



[DOI]10.3969/j.issn.1001-9057.2022.09.008

http://www.lcnkz.com/CN/10.3969/j.issn.1001-9057.2022.09.008

· 论著 ·

可穿戴设备定量评估帕金森病伴冻结步态患者的美多芭负荷试验

张新凯 高萌 徐岩 朱红灿 曹学兵

【摘要】 **目的** 探讨可用于评估帕金森病(PD)伴冻结步态(FOG)患者美多芭负荷试验的可穿戴设备运动参数。**方法** 纳入2020年9月~2021年1月收治于华中科技大学附属协和医院神经内科具有FOG的帕金森综合征患者28例,根据是否符合PD临床诊断标准或明确诊断为PD将其分为PD-FOG组(18例)和非PD-FOG组(10例)。对所有患者行美多芭负荷试验并采用统一的帕金森病评定量表第三部分(UPDRS-III)在负荷试验前(关期)、后(开期)进行评分,使用可穿戴设备采集负荷试验前、后PD-FOG组患者人体运动姿态的时空、动力学和运动学参数并进行比较。采用Pearson相关分析评估UPDRS-III评分与可穿戴设备运动参数的相关性。**结果** 两组患者开期评分均较同组关期评分显著降低($P < 0.05$)。PD-FOG组关期评分、UPDRS-III期评分改变量及改善率均高于非PD-FOG组($P < 0.05$)。与负荷试验前比较,PD伴FOG患者负荷试验后行走过程中的左右小腿角速度峰值、腰部矢状面角度最小值、腰部矢状面角度最大值、严重侧小腿角速度峰值及转向过程中的峰值角速度均增加,左右腿摆动相相对偏差及左右腿支撑相相对偏差均减少($P < 0.05$)。Pearson相关分析结果显示,PD伴FOG患者起立过程中的躯干矢状面峰值角速度,行走过程中左右小腿角速度峰值、严重侧小腿角速度峰值及转向过程中的峰值角速度与UPDRS-III评分均呈负相关($P < 0.05$)。**结论** 可穿戴设备的运动参数与临床UPDRS-III评分具有较好的相关性,相应的运动参数可反映PD伴FOG患者美多芭负荷试验前、后的运动功能改变。

【关键词】 帕金森病伴冻结步态; 可穿戴设备; 美多芭负荷试验; 定量评估

【中图分类号】 R742.5 **【文献标识码】** A

基金项目:国家重点研发计划(2017YFC1310300);国家自然科学基金资助项目(81171193、81671108、81873734)

作者单位:450052 郑州,郑州大学第一附属医院神经内科(张新凯、高萌、朱红灿);华中科技大学同济医学院附属协和医院神经内科(徐岩、曹学兵)

通讯作者:朱红灿,E-mail:zhc660407@hotmail.com;曹学兵,E-mail:caoxuebing@126.com

[5] 邓建忠,金建华,陆文斌,等.术前外周血纤维蛋白原水平联合血小板与淋巴细胞比值的评分对结肠癌中预后的评估价值[J].医学研究生学报,2020,33(3):274-279.

[6] 俞东梅.WHO(2000)结直肠癌诊断标准在术前活组织检查病理诊断中的分析[J].中国医药指南,2016,14(11):128-129.

[7] 姚宏伟,吴鸿伟,刘荫华.从传统“群体化”诊治到精准“个体化”医疗:AJCC第八版结肠直肠癌分期系统更新解读[J].中华外科杂志,2017,55(1):24-27.

[8] 李灿,刘婧,李俊霞,等.孤立性直肠溃疡综合征一例[J].中华炎性肠病杂志,2021,5(3):260-261.

[9] Miller KD, Nogueira L, Mariotto AB, et al. Cancer treatment and survivorship statistics, 2019[J]. CA Cancer J Clin, 2019, 69(5):363-385.

[10] Bos A, Kortbeek D, van Erning FN, et al. Postoperative mortality in elderly patients with colorectal cancer: The impact of age, time-trends and competing risks of dying[J]. Eur J Surg Oncol, 2019, 45(9):1575-1583.

[11] 李新宇,陈国俊.术前中性粒细胞淋巴细胞比值与血小板淋巴细胞比值对膀胱肿瘤的研究进展[J].世界最新医学信息文摘,2019,19(98):156-157.

[12] Lin Y, Liu Z, Qiu Y, et al. Clinical significance of plasma D-dimer and fibrinogen in digestive cancer: A systematic review and meta-analysis[J]. Eur J Surg Oncol, 2018, 44(10):1494-1503.

[13] 唐国富,蔡晓龙,李敏,等.大肠癌患者术前纤维蛋白原、血小板与临床病理和预后的相关研究[J].中国肿瘤外科杂志,2020,12(1):49-53.

[14] Stojkovic LM, Pavlovic MA, Stankovic S, et al. Combined Diagnostic Efficacy of Neutrophil-to-Lymphocyte Ratio (NLR), Platelet-to-Lymphocyte Ratio (PLR), and Mean Platelet Volume (MPV) as Biomarkers of Systemic Inflammation in the Diagnosis of Colorectal Cancer[J]. Dis Markers, 2019, 2019:6036979.

[15] 周婷,吴克俭.中性粒细胞/淋巴细胞、血小板/淋巴细胞和纤维蛋白原在结肠直肠癌中的预测作用[J].医学研究杂志,2019,48(8):154-157.

[16] 郭宗全,李艳梅,陈新华.粪便FCP与血清CEA联合检测对大肠癌的诊断价值[J].山东医药,2019,59(31):83-85.

[17] 王茜,王一菲,付海龙.术前NLR、PLR结合CEA表达水平与结肠癌TNM分期相关性分析[J].中国血液流变学杂志,2019,29(4):404-408.

[18] 陈安杰,王斌,王福荣,等.结直肠癌细胞中癌胚抗原、细胞角蛋白19片段表达及其临床意义[J].临床军医杂志,2020,48(7):778-780,783.

[19] 周小戈,周思君,杨克戈.慢性肾脏病患者维生素D水平与结肠癌的相关性研究[J].临床内科杂志,2019,36(1):47-49.

(收稿日期:2021-05-11)

(本文编辑:高婷)

Wearable devices quantitatively assess madopa challenge test in Parkinson's disease patients with freezing of gait Zhang Xinkai*, Gao Meng, Xu Yan, Zhu Hongcan, Cao Xuebing. * Department of Neurology, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China

[Abstract] **Objective** To explore parameters of the wearable device used to evaluate madopa challenge test in Parkinson's disease patients with freezing of gait. **Methods** A total of 28 Parkinson syndrome patients with freezing of gait who were treated in the Department of Neurology, Union Hospital of Huazhong University of Science and Technology from September 2020 to January 2021 were concluded. According to whether they met the clinical diagnostic criteria for PD or were definitely diagnosed as PD, they were divided into PD-FOG group (18 cases) and Non-PD-FOG group (10 cases). The madopa challenge test and UPDRS-III score were performed on all patients before and after the challenge test. The wearable device collected the patient's data under the time up and go and turning tests before and after the levodopa challenge test. Wearable equipment was used to collect and compare the spatiotemporal, dynamic and kinematic parameters of human motion posture of PD patients with FOG before and after the challenge test. *Pearson* correlation analysis was used to evaluate the correlation between UPDRS-III score and the exercise parameters of wearable devices. **Results** The scores of patients in both groups in on-period were significantly lower than those in off-period of the same group ($P < 0.05$). Score on off-period, the change and improvement rate of UPDRS-III score in PD-FOG group were higher than those in Non-PD-FOG group ($P < 0.05$). Compared with that before the challenge test, the peak angular velocity of left and right legs, the minimum waist sagittal plane angle, the maximum waist sagittal plane angle, the peak angular velocity of severe side legs and the mid peak angular velocity during the steering process of PD patients with FOG during walking increased, and the relative deviation of swing phase of left and right legs and the relative deviation of support phase of left and right legs decreased ($P < 0.05$). *Pearson* correlation analysis showed that the peak angular velocity of the trunk sagittal plane, left and right crus during walking, the peak angular velocity of the severe side crus during walking, and the peak angular velocity during turning were negatively correlated with the UPDRS-III score ($P < 0.05$). **Conclusion** The parameters of the wearable device has a good correlation with the clinical UPDRS-III scale, which can reflect the changes of motor symptoms before and after the challenge test in PD patients with FOG.

[Key words] Freezing of gait in Parkinson's disease; Wearable device; Madopa challenge test; Quantitative evaluation

帕金森病(PD)是最常见的运动障碍性疾病之一,主要表现为运动迟缓、肌强直、静止性震颤及姿势和步态障碍^[1-2]。其中冻结步态(FOG)是PD常见的一种病理步态,表现为运动过程中步伐短暂、突然地中止或明显减少,严重影响患者的生活质量和社会功能^[3]。近年来,采用可穿戴设备对PD患者步态进行定量评估的研究越来越广泛^[4]。相较于临床量表,可穿戴设备具有更高的灵敏度、准确性和再现性,在PD患者步态的识别、诊断及鉴别诊断中显示出很好的应用价值^[5]。本研究旨在探索评估PD伴FOG患者美多芭负荷试验的可穿戴设备运动参数,为今后客观评估PD运动症状的研究和临床实践提供依据。

对象与方法

1. 对象:纳入2020年9月~2021年1月收治于华中科技大学同济医学院附属协和医院神经内科具有FOG的帕金森综合征患者28例。纳入标准:(1)符合2015年国际运动障碍学会帕金森综合征诊断标准^[6];(2)主诉出现FOG或FOG问卷量表第3项得分 ≥ 1 分。排除标准:(1)存在严重认知功能下降和(或)明显精神症状,无法配合试验;(2)因骨关节及神经肌肉疾病、外伤等原因影响行走姿态;(3)心脏、肺脏等重要器官存在严重功能不全。根据是否符合PD临床诊断

标准或可明确诊断为PD,将28例患者分为PD-FOG组(18例)和非PD-FOG组(10例)。PD的诊断采用2015年国际运动障碍学会有关PD的诊断标准^[6]。本研究经华中科技大学同济医学院附属协和医院伦理委员会审核批准,所有患者均知情同意。

2. 方法

(1)一般临床资料收集:收集所有患者的性别、年龄、病程等一般资料,并进行简易精神状态检查量表(MMSE)评分、蒙特利尔认知评估量表(MoCA)评分和Hoehn-Yahr(H-Y)分级。

(2)美多芭负荷试验及可穿戴设备评估:所有患者试验前72h停用多巴胺受体激动剂,试验前24h停用左旋多巴制剂。试验当日晨起空腹采用统一PD评定量表第三部分(UPDRS-III)评分(结果为关期评分),并佩戴可穿戴设备行起立行走试验(TUG)和转圈试验(Turn)进行运动数据(包括双上肢、腰部、双大腿、双小腿、双足等共80余处运动参数)采集;随后口服多潘立酮10mg,30min后服用美多芭(多巴丝肼片250mg/片)375mg,1h后再行UPDRS-III评分(结果为开期评分)及可穿戴设备数据采集。同时计算UPDRS-III评分改变量与UPDRS-III改善率,UPDRS-III评分改变量=关期评分-开期评分,UPDRS-III评分改善率(%)=(关期评分-开期评分)/关期评分 $\times 100\%$ 。

可穿戴设备采用睿评系统[由深圳市臻络科技有限公司提供的睿评 E1(评估类智能设备)和睿云(帕金森病数据管理及智能分析系统)组成]。设备包括主机箱、绑带、采集节点、一台摄像设备和用于录像和登录软件的笔记本电脑,部分设备和节点放置部位如图 1。运动数据通过佩戴在身上各个部位的传感器进行采集,通过蓝牙传输到计算中心,经算法解析出人体运动姿态的时空、动力学及运动学参数。

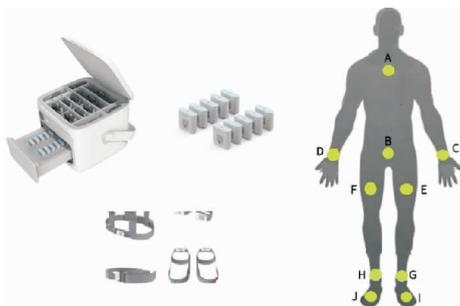


图 1 可穿戴设备及节点放置部位

3. 统计学处理:应用 SPSS 24.0 软件进行统计分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用独立样本 t 检验。计数资料以例和百分比表示,组间比较采用 Fisher 确切检验。采用配对设计 t 检验比较 PD 伴 FOG 患者负荷试验前、后运动参数。采用 Pearson 相关分析评估 UPDRS-III 评分与可穿戴设备运动参数的相关性。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 两组患者一般临床资料比较:PD-FOG 组女性患者数量高于非 PD-FOG 组 ($P < 0.05$),其余指标(年龄、病程、MMSE 评分、MoCA 评分及 H-Y 分级)比较差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 1。

2. 两组患者关期评分、开期评分、UPDRS III 评分改

变量及改善率比较:两组患者开期评分比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$),两组患者开期评分均较同组关期评分显著降低 ($P < 0.05$)。PD-FOG 组关期评分、UPDRS-III 评分改变量及改善率均显著高于非 PD-FOG 组 ($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 两组患者关期评分、开期评分、UPDRS-III 评分改变量及改善率比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	关期评分(分)	开期评分(分)	UPDRS-III 评分改变量(分)	UPDRS-III 评分改善率(%)
PD-FOG 组	18	44.39 ± 18.17	24.78 ± 12.20 ^a	19.6 ± 11.3	44.3 ± 14.6
非 PD-FOG 组	10	23.60 ± 11.14	18.60 ± 8.50 ^a	5.0 ± 3.3	22.5 ± 11.6
t 值		3.277	1.416	3.975	4.074
P 值		0.003	0.169	<0.001	<0.001

注:与同组关期评分比较,^a $P < 0.05$

3. PD 伴 FOG 患者负荷试验前、后可穿戴设备运动参数比较:与负荷试验前比较,PD 伴 FOG 患者负荷试验后行走过程中的左右小腿角速度峰值、腰部矢状面角度最小值、腰部矢状面角度最大值、严重侧小腿角速度峰值及转向过程中的峰值角速度均增加,左右腿摆动相对偏差及左右腿支撑相相对偏差均降低 ($P < 0.05$)。PD 伴 FOG 患者负荷试验前、后起立过程中各指标比较差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 3。

4. PD 伴 FOG 患者 UPDRS-III 评分与可穿戴设备运动参数的相关性分析:Pearson 相关分析结果显示,PD 伴 FOG 患者起立过程中的躯干矢状面峰值角速度,行走过程中左右小腿角速度峰值、严重侧小腿角速度峰值及转向过程中的峰值角速度与 UPDRS-III 评分均呈负相关 ($P < 0.05$)。见表 4。

讨 论

既往研究显示,可穿戴设备在评估 PD 患者服用左

表 1 两组患者一般临床资料比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	性别(男/女)	年龄(岁)	病程(个月)	MMSE 评分(分)	MoCA 评分(分)	H-Y 分级(级)
PD-FOG 组	18	8/10	62.5 ± 9.1	50.6 ± 43.3	24.9 ± 3.9	20.3 ± 6.2	2.2 ± 0.6
非 PD-FOG 组	10	8/2	64.0 ± 12.2	44.1 ± 52.2	24.3 ± 4.0	20.0 ± 5.1	2.2 ± 0.6
t 值		-	-0.370	0.351	0.416	0.144	-0.024
P 值		<0.001	0.714	0.728	0.681	0.887	0.981

表 3 PD 伴 FOG 患者负荷试验前、后运动参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	起立过程				行走过程				转向过程		
		平均时长(秒)	躯干矢状面峰值角速度(度/秒)	躯干矢状面最大角度(度)	躯干矢状面最小角度(度)	左右小腿角速度峰值(度/秒)	腰部矢状面角度最小值(度)	腰部矢状面角度最大值(度)	严重侧小腿角速度峰值(度/秒)	左右腿摆动相相对偏差(%)	左右腿支撑相相对偏差(%)	峰值角速度(度/秒)
负荷试验前	18	2.4 ± 1.3	57.4 ± 17.6	10.1 ± 16.0	-25.5 ± 11.7	251.7 ± 90.1	4.6 ± 9.1	19.5 ± 30.6	248.7 ± 95.1	14.1 ± 9.4	8.2 ± 4.8	90.2 ± 39.1
负荷试验后	18	2.6 ± 3.0	64.5 ± 24.6	11.3 ± 15.0	-21.8 ± 12.2	280.1 ± 84.3	9.6 ± 8.9	27.7 ± 43.5	283.7 ± 85.1	8.9 ± 4.7	5.1 ± 1.7	113.2 ± 42.5
t 值		-0.362	-1.729	-0.497	-2.021	-3.071	-2.549	-2.635	-3.169	-3.071	-3.288	-3.207
P 值		0.721	0.102	0.625	0.059	0.002	0.011	0.008	0.006	0.002	0.001	0.005

表 4 PD 伴 FOG 患者 UPDRS-III 评分与可穿戴设备运动参数的相关性分析

	因素	r 值	P 值
起立过程	躯干矢状面峰值角速度	-0.401	0.002
行走过程	左右小腿角速度峰值	-0.339	0.011
	严重侧小腿角速度峰值	-0.333	0.012
转向过程	峰值角速度	-0.396	0.003

旋多巴药物前后的震颤、运动迟缓及步态障碍等方面与临床量表有较好的一致性^[7-9]。但目前可穿戴设备类型、节点数量及放置位置、数据处理方式等方面没有统一标准,研究结果缺少可比性^[10]。与一些采用如手臂旋前、旋后、跺脚等特定动作进行数据收集的研究不同^[11-12],本研究采用了 TUG 试验,即一种涵盖步态、转弯和平衡等轴向运动的组合,可反映患者的行动能力、平衡能力、行走能力和跌倒风险,已广泛用于 PD 伴 FOG 患者运动症状的评估^[13]。同时,为获取更多数据并进行更全面的评估,本研究采用更多数量的传感器,研究部位涵盖躯干和四肢。

美多芭作为 PD 治疗中最有效的对症治疗药物,可明显改善运动症状^[14-16]。本研究中两组患者在负荷试验后 UPDRS-III 评分均较负荷试验前显著降低,显示美多芭可改善患者运动表现,UPDRS 量表的数据变化可反映服用美多芭负荷试验前、后的运动状态改变。PD-FOG 组患者 UPDRS-III 评分改变量和改变率均显著高于非 PD-FOG 组,表明 PD 患者对美多芭有更加良好的反应性,PD 和其他非 PD 的帕金森综合征可通过 UPDRS 评分的改善率进行一定程度的区分。

与年龄匹配的健康成人相比,在 PD 的早期阶段,患者的步速变慢、步长缩短^[17-19],同时 PD 患者复杂运动任务的表现也受到影响,如转向中的角速度降低^[20]。随着疾病进展,运动速率会继续减慢且肢体不对称性会降低^[17-18]。本研究结果发现,在 PD 伴 FOG 患者中,起立过程躯干矢状面峰值角速度、行走过程左右小腿角速度峰值、严重侧小腿角速度峰值及转向过程中峰值角速度随运动症状逐渐加重而降低。

FOG 常出现在患者起步、转弯、接近目标及遇见障碍物等情况下,因此起立和转向过程中的运动参数可较好反映患者的 FOG。本研究中 PD 伴 FOG 患者行走和转向中部分参数的改善及摆动相、支撑相相对偏差降低,表明美多芭可改善其行走步态,包括运动速度和行走转向中的运动幅度及症状严重侧运动表现。以上指标或可用于评估 PD 伴 FOG 患者对左旋多巴的药物反应性。相关研究同样发现左旋多巴治疗可改善 PD 患者运动迟缓,其中包括步态的速度、幅度^[21-22]及转弯速度^[22]均明显增加,而往返运动中转身时间^[23]及支撑相时长会明显减少^[24]。

本研究的局限在于仅采集患者服药后 1 h 的运动数据并进行分析,可能并非患者症状获得最大改善时数据,其次样本例数有限,结果缺少代表性。未来研究将通过纳入更多患者,并探索采用更加贴近真实生活的试验场景对患者进行长期数据收集,提高研究准确性,从而为实现疾病的精准诊治提供更加有益的实践。

参 考 文 献

- [1] Kalia LV, Lang AE. Parkinson's disease [J]. Lancet, 2015, 386 (9996):896-912.
- [2] 杨晓梅,徐岩,孙圣刚,等. 帕金森病实施个体化运动处方的建议 [J]. 临床内科杂志, 2021, 38(3):208-210.
- [3] Josiah AF, Gruber-Baldini AL, Anderson KE, et al. The effects of gait impairment with and without freezing of gait in Parkinson's disease [J]. Parkinsonism Relat Disord, 2012, 18(3):239-242.
- [4] Lu R, Xu Y, Li X, et al. Evaluation of Wearable Sensor Devices in Parkinson's Disease: A Review of Current Status and Future Prospects [J]. Parkinson's Dis, 2020, 2020:4693019.
- [5] Espay AJ, Bonato P, Nahab FB, et al. Technology in Parkinson's disease: Challenges and opportunities [J]. Mov Disord, 2016, 31(9):1272-1282.
- [6] Postuma RB, Berg D, Stern M, et al. MDS clinical diagnostic criteria for Parkinson's disease [J]. Mov Disord, 2015, 30(12):1591-1601.
- [7] Monje MHG, Foffani G, Obeso J, et al. New Sensor and Wearable Technologies to Aid in the Diagnosis and Treatment Monitoring of Parkinson's Disease [J]. Annu Rev Biomed Eng, 2019, 21:111-143.
- [8] Stack E, Agarwal V, King R, et al. Identifying balance impairments in people with Parkinson's disease using video and wearable sensors [J]. Gait Posture, 2018, 62:321-326.
- [9] Kim HB, Lee WW, Kim A, et al. Wrist sensor-based tremor severity quantification in Parkinson's disease using convolutional neural network [J]. Comput Biol Med, 2018, 95:140-146.
- [10] Brognara L, Palumbo P, Grimm B, et al. Assessing Gait in Parkinson's Disease Using Wearable Motion Sensors: A Systematic Review [J]. Dis-eases, 2019, 7(1):18.
- [11] 张平辰,高超,陈生弟. 可穿戴设备在帕金森病诊治中的应用 [J]. 中华老年医学杂志, 2019, 38(1):91-95.
- [12] Delrobaei M, Tran S, Gilmore G, et al. Characterization of multi-joint upper limb movements in a single task to assess bradykinesia [J]. J Neurol Sci, 2016, 368:337-342.
- [13] Zampieri C, Salarián A, Carlson-Kuhta P, et al. The instrumented timed up and go test: potential outcome measure for disease modifying therapies in Parkinson's disease [J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 2010, 81(2):171-176.
- [14] 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.
- [15] 杜广清,方伯言,刘爱贤,等. 帕金森病患者康复治疗药物利用研究 [J]. 中国医药, 2020, 15(11):1790-1794.
- [16] 贝笋,龙登毅,龙发青,等. 多巴丝联联合普拉克索治疗老年帕金森病疗效 [J]. 临床军医杂志, 2021, 49(7):776-777, 779.
- [17] Albani G, Cimolin V, Fasano A, et al. "Masters and servants" in parkinsonian gait: a three-dimensional analysis of biomechanical changes sensitive to disease progression [J]. Funct Neurol, 2014, 29(2):99-105.
- [18] Galna B, Lord S, Burn DJ, et al. Progression of gait dysfunction in incident Parkinson's disease: impact of medication and phenotype [J]. Mov Disord, 2015, 30(3):359-367.
- [19] Pistacchi M, Gioulis M, Sanson F, et al. Gait analysis and clinical correlations in early Parkinson's disease [J]. Funct Neurol, 2017, 32(1):28-34.
- [20] Djurić-Jovičić M, Belić M, Stanković I, et al. Selection of gait parameters for differential diagnostics of patients with de novo Parkinson's disease [J]. Neurol Res, 2017, 39(10):853-861.
- [21] Sterling NW, Cusumano JP, Shaham N, et al. Dopaminergic modulation of arm swing during gait among Parkinson's disease patients [J]. J Parkinson's Dis, 2015, 5(1):141-150.
- [22] Curtze C, Nutt JG, Carlson-Kuhta P, et al. Levodopa Is a Double-Edged Sword for Balance and Gait in People With Parkinson's Disease [J]. Mov Disord, 2015, 30(10):1361-1370.
- [23] 蒋顶,龚大伟,罗回春,等. 帕金森病患者运动迟缓症状的定量评估 [J]. 临床神经外科杂志, 2018, 15(2):95-101.
- [24] Mirelman A, Bonato P, Camicioli R, et al. Gait impairments in Parkinson's disease [J]. Lancet Neurol, 2019, 18(7):697-708.

(收稿日期:2022-04-28)

(本文编辑:高婷)