

阿尔茨海默病与帕金森病步态分析的中国专家共识

中国老年保健协会阿尔茨海默病分会,解放军总医院国家老年疾病临床医学研究中心

关键词: 阿尔茨海默病;帕金森病;步态;淀粉样 β 肽类;正电子发射断层显像术

流行病学调查指出我国阿尔茨海默病(Alzheimer's disease, AD)患病总人数近 1000 万,帕金森病(Parkinson disease, PD)患者总人数近 300 万^[1-2]。AD 和 PD 是最常见的神经系统变性疾病,起病隐匿且早期诊断困难,可导致患者运动、认知功能的障碍直至全部能力丧失,我国每年医疗和护理支出达数万亿人民币^[3]。目前 AD 和 PD 的临床诊断主要依据症状表现、神经功能评估和头颅 MRI,以及 β 淀粉样斑块或多巴胺转运体等示踪剂正电子发射断层显像(PET)扫描等手段,但缺乏相对快速、准确的早期筛查手段,尤其不适合社区等基层医院对于 AD、PD 患者的早期识别。研究表明步态分析可关联老年人的运动和认知功能,并预测运动与认知障碍的进展,对早期识别和辅助诊断 AD、PD 具有巨大应用潜力,也是鉴别诊断和病情进展评估的重要指标。与临床常规检查技术相比,步态分析无辐射、可动态测量,且设备便携、获取数据方便快捷,无论在大型综合医院或在基层、社区医院应用都有较高的可行性。但步态分析也存在疾病特异性较差,容易受患者身体状态和其他伴随疾病的影响,以及外界环境因素的干扰等不足,故需要在适宜环境下规范合理地使用该评估手段。为此,中国老年保健协会阿尔茨海默病分会组织专家就步态分析的方法及其在 AD 和 PD 早期识别、辅助诊断以及病情评估方面的应用进行系统阐述,并基于现有证据,对步态分析技术进行规范性定义和推荐,以期进一步指引步态分析技术的临床探索性研究。

1 步态分析相关技术与参数体系

步态是指人体步行时的姿态和行为特征,是人

体通过髋、膝、踝、足趾乃至躯干与上肢的一系列连续活动,使身体沿着一定方向移动的过程。步态分析是一种运动学分析,是对步态信息的客观分析手段,主要研究步行时肢体运动的时间和空间变化规律,通过测量基本步行周期特征,揭示步态异常的关键环节以及影响因素,从而提供诊疗和康复的评估数据。

一个完整的步行周期,即行走时同一只脚从脚跟离地跨出,到再次脚跟着地的行进过程,根据人体姿态与重心的转变可具体划分为八个时期,其中初始着地期、承重反应期、支撑相中期、支撑相末期和摆动前期组成步行周期中的支撑相,摆动相早期、摆动相中期和摆动相末期组成摆动相,另外也可以根据双足与地面的接触情况划分为单支撑与双支撑时期^[4]。而对步行周期的量化描述,依赖于提取步行周期中的各项时间-空间步态参数,包括步长、步幅、步频、步速、步长时间、步幅时间、单支撑时间、双支撑时间及步宽等(表 1)^[5]。根据各参数反映的步态特征,步态参数可分为步伐(pace)、节奏(rhythm)、时相(phase)、不对称性(asymmetry)、变异性(variability)、姿势控制(postural control)等六大类^[6]。步态分析参数的相关影响因素包括被试的身高、体质量、体质量指数、年龄、性别等常规个体因素,以及精神压力、加工速度、认知储备等。步态参数的采集方法可分为两类:基于机器视觉和基于其他传感器的方法。临床上较为简便的手段是通过摄像头的视觉采集,而有条件的单位也可采用便携式传感器采集(如可穿戴设备)。

步行被视为一种需要高级认知控制的认知过程,尤其是在需要执行功能和注意力等具有挑战性的步行条件下^[7]。因此,步态分析发展出了多种研究范式,在临床实践中应根据研究目的选择合适的形式。最基本的范式即单纯的行走任务,包括以舒适的、自然的速度行走(通常采用 5 m 直线折返或 10 m 直走),以个人最大速度行走,以及起立行走测

DOI: 10.3969/j.issn.1009-0126.2021.11.006

基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFC0118201, 2019YFC0118202, 2019YFC0118203)

通信作者:解恒革, Email: xiehengge@163.com; 彭国平, Email: guopingpeng@zju.edu.cn

表 1 步态分析中常用的步态参数

步态参数	概念	意义
空间参数		
步长	行走时从一侧足跟着地到另一侧足跟着地之间的纵向直线距离	正常人步长为 50~80 cm, 随年龄增大逐渐下降。比较左右步长可反映步态对称性, 体现姿势控制能力
步幅	行走时同侧足跟从初次着地到再次着地之间的纵向直线距离	正常人步幅为步长的 2 倍。但直线行走时即使左右步长不对称, 左右步幅仍基本对称, 因此不能反映步态对称性
步宽	行走时一侧足跟中点与另一侧足跟中点之间的横向距离	反映步态稳定性, 增加步宽可增加行走的稳定性, 因此步宽随年龄增大可增加
时间参数		
步频	在一个时间单位内所走的步数, 常用单位: 步/min	正常人平均自然步频为 95~125 步/min, 一般不随年龄变化。步频增加多提示步态异常
步态速度	通过步幅除以步幅时间计算所得	正常人平均自然步速约 1.2 m/s。对运动迟缓有提示作用
步长时间	行走时从一只脚脚跟着地到另一只脚脚跟着地的时间	比较左右步长时间可反映步态对称性
步幅时间	行走时同一只脚从脚跟初次着地到再次脚跟着地的时间	对运动迟缓有提示作用
单支撑时间	一侧下肢足跟着地到同侧足尖离地的时间	等同于对侧下肢的迈步相时间, 比较左右单支撑时间可以反映步态对称性
双支撑时间	双足同时支撑身体重量的时间	步行速度越快, 双支撑时间越短, 是区分步行与跑步的标准
站立时间	一侧下肢从接触地面开始到离开地面的持续时间	正常人的站立相时间在步态周期中占比约 60%, 单侧站立相时间改变提示步态不对称性
摆动时间	一侧下肢从离开地面到重新接触地面的持续时间	正常人的摆动相时间在步态周期中占比约 40%
变异度参数*		
步长变异度	在多个步行周期中步长的变化情况	体现步长的波动性、纵向的空间变异性, 变异度越高提示步态节律性越差
步幅变异度	在多个步行周期中步幅的变化情况	体现步幅的波动性、纵向的空间变异性, 变异度越高提示步态节律性越差
步宽变异度	在多个步行周期中步宽的变化情况	体现步宽的波动性、横向的空间变异性, 变异度越高提示平衡控制能力减弱
步长时间变异度	在多个步行周期中步长时间的变化情况	体现步长时间的波动性、时间变异型, 变异度越高提示步态节律性越差
步幅时间变异度	在多个步行周期中步幅时间的变化情况	体现步幅时间的波动性、时间变异型, 变异度越高提示步态节律性越差

注: * 变异度可以用标准差、变异系数(变异系数=标准差/平均数×100%)来描述, 也可以用非线性指标(如去趋势波动分析、局部动态稳定性和熵)来描述

试(从椅子上站起、行走 3 m、转身、再行走到坐下)等。在行走任务的同时加入认知任务, 即为现在临床常用的双任务步态分析^[8-10]。认知任务主要有计算任务(例如从给定数字如 100 依次减去 7), 工作记忆任务(即边走边听数字串后倒背), 短篇故事回忆任务, 三件物品回忆式情景记忆任务, 以及语义流畅性(如动物命名)和语音流畅性(如“发”字组词)任务等。随着虚拟现实技术的发展, 借助手持式、头戴式设备, 可在安全环境中创造如狭窄通道、转角、台阶等场景, 进一步扩展了研究范式^[11]。

共识建议:(1)步态分析研究中需包含步速、步长、变异性等步行周期的基本时空参数。(2)双任务范式优于单任务(或自然行走)范式, 能提供更多的步态信息。

2 步态分析在评估 AD 中的建议

AD 是一种以进行性认知功能障碍、精神行为异常和日常生活能力损害为特征的不可逆性神经变性疾病, 临床上表现为记忆障碍、失语、失用、视空间能力损害, 抽象思维和计算力损害、人格和行为改变

等^[12]。早期识别, 及时诊断和干预是 AD 防治的核心。目前 AD 临床确诊需要提供 AD 的生物标志物证据, 包括脑脊液 β 淀粉样蛋白 42、磷酸化 tau 和总 tau 水平以及淀粉样斑块 PET 等^[13]。近年来对于 AD 的非认知症候群, 包括步态异常等日益受到关注, 并且可能成为 AD 早期的临床行为学标志物。因此, 通过步态特征来实现早期快速识别 AD 高危人群, 随后给予进一步的检查评估予以明确, 对于减少临床资源的浪费, 提高 AD 识别率和诊断效率, 就显得尤为重要。

AD 痴呆阶段患者的步态参数与健康老人、轻度认知功能障碍(mild cognitive impairment, MCI)患者存在明显差异^[14-15]。单任务即自然步态的步态速度下降、步态变异度增加等参数变化在 AD 人群中更为明显、比例更高, 具有鉴别正常老年人群和 AD 患者的意义。步幅时间变异度的增加具有区分 MCI 和健康对照者的能力, 而步态速度降低、步行时间延长、较短的步幅, 以及步态变异性增大等可预测 AD 发生^[16]。单任务步态参数变化虽可有效地检测出痴呆患者, 但由于 MCI 患者认知损害较轻,

其检测的敏感性较差^[17]。而在双任务范式下, MCI 患者的认知储备不足以同时完成步行及认知任务, 从而出现明显的步速下降, 显著增加 MCI 检出的敏感性^[18]。Ahman 等^[19]通过对 AD 患者采用起立行走测试结合动物命名和倒数月份的双任务步态分析, 发现动物命名测试中正确单词数和每 10 s 正确的单词数与脑脊液总 tau、磷酸化 tau 水平呈负相关。Muurling 等^[20]通过对比健康对照、MCI 及 AD 人群在双任务状态下的步态特征, 发现 AD 患者的步态参数与另外 2 组具有显著差异, 且与其脑脊液中 tau 蛋白的含量相关, 进一步佐证了采用双任务步态分析更有助于早期 AD 的发现。在疾病进展方面, Montero-Odasso 等^[21]发现倒计数和命名动物的双任务步态速度与 MCI 人群向痴呆进展的速度相关。在疾病鉴别方面, 步态分析可以捕捉许多通过直接观察难以发现的差异以提供鉴别依据, Rucco 等^[22]比较了 AD 患者和行为变异型额颞叶痴呆 (behavioral variant frontotemporal dementia, bvFTD) 患者在单任务和双任务条件下的步态特征, 发现 bvFTD 患者步伐和节奏更慢, 不稳定性和变异性更高。此外, 对于 AD 患者的康复治疗, 在行走训练基础上加入认知训练, 可以更加有效地改善因认知能力下降导致的行动困难, 降低跌倒风险^[23]。

共识建议:(1)AD 痴呆患者具有不同于同龄健康老年人群和 MCI 人群的步态参数特征, 步幅时间变异性可作为识别 AD 的重要临床指标。(2)AD 患者在双任务范式下步态存在明显障碍, 可以通过具有高认知需求的计算任务来实现对早期 AD 尤其是 MCI 人群的辅助诊断。(3)双任务步态研究范式有助于 MCI 向 AD 痴呆转化的预测研究。

3 步态分析在评估 PD 中的建议

PD 是一种常见于中老年的神经系统变性疾病, 常隐匿起病, 缓慢进展, 其特征性病理改变为黑质多巴胺能神经元进行性变性脱失和路易小体形成, 导致纹状体区多巴胺递质减少, 从而出现运动迟缓、静止性震颤、肌强直和姿势平衡障碍等特征性运动症状, 可伴有便秘、嗅觉障碍、睡眠障碍、自主神经功能障碍及精神、认知障碍等非运动症状^[24]。由于步态异常是 PD 患者突出而显著的特征表现之一, 步态分析将 PD 患者的步态特征量化为可测量的时间-空间参数, 借助计算机的数据处理, 可发现临床医师难以辨别或经验不足者容易忽视的早期步态变化征象, 因此在临床上具有快速、准确地早期识别 PD 的应用潜力。

PD 患者的运动症状随着病情进展表现出不同的特征。早期 PD 患者常表现为步行速度减慢、步长缩短、转身速率变慢, 其中手臂摆动幅度减小、运动的顺畅性下降以及不对称性多为首发表现。轻至中期 PD 患者由于疾病逐渐累及双侧, 运动的不对称性反而减小; 在步行中可观察到拖曳步态、步态冻结、慌张步态、双支撑时间增加、步频增加等特征性表现。步态的变异性性和不对称性是罹患 PD 的最佳预测因子, 而步速和步长则是监测 PD 前驱期进展的最佳步态特征^[25]。进展期 PD 患者的运动障碍进一步加重, 平衡和姿势控制能力减弱, 步速和步幅进一步下降, 跌倒风险显著增加^[26]。

步态分析在 PD 诊断和病情评估方面的效能许多临床研究中得到了验证。Zhan 等^[27]开发的一个以步态为主要评估项的移动式 PD 评分系统与统一帕金森病评定量表 (unified Parkinson's disease rating scale, UPDRS) 总分、UPDRS-III 评分、Hoehn-Yahr 分级等 PD 经典评估结果具有高度一致性。Marxreiter 等^[28]对 PD 患者注射阿扑吗啡并测定基线及注射后 10 min 时的 UPDRS-III 评分与步态参数, 结果提示步幅速度、长度, 最大趾间隙和趾偏角等参数的改善与患者的运动能力及 UPDRS-III 评分结果的改善密切相关。此外, 步态分析也有助于 PD 叠加综合征尤其是进行性核上性麻痹与典型 PD 的鉴别^[29-30]。在康复训练方面, 目前针对 PD 患者的步态和平衡康复的干预措施包括地面或跑步机行走、平衡练习、力量练习、多任务训练等。Mehrholtz 等^[31]比较了接受跑步机训练的 PD 患者和未接受训练的 PD 患者的步态特征, 发现跑步机训练可以有效提高患者的步态速度和步幅长度。但也有研究表明, 普通的物理训练虽然能改善轻中度 PD 患者的运动能力, 但可能会增加晚期 PD 患者的跌倒风险^[32]。而虚拟现实技术的普及不仅能够有效规避跌倒等不安全情况的发生, 还可以提供更高的趣味性, 以获得患者更持久的配合度从而增加虚拟现实技术疗法的作用^[11, 33]。

共识建议:(1)PD 患者的步态存在不同程度的障碍且与疾病进展密切相关, 步态的变异性性和不对称性是 PD 早期的重要预测指标, 步速和步长可作为监测 PD 患者病情进展的关键步态特征。(2)PD 患者的步态评分与 UPDRS 总分、UPDRS-III 分数、Hoehn-Yahr 分级等传统评估量表结果具有较高的一致性, 可在临床上联合分析。

4 步态分析的研究建议

近年来, 随着设备构造简单化及便携化的发展,

步态分析技术在 AD、PD 的早期识别和临床评估中的应用也逐渐普及。步态分析的评价结果可以通过步态图等方式呈现,以客观地显示步态分析的生物力学评价结果,为临床早期识别和后续干预提供数据指导,现已在国内部分临床机构中有所应用。

目前研究认为,步态异常的早期发现和客观量化分析有重要的临床意义:(1)将非认知的临床参数或标志用于前期诊断:作为 AD 的痴呆前期标志,尤其是临床症状和体征表现不典型、不全面的患者,步态分析可用于疾病的预测,尤其是对 MCI 向 AD 的转化有重要的预测能力;同时也有预测 PD 发病的能力。(2)有助于康复指导,用于 AD 痴呆和 PD 患者跌倒的预测与防治,指导危险环境下运动策略。(3)诊断增强技术,可提高或者改善 AD、PD 的诊断效率,用于疑似病例的精准评估和早期辅助诊断,尤其是超早期、临床不典型的患者或疑似病例。(4)临床随访中用于监测认知和运动障碍的进展。(5)临床决策支持。(6)用于临床药物或非药物试验效果的评估。

未来关于步态分析的研究,应当着眼于确定一些相对规范、高效、具有普适性的操作流程与规范,标准化的检测平台,包括使用的数据采集系统及相应的数据分析方式,使步态分析在不同场所、不同环境(如临床研究中心、社区、家庭等)中更加快速有效地发挥其作用并有助于相关研究之间的比较。同时,还需要更大规模队列人群的纵向分析,探索双任务相关步态变化的临界阈值,分析相关干扰因素,从而有效区分健康人群和疾病人群。通过创新、开发更多的步态运动学分析法、多重任务范式、标准化检测平台、规范的传感器布点与参数,扩展更多具有临床意义的步态参数,比如跟掌移行、足跟入角、足趾出角,在此基础上研究者可以确立以步态分析结果为导向的早期筛查和鉴别诊断,从而真正将其应用于大规模的临床工作。

共识建议:(1)建议关注并逐步研发多重任务范式、构建标准化检测平台、扩展更多具有临床意义的步态参数。(2)结合临床随访队列进一步探索步态调控的脑机制研究。

总之,步态分析是老年神经变性病尤其是 PD 和 AD 早期筛查和评估的重要新手段,而我国在这个领域的评估开展正处于起步和摸索阶段,缺乏切实有效的技术指导规范。我们希望本共识能在全中国范围内指导步态分析在常见神经变性病早期评估的规范实施,进而创造条件搭建规范开展该领域评估工作的同质化示范基地。

编写工作组专家:彭国平,解恒革,唐毅,潘晓东,罗本燕

专家组成员(以姓氏汉语拼音为序):陈作兵(浙江大学医学院附属第一医院康复科),冯涛(首都医科大学天坛医院神经内科),黄丽萍(解放军总医院第一医学中心康复科),刘华岩(中国医科大学附属第一医院神经内科),罗本燕(浙江大学医学院附属第一医院神经内科),潘晓东(福建医科大学协和医院神经内科),彭国平(浙江大学医学院附属第一医院神经内科),孙永安(北京大学第一医院神经内科),唐毅(首都医科大学宣武医院神经内科),田金洲(北京中医药大学东直门医院脑病科),王大明(浙江大学医学院附属第一医院康复科),王铭维(河北医科大学附属第一医院神经内科),王新平(天津环湖医院神经内科),解恒革(解放军总医院国家老年疾病临床医学研究中心、第二医学中心神经内科),晏勇(重庆医科大学附属第一医院神经内科),周泓(浙江大学生物医学与仪器工程学院生物医学工程教育部重点实验室)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Jia L, Quan M, Fu Y, et al. Dementia in China: epidemiology, clinical management, and research advances[J]. *Lancet Neurol*, 2020, 19(1): 81-92. DOI: 10.1016/S1474-4422(19)30290-X.
- [2] Li G, Ma J, Cui S, et al. Parkinson's disease in China: a forty-year growing track of bedside work[J]. *Transl Neurodegener*, 2019, 8:22. DOI: 10.1186/s40035-019-0162-z.
- [3] Jia J, Wei C, Chen S, et al. The cost of Alzheimer's disease in China and re-estimation of costs worldwide[J]. *Alzheimers Dement*, 2018, 14(4): 483-491. DOI: 10.1016/j.jalz.2017.12.006.
- [4] Pirker W, Katzenschlager R. Gait disorders in adults and the elderly: a clinical guide[J]. *Wien Klin Wochenschr*, 2017, 129(3-4): 81-95. DOI: 10.1007/s00508-016-1096-4.
- [5] de Oliveira Silva F, Ferreira JV, Plácido J, et al. Gait analysis with videogrammetry can differentiate healthy elderly, mild cognitive impairment, and Alzheimer's disease: a cross-sectional study[J]. *Exp Gerontol*, 2020, 131: 110816. DOI: 10.1016/j.exger.2019.110816.
- [6] Lord S, Galna B, Verghese J, et al. Independent domains of gait in older adults and associated motor and nonmotor attributes: validation of a factor analysis approach[J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2013, 68(7): 820-827. DOI: 10.1093/gerona/gls255.
- [7] Mirelman A, Shema S, Maidan I, et al. Gait[J]. *Handb Clin Neurol*, 2018, 159: 119-134. DOI: 10.1016/B978-0-444-63916-5.00007-0.
- [8] Belghali M, Chastan N, Cignetti F, et al. Loss of gait control assessed by cognitive-motor dual-tasks: pros and cons in detecting people at risk of developing Alzheimer's and Parkinson's diseases[J]. *Geroscience*, 2017, 39(3): 305-329. DOI: 10.1007/s11357-017-9977-7.
- [9] Nielsen MS, Simonsen AH, Siersma V, et al. The diagnostic and prognostic value of a dual-tasking paradigm in a memory clinic[J]. *J Alzheimers Dis*, 2018, 61(3): 1189-1199. DOI: 10.3233/JAD-161310.

- [10] Hunter SW, Divine A, Frengopoulos C, et al. A framework for secondary cognitive and motor tasks in dual-task gait testing in people with mild cognitive impairment[J]. *BMC Geriatr*, 2018, 18(1):202. DOI:10.1186/s12877-018-0894-0.
- [11] Canning CG, Allen NE, Nackaerts E, et al. Virtual reality in research and rehabilitation of gait and balance in Parkinson disease[J]. *Nat Rev Neurol*, 2020, 16(8):409-425. DOI:10.1038/s41582-020-0370-2.
- [12] Jia J, Gauthier S, Pallotta S, et al. Consensus-based recommendations for the management of rapid cognitive decline due to Alzheimer's disease[J]. *Alzheimers Dement*, 2017, 13(5):592-597. DOI:10.1016/j.jalz.2017.01.007.
- [13] Jack CR Jr, Bennett DA, Blennow K, et al. NIA-AA research framework: toward a biological definition of Alzheimer's disease[J]. *Alzheimers Dement*, 2018, 14(4):535-562. DOI:10.1016/j.jalz.2018.02.018.
- [14] Ghoraani B, Boettcher LN, Hssayeni MD, et al. Detection of mild cognitive impairment and Alzheimer's disease using dual-task gait assessments and machine learning[J]. *Biomed Signal Process Control*, 2021, 64:102249. DOI:10.1016/j.bspc.2020.102249.
- [15] Ansai JH, Andrade LP, Rossi PG, et al. Gait, dual task and history of falls in elderly with preserved cognition, mild cognitive impairment, and mild Alzheimer's disease[J]. *Braz J Phys Ther*, 2017, 21(2):144-151. DOI:10.1016/j.bjpt.2017.03.010.
- [16] Beauchet O, Allali G, Montero-Odasso M, et al. Motor phenotype of decline in cognitive performance among community-dwellers without dementia: population-based study and meta-analysis[J]. *PLoS One*, 2014, 9(6):e99318. DOI:10.1371/journal.pone.0099318.
- [17] MacAulay RK, Wagner MT, Szeles D, et al. Improving sensitivity to detect mild cognitive impairment: cognitive load dual-task gait speed assessment[J]. *J Int Neuropsychol Soc*, 2017, 23(6):493-501. DOI:10.1017/S1355617717000261.
- [18] Yang Q, Tian C, Tseng B, et al. Gait change in dual task as a behavioral marker to detect mild cognitive impairment in elderly persons: a systematic review and meta-analysis[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2020, 101(10):1813-1821. DOI:10.1016/j.apmr.2020.05.020.
- [19] Ahman HB, Giedraitis V, Cedervall Y, et al. Dual-task performance and neurodegeneration: correlations between timed up-and-go dual-task test outcomes and Alzheimer's disease cerebrospinal fluid biomarkers[J]. *J Alzheimers Dis*, 2019, 71(s1):S75-S83. DOI:10.3233/JAD-181265.
- [20] Muurling M, Rhodijs-Meester HFM, Pärkkä J, et al. Gait disturbances are associated with increased cognitive impairment and cerebrospinal fluid tau levels in a memory clinic cohort [J]. *J Alzheimers Dis*, 2020, 76(3):1061-1070. DOI:10.3233/JAD-200225.
- [21] Montero-Odasso MM, Sarquis-Adamson Y, Speechley M, et al. Association of dual-task gait with incident dementia in mild cognitive impairment: results from the gait and brain study [J]. *JAMA Neurol*, 2017, 74(7):857-865. DOI:10.1001/jamaneurol.2017.0643.
- [22] Rucco R, Agosti V, Jacini F, et al. Spatio-temporal and kinematic gait analysis in patients with frontotemporal dementia and Alzheimer's disease through 3D motion capture[J]. *Gait Posture*, 2017, 52:312-317. DOI:10.1016/j.gaitpost.2016.12.021.
- [23] Binns E, Kerse N, Peri K, et al. Combining cognitive stimulation therapy and fall prevention exercise (CogEx) in older adults with mild to moderate dementia: a feasibility randomised controlled trial[J]. *Pilot Feasibility Stud*, 2020, 6:108. DOI:10.1186/s40814-020-00646-6.
- [24] Opara J, Małeckı A, Małeckı E, et al. Motor assessment in Parkinson's disease [J]. *Ann Agric Environ Med*, 2017, 24(3):411-415. DOI:10.5604/12321966.1232774.
- [25] Del Din S, Elshehabi M, Galna B, et al. Gait analysis with wearables predicts conversion to Parkinson disease[J]. *Ann Neurol*, 2019, 86(3):357-367. DOI:10.1002/ana.25548.
- [26] Mirelman A, Bonato P, Camicioli R, et al. Gait impairments in Parkinson's disease[J]. *Lancet Neurol*, 2019, 18(7):697-708. DOI:10.1016/S1474-4422(19)30044-4.
- [27] Zhan A, Mohan S, Tarolli C, et al. Using smartphones and machine learning to quantify Parkinson disease severity: the mobile Parkinson disease score[J]. *JAMA Neurol*, 2018, 75(7):876-880. DOI:10.1001/jamaneurol.2018.0809.
- [28] Marxreiter F, Gaßner H, Borozdina O, et al. Sensor-based gait analysis of individualized improvement during apomorphine titration in Parkinson's disease[J]. *J Neurol*, 2018, 265(11):2656-2665. DOI:10.1007/s00415-018-9012-7.
- [29] Gassner H, Raccagni C, Eskofier BM, et al. The diagnostic scope of sensor-based gait analysis in atypical Parkinsonism: further observations[J]. *Front Neurol*, 2019, 10:5. DOI:10.3389/fneur.2019.00005.
- [30] De Vos M, Prince J, Buchanan T, et al. Discriminating progressive supranuclear palsy from Parkinson's disease using wearable technology and machine learning[J]. *Gait Posture*, 2020, 77:257-263. DOI:10.1016/j.gaitpost.2020.02.007.
- [31] Mehrholz J, Kugler J, Storch A, et al. Treadmill training for patients with Parkinson's disease[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015, 22(8):CD007830. DOI:10.1002/14651858.CD007830.
- [32] Chivers Seymour K, Pickering R, Rochester L, et al. Multicentre, randomised controlled trial of PDSAFE, a physiotherapist-delivered fall prevention programme for people with Parkinson's [J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2019, 90(7):774-782. DOI:10.1136/jnnp-2018-319448.
- [33] Cornejo Thumm P, Giladi N, Hausdorff JM, et al. Tele-rehabilitation with virtual reality: a case report on the simultaneous, remote training of two patients with Parkinson disease [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2021, 100(5):435-438. DOI:10.1097/PHM.0000000000001745.

(收稿日期:2021-07-27)

(本文编辑:顾菊芳)