

论 著

应用神经黑色素敏感磁共振成像影像组学纹理特征探究其诊断帕金森病的价值*

郝璐¹ 朱宇桐¹ 王熙政¹
朱明慧¹ 卡力布努尔·马合木提¹
管阳太^{2,*}

1.新疆医科大学第二附属医院

医学影像中心(新疆乌鲁木齐 830063)

2.上海交通大学附属仁济医院神经内科

(上海 200001)

【摘要】目的 通过NM-MRI影像组学纹理特征探究分析其诊断PD的价值。**方法** 依照纳入及排除标准选取2023年1月至2024年11月在我院进行治疗的80例帕金森患者作为PD组,同期选择50例正常体检对象作为对照组,通过NM-MRI进行图像采集,图像范围为中脑背盖上缘至中脑下缘,取SNc高信号区最大的层面,通过MaZda提取ROI区域纹理特征参数。结果:对照组的CNR值显著大于PD组($P < 0.05$),而对照组的CNR值显著大于认知正常组和认知障碍组($P < 0.05$)。最终纳入19个影像组学纹理特征分析,PD组和对照组的17个纹理特征均存在显著差异($P < 0.05$),而Teta4对比不存在显著差异($P > 0.05$)。CNR值与PD患者MoCA分值($r = 0.523$)和MMSE分值($r = 0.511$)均存在显著的正相关性($P < 0.05$)。**结论** NM-MRI与PD认知功能存在显著关联,纹理特征参数可以作为区分PD和正常群体的关键影像学评估指标。

【关键词】 NM-MRI; 影像组学; 帕金森病; 诊断价值

【中图分类号】 R44

【文献标识码】 A

【基金项目】 “天山英才”医药卫生高层次人才项目(TSYC202401B159)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.02.048

To Explore the Value of Neuromelanin Sensitive Magnetic Resonance Imaging Texture in Diagnosis of Parkinson's Disease*

HAO Lu¹, ZHU Yu-tong¹, WANG Xi-zheng¹, ZHU Ming-hui¹, Kalibunuer MAHEMUTI¹, GUAN Yang-tai^{2,*}.

1. Medical Imaging Center, the Second Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Wulumuqi 830063, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

2. Department of Neurology, Renji Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200001, China

ABSTRACT

Objective To explore and analyze the value of NM-MRI in the diagnosis of PD through its texture features. **Methods** According to the inclusion and exclusion criteria, 80 patients with Parkinson's disease who received treatment in our hospital from January 2022 to December 2023 were selected as the PD group, and 50 normal physical examination subjects were selected as the control group during the same period. Images were collected by NM-MRI, and the image range was from the superior edge of the dorsal cortex of the midbrain to the lower edge of the midbrain, and the largest layer of SNc high signal area was selected. The texture feature parameters of ROI domain were extracted by MaZda. **Results** The CNR value of control group was significantly higher than that of PD group ($P < 0.05$), while the CNR value of control group was significantly higher than that of normal cognitive group and cognitive impairment group ($P < 0.05$). Finally, the analysis of texture features of 19 images was included. There were significant differences in 17 texture features between PD group and control group ($P < 0.05$), but there was no significant difference in Teta4 contrast ($P > 0.05$). There was a significant positive correlation between CNR value and MoCA score ($r = 0.523$) and MMSE score ($r = 0.511$) in PD patients ($P < 0.05$). **Conclusion** There is a significant correlation between NM-MRI and cognitive function of PD, and texture parameters can be used as the key imaging evaluation index to distinguish PD from normal population.

Keywords: NM-MRI; Imaging Omics; Parkinson's Disease; Diagnostic Value

帕金森病(PD)是临床较为多见的神经退行性疾病,多发群体分布在中老年群体,目前我国帕金森病的患者人数已经突破了270万。根据估计,到2030年,全球帕金森病的患者人数可能接近800万,而中国地区的分布超过了总人数的50%^[1]。对于帕金森患者而言,早期诊断并及时干预治疗能够更好的改善患者情况。但目前帕金森病的确诊很大程度上依赖于患者的具体临床症状,敏感性较差,因此临床需要寻找敏感性更强的方式。依据已有的文献资料显示,帕金森病患者体内的神经黑色素出现明显的减少^[2],近年来,随着MRI技术的不断进步,有学者提出了神经黑色素敏感磁共振成像(NM-MRI)作为一种创新的影像诊断手段,具有很大的潜力用于识别帕金森病患者^[3]。这为帕金森患者新的诊断方式提供了新思路。但就目前为止,NM-MRI在帕金森病诊断中的应用研究较少,因此本研究基于NM-MRI图像,利用影像组学纹理分析技术,探讨其在帕金森病(PD)诊断中的应用价值,为早期诊断提供新的思路和方法。

1 资料与方法

1.1 一般资料 在2023年1月到2024年11月期间依照纳入及排除标准选取在我院进行就诊的80例帕金森患者作为PD组,同期选择50例正常体检对象作为对照组,PD组男55例(68.75%),女25例(31.25%),年龄在47岁至67岁,平均(62.26±9.17)岁;对照组中男29例(58.00%),女21例(42.00%),年龄在43岁至71岁,平均(64.26±10.32)岁;PD组和对照组病人的年龄、性别都不存在统计上差异($P > 0.05$),具体见表1。本次研究项目已经得到了伦理委员会的正式审批,并且所有参与这次实验的病人都已经了解并接受实验的具体内容。

纳入标准: (1)临床症状及影像学检查符合PD诊断标准的患者^[4]; (2)符合NM-MRI检查指征的病人; (3)临床资料完整的病人; (4)愿意且能够对本次研究进行配合的病人; (5)在我院进行影像学检查且图像清晰完整的病人。排除标准: (1)临床资料不完整的病人; (2)不愿意或不能够配合本次研究的病人; (3)检查前进行脑部放疗或手术的病人; (4)存在NM-MRI检查禁忌症的病人; (5)继发性帕金森综合征的病人; (6)既往存在脑萎缩病变的病人。

1.2 方法 采用 Philips Ingenia CX 3.0T成像系统,32通道高分辨头颅线圈,NM-MRI扫描参数:TR 81 ms,TE 2.3 ms,矩阵300×190,FOV 150 mm×150 mm,层厚 1.0 mm,无层间距,扫描时间4 min。采集图像范围为中脑背盖上缘至中脑下缘,取SNc高信号区最大的层面,通过MaZda提取ROI域纹理特征参数。通过Fisher、POE+ACC和MI对特征参数进行有效降维。降维后,提取的参数特征将导入MaZda软件进行一系列原

【第一作者】 郝璐,女,副主任医师,主要研究方向:中枢系统影像诊断工作。E-mail: 362314557@qq.com

【通讯作者】 管阳太,男,主任医师,主要研究方向:神经病学。E-mail: yangtaiguan@sina.com

始数据分析,包括PCA、LDA和NDA^[18]。手动勾画黑质(SN)高信号区域及中脑边缘的方法,并对左、右侧SN的信号值进行测量,最终通过公式计算得到对比噪声比(CNR)。通过蒙特利尔认知评估量表(MoCA)和简易精神状态检查量表(MMSE)对患者的认知情况进行评价。MoCA ≥ 26 分且MMSE ≥ 27 分的为认知正常PD患者,MoCA < 26 分或MMSE评分 < 27 分的为认知障碍PD患者。

1.3 统计学方法 对收集到的全部数值录入SPSS 25.0软件中做出统计分析,计数资料的记录方式为例数和百分比,通过 χ^2 检验等方法进行分析,计量资料的记录方式为均数和标准差,通过t检验的方法进行分析,以 $P < 0.05$ 认为在统计学水平上存在差异。

2 结果

2.1 PD组和对照组临床资料及CNR值对比 表1可以看出,PD组和对照组病人的性别、教育水平年龄都没有统计差异($P > 0.05$),而CNR值存在显著差异($P < 0.05$),对照组的CNR值显著大于PD组。

2.2 不同认知功能患者临床资料及CNR值对比 表2可以看出,认知正常组、认知障碍组和对照组病人的性别、教育水平年龄都没有统计差异($P > 0.05$),而CNR值存在显著差异($P < 0.05$),对照组的CNR值显著大于认知正常组和认知障碍组。

2.3 不同组患者影像组学纹理特征分析 通过MaZda提取ROI域

纹理特征参数,共提取243个纹理特征,通过不同方式降维后最终纳入19个影像组学纹理特征分析,其中PD组和对照组的17个纹理特征均存在显著差异($P < 0.05$),而Teta4对比不存在显著差异($P > 0.05$)。

2.4 CNR值与PD患者认知功能障碍的相关性 分析可得CNR值与PD患者MoCA分值($r=0.523$)和MMSE分值($r=0.511$)均存在显著的正相关性($P < 0.05$)。

表1 PD组和对照组临床资料及CNR值对比

		对照组(n=50)	PD组(n=80)	t/ χ^2 值	P值
性别	男	29(58.00%)	55(68.75%)	1.555	0.212
	女	21(42.00%)	25(31.25%)		
年龄		64.26 \pm 10.32	62.26 \pm 9.17	1.152	0.251
教育水平	初中及以上	20(40.00%)	42(52.50%)	0.043	0.837
	中专或高中	16(32.00%)	27(33.75%)		
	大专或大学及以上	14(28.00%)	11(13.75%)		
CNR值		10.25 \pm 0.71	8.72 \pm 0.82	10.884	0.000

表2 不同认知功能患者临床资料及CNR值对比

		对照组(n=50)	认知正常组(n=30)	认知障碍组(n=50)	t/ χ^2 值	P值
性别	男	29(58.00%)	20(66.67%)	35(70.00%)	1.563	0.211
	女	21(42.00%)	10(33.33%)	15(30.00%)		
年龄		64.26 \pm 10.32	61.17 \pm 9.22	62.35 \pm 9.38	0.968	0.335
教育水平	初中及以上	20(40.00%)	12(40.00%)	30(60.00%)	3.240	0.072
	中专或高中	16(32.00%)	10(33.33%)	17(34.00%)		
	大专或大学及以上	14(28.00%)	8(26.67%)	3(6.00%)		
CNR值		10.25 \pm 0.71	9.91 \pm 0.67	7.53 \pm 0.44	23.026	0.000

表3 不同组患者影像组学纹理特征分析

参数	对照组(n=50)	PD组(n=80)	t值	P值
S(1,0)SumEntrp	1.87 \pm 0.02	1.83 \pm 0.01	15.138	0.000
S(0,1)Contrast	52.83 \pm 9.22	63.57 \pm 10.27	6.029	0.000
S(0,1)DifVarnC	18.72 \pm 4.11	24.73 \pm 4.33	7.849	0.000
S(0,2)SumAverg	66.72 \pm 0.43	65.69 \pm 0.68	9.573	0.000
S(3,3)Contrast	158.78 \pm 13.18	175.28 \pm 21.93	4.802	0.000
S(4,4)Entropy	2.73 \pm 0.04	2.63 \pm 0.12	5.691	0.000
S(5,0)SumOfSqs	101.25 \pm 4.11	106.72 \pm 5.37	6.160	0.000
S(5,0)Entropy	2.78 \pm 0.03	2.66 \pm 0.04	18.238	0.000
S(0,5)AngScMom	0.001 \pm 0.000	0.002 \pm 0.000	7.026	0.000
S(0,5)Entropy	2.73 \pm 0.03	2.66 \pm 0.06	7.665	0.000
S(5,5)SumAverg	63.22 \pm 1.11	65.49 \pm 1.22	10.679	0.000
S(5,5)Entropy	2.71 \pm 0.05	5.53 \pm 0.22	89.090	0.000
S(5,-5)Entropy	2.73 \pm 0.04	2.66 \pm 0.04	9.707	0.000
HorzL_RLNonUni	706.22 \pm 100.29	531.48 \pm 105.22	9.378	0.000
VertL_RLNonUni	703.29 \pm 110.26	526.26 \pm 103.71	9.241	0.000
45dgr_RLNonUni	746.25 \pm 104.26	511.36 \pm 113.25	11.856	0.000
135dr_RLNonUni	726.25 \pm 103.25	533.25 \pm 114.26	9.717	0.000
Teta4	0.08 \pm 0.04	0.07 \pm 0.04	1.387	0.168
Sigma	0.52 \pm 0.03	0.58 \pm 0.05	7.661	0.000

表4 CNR 值与 PD 患者认知功能障碍的相关性

	CNR值	
	r值	P值
MoCA分值	0.523	<0.001
MMSE分值	0.511	<0.001

3 讨论

PD被视为与运动有关的最常见的神经退行性疾病，很多PD患者在确诊时已经进入了疾病的中晚阶段，错过了最佳的治疗时间^[5]。因此寻找一种既快速又精确的方法来进行PD的早期诊断显得尤为重要。但是，常规MRI技术仅提供有限的脑结构信息，无法反映脑功能、代谢等方面的改变，导致难以对PD进行准确的诊断及鉴别诊断。近年来，影像组学作为一种新兴的定量成像技术，已经在多个疾病诊断领域应用，包括在PD诊断中^[6]。根据已有的文献资料，帕金森病的患者可能会经历部分含有神经黑色素的神经元的丧失，这可能进一步导致运动功能受到影响^[7]。Sasaki等人通过神经黑色素成像技术，指出了黑质中神经元呈对称的带状高信号^[8]。

3.1 不同患者临床资料及CNR值对比 本次研究中指出对照组的CNR值显著大于PD组($P<0.05$)，而对照组的CNR值显著大于认知正常组和认知障碍组($P<0.05$)。提示帕金森病(PD)的进展伴随着黑质(SN)神经元中NM的显著丢失^[9]，尤其是多巴胺能神经元和去甲肾上腺素能神经元的代谢受到严重影响，作为其代谢产物的NM含量也明显降低，这一过程导致NM含量在疾病后期可达到75%的丢失^[10]。帕金森病(PD)的发病特征主要表现为黑质致密部(SNc)多巴胺能神经元的变性和丢失，以及突触核蛋白在路易小体(Lewy体)内的积累^[11]，这些变化导致运动功能障碍和其他神经症状的出现。研究表明，利用黑质的NM-MRI成像方法可以有效地定位PD患者中的神经退行性疾患^[12-13]。黑质是中脑的重要神经核团，位于中脑背盖部与大脑脚之间，主要分为致密部、网状部和侧部^[14]，对运动控制和奖励机制有重要影响。

3.2 不同组患者影像组学纹理特征分析 本次结果提示HC组的神经黑色素在空间分布上优于PD组，可能与其神经功能状态及病理变化相关，为进一步研究提供了重要线索。HC组的熵值大于PD组，表明HC组在SNc区域的灰度分布更加复杂。这一结果提示了两组在神经活动及其组织结构上的显著差异。基于NM-MRI成像原理，HC组的神经黑色素可能整合了更多的铁等金属，导致其图像灰度表现出更大的不均匀性和复杂性。这一现象为研究提供了新的视角。研究表明，帕金森病患者组的SNc高信号区在面积、体积、长度、宽度及信号强度方面，均显著低于正常对照组^[15-17]。表明NM-MRI技术能够有效地检测帕金森病患者中含有神经黑色素的神经元数量的减少，与本次研究结果具有一致性。

3.3 CNR 值与 PD 患者认知功能的相关性分析 本次研究结果指出CNR值与PD患者MoCA分值($r=0.523$)和MMSE分值($r=0.511$)均存在显著的正相关性($P<0.05$)。可能是PD的进展过程中，SNc区域的多巴胺能神经元逐渐丧失或受损，导致NM含量显著减少。这种变化引发了铁代谢异常，进一步导致神经炎症的发生。神经炎症加剧了神经元的凋亡，形成了一个恶性循环，使得病情不断恶化^[18]。因此，强调对帕金森病的早期诊断和及时的临床干预显得尤为重要。本次研究与过往文献里的结果大致相符，但

仍有一些微小的差异。出现差异的背后，可能涉及到以下几个原因，第一，不同研究中所选择的地域不同，所纳入的患者可能受到不同地域的影响，神经黑色素损失的程度也存在差异。第二，由于所选择的图像测量方法不同，所相应的SNc面积的测量结果也会有所区别；第三，研究纳入的样本量存在差异。

4 结论

NM-MRI与PD认知功能存在显著关联，纹理特征参数可以作为区分PD和正常群体的关键影像学评估指标，纹理特征参数可以作为区分PD和正常群体的关键影像学评估标准。这项研究还存在一定的局限性，本次研究是一项基于单中心的回顾性研究，可能对结果造成一定的偏倚性，为了更深入地了解结果的广泛应用性和其在临床上的价值，未来的研究趋势应转向采用多中心的策略。且考虑到本次研究涉及的样本数量相对较少，在未来的研究工作中进一步扩大样本规模以进行更为深入的分析和探讨。

参考文献

- [1] 王晓然, 张福兰, 马景旭. 神经黑色素敏感磁共振成像在帕金森病中的应用进展[J]. 磁共振成像, 2024, 15(2): 183-187.
- [2] 阿丽耶·阿卜力孜, 安鹏, 王普清, 等. 帕金森病伴睡眠障碍患者脑结构及功能异常的神经影像学[J]. 分子影像学杂志, 2024, 47(11): 1271-1276.
- [3] 刘学玲, 鲁佳莹, 李郁欣, 等. 帕金森病患者黑质在磁共振成像中表现的研究进展[J]. 中国临床神经科学, 2019, 27: 98-104.
- [4] 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学组. 中国帕金森病治疗指南(第四版)[J]. 中华神经科杂志, 2020, 53(12): 973-986.
- [5] 智文虹, 姚惠敏, 李再利, 等. 基于MRI评价帕金森患者脑灰质体积变化及其认知功能的关系[J]. 中国CT和MRI杂志, 2025, 23(4): 43-45.
- [6] De Pablo-Fernandez E, Lees AJ, Holton JL, et al. Prognosis and neuropathologic correlation of clinical subtypes of Parkinson disease[J]. JAMA Neurol, 2019, 76(4): 470-479.
- [7] Shinde S, Prasad S, Saboo Y, et al. Predictive markers for Parkinson's disease using deep neural nets on neuromelanin sensitive MRI[J]. Neuroimage Clin, 2019, 22: 101748.
- [8] 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.
- [9] Wang XH, Huang P, Haacke EM, et al. Locus coeruleus and substantia nigra neuromelanin magnetic resonance imaging differentiates Parkinson's disease and essential tremor[J]. Neuroimage Clin, 2023, 38: 103420.
- [10] 邱轶慧, 张玉虎, 王丽娟. 重视帕金森病的诊断与治疗[J]. 中国实用内科杂志, 2023, 43(10): 793-6.
- [11] Schaeffer Eva, Kluge Annika, Böttner, et al. Alpha synuclein connects the gut-brain axis in Parkinson's disease patients—a view on clinical aspects, cellular pathology and analytical methodology[J]. Frontiers in Cell and Developmental Biology, 2020, 8: 573696.
- [12] Marino BLB, de Souza LR, Sousa KPA, et al. Parkinson's disease: a review from pathophysiology to treatment[J]. Mini Rev Med Chem, 2020, 20(9): 754-767.
- [13] 杨俊强, 杨晓帆, 仲崇琦, 等. 神经黑色素敏感磁共振成像对诊断帕金森病的应用价值[J]. 临床放射学杂志, 2021, 40(5): 855-859.
- [14] 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.
- [15] 付芳琴, 邹语嫣, 康嗣如, 等. 黑质亚区定量磁化率成像在帕金森病诊断中的价值[J]. 放射学实践, 2024, 39(12): 1565-1571.
- [16] 陈岩岩, 王艳娟, 文曼, 等. 基于磁共振成像的影像组学在帕金森病抑郁诊断中的应用研究[J]. 安徽医药, 2024, 8(12): 2407-2411.
- [17] Fabbri M, Reimao S, Carvalho M, et al. Substantia nigra neuromelanin as an imaging biomarker of disease progression in Parkinson's disease[J]. Journal of Parkinson's Disease, 2017, 7: 491-501.
- [18] Flores-Ponce X, Velasco I. Dopaminergic neuron metabolism: relevance for understanding Parkinson's disease[J]. Metabolomics, 2024, 20(6): 116.