

·名家论坛·

数字表型与人工智能技术在帕金森病评估及智慧康复中的应用

陈曦*

中山大学附属第一医院,广东广州 510030

*通信作者:陈曦, E-mail: chenxi8@mail.sysu.edu.cn

收稿日期:2025-11-20;接受日期:2025-12-15

基金项目:国家自然科学基金面上项目(82372556)

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2026.01002



陈曦,中山大学临床医学博士,博士研究生导师,主任医师,中山大学附属第一医院康复医学科副主任,美国RUSH大学医学中心访问学者。中国康复医学会帕金森病与运动障碍康复委员会常委,中国康复医学会言语康复专业委员会常委,中国康复医学会科技管理与评估委员会常委,广东省医学会物理医学与康复分会神经变性疾病康复学组组长,广东省康复医学会帕金森病康复专业委员会副主任委员,广东省健康管理协会帕金森与运动障碍疾病MDT管理委员会副主任委员。获“羊城好医生”“广东实力中青年医生”、中国康复医学会“科普先进个人”等荣誉称号。全面开展神经康复工作,主攻帕金森病及运动障碍性疾病康复治疗。主持国家自然科学基金3项、省部级课题多项,参与国家重点研发计划1项,以第一作者/通信作者发表学术论文70余篇,其中SCI论文30余篇。参与制定《帕金森运动处方专家共识》,参编《帕金森病康复指南》,以副主编身份出版《帕金森病家居康复指导》《帕金森病家庭康复》等专著。

摘要 帕金森病(PD)作为最常见的神经系统退行性疾病之一,主要病理特征为中脑黑质多巴胺能神经元进行性变性死亡。该病临床表现复杂多样,目前仍面临早期诊断困难与缺乏有效治愈手段的双重挑战。我国PD患病人数逐年增多,患者群体庞大。该病不仅严重影响患者生活质量,也极大地增加了社会医疗负担。随着科学技术的发展,数字表型与人工智能(AI)技术越来越多地应用于疾病诊断与治疗,为PD的管理带来了新契机。本文系统探讨了数字表型与AI技术在PD评估及智慧康复中应用的最新进展,包括语音分析、面部表情量化、体动信号监测以及AI与治疗相结合等方向,包含语音特征识别、表情评估、可穿戴设备及个性化康复策略的制定等多方面应用。文章同时指出当前在技术实施、临床应用及伦理规范等方面存在的问题和挑战,旨在为未来技术的开发和PD长病程的管理提供参考。

关键词 帕金森病;数字表型;人工智能技术;智能康复

帕金森病(Parkinson's disease, PD)作为世界上最常见的三大神经系统退行性疾病之一,病理特征为 α -突触核蛋白异常聚集于中脑黑质,最终导致多

巴胺能神经元变性死亡。目前,全球超过600万人受到PD的影响^[1-2]。最新的流行病学调查显示,在过去的20~30年中,发达国家PD患病率没有发生

引用格式:陈曦.数字表型与人工智能技术在帕金森病评估及智慧康复中的应用[J].康复学报,2026,36(1):2-7.

CHEN X. Digital phenotyping and artificial intelligence technologies in the assessment and smart rehabilitation of Parkinson's disease [J]. Rehabil Med, 2026, 36(1):2-7.

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2026.01002

©《康复学报》编辑部,开放获取CC BY-NC-ND 4.0协议

© Rehabilitation Medicine, OA under the CC BY-NC-ND 4.0

明显变化,而我国PD标化发病率增加了1倍多,这可能与人口老龄化、人均寿命延长、医疗设施改善及工业增长有关^[3-4]。预计到2030年,我国PD患病总人数将升至500万,约占全球PD患者总数1/2^[5]。

PD症状多种多样,可分为运动症状和非运动症状两大类。其中,运动症状是PD患者的主要症状,也是致残的主要原因,包括运动迟缓、震颤、僵硬、平衡障碍及步态姿势异常等。非运动症状包括面具脸、言语认知障碍、自主神经功能障碍、睡眠障碍和情绪异常等,同样严重降低患者生活质量。目前PD在早期诊断上仍存在一定困难,同时尚无有效治愈方案,药物和康复治疗常伴随患者终生^[1,6]。

随着科技的发展,PD的诊断和治疗已经不仅仅依赖人工评估、单纯药物治疗和运动训练^[7]。为了提高早期诊断的准确率,并实现疾病进展的客观、连续监测,数字表型和人工智能(artificial intelligence, AI)技术正成为当前的研究焦点^[8-9]。本文旨在介绍相关技术在PD常见领域的应用进展,涵盖语音特征识别、面部运动评估、体动信号采集、AI辅助治疗等方面,并分析当前面临的挑战与未来发展方向,以期对PD长程管理及相关技术开发提供参考。

1 语音分析和障碍识别与疾病预测和诊断

数字表型与AI主要在语音特征提取、获取生物标记物、疾病分类与诊断模型构建及病情监测评估等方面发挥作用^[10]。LIU等^[11]通过招募PD患者和健康者进行声学分析后发现,PD患者在持续发出元音并接受意外短暂的基频扰动听觉反馈干扰时,会表现出更大的反应幅度。HUANG等^[12]利用事件相关电位技术和基频扰动听觉反馈技术进行研究,和健康人相比,PD患者对音高反馈误差可产生更大的声学补偿。PD患者主动发声时,诱发的P200成分波幅显著大于健康人。郑家兴等^[13]通过智能手机小程序收集PD患者和健康者语音资料,利用软件识别出/ba/、/bi/、/bo/、/bu/音,并提取基频、共振峰类、振幅微扰和基频微扰等语音声学指标,发现PD患者和健康者在基频最小值、振幅微扰和基频微扰等指标上存在差异,提示通过收集小程序采集的语音定量分析可以发现PD患者的语音变化。

数字表型与AI同样助力于PD诊断。构建结合卷积神经网络、循环神经网络、多内核学习和多层

感知器的混合模型进行分析后发现,该模型在预测帕金森病时的准确率为91.11%,精度为89.84%,召回率为92.50%,F1分数为91.13%,曲线下面积(area under curve, AUC)为0.91,表明该模型具有较高的阳性预测率及阳性病例识别能力,在区分PD患者和健康者方面存在较强的判断能力^[14]。ZHAO等^[15]通过创建一种信号处理-卷积神经网络的深度学习模型,利用从嗓音基频调节任务中获取的事件相关脑电图数据进行PD诊断发现,该模型实现了90.2%的平均分类准确率,同时从大规模网络识别独特的脑电标记物。此外,大量研究也都提示基于特征的机器学习和深度学习对PD患者的语音分类及构音障碍的检测均具有较高的准确度,且基于AI的方法收集PD患者语音,诊断的准确率也高达95%以上^[16-18]。基于AI的方法为PD的早期检测提供了一种快速且经济高效的工具,同时让大规模筛查和远程诊断PD成为可能。通过捕捉不同疾病的语音特点,可以辅助PD与继发性帕金森病及其他神经退行性疾病的鉴别,并通过声音生物标记促进个性化治疗。

2 面部表情量化与表情评估

面具脸是PD一种细微但关键的非运动症状。尽管其本身不引发躯体不适,但是会显著损害患者的情感表达与社会互动,降低生活质量。随着计算机辅助识别各类疾病技术的发展,图像处理和人脸识别技术也被应用于疾病的诊断,如利用计算机视觉技术辅助诊断迪格奥尔格综合征(DiGeorge syndrome, DGS)^[19]。

目前针对PD患者表情评估的研究,多利用电生理信号和计算机视觉技术量化面部特征对PD患者和健康者进行区分。RICHARDSON等^[20]对数字化视频进行逐帧评估,通过量化动态面部运动的运动变化量和时间参数后发现,和健康者相比,PD患者面部运动减少,且达到峰值表达时明显减慢。WU等^[21]利用肌电信号和心电信号提出一种基于面部表情的评估方法,通过识别11个面部动作单元并将表情转变为频率、时间和强度等参数,可用于区分PD患者和健康者,同时研究还发现患者表情表达能力与病情严重程度有关。

此类技术的开展对PD疾病的诊断也具有重要意义。GRAMMATIKOPOULOU等^[22]通过智能手机自拍图像,并通过人脸关键点组成特征集,建立了

2个线性回归模型评估表情缺失严重度指数,分别为面具脸严重指数(hypomimia severity index, HSi) 1和2。结果发现,HSi1区分PD患者和健康者的灵敏度和特异性分别为0.79和0.82, HSi2的为0.89和0.73。利用卷积神经网络等深度学习技术提取面部表情视频的图像特征,并通过建模等手段进行分析,可成功识别PD患者面部微表情变化,诊断准确率超过89%,接近临床专家诊断水平^[23-24]。周晨^[19]研究发现,基于面部视频分析的AI模型在鉴别PD患者时,AUC 0.983 4,准确率为98%;在评估表情缺失症状方面,AUC达0.960 2,准确率为96.26%。以上研究均展现了数字表型与AI在PD诊断与鉴别,以及评估病情方面的准确性和可靠性,表明其具有临床应用潜力。

3 体动信号监测与症状管理

可穿戴设备作为一种新型个体化医疗的有力手段,近年来受到广泛关注。该类设备通过将生物传感器、信号采集处理与通信等设备附着于人体,可以测量多种生理指标和信号,并通过软件支持、云端交互等实现功能,具有准确、客观、便携等优势,节省时间与空间成本。可穿戴设备多通过电脑或智能手机终端软件接收患者所配戴的传感器信号,监测并评估患者活动量、震颤幅度、运动迟缓、运动障碍、步态姿势及移动能力等,为PD患者长期运动及药物治疗监测提供有效手段,有利于病情的跟踪和随访。目前已开发多种代表性的工具与系统,如Kinesia系列、移动实验室系统、睿评、运动功能障碍辅助评估系统、Physilog[®]、McRoberts Dyna-Port、Step Watch 3[™]等^[25]。

此类设备不仅可用于PD患者运动症状的评估与监测,也可用于患者运动症状的改善,协助对患者进行远程管理^[24-25]。LÓPEZ等^[26]开发的可穿戴式神经监测平台集合了搭载微芯片的智能传感鞋和记录深部脑刺激电极局部场电位的无线采集系统,可用于真实生活环境,能在评估步态质量以及量化药物作用、疲劳及特定情景需求对步态的影响等方面发挥作用,并揭示其背后的神经相关机制,优化神经调控方案。目前,也有许多更为便携的设备,如智能手表,可通过陀螺仪获取原始数据,对PD患者震颤幅度进行记录,同时可以量化手臂摆动减少的严重程度,监测睡眠情况,评估PD患者运动与非运动症状之间的关系。研究也表明,智能手表获

取的数值与临床评估获取的数据具有较高的一致性,有利于在社区及家庭等活动场景使用^[27-29]。医生可通过这些可穿戴设备获取患者精准的运动学信息,评估症状波动性及稳定性,协助制定个性化治疗方案,使远程监测和评估成为可能^[30-31]。

除了协助患者病情监测及症状评估外,部分可穿戴设备对PD患者症状改善和治疗起到重要作用。研究表明,智能眼镜辅以视觉提示和听觉提示可用于医疗导航,并帮助患者保持身体平衡及更稳定的步态^[32]。可穿戴式激光投影可为PD患者提供视觉线索,帮助患者完成起步并维持步态,同时部分设备可在监测到患者步态紊乱后投射激光,完成视觉提示,并在患者步态稳定后关闭激光^[25]。抗震颤手套通过检测手部静止性震颤并将信号传输至智能手机中,输出信号传送至手套中的肌肉电刺激设备,可有效抑制PD患者手的静止性震颤。而智能手表则可通过注意力转移的方式控制手部震颤^[25]。可穿戴腓总神经电刺激技术则可通过低频脉冲电流刺激相关侧腓总神经,控制肌肉收缩,有助于改善冻结步态^[33]。

4 AI结合治疗相与个性化精准治疗

虚拟现实(virtual reality, VR)技术作为一种可以创建和体验虚拟世界的计算机仿真系统,不仅仅被用于增强游戏体验,近年来还被广泛用于神经系统疾病康复。近几年来关于VR应用于PD康复的研究也呈逐年增多趋势,并体现出较为理想的结果^[34-36]。VR干预不仅可以显著改善PD患者的动态平衡和活动能力,还可以改善PD患者的认知功能和抑郁^[37-39]。VR与AI相融合,不仅可以为患者提供沉浸式的虚拟环境,还可以根据患者病情定制个性化的训练场景,并根据患者功能改善情况切换训练难度,让PD患者康复不再仅仅是枯燥的运动训练,从而提高患者参与感。

除了与康复治疗相结合,AI在优化PD药物治疗方案及神经调控方面也起到重要作用。利用AI整合患者药物代谢基因检测结果、既往治疗情况及实时身体状况,对多巴胺用量及给药时间进行动态优化,可显著改善患者剂末现象和运动症状,实现精准用药^[40]。AI在脑深部电刺激(deep brain stimulation, DBS)中的应用,包括术前评估、术中定位、术后期控等方面,展示出良好的临床效果。AI驱动的闭环自适应DBS系统可以动态调整刺激参数,在改

善症状的同时,减少刺激引起的副作用,节省就诊时间,实现DBS治疗的高度个体化^[41]。

5 技术、临床与伦理的现存挑战

虽然数字表型与AI在PD中取得了许多令人鼓舞的进展,但是作为新兴技术,其临床转化及技术应用方面仍存在诸多问题和挑战。首先,数据安全性与隐私保护是核心挑战^[42]。AI算法的训练与优化需要依赖大样本量的患者数据,如何保证患者数据的安全性及合规使用成为了首要问题。因此,在开发和运用AI的同时,应建立严格的数据共享及保护机制,避免因数据泄露造成对患者隐私的侵犯。其次,技术与医疗的融合存在壁垒。技术的研发依赖专业的跨学科团队,多数医疗机构缺乏相应的技术资源和人才资源,难以建立高效的多学科协作团队。此外,临床推广可行性不足。AI模型开发和使用的成本高昂,同时医疗机构普遍缺乏复合型人才来操作和解读这些系统,导致其难以整合到常规诊疗流程中,限制了此类技术在临床上的推广和使用。最后,算法模型的可靠性有待提升。当前研发的算法模型复杂多样,核心决策内容未完全公开,可解释性缺失,导致对其广泛应用心存疑虑。

6 总结与展望

数字表型与AI技术在PD管理中崭露头角,必将有更多、更好的发展。除前述内容外,该类技术还在多个方面展现出重要价值,如基于深度学习模型可识别患者脑部结构MRI的细微变化,辅助实现PD的早期筛查与诊断;通过AI算法分析患者睡眠数据,可为个性化治疗方案的制定提供依据。这些应用共同表明,数字表型与AI技术在PD的早期识别、鉴别诊断、功能评估、治疗指导以及远程随访与监测等方面均具有重要作用。数字表型与AI正推动PD的评估与康复模式向数据驱动、客观量化、个性化的智慧医疗方向深刻变革。尽管目前的研究成果令人鼓舞,但是仍存在技术成本高、数据隐私难以保证、算法泛化等挑战。未来需要开展更大规模的临床研究,探讨如何推广使用并降低使用成本,构建一个覆盖PD全病程的评估-诊断-治疗-监测闭环管理系统,实现PD的智慧化管理。

参考文献

[1] TOLOSA E, GARRIDO A, SCHOLZ S W, et al. Challenges in the diagnosis of Parkinson's disease [J]. *Lancet Neurol*, 2021, 20(5):

385-397.

- [2] BEN-SHLOMO Y, DARWEESH S, LLIBRE-GUERRA J, et al. The epidemiology of Parkinson's disease [J]. *Lancet*, 2024, 403(10423):283-292.
- [3] 姜宗飞,杨文平,司锋,等. 中国帕金森病发病负担分析及预测[J]. *中华神经医学杂志*, 2024, 23(12):1205-1210.
JIANG Z F, YANG W P, SI F, et al. Analysis and prediction of incidence burden of Parkinson's disease in China [J]. *Chin J Neuromed*, 2024, 23(12):1205-1210.
- [4] DORSEY E R, ELBAZ A, NICHOLS E, et al. Global, regional, and national burden of Parkinson's disease, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016 [J]. *Lancet Neurol*, 2018, 17(11):939-953.
- [5] DORSEY E R, CONSTANTINESCU R, THOMPSON J P, et al. Projected number of people with Parkinson disease in the most populous nations, 2005 through 2030 [J]. *Neurology*, 2007, 68(5):384-386.
- [6] 毛薇. 帕金森病诊断及治疗进展[J]. *神经疾病与精神卫生*, 2023, 23(8):533-537.
MAO W. Advances in the diagnosis and treatment of Parkinson disease [J]. *J Neurosci Ment Health*, 2023, 23(8):533-537.
- [7] 李淑华,陈海波. 我国近十年帕金森病研究进展回顾与展望[J]. *中国神经免疫学和神经病学杂志*, 2023, 30(1):3-9.
LI S H, CHEN H B. Research advances and prospects of Parkinson's disease in China in the last decade [J]. *Chin J Neuroimmunol Neurol*, 2023, 30(1):3-9.
- [8] 时承,姚旭峰. 机器学习用于帕金森病诊断的研究进展[J]. *中国医学物理学杂志*, 2024, 41(5):640-645.
SHI C, YAO X F. Advances in machine learning for the diagnosis of Parkinson's disease [J]. *Chin J Med Phys*, 2024, 41(5):640-645.
- [9] 冯涛. 应用生物学标志物提高帕金森病诊断水平[J]. *中华老年心脑血管病杂志*, 2023, 25(2):113-116.
FENG T. Application of biomarkers to improve the diagnosis of Parkinson's disease [J]. *Chin J Geriatr Heart Brain Vessel Dis*, 2023, 25(2):113-116.
- [10] BOSE D, MUKHERJEE A, ACHARYA M, et al. Artificial intelligence for detection of Parkinson's disease from speech signals: a comprehensive review [J]. *BioFactors*, 2025, 51(6):e70065.
- [11] LIU H J, WANG E Q, METMAN L V, et al. Vocal responses to perturbations in voice auditory feedback in individuals with Parkinson's disease [J]. *PLoS One*, 2012, 7(3):e33629.
- [12] HUANG X Y, CHEN X, YAN N, et al. The impact of Parkinson's disease on the cortical mechanisms that support auditory-motor integration for voice control [J]. *Hum Brain Mapp*, 2016, 37(12):4248-4261.
- [13] 郑家兴,韩梦澜,王刚,等. 智能手机采录帕金森病患者语音的声学特征分析[J]. *听力学及言语疾病杂志*, 2025, 33(6):560-563.
ZHENG J X, HAN M L, WANG G, et al. Analysis of acoustic characteristics of speech in Parkinson's disease patient recorded

- via smartphones [J]. *J Audiol Speech Pathol*, 2025, 33(6): 560–563.
- [14] SHEN M, MORTEZAAGHA P, RAHGOZAR A. Explainable artificial intelligence to diagnose early Parkinson's disease via voice analysis [J]. *Sci Rep*, 2025, 15: 11687.
- [15] ZHAO S Z, DAI G Y, LI J T, et al. An interpretable model based on graph learning for diagnosis of Parkinson's disease with voice-related EEG [J]. *NPJ Digit Med*, 2024, 7: 3.
- [16] 韦朝霞, 李丽华, 罗庆禄, 等. 人工智能在帕金森病构音障碍研究中的应用进展[J]. *中华神经科杂志*, 2024, 57(11): 1259–1263.
- WEI Z X, LI L H, LUO Q L, et al. Application progress of artificial intelligence in dysarthria of Parkinson's disease [J]. *Chin J Neurol*, 2024, 57(11): 1259–1263.
- [17] ESCOBAR-GRISALES D, RÍOS-URREGO C D, OROZCO-ARROYAVE J R. Deep learning and artificial intelligence applied to model speech and language in Parkinson's disease [J]. *Diagnostics*, 2023, 13(13): 2163.
- [18] PAH N D, MOTIN M A, KUMAR D K. Phonemes based detection of Parkinson's disease for telehealth applications [J]. *Sci Rep*, 2022, 12: 9687.
- [19] 周晨. 基于面部动作单元的帕金森病表情障碍评估研究[D]. 武汉: 江汉大学, 2021: 3.
- ZHOU C. Research on hypomimia evaluation of Parkinson's disease based on facial action unit [D]. Wuhan: Jiangnan University, 2021: 3.
- [20] RICHARDSON C K, BOWERS D, BAUER R M, et al. Digitizing the moving face during dynamic displays of emotion [J]. *Neuropsychologia*, 2000, 38(7): 1028–1039.
- [21] WU P, GONZALEZ I, PATSIS G, et al. Objectifying facial expressivity assessment of Parkinson's patients: preliminary study [J]. *Comput Math Meth Med*, 2014, 2014(1): 427826.
- [22] GRAMMATIKOPOULOU A, GRAMMALIDIS N, BOSTANTJOPOULOU S, et al. Detecting hypomimia symptoms by selfie photo analysis: for early Parkinson disease detection [C]//Proceedings of the 12th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments. Rhodes: ACM, 2019: 517–522.
- [23] JIN B, QU Y, ZHANG L, et al. Diagnosing Parkinson disease through facial expression recognition: video analysis [J]. *J Med Internet Res*, 2020, 22(7): e18697.
- [24] 贾学锋, 任旭, 柯雨, 等. 人工智能在帕金森病诊治及长程管理中的应用研究进展[J]. *中华神经医学杂志*, 2025, 24(8): 857–864.
- JIA X F, REN X, KE Y, et al. Recent advance in artificial intelligence in diagnosis, treatment, and long-term management of Parkinson's disease [J]. *Chin J Neuromed*, 2025, 24(8): 857–864.
- [25] 罗雨鹭, 陈曦. 可穿戴式设备在帕金森病中的应用及进展[J]. *中国康复医学杂志*, 2022, 37(8): 1142–1146.
- LUO Y L, CHEN X. Application and advances of wearable devices in Parkinson's disease [J]. *Chin J Rehabil Med*, 2022, 37(8): 1142–1146.
- [26] LÓPEZ P S, WANG R J, VARESCON C, et al. A wearable neuro-monitoring platform to map motor and neural biomarkers of gait dysfunction in people with Parkinson's disease across daily life [C]//2025 47th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). Copenhagen: IEEE, 2025: 1–5.
- [27] WILE D J, RANAWAYA R, KISS Z H T. Smart watch accelerometry for analysis and diagnosis of tremor [J]. *J Neurosci Meth*, 2014, 230: 1–4.
- [28] GATSIOS D, ANTONINI A, GENTILE G, et al. Feasibility and utility of mHealth for the remote monitoring of Parkinson disease: ancillary study of the PD_manager randomized controlled trial [J]. *JMIR mHealth uHealth*, 2020, 8(6): e16414.
- [29] LU T C, FU C M, MA M, et al. Healthcare applications of smart watches: a systematic review [J]. *Appl Clin Inform*, 2016, 7(3): 850–869.
- [30] ESPAY A J, BONATO P, NAHAB F B, et al. Technology in Parkinson's disease: challenges and opportunities [J]. *Mov Disord*, 2016, 31(9): 1272–1282.
- [31] KAMALAKANNAN M, JOSYULA S, JENIFER AUGUSTINA S, et al. Revolutionizing sports rehabilitation: unleashing the power of tele-rehabilitation for optimal physiotherapy results [J]. *Telemed E Health*, 2024, 30(4): e1180–e1186.
- [32] JANSSEN S, BOLTE B, NONNEKES J, et al. Usability of three-dimensional augmented visual cues delivered by smart glasses on (freezing of) gait in Parkinson's disease [J]. *Front Neurol*, 2017, 8: 279.
- [33] 李娟, 任粹萍, 焦悦, 等. 利用可穿戴腓总神经电刺激器改善帕金森病冻结步态[J]. *中华神经科杂志*, 2019, 52(10): 817–822.
- LI J, REN C P, JIAO Y, et al. Improvement of frozen gait in Parkinson's disease by wearable peroneal nerve electrical stimulator [J]. *Chin J Neurol*, 2019, 52(10): 817–822.
- [34] 蒋涛涛, 郑婷, 黄子龙, 等. 虚拟现实技术在帕金森病应用的研究现状及趋势: 基于CiteSpace文献计量学分析[J]. *神经损伤与功能重建*, 2024, 19(1): 28–32.
- JIANG T T, ZHENG T, HUANG Z L, et al. Research status and trend analysis of virtual reality technology in Parkinson's disease: a study based on CiteSpace [J]. *Neural Inj Funct Reconstr*, 2024, 19(1): 28–32.
- [35] 张浩, 许传蕾, 魏振兴, 等. 不同虚拟现实技术对帕金森病患者运动功能疗效的网状Meta分析[J]. *中国康复理论与实践*, 2025, 31(11): 1290–1302.
- ZHANG H, XU C L, WEI Z X, et al. Comparison of different virtual reality technologies on motor function in Parkinson's disease: a network meta-analysis [J]. *Chin J Rehabil Theory Pract*, 2025, 31(11): 1290–1302.
- [36] MAGGIO M G, RIZZO A, BENENATI A, et al. Efficacy and feasibility of virtual reality-based cognitive tele-rehabilitation in Parkinson's disease: a pilot randomized controlled trial on patients and caregivers [J]. *Digit Health*, 2025, 11: 20552076251376534.

- [37] FERNANDES J V A, DE ALBUQUERQUE FIGUEIREDO V L F, OLIVEIRA NETO A B, et al. Virtual reality in Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis [J]. *Dement Neuropsychol*, 2025, 19: e20240257.
- [38] LIMA J L, INACIO P A, SÁ FILHO A, et al. Effectiveness of virtual reality rehabilitation with exergames on functional rehabilitation in Parkinson's disease: a systematic review of chronic randomized controlled trials [J]. *Expert Rev Neurother*, 2025, 25(11): 1357–1370.
- [39] 吕美玲, 王洁, 曾维斯, 等. 虚拟现实技术对帕金森病患者认知功能和生活质量影响的Meta分析[J]. *中国康复理论与实践*, 2024, 30(6): 648–656.
- LYU M L, WANG J, ZENG W S, et al. Effect of virtual reality on cognitive function and quality of life in patients with Parkinson's disease: a meta-analysis [J]. *Chin J Rehabil Theory Pract*, 2024, 30(6): 648–656.
- [40] BABEL A, TANEJA R, MONDELLO MALVESTITI F, et al. Artificial intelligence solutions to increase medication adherence in patients with non-communicable diseases [J]. *Front Digit Health*, 2021, 3: 669869.
- [41] 齐榕潇, 李鹏. 人工智能在脑深部电刺激疗法中的应用[J]. *华西医学*, 2025, 40(3): 486–489.
- QI R X, LI P. Application of artificial intelligence in deep brain stimulation therapy [J]. *West China Med J*, 2025, 40(3): 486–489.
- [42] 喻慧心, 李昕, 曹霞, 等. 基于文献计量的我国健康医疗数据安全研究热点与趋势[J]. *中华医院管理杂志*, 2024, 40(10): 782–787.
- YU H X, LI X, CAO X, et al. Research hotspots and trends of health care data security in China based on bibliometrics [J]. *Chin J Hosp Adm*, 2024, 40(10): 782–787.

Digital Phenotyping and Artificial Intelligence Technologies in the Assessment and Smart Rehabilitation of Parkinson's Disease

CHEN Xi*

The First Affiliated Hospital, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, Guangdong 510030, China

*Correspondence: CHEN Xi, E-mail: chenxi8@mail.sysu.edu.cn

ABSTRACT Parkinson's disease (PD), as one of the most common neurodegenerative disorders, is primarily characterized by the progressive degeneration and death of dopaminergic neurons in the substantia nigra of the midbrain. The disease presents with complex and diverse clinical manifestations, and faces dual challenges in early diagnosis and the lack of curative treatments. The number of PD patients has been increasing year by year in China, forming a large patient population. The disease not only severely affects patients' quality of life but also greatly increases the societal healthcare burden. Advances in technology have enabled the growing application of digital phenotyping and artificial intelligence (AI) technologies in disease diagnosis and therapy, offering new opportunities for PD management. This article systematically explores the latest progress in the application of digital phenotyping and AI technologies in PD assessment and smart rehabilitation, including speech analysis, quantification of facial expressions, motion signal monitoring, and the integration of AI with treatment. Specific applications encompass speech feature extraction, facial expression assessment, wearable devices, and the development of personalized rehabilitation strategies. The article also identifies current problems and challenges in technology implementation, clinical application, and ethical regulation, with the aim of providing insights for future technology development and long-term PD management.

KEY WORDS Parkinson's disease; digital phenotyping; artificial intelligence technologies; smart rehabilitation

DOI:10.3724/SP.J.1329.2026.01002