

# 基于视频信息的帕金森病智能辅助诊断与治疗进展

刘培培 巫嘉陵

**【摘要】** 医工融合正逐渐成为帕金森病临床诊疗新模式,智能辅助诊断与治疗越来越受临床医师的关注,其中视频技术以其操作简便、无需穿戴的优势备受青睐。视频技术结合人工智能可以发现帕金森病早期症状特征,量化帕金森病症状,还可实现帕金森病远程医疗。本文综述视频技术智能辅助帕金森病诊断与治疗进展并展望未来应用前景,以促进其临床应用。

**【关键词】** 帕金森病; 视频-音频媒体; 远程医学; 综述

## Advances on intelligent assistant diagnosis and treatment of Parkinson's disease based on video technology

LIU Pei-pei, WU Jia-ling

Department of Neurology, Tianjin Key Laboratory of Cerebral Vascular and Neurodegenerative Diseases, Tianjin Huanhu Hospital, Tianjin 300350, China

Corresponding author: WU Jia-ling (Email: wywj2009@hotmail.com)

**【Abstract】** The combination of medicine and engineering is gradually becoming a new model for clinical diagnosis and treatment of Parkinson's disease (PD). Intelligent assisted diagnosis and treatment is attracting more and more attention from clinicians, among which video technology is favored for its advantages of simple operation and no need to wear. Video technology combined with artificial intelligence (AI) can discover the early symptom characteristics of PD, quantify the symptoms of PD, and realize the remote medical treatment of PD. This article reviews the latest progress in the diagnosis and treatment of PD through intelligent video technology and looks forward to its future application in order to promote its clinical application.

**【Key words】** Parkinson disease; Video-audio media; Telemedicine; Review

This study was supported by Tianjin Medical Key Discipline (Specialty) Construction Project (No. TJYXZDXK-052B), and Tianjin Health Research Project (No. TJWJ2022MS031).

**Conflicts of interest:** none declared

帕金森病是临床常见的以运动迟缓、肌强直、静止性震颤、姿势步态异常等为特征的神经系统变性疾病。2019年,全球罹患帕金森病的病例数约851万例,我国约284万例,随着人口老龄化的加剧,预计截至2030年我国帕金森病病例数达490万例,占全球总病例数的57%<sup>[1-2]</sup>,给我国医疗和经济带来

沉重负担。除患病率较高外,帕金森病的诊断与治疗一直是医疗领域的难题:帕金森病起病隐匿,症状复杂,早期诊断困难;疾病症状评估、诊断与治疗依靠临床医师的经验,缺乏客观、量化、智能诊断与治疗技术;现有的面对面诊疗模式陈旧,疾病诊疗分级、患者分层管理不甚明确,人工智能(AI)赋能的医疗服务新模式亟待开发,新型人工智能辅助技术的研究即显得尤为迫切。采用步态分析仪量化步态特征、惯性传感器量化运动迟缓等,为帕金森病的精准诊断与治疗提供可靠设备,但上述设备多需穿戴且操作较为复杂,临床应用有限。视频技术具有操作简便、无需穿戴、适合居家使用、可辅助人工智能算法等优势,目前已成为帕金森病诊断与治

doi:10.3969/j.issn.1672-6731.2023.01.007

基金项目:天津市医学重点学科(专科)建设项目(项目编号:TJYXZDXK-052B);天津市卫生健康科技项目(项目编号:TJWJ2022MS031)

作者单位:300350 天津市环湖医院神经内科 天津市脑血管与神经变性重点实验室

通讯作者:巫嘉陵,Email:wywj2009@hotmail.com

疗应用中的研究热门;通过视频技术获取疾病信息可节约人力成本,实现疾病的精准诊断与治疗,使远程医疗成为可能。本文综述视频信息在帕金森病早期诊断、量化评估、远程医疗中的应用进展并展望未来应用前景,以期拓展其临床应用。

### 一、基于视频信息的帕金森病早期诊断研究

目前,针对帕金森病的早期诊断主要有两种解释:第一种是侧重于帕金森病临床前期基础研究,利用生物学标志物进行临床前诊断;第二种是将 Hoehn-Yahr 分期 1~2 级定义为帕金森病早期,本文阐述的帕金森病早期基于第二种解释。帕金森病诊断主要依据国际运动障碍学会(MDS)统一帕金森病评价量表(UPDRS),但该量表无法获得运动功能的细微变化,对帕金森病早期诊断敏感性较低。此后的学者以运动迟缓、肌强直、震颤、姿势平衡障碍、步态障碍等临床症状为切入点,采用智能辅助技术探究帕金森病早期临床特征。既往研究显示,动作自动化障碍或精细运动障碍是帕金森病早期临床特征<sup>[3]</sup>。定量数字成像(QDG)是一种利用计算机界面音乐键盘对运动控制能力进行客观、定量评估的技术。Taylor Tavares 等<sup>[4]</sup>采用定量数字成像评估帕金森病患者手指精细运动,所得运动学参数与 UPDRS III 之运动迟缓亚评分呈正相关( $r = 0.670$ ,  $P < 0.001$ ),且该项技术还可发现脑深部电刺激术(DBS)和药物干预后精细运动变化,提示定量数字成像可以量化帕金森病患者精细运动,有助于疾病早期诊断。Salarian 等<sup>[5]</sup>采用便携式惯性传感器辅助坐站转移测验 iTUG(instrumented Timed Up and Go)对比分析早期帕金森病患者与健康对照者的步态参数,发现早期帕金森病患者步频和摆臂速度更慢,转弯持续时间和坐站转移时间更长,表明 iTUG 可获得步频、摆臂速度等更详细的步态参数,有助于帕金森病的早期诊断。此外,Physilog 测步仪(惯性传感系统)<sup>[6]</sup>、3D 运动捕捉技术<sup>[7-8]</sup>等智能辅助技术也用于帕金森病的早期诊断,可短时间内捕捉到精细运动变化,为疾病早期诊断提供及时、有效的信息,但这些设备价格昂贵、操作繁琐且需穿戴,难以在临床推广应用。视频技术操作简单,患者无需穿戴设备,多数情况下一部智能手机即可解决量化评估问题,适用于临床甚至家庭环境下的推广应用。Yin 等<sup>[9]</sup>提出一种利用视频信息和基于深度学习(DL)算法的帕金森病自动诊断方法,发现帕金森病患者上肢运动迟缓严重程度超过下肢,提示早期

诊断、评估疾病严重程度更应关注上肢。针对帕金森病步态偏侧性及变异性特点的研究显示,疾病早期即可出现步幅和摆臂角度的偏侧性或变异性,为疾病早期诊断提供线索<sup>[10-11]</sup>。天津市环湖医院巫嘉陵教授团队通过智能手机拍摄视频获取帕金森病患者步态信息,采用 2D 多关键点视频检测工具 OpenPose 提取步长、步速、步频、摆臂角度等步态参数,发现早期帕金森病患者步长更短、步速更慢、摆臂角度更小、摆臂速度更慢、偏侧性和变异性更大;进一步分析步长、摆臂角度偏侧性和摆臂角度变异性 3 个参数联合应用对帕金森病早期诊断的诊断效能,结果显示,联合诊断的灵敏度最高(84.6%),曲线下面积(AUC)为 0.91(95%CI: 0.840~0.970)<sup>[12]</sup>。该项研究为帕金森病步态障碍的早期诊断提供了新的方法,基于视频技术的疾病信息有望成为帕金森病早期诊断标志物。目前研究主要集中于帕金森病步态的时空参数量化分级,对步态偏侧性和变异性的临床应用仍待进一步开发,以探究上述指标对帕金森病早期诊断的潜在意义。随着医工融合新型诊疗模式的出现,人工神经网络(以下简称神经网络)等工程学方法开始应用于临床,通过神经网络探寻疾病特征并多模态融合,进而寻找疾病诊断标志物成为目前研究热点。Vasquez-Correa 等<sup>[13]</sup>采用神经网络量化评估帕金森病患者语言、书写和步行功能,并在此基础上进行录音、书写采集器、步态分析仪 3 种模态融合,以实现探寻疾病早期特征或特有特征之目的,结果显示,多种信息融合可以有效鉴别帕金森病患者与健康人群,诊断准确率达 97.3%。然而,基于视频技术获取疾病信息构建神经网络以研究帕金森病功能障碍的方法尚未成熟,尤其针对疾病早期诊断的研究较少,仅为后续研究提供了切入点。

### 二、基于视频信息的帕金森病运动功能量化评估

既往评估帕金森病运动功能主要依据 UPDRS III 量表<sup>[14]</sup>,但该方法主观性较高且较为耗时,难以做到多维度、多角度评估,一定程度上影响诊断与治疗。近年来,帕金森病智能辅助诊断设备层出不穷且不断迭代更新,由此衍生的人工智能算法不断升级,高性价比的数据分析给帕金森病诊断与治疗带来前所未有的变革。其中,3D 动作捕捉系统因其精准的结果输出成为量化帕金森病运动症状的“金标准”,但是受限于应用成本较高和操作较复杂,临

床推广困难。而视频技术操作简便且价格低廉<sup>[15]</sup>,随着数字视频技术和计算机技术的飞速发展,获取和处理高分辨率视频成为相对简单的过程,并且膝关节、髌关节和踝关节矢状位角度易从视频中获取,可以作为视频量化评估最基本的观测指标<sup>[16]</sup>。基于上述优势,视频技术的应用从运动医学发展至人体姿态估计(HPE),进而逐渐扩展至运动障碍性疾病的临床诊断与治疗。目前国内外通过视频技术量化帕金森病步态障碍的研究较多,主要侧重两方面:一是基于步幅、步速、摆臂角度等步态时空参数特征提取<sup>[17-18]</sup>;二是基于视频信息的3D神经网络构建<sup>[19-20]</sup>。

1. 基于视频信息的步态时空参数特征提取 针对帕金森病步态时空参数的研究相对较早,基于视频信息的帕金森病运动能量化分析发现,帕金森病患者步幅减小,摆臂速度和幅度降低,支撑相延长、摆动相缩短<sup>[16]</sup>。利用视频技术量化步长有助于跟踪和识别病情变化或存在摔倒风险的帕金森病患者<sup>[21]</sup>;量化步态周期及步频的研究显示,量化指标与疾病严重程度相一致,步态周期越长、步频越慢,步态异常越严重<sup>[22]</sup>;此外,利用视频技术还可量化步行时间变异性<sup>[23]</sup>,由此可见,视频技术是一种客观评估步态障碍、优化疾病管理的简便、可靠方法。冻结步态是帕金森病中晚期典型步态障碍,Gilat<sup>[24]</sup>通过开源视频软件获取帕金森病患者步态信息,标注冻结步态开始时间和持续时间,从而为药物治疗、康复时机和策略的制定提供指导。Shin等<sup>[17]</sup>采用基于视频信息的跟踪方法客观分析帕金森病患者药物疗效,发现药物治疗后步长增加( $P < 0.001$ )、步速增快( $P < 0.01$ )、转弯时间缩短( $P < 0.01$ );进一步验证发现,视频跟踪获得的步态参数与GAITRite(一种嵌入足底压力感受器的步态分析系统)参数吻合良好。Fabbri等<sup>[18]</sup>采用视频技术观察帕金森病患者左旋多巴肠凝胶治疗前后中轴症状改变,治疗3年后视频追踪随访发现步态和姿势均无恶化,表明基于视频信息的步态跟踪分析可客观评价药物疗效。

2. 基于视频信息的3D神经网络构建 神经网络是一种以类似神经突触连接结构进行信息处理的数学模型,可基于统计学类型学习方法进行优化,使神经网络可以像人类一样具有简单的决定和判断能力,较逻辑学推理演算更具优势。神经网络已在人工智能领域成功用于语音识别、图像分析和

自适应控制等方面,构建软件代理(计算机和视频游戏中)或自主机器人。近年来,语音识别和图像分析技术在医疗领域得到广泛应用,特别是帕金森病研究领域,为跨越医疗与非医疗数据集之间的鸿沟以及更好融合二者信息,研究者深入研究基于机器学习或深度学习的帕金森病运动功能评估与分析。步态识别作为一种生物特征识别技术,已获得较大突破和发展<sup>[25]</sup>。上海交通大学钱晓华教授团队研发出一种新型双流时空注意力卷积神经网络(2s-ST-AGCN)模型,并基于视频信息对帕金森病步态障碍进行量化评估,其准确率达65.66%,可接受的准确率高达98.90%,显著优于现有的基于传感器或其他基于视频信息的帕金森病步态评估方法(50%~60%)<sup>[26]</sup>。国外学者采集帕金森病患者和健康对照者步态信息视频,通过图像处理和机器学习算法进行识别,帕金森病步态识别率达95.49%<sup>[27]</sup>。由此可见,基于视频信息的神经网络构建在帕金森病运动识别领域具有相当大的应用前景<sup>[28-29]</sup>。Simonyan和Zisserman<sup>[30]</sup>提出一种双流卷积神经网络模型,从空间外观和运动流两方面对动作视频进行表征识别,并将其融合至人体动作识别中,用于帕金森病步态识别。Sun等<sup>[31]</sup>通过步态视频构建神经网络以识别帕金森病冻结步态,灵敏度为68.2%,特异度80.8%,精准度79.3%。此外,运动迟缓<sup>[32-33]</sup>、震颤<sup>[34-35]</sup>、面部表情<sup>[36]</sup>、非运动动症状等亦可实现基于视频信息的神经网络智能化评估。美国斯坦福大学李菲菲教授团队通过视频信息构建神经网络,并对帕金森病运动迟缓进行量化评估和分级,其评估疾病严重程度的准确率高达81%<sup>[37]</sup>。复旦大学附属华山医院联合腾讯计算机系统有限公司通过视频技术对帕金森病运动迟缓进行量化评估,并进行其他应用场景的探索。Wang等<sup>[38]</sup>探讨神经网络在背景混乱的视频中自动检测手部震颤的准确率,可达80.6%。

基于上述各项研究对视频技术在帕金森病临床诊断与治疗中的作用进行深度挖掘,通过视频技术获取疾病信息,建立帕金森病典型肢体动作谱模型知识库。首先,对帕金森病患者面部、手部、四肢、步态等典型肢体运动进行视频记录;然后,对运动过程建立人体骨架模型,并利用深度卷积神经网络对骨架模型信息进行估计与处理,获得震颤、肌强直和步态等典型帕金森病肢体动作谱相关特征;最终,在深度学习算法基础上,形成从症状早期筛

查、早期诊断到量化评估、人工智能辅助下精准治疗的一体化诊疗模式,打破人工智能算法与临床诊疗之间的壁垒,建立人工智能辅助的新型临床诊疗模式。

### 三、基于视频信息的帕金森病远程医疗

智能手机的普及使基于视频信息的远程医疗变得便捷、可行,新型冠状病毒肺炎(COVID-19)疫情的暴发进一步推进帕金森病远程医疗的进程。清华大学李路明教授团队采用深度学习算法结合 2D 人体姿态估计技术进行动作特征提取,分析不同环境下摄像机录制的帕金森病患者活动视频,自动获取用于疾病评估的临床参数,实现远程监控<sup>[39]</sup>。一项采用视频技术获取帕金森病患者运动信息的研究显示,远程虚拟问诊方式量化评估基于视频技术获取运动症状与面对面问诊相一致<sup>[40-41]</sup>。此外,远程视频监测还可发现医疗因素与非医疗因素交互对疾病的影响,辅助临床医师调整治疗策略,如药物治疗、康复治疗 and 脑深部电刺激术参数调整,促进临床诊断与治疗技术的变革以及新技术的临床转化<sup>[42-43]</sup>。从短期看,视频设备存储的真实数据可以替代患者主观回忆,精准评估治疗效果;从长远看,视频技术可以持续监测病情变化,有助于临床医师动态、有效管理患者。随着科学技术的发展,未来的智能手机可能配备体积描画传感器,可以测量外周血流量和氧合血红蛋白含量,实现脉搏测量,进而量化帕金森病自主神经功能障碍症状,甚至监测直立性低血压等;同时实现临床数据的收集和管理,使疾病长期、稳定随访成为可能,使疾病症状的收集不断细化,使诊断维度不断多元化,使治疗策略不断个体化。

综上所述,基于视频信息的帕金森病诊断与治疗简便、可靠,虽尚存一些缺陷,如无法评估肌强直、姿势稳定性,但随着科学技术的发展,视频技术在帕金森病诊断与治疗中的应用将进一步优化,如视频技术结合左旋多巴试验,不断推进疾病早期诊断、症状量化评估、以及新型诊疗模式的构建。

利益冲突 无

### 参 考 文 献

- [1] Calabrese VP. Projected number of people with Parkinson disease in the most populous nations, 2005 through 2030 [J]. *Neurology*, 2007, 69:223-224.
- [2] Larson DN, Schneider RB, Simuni T. A new era: the growth of video - based visits for remote management of persons with Parkinson's disease [J]. *J Parkinsons Dis*, 2021, 11(s1):S27-34.
- [3] Servant M, van Wouwe N, Wylie SA, Logan GD. A model-based quantification of action control deficits in Parkinson's disease [J]. *Neuropsychologia*, 2018, 111:26-35.
- [4] Taylor Tavares AL, Jefferis GS, Koop M, Hill BC, Hastie T, Heit G, Bronte - Stewart HM. Quantitative measurements of alternating finger tapping in Parkinson's disease correlate with UPDRS motor disability and reveal the improvement in fine motor control from medication and deep brain stimulation [J]. *Mov Disord*, 2005, 20:1286-1298.
- [5] Salarian A, Horak FB, Zampieri C, Carlson-Kuhta P, Nutt JG, Aminian K. iTUG, a sensitive and reliable measure of mobility [J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2010, 18:303-310.
- [6] Godinho C, Domingos J, Cunha G, Santos AT, Fernandes RM, Abreu D, Gonçalves N, Matthews H, Isaacs T, Duffen J, Al-Jawad A, Larsen F, Serrano A, Weber P, Thoms A, Sollinger S, Graessner H, Maetzler W, Ferreira JJ. Erratum to: a systematic review of the characteristics and validity of monitoring technologies to assess Parkinson's disease [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2016, 13:71.
- [7] Tossierams A, Keijsers N, Kapelle W, Kessels RPC, Weerdesteijn V, Bloem BR, Nonnekes J. Evaluation of compensation strategies for gait impairment in patients with Parkinson disease [J]. *Neurology*, 2022, 99:e2253-2263.
- [8] Jakob V, Küderle A, Kluge F, Klucken J, Eskofier BM, Winkler J, Winterholler M, Gassner H. Validation of a sensor-based gait analysis system with a gold-standard motion capture system in patients with Parkinson's disease [J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21: 7680.
- [9] Yin Z, Geraedts VJ, Wang Z, Contarino MF, Dibeklioglu H, van Gemert J. Assessment of Parkinson's disease severity from videos using deep architectures [J]. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2022, 26:1164-1176.
- [10] Zhu S, Wu Z, Wang Y, Jiang Y, Gu R, Zhong M, Jiang X, Shen B, Zhu J, Yan J, Pan Y, Zhang L. Gait analysis with wearables is a potential progression marker in Parkinson's disease [J]. *Brain Sci*, 2022, 12:1213.
- [11] Zhang X, Fan W, Yu H, Li L, Chen Z, Guan Q. Single- and dual-task gait performance and their diagnostic value in early-stage Parkinson's disease [J]. *Front Neurol*, 2022, 13:974985.
- [12] Liu P, Yu N, Yang Y, Yu Y, Sun X, Yu H, Han J, Wu J. Quantitative assessment of gait characteristics in patients with Parkinson's disease using 2D video [J]. *Parkinsonism Relat Disord*, 2022, 101:49-56.
- [13] Vasquez - Correa JC, Arias - Vergara T, Orozco - Arroyave JR, Eskofier B, Klucken J, Noth E. Multimodal assessment of Parkinson's disease: a deep learning approach [J]. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2019, 23:1618-1630.
- [14] Ramaker C, Marinus J, Stiggelbout AM, Van Hilten BJ. Systematic evaluation of rating scales for impairment and disability in Parkinson's disease [J]. *Mov Disord*, 2002, 17:867-876.
- [15] Lopes TJA, Ferrari D, Ioannidis J, Simic M, Micolis de Azevedo F, Pappas E. Reliability and validity of frontal plane kinematics of the trunk and lower extremity measured with 2-dimensional cameras during athletic tasks: a systematic review with meta-analysis [J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2018, 48:812-822.
- [16] Micheli A, Eshraghi A, Andrysek J. Two-dimensional video gait analysis: a systematic review of reliability, validity, and best practice considerations [J]. *Prosthet Orthot Int*, 2020, 44: 245-262.
- [17] Shin JH, Yu R, Ong JN, Lee CY, Jeon SH, Park H, Kim HJ, Lee J, Jeon B. Quantitative gait analysis using a pose-estimation

- algorithm with a single 2D-video of Parkinson's disease patients [J]. *J Parkinsons Dis*, 2021, 11:1271-1283.
- [18] Fabbri M, Pongmala C, Artusi CA, Imbalzano G, Romagnolo A, Lopiano L, Zibetti M. Video analysis of long-term effects of levodopa-carbidopa intestinal gel on gait and posture in advanced Parkinson's disease [J]. *Neurol Sci*, 2020, 41:1927-1930.
- [19] Kreuzer D, Munz M. Deep convolutional and LSTM networks on multi-channel time series data for gait phase recognition [J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21:789.
- [20] Cao X, Xue Y, Chen J, Chen X, Ma Y, Hu C, Ma H, Ma H. Video based shuffling step detection for parkinsonian patients using 3D convolution [J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2021, 29:641-649.
- [21] Stricker M, Hinde D, Rolland A, Salzman N, Watson A, Almonroeder TG. Quantifying step length using two-dimensional video in individuals with Parkinson's disease [J]. *Physiother Theory Pract*, 2021, 37:252-255.
- [22] Sato K, Nagashima Y, Mano T, Iwata A, Toda T. Quantifying normal and parkinsonian gait features from home movies: practical application of a deep learning-based 2D pose estimator [J]. *PLoS One*, 2019, 14:e0223549.
- [23] Ippisch R, Jelusic A, Bertram J, Schniepp R, Wuehr M. mVEGAS: mobile smartphone-based spatiotemporal gait analysis in healthy and ataxic gait disorders [J]. *Gait Posture*, 2022, 97:80-85.
- [24] Gilat M. How to annotate freezing of gait from video: a standardized method using open-source software [J]. *J Parkinsons Dis*, 2019, 9:821-824.
- [25] Sepas-Moghaddam A, Etemad A. Deep gait recognition: a survey [J]. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 2022. [Epub ahead of print]
- [26] Guo R, Shao XX, Zhang CC, Qian XH. Multi-scale sparse graph convolutional network for the assessment of parkinsonian gait [J]. *IEEE Trans Multi*, 2022, 24:1583-1594.
- [27] Cho CW, Chao WH, Lin SH, Chen YY. A vision-based analysis system for gait recognition in patients with Parkinson's disease [J]. *Exp Syst App*, 2009, 36:7033-7039.
- [28] Albuquerque P, Machado JP, Verlekar TT, Correia PL, Soares LD. Remote gait type classification system using markerless 2D video [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2021, 11:1824.
- [29] Sabo A, Mehdizadeh S, Iaboni A, Taati B. Estimating parkinsonism severity in natural gait videos of older adults with dementia [J]. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2022, 26:2288-2298.
- [30] Simonyan K, Zisserman A. Two-stream convolutional networks for action recognition in videos [J]. *Adv Neural Inform Proc Syst*, 2014.
- [31] Sun RF, Wang ZY, Martens KE, Lewis S. Convolutional 3D attention network for video based freezing of gait recognition [C]. 2018 *Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA)*, Canberra, Australia, 2018. New York: IEEE, 2018:1-7.
- [32] Vignoud G, Desjardins C, Salardaine Q, Mongin M, Garcin B, Venance L, Degos B. Video-based automated assessment of movement parameters consistent with MDS-UPDRS III in Parkinson's disease [J]. *J Parkinsons Dis*, 2022, 12:2211-2222.
- [33] Park KW, Lee EJ, Lee JS, Jeong J, Choi N, Jo S, Jung M, Do JY, Kang DW, Lee JG, Chung SJ. Machine learning-based automatic rating for cardinal symptoms of Parkinson disease [J]. *Neurology*, 2021, 96:e1761-1769.
- [34] Williams S, Fang H, Relton SD, Wong DC, Alam T, Alty JE. Accuracy of smartphone video for contactless measurement of hand tremor frequency [J]. *Mov Disord Clin Pract*, 2020, 8:69-75.
- [35] Fois AF, Mahant N, Vucic S, Fung VSC. Measuring tremor: a comparison of automated video analysis, neurophysiology, and clinical rating [J]. *Mov Disord*, 2021, 36:2962-2963.
- [36] Novotny M, Tykalova T, Ruzickova H, Ruzicka E, Dusek P, Ruz J. Automated video-based assessment of facial bradykinesia in de-novo Parkinson's disease [J]. *NPJ Digit Med*, 2022, 5:98.
- [37] Lu M, Poston K, Pfefferbaum A, Sullivan EV, Fei-Fei L, Pohl KM, Niebles JC, Adeli E. Vision-based estimation of MDS-UPDRS gait scores for assessing Parkinson's disease motor severity [J]. *Med Image Comput Assist Interv*, 2020, 12263:637-647.
- [38] Wang X, Garg S, Tran SN, Bai Q, Alty J. Hand tremor detection in videos with cluttered background using neural network based approaches [J]. *Health Inf Sci Syst*, 2021, 9:30.
- [39] Li T, Chen J, Hu C, Ma Y, Wu Z, Wan W, Huang Y, Jia F, Gong C, Wan S, Li L. Automatic timed up-and-go sub-task segmentation for Parkinson's disease patients using video-based activity classification [J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2018, 26:2189-2199.
- [40] Tarolli C, Andrzejewski K, Bull M, Goldenthal S, O'Brien M, Simuni T, Zimmerman G, Biglan K, Dorsey ER. Virtual research visits in individuals with Parkinson disease enrolled in a clinical trial: REACT-PD study interim analysis (P4.005) [J]. *Mov Disord*, 2017, 32(suppl 2):1378.
- [41] Sibley KG, Girges C, Hoque E, Foltynie T. Video-based analyses of Parkinson's disease severity: a brief review [J]. *J Parkinsons Dis*, 2021, 11(s1):S83-93.
- [42] Omberg L, Chaibub Neto E, Perumal TM, Pratap A, Tediario A, Adams J, Bloem BR, Bot BM, Elson M, Goldman SM, Kellen MR, Kieburz K, Klein A, Little MA, Schneider R, Suver C, Tarolli C, Tanner CM, Trister AD, Wilbanks J, Dorsey ER, Mangravite LM. Remote smartphone monitoring of Parkinson's disease and individual response to therapy [J]. *Nat Biotechnol*, 2022, 40:480-487.
- [43] Xu X, Zeng Z, Qi Y, Ren K, Zhang C, Sun B, Li D. Remote video-based outcome measures of patients with Parkinson's disease after deep brain stimulation using smartphones: a pilot study [J]. *Neurosurg Focus*, 2021, 51:E2.

(收稿日期:2023-01-20)

(本文编辑:袁云)