 等. 神经黑色素磁共振成像联合定量磁化率成像对帕金森病分期及认知功能评估具有较高诊断价值[J]. 分子影像学杂志, 2025, 48(1): 24-30.
- [14] 白管兵, 潘波, 潘娜. 基于fMRI评价胰高血糖素样肽-1联合奥匹卡朋、左旋多巴治疗帕金森病的临床价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22(11): 20-22.
- [15] 高山山, 张磊, 郭春蕾, 等. 耳甲电针治疗早中期帕金森病即刻脑效应的fMRI研究[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2025, 23(3): 320-324.
- [16] 李锐韬, 何郴涛, 陈真真, 等. 进展期帕金森病患者丘脑区功能连接的静息态功能磁共振研究[J]. 卒中与神经疾病, 2023, 30(1): 33-41.
- [17] 李宗奇, 刘丽沙, 周慧, 等. 帕金森病伴不宁腿综合征的功能磁共振研究[J]. 四川医学, 2024, 45(9): 988-992.
- [18] Wang L, Xiong X, Liu J Q, et al. Gray matter structural and functional brain abnormalities in Parkinson's disease: a meta-analysis of VBM and ALFF data[J]. J Neurol, 2025, 272(4): 276.
- [19] 刘雨, 贺娜英, 严福华. 基于黑质和蓝斑的神经黑色素磁共振成像鉴别帕金森病和多系统萎缩的研究[J]. 磁共振成像, 2025, 16(4): 6-11.
- [20] Burade A, Lakhani D A, Dagher R, et al. Beyond Parkinson's disease: a narrative review of neuromelanin MRI in neurodegenerative diseases[J]. J Neuroimaging, 2025, 35(6): e70113.
- [21] Krainc T, Monje M H G, Kinsinger M, et al. Melanin and neuromelanin: linking skin pigmentation and Parkinson's disease[J]. Mov Disord, 2023, 38(2): 185-195.
- [22] Jokar M, Jin Z J, Huang P, et al. Diagnosing Parkinson's disease by combining neuromelanin and iron imaging features using an automated midbrain template approach[J]. Neuroimage, 2023, 266: 119814.
- [23] Lakhani D A, Zhou X Z, Tao S Z, et al. Diagnostic utility of 7T neuromelanin imaging of the substantia nigra in Parkinson's disease[J]. NPJ Parkinsons Dis, 2024, 10(1): 13.
- [24] 强薇, 杜宇, 李信金, 等. 多模态特征分析的帕金森病辅助诊断方法[J]. 软件学报, 2024, 35(5): 2192-2207.
- [25] 李明龙, 李祥林, 刘苗苗, 等. 定量磁共振成像技术在帕金森病诊断中的研究进展[J]. 磁共振成像, 2025, 16(4): 108-113.
- (李科 编辑)
- 本文引用格式:** 孙阳, 高鹏, 左仁智, 等. 静息态功能磁共振成像联合神经黑色素成像对帕金森病的诊断价值[J]. 中国现代医学杂志, 2026, 36(18): 30-36.
- Cite this article as:** Sun Y, Gao P, Zuo R Z, et al. Resting-state rs-fMRI combined with NM-MRI in diagnosing Parkinson's disease[J]. China Journal of Modern Medicine, 2026, 36(18): 30-36.