论　著

多模态MRI成像技术评估不同亚型帕金森病的效果观察*

秦　丹　郭　玥　王　娟
滕佳岐　温齐平*
首都医科大学附属北京康复医院放射科
(北京 100144)

【摘要】**目的** 探讨多模态磁共振成像(magnetic resonance imaging，MRI)技术评估不同亚型帕金森病的效果。**方法** 回顾性纳入本院2019年2月至2025年1月100例帕金森病患者为观察组，另纳同期80名健康体检者为对照组。所有研究对象均行多模态MRI检查，计算并比较两组脑微结构变化[小脑上脚、双侧黑质、左侧丘脑齿状核连接分区的各向异性分数(fractional anisotropy, FA)、轴向扩散系数(axial diffusivity, AD)、左侧脑岛灰质体积、表面积、平均厚度]，另外依据不同亚型帕金森病设姿势不稳和步态困难(postural instability/gait difficulty subtype, PIGD)型组(n＝55, TD评分与PIGD评分的比值≤0.90)、震颤(tremor-dominant subtype, TD)型组(n=45，TD评分与PIGD评分的比值≥1.15)，比较不同帕金森病亚型的脑微结构改变情况[脑桥横束平均扩散系数(Mean Diffusivity, MD)、AD、右侧小脑皮质AD、中脑右侧半AD、左侧脑岛灰质表面积、体积、平均厚度]。**结果** 较对照组，观察组小脑上脚、左侧丘脑齿状核连接分区、双侧黑质FA、AD均更高，左侧脑岛灰质表面积、体积、平均厚度均更低($P<0.05$)；较TD型组，PIGD型组脑桥横束、右侧小脑皮质、中脑右侧半AD及脑桥横束MD均更高，左侧脑岛灰质表面积、体积、平均厚度均更低($P<0.05$)。**结论** 帕金森病患者脑微结构存在异常，基于多模态MRI成像可辅助鉴别该疾病及其亚型。

【关键词】多模态磁共振成像技术；帕金森病；临床亚型；各向异性分数；轴向扩散系数
【中图分类号】R445.2
【文献标识码】A
【基金项目】国家卫生健康委医药卫生科技发展国家重点研发计划(2023YFC3603803)；首都医科大学附属北京康复医院2019-2021年科技发展专项(2019-015)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.04.007

Observation on the Effect of Multimodal MRI Imaging Technology in Evaluating Different Subtypes of Parkinson's Disease*

QIN Dan, GUO Yue, WANG Juan, TENG Jia-qi, WEN Qi-ping*.
Department of Radiology,Beijing Rehabilitation Hospital Affiliated to Capital Medical University, BeiJing 100144, China

ABSTRACT
Objective Objective To explore the effect of multimodal Magnetic Resonance Imaging (MRI) technology in evaluating different subtypes of Parkinson's disease. ***Methods*** A total of 100 cases of Parkinson's disease in our hospital from February 2019 to January 2025 were retrospectively included as the observation group, and another 80 healthy individuals undergoing physical examinations during the same period were included as the control group. All the research subjects underwent multi-model MRI examinations, and the changes in brain microstructure between the two groups were calculated and compared [Fractional Anisotropy (FA) and Axial Diffusivity (Axial Diffusivity) of the junction regions of the cerebellar upper foot, bilateral substantia nigra, and left thalamic dentate nucleus] AD), the volume, surface area and average thickness of the gray matter of the left insula. In addition, a Postural Instability/Gait Difficulty subtype (PIGD) group was set according to different subtypes of Parkinson's disease (n = 55). The ratio of TD score to PIGD score ≤0.90, Tremor (TD) subtype group (n=45, the ratio of TD score to PIGD score ≥1.15) Compare the changes in brain microstructure among different subtypes of Parkinson's disease [Mean Diffusivity (MD) of the transverse pons, AD, AD of the right cerebellar cortex, AD of the right midbrain, surface area, volume and average thickness of gray matter in the left insula]. ***Results*** The results showed that compared with the control group, the FA and AD levels in the upper peduncle of the cerebellum, the connection zone of the left thalamic dentate nucleus, and the bilateral substantia nigra in the observation group were all higher, while the surface area, volume, and average thickness of the gray matter in the left insula were all lower ($P<0.05$). Compared with the TD type group, the AD of the transverse pons, the right cerebellar cortex, the right midbrain and the MD of the transverse pons in the PIGD type group were all higher, while the surface area, volume and average thickness of the gray matter of the left insula were all lower ($P<0.05$). ***Conclusion*** There are abnormalities in the brain microstructure of patients with Parkinson's disease. Multimodal MRI imaging can assist in differentiating this disease and its subtypes.
Keywords: Multimodal Magnetic Resonance Imaging Technology; Parkinson's Disease; Clinical Subtype; Anisotropic Fraction; Axial Diffusion Coefficient

帕金森病患者临床常表现为运动、感觉及睡眠障碍等，按其运动症状、发病年龄、病程可分震颤(tremor-dominant subtype, TD)型、姿势不稳和步态困难(postural instability/gait difficulty subtype, PIGD)型等亚型。其中TD型为主型，患者以静止性震颤为特征，病理进展相对缓慢；而PIGD型患者则表现为姿势反射丧失、冻结步态及频繁跌倒等症状。但不同亚型帕金森病临床治疗手段及预后转归存在明显差异。PIGD型患者相比TD型，临床症状恶化较快，药物治疗效果较差[1-3]。因此，需明确帕金森病患者的临床亚型。传统临床分型依赖运动障碍协会-统一帕金森病评定量表(Movement Disorder Society-Unified Parkinson's Disease Rating Scale, MDS-UPDRS)量表评分，但受限于主观评估及症状重叠，易导致早期误诊。磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)是评估脑结构的常用技术，其中T1加权成像可量化分析脑体积及表面积等形态学指标[4-5]。扩散张量成像(DTI)通过探测水分子扩散特性，敏感识别各向异性分数(fractional anisotropy, FA)、轴向扩散系数(axial diffusivity, AD)、平均扩散系数(mean diffusivity, MD)等脑白质微结构参数，并能在特定疾病亚型中检出其差异特征，且该检测技术可发现常规MRI无法显示的灰质隐匿性微结构损伤，为脑组织病理改变提供更准确的影像学证据[6]。而扩散峰度成像(diffusion kurtosis imaging, DKI)为DTI的延伸形式，可有效分析生物组织的微观结构[7]。本研究探讨多模态MRI技术评估不同亚型帕金森病的效果，报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性纳入本院2019年2月至2025年1月100例帕金森病为观察组，另纳同期80名健康体检者为对照组。两组一般资料相当($P>0.05$)，见表1。

纳入标准：观察组符合《中国帕金森病的诊断标准(2016版)》[8]中帕金森病诊断标准；两组均无MRI检查禁忌证。排除标准：确诊为继发性或非典型帕金森病者；合并精神分裂症等其他精神疾病者；存在凝血、免疫功能严重障碍者；存在心、脑、肾等脏器障碍者。

1.2 方法 采用GE SIGNA Pioneer 3.0T MRI扫描仪，8通道头线圈。先行常规平扫，再依次行DTI、DKI扫描。T2 Flair：TR、TE、NEX分别为9000ms、140ms、1.0。3D T1

【第一作者】秦　丹，女，主治医师，主要研究方向：MRI诊断学。E-mail：18101059353@163.com
【通讯作者】温齐平，女，副主任技师，主要研究方向：医学影像技术及三维成像。E-mail：wqp789100@sina.com

加权成像：用3D快速扰相梯度回波序列扫描，参数设置：矩阵256×256，TR8.2ms，TE3.2ms，层厚1mm，带宽31.3kHz，FOV 256×256，翻转角8°。DTI扫描：TR、TE分别为8000ms、minimum，层数26，FOV设置为28cm，NEX 1.0，层厚与层间距设置为5mm、0mm。DKI扫描：b值分别设置为0、1000、2000s/mm^{2}三个数值，32个扩散方向扫描，TR、TE分别为13000ms、minimum，层间隔4mm，层厚设置为0，FOV设置为24cm。

表1 两组一般资料比较[n(%)]

组别	性别		年龄(岁)	体质量指数(kg/m^2)	病程(年)
	男	女			
观察组(n=100)	52(52.00)	48(48.00)	58.98±7.66	23.85±1.43	7.25±1.13
对照组(n=80)	41(51.25)	39(48.75)	59.09±7.54	23.69±1.58	7.11±1.24
χ^2/t值	0.010	0.096	0.712	0.791	
*P*值	0.920	0.923	0.478	0.430	

1.3 图像分析 采用FreeSurfer软件三维重建、自动分割扫描图像，基于Desikan-Killiany图谱将划分感兴趣区域，提取并计算左侧脑岛灰质体积、表面积、平均厚度。TD型帕金森患者3D T1加权成像扫描图像见图1~2。先完成梯度、头动及涡流校正，随后剥离颅骨并清除脑外组织，将DTI、DKI图像配准至个体T1空间，计算其FA、AD、MD参数，基底节层面及红核、黑质层面DTI各值见图3~6。所有影像均由本院两名高年资主治影像医师独立盲法评估，存在分歧时经协商达成一致结论。

1.4 观察指标 (1)比较两组脑微结构变化情况。(2)比较不同帕金森病亚型的脑微结构变化情况。PD亚型分组：采用MDS-UPDRS量表[9]评估TD、PIGD评分，根据患者TD、PIGD评分设PIGD型组(n=55，TD评分与PIGD评分的比值≤0.90)、TD型组(n=45，TD评分与PIGD评分的比值≥1.15)。

1.5 统计学分析 选用SPSS 22.0统计学软件处理数据，计量资料以($\bar{x}\pm s$)表示，行t检验；计数资料以例(%)表示，行χ^2检验，*P*<0.05为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 两组脑微结构变化情况比较 较对照组，观察组小脑上脚、左侧丘脑齿状核连接分区、双侧黑质FA、AD均更高，左侧脑岛灰质表面积、体积、平均厚度均更低(*P*<0.05)，见表2。

2.2 不同帕金森病亚型的脑微结构变化情况比较 较TD型组，PIGD型组脑桥横束、右侧小脑皮质、中脑右侧半AD及脑桥横束MD均更高，左侧脑岛灰质表面积、体积、平均厚度均更低(*P*<0.05)，见表3。

2.3 典型病例图像 见图1~6。

表2 两组脑微结构变化情况比较

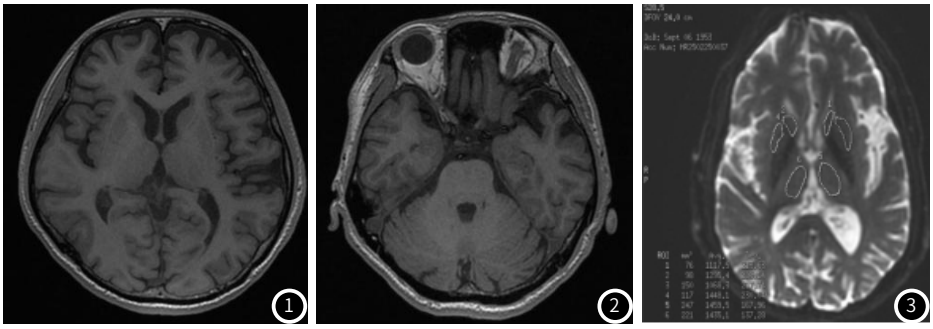
组别	左侧丘脑齿状核连接分区		双侧黑质		小脑上脚		左侧脑岛灰质		
	FA	AD	FA	AD	FA	AD	表面积(mm^2)	体积(mm^3)	平均厚度(mm)
观察组(n=100)	0.71±0.09[a]	0.48±0.05[a]	0.62±0.11[a]	0.39±0.06[a]	0.42±0.07[a]	0.32±0.06[a]	1852.23±143.58[a]	3285.32±252.14[a]	2.68±0.19[a]
对照组(n=80)	0.59±0.12	0.32±0.06	0.39±0.06	0.29±0.04	0.35±0.03	0.21±0.05	2026.52±157.14	3721.26±274.26	2.86±0.17
t值	7.664	19.513	21.917	12.801	8.348	13.146	7.759	11.085	7.420
*P*值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

注：与对照组比较，[a]P<0.05。

表3 不同帕金森病亚型的脑微结构变化情况比较

组别	脑桥横束		右侧小脑皮质AD	中脑右侧半AD	左侧脑岛灰质		
	MD	AD			表面积(mm^2)	体积(mm^3)	平均厚度(mm)
PIGD型组(n=55)	0.72±0.12[a]	0.69±0.09[a]	0.42±0.08[a]	0.49±0.06[a]	1805.65±136.58[a]	3192.28±241.76[a]	2.62±0.21[a]
TD型组(n=45)	0.59±0.08	0.55±0.08	0.39±0.06	0.38±0.05	1915.32±145.28	3405.32±258.12	2.75±0.18
t值	6.221	8.131	2.081	9.819	5.204	5.700	4.394
*P*值	0.000	0.000	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000

注：与TD型组比较，[a]P<0.05。



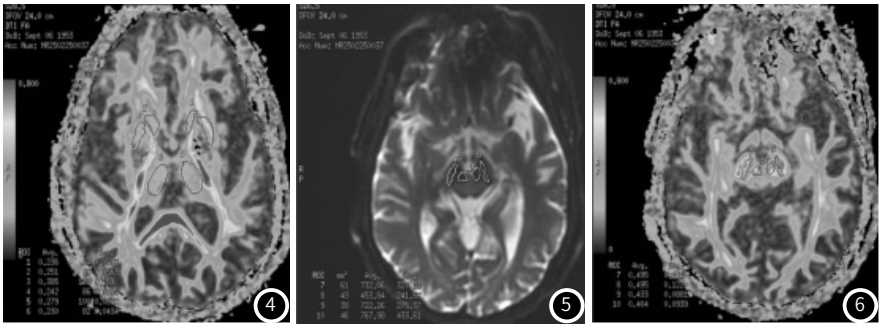


图1～2 TD型帕金森患者3D T1加权成像扫描图像。H-Y 2.5期 男性，56岁，无CO中毒史，定位锥体外系，右侧肢体抖动两年。
图3～6 男，71岁，帕金森综合征患者。分别为基底节层面及红核、黑质层面DTI 各值测量示意图。

3 讨 论

帕金森病的临床表现具有显著异质性，其不同亚型在疾病进展、治疗效果及预后转归上均存在显著差异。TD型与PIGD型是最具代表性的两种帕金森病亚型。相比TD型患者，PIGD型患者常表现出更严重的轴性运动症状，同时其非运动症状负担也显著加重，认知功能衰退进程明显加速，出现精神行为异常和左旋多巴诱导性异动症的风险显著升高，不仅可导致患者生命质量急剧下降，还可影响其生存周期及社会功能保留程度[10]。因此，早期准确识别帕金森病亚型对于理解疾病机制、预测病程发展及制定个体化治疗方案具有重要意义。MRI技术凭借其无创性、高时空分辨率及多维度成像能力，逐渐成为评估帕金森病脑内病理改变的核心工具[11]。传统的结构性MRI虽能有效捕捉脑萎缩、铁沉积或白质高信号等改变，并鉴别诊断继发性帕金森综合征，但其分辨率仍存在局限性。尤其在帕金森病早期阶段，神经元丢失、轴突变性及突触功能障碍等病理改变往往处于微观尺度，而常规MRI受限于物理分辨能力及对比度机制，难以对灰质内细微的神经元损伤或白质纤维束的微观结构改变进行量化，使得常规MRI在识别早期神经退行性病变以及区分临床症状相似的亚型方面存在明显不足[12-13]。而多模态MRI通过整合多种成像技术，能更全面、精确地揭示帕金森病患者脑内灰质与白质结构的微观损伤特点及其在疾病过程中的动态变化，从而为客观鉴别不同临床亚型提供有力的影像学依据[14]。

结果显示，较对照组，观察组小脑上脚、左侧丘脑齿状核连接分区、双侧黑质FA、AD均更高，左侧脑岛灰质表面积、体积、平均厚度均更低，提示帕金森病患者疾病进展中脑微结构出现明显异常改变，黑质、丘脑-小脑通路是主要受累区域，同时伴随脑岛灰质萎缩的病理改变。分析原因为，FA升高可反映小脑、丘脑等特定神经通路的纤维结构重组或胶质增生反应，导致水分子扩散方向性增强，而AD升高则可能与神经轴突结构改变、修复性胶质增生或铁等金属离子病理性沉积相关，可致使主轴方向水分子扩散受限，进一步导致患者丘脑、小脑通路等运动调控关键脑区出现微观结构适应性或退行性改变，初期可能表现为神经可塑性驱动的适应性重构，随着疾病进展则逐渐显现不可逆的轴突变性与髓鞘崩解，可能是疾病进展中神经网络功能代偿与病理损伤并存的表现[15-17]。结果显示，较TD型组，PIGD型组脑桥横束、右侧小脑皮质、中脑右侧半AD及脑桥横束MD均更高，左侧脑岛灰质表面积、体积、平均厚度均更低，提示PIGD型帕金森病患者脑岛灰质萎缩更严重，与冷一峻等[18]研究中PIGD型帕金森病患者脑岛灰质萎缩更明显相符。分析原因为，帕金森病患者中普遍存在的脑岛灰质结构萎缩，是疾病特异性神经退行性过程在该关键脑区进行性累积的结果，为多巴胺能神经元丢失、α-突触核蛋白异常沉积，使神经细胞死亡和结构破坏所致[19-20]。而在PIGD亚型患者中，退变过程呈现出更强的侵袭性，病理进展速率显著加快，且损害范围远超黑质纹状体多巴胺系统，同时该亚型患者可出现广泛的累及脑干网状结构、迈内特基底核等胆碱能系统以及前额叶-边缘叶皮层的谷氨酸能网络，使得包括脑岛后叶、前叶以及关联皮层区域在内的广泛结构遭受深度神经元缺失与突触密度塌陷，表现为脑沟增宽、脑回变薄的典型萎缩征象。此外，PIGD亚型的病理进程可更早损害认知及姿势控制网络，导致皮层下弥漫退变、多神经递质系统衰竭[21-22]。

综上，帕金森病患者脑微结构存在异常，基于多模态MRI成像可辅助鉴别该疾病及其亚型。

参考文献

[1]Simon DK, Tanner CM, Brundin P. Parkinson disease epidemiology, pathology, Genetics, and pathophysiology[J]. Clin Geriatr Med, 2020, 36(1): 1-12.
[2]Mestre TA, Fereshtehnejad SM, Berg D, et al. Parkinson's disease subtypes: critical appraisal and recommendations[J]. J Parkinsons Dis, 2021, 11(2): 395-404.
[3]Kong D, Li C, Ma L, et al. Identifying genetic targets in clinical subtypes of Parkinson's disease for optimizing pharmacological treatment strategies[J]. Signal Transduct Target Ther, 2024, 9(1): 320.
[4]Cao P, Gao J, Zhang Z. Multi-view based multi-Model learning for MCI diagnosis[J]. Brain Sci, 2020, 10(3): 181.
[5]Bi XA, Wu H, Xie Y, et al. The exploration of Parkinson's disease: a multi-modal data analysis of resting functional magnetic resonance imaging and gene data[J]. Brain Imaging Behav, 2021, 15(4): 1986-1996.
[6]毛攀, 张迎春, 丁常伟. 多模态MRI联合经颅黑质超声在不同亚型帕金森病患者中的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(8): 4-6.
[7]祁维民, 顾淑娥, 贺健航, 等. 多模态磁共振在帕金森病诊断中的研究现状[J]. 中国实用内科杂志, 2024, 44(7): 597-601.
[8]中华医学会神经病学分会帕金森病及运动障碍学组, 中国医师协会神经内科医师分会帕金森病及运动障碍专业. 中国帕金森病的诊断标准(2016版)[J]. 中华神经科杂志, 2016, 49(4): 268-271.
[9]Goetz CG. Movement Disorder Society-Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS): une nouvelle échelle pour l'évaluation de la maladie de Parkinson Movement Disorder Society-Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS): a new scale for the evaluation of Parkinson's disease[J]. Rev Neurol (Paris), 2010, 166(1): 1-4.
[10]Tolosa E, Garrido A, Scholz SW, et al. Challenges in the diagnosis of Parkinson's disease[J]. Lancet Neurol, 2021, 20(5): 385-397.
[11]李洁琼, 宋晨, 杨波, 等. 基于合成MRI技术对帕金森病患者诊断及分型的价值[J]. 实用放射学杂志, 2024, 40(10): 1577-1581.
[12]姚涛, 何静. 帕金森病临床亚型异质性的MRI应用研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(8): 15-18.
[13]刘朝曦, 张一玮, 有慧, 等. MRI在帕金森叠加综合征与帕金森病的鉴别诊断及疾病进展预测中的应用[J]. 国际医学放射学杂志, 2021, 44(6): 657-661.
[14]杨蕾, 王龙胜, 邹立巍, 等. 多模态磁共振成像在帕金森病中的应用价值[J]. 实用放射学杂志, 2020, 36(5): 703-706.
[15]Wang M, Tan C, Shen Q, et al. Surface-based functional alterations in early-onset and late-onset parkinson's disease: a multi-Modal MRI study[J]. Diagnostics (Basel), 2023, 13(18): 2969.
[16]黄俊霖, 范万峰, 祖涵瑜, 等. 多模态磁共振成像在震颤为主型帕金森病中的研究进展[J]. 磁共振成像, 2024, 15(12): 181-186.
[17]祁金鹏, 张岗, 张锐, 等. 多模态磁共振功能成像中MAGIC对比DTI在帕金森病的应用价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22(6): 24-26.
[18]冷一峻, 刘学玲, 刘丰韬, 等. 基于多模态MRI的帕金森病及其亚型脑微结构异常模式研究及鉴别[J]. 中国临床神经科学, 2022, 30(2): 129-136, 152.
[19]王宗英, 于文文, 吴晓丽, 等. 多模态MRI对帕金森病及多系统萎缩鉴别诊断价值研究[J]. 实用放射学杂志, 2023, 39(9): 1396-1400.
[20]胡冰, 谭萱羽, 刘婉晴, 等. 基于链接独立成分分析的神经精神疾病多模态MRI研究进展[J]. 磁共振成像, 2022, 13(3): 129-133.
[21]陈梦亚, 席芊. 多模态MRI在帕金森病的研究进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2020, 43(4): 430-433.
[22]Belvisi D, Fabbrini A, De Bartolo MI, et al. The pathophysiological correlates of Parkinson's disease clinical subtypes[J]. Mov Disord, 2021, 36(2): 370-379.

(收稿日期：2025-07-14)　　(校对：韩敏求　排版：张鸿燊)