

下肢康复机器人联合康复锻炼治疗脑卒中患者步行障碍的效果观察

陈虹敏, 何小俊

(武汉大学人民医院国际医疗部 湖北 武汉 430000)

摘要 **目的:** 探讨下肢康复机器人联合康复锻炼治疗脑卒中患者步行障碍的效果。**方法:** 使用随机分配法, 将 2021 年 1 月—2023 年 12 月武汉大学人民医院收治的 190 例脑卒中患者分为对照组和研究组, 对照组在常规功能锻炼基础上联合康复锻炼, 研究组在对照组基础上增加下肢康复机器人治疗, 对比两组患者 6 min 步行试验 (6MWT) 步行距离以及 Berg 平衡量表 (BBS)、Fugl-Meyer 运动功能评分量表 (FMA)、改良 Rankin 量表 (mRS)、美国国立卫生研究院卒中量表 (NIHSS) 评分。**结果:** 干预后研究组患者 6MWT 步行距离高于对照组, BBS、FMA 评分高于对照组, mRS、NIHSS 评分低于对照组 ($P<0.05$)。**结论:** 脑卒中患者行康复锻炼联合下肢康复机器人辅助训练, 能明显改善患者预后下肢运动功能、神经功能及平衡状态, 对于改善患者步行障碍具有积极意义。

关键词 康复锻炼; 下肢康复机器人; 脑卒中; 步行障碍

中图分类号 R743.3 R496 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2025) 02-0271-05

Effect of rehabilitation exercise combining with lower limb rehabilitation robot in the treatment of walking disorders in stroke patients

CHEN Hongmin, HE Xiaojun

(International Medical Department, People's Hospital of Wuhan University, Wuhan 430000, China)

Abstract **Objective:** To explore the effect of rehabilitation exercise combining with lower limb rehabilitation robot in the treatment of walking disorders in stroke patients. **Methods:** 190 stroke patients who were admitted to the People's Hospital of Wuhan University from January 2021 to December 2023 were divided into the control group and the study group using the random allocation method. The control group received conventional functional exercise combined with rehabilitation exercise, while the study group received lower limb rehabilitation robot treatment on the basis of the control group. The 6-Minute Walking Test (6MWT) walking distance, scores of Berg Balance Scale (BBS), Fugl-Meyer Assessment (FMA), Modified Rankin Scale (mRS), and National Institute of Health Stroke Scale (NIHSS) were compared between the two groups. **Results:** After intervention, the patients in the study group had longer 6MWT walking distance, higher BBS and FMA scores, lower mRS and NIHSS scores than those in the control group. **Conclusion:** Rehabilitation exercise combining with lower limb rehabilitation robot-assisted training can significantly improve lower limb motor function, neurological function and balance of stroke patients, which is of positive significance for improving patients' walking disorders.

Key words Rehabilitation Exercise; Lower Limb Rehabilitation Robot; Stroke; Walking Disorder

脑卒中作为一种常见脑血管疾病, 具有较高的致残率。据调查^[1], 80% 左右的脑卒中患者发病后会伴随不同程度的肢体功能障碍, 步行功能障碍最为常见, 不仅会影响患者的生活能力、生活方式的参与形式, 还会影响患者整体预后质量。常规功能锻炼虽然能够在一定程度上帮助患者恢复一些受损的功能, 但是需要一个长期的过程, 还可能因缺乏专业性指导而面临二次伤害, 干预效果并不理想^[2]。

基金项目: 湖北省重点实验室开放项目 (2022KFH005)

Foundation Item: Key Laboratory Open Program of Hubei Province (2022KFH005)

引用格式: 陈虹敏, 何小俊. 下肢康复机器人联合康复锻炼治疗脑卒中患者步行障碍的效果观察 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2025, 6 (2): 271-275.

Citation: CHEN H M, HE X J. Effect of rehabilitation exercise combining with lower limb rehabilitation robot in the treatment of walking disorders in stroke patients[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(2): 271-275.

通讯作者 (Corresponding Author): 何小俊 (HE Xiaojun), Email: 2596353485@qq.com

而康复训练可以提供系统性的训练项目,针对性地进行患者缺失功能的训练^[3],但临床效果受患者依从性及既往运动能力的影响。下肢康复机器人辅助训练是一种新型训练模式,能够为患者提供系统、安全、可靠且重复稳定性的定量运动锻炼内容,一方面能够帮助患者进行早期步行康复训练,对于脑部受损神经功能恢复、大脑皮层神经元功能重组发挥积极作用;另一方面还可参照患者实际情况,制定或提供各种适宜的训练场景以及训练方式,为患者康复训练提供所需内容^[4]。本研究特针对康复锻炼联合下肢康复机器人治疗脑卒中患者步行障碍的效果展开分析,报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 根据随机分配法将2021年1月—2023年12月于武汉大学人民医院收治的190例脑卒中患者分为研究组和对照组,每组95例。纳入标准:①年龄40~65岁;②经影像学诊断,明确存在卒中病灶;③临床指标及影像学资料符合国内脑血管病学会制定的脑卒中诊断要求^[5-6];④患者知情本次研究并签署相关文件。排除标准:①合并精神系统疾病者;②因意识障碍、语言障碍、视听障碍等无法正常沟通者;③存在骨折、下肢残疾者;④心肝肾等器官器质性病变者;⑤合并高血压、糖尿病者;⑥既往存在卒中合并偏瘫者。患者一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性(见表1)。本研究经医院伦理委员会审核通过。

1.2 方法 对照组在常规功能锻炼基础上联合康复锻炼,对患侧下肢进行持重训练、屈膝训练、站立状态下平衡训练、背屈踝关节训练、膝关节稳定性训练以及相应关节的控制训练、转移训练等,依照患者恢复实际情况逐步增加步行以及轮椅驱动训练,

训练频率为30~50分钟/次,2次/天,5~6次/周,连续进行3周,康复锻炼必须在护理人员或患者家属陪同下进行。

研究组在对照组基础上增加下肢康复机器人辅助训练。本研究使用的下肢康复机器人训练系统(江苏天瑞仪器股份有限公司)由外骨骼矫正器等构成,护理人员须依照患者实际情况制定针对性的治疗计划,依照患者个体差异对系统参数设定进行相应调整,帮助患者站立在机器人运动跑步台上完成正常行走及原地踏步两种锻炼项目,明确患者治疗强度,其中步行速度为1.5~2.5 km/h,步行持续时间控制在20~30 min,减重支持可调节为30%~50%,引导力量设定为30%~90%,1次/天,5~6次/周,连续进行3周。

1.3 观察指标 ①6 min步行试验(6-Minute Walking Test, 6MWT)^[7]:于干预前后评估患者下肢行走能力,以30 m平坦地面的直线距离为测试依据,做好对应标记,患者以自身实际情况进行往返走动,记录患者步行距离,步行距离越长说明行走能力越好。②Berg平衡量表(Berg Balance Scale, BBS)^[8]:于干预前后评估患者平衡状态,量表主要涵盖14个项目,每个项目最高得分4分,总分56分,分数越高患者平衡力越好,低于40分表示患者存在跌倒高风险。③Fugl-Meyer运动功能评分量表(Fugl-Meyer Assessment, FMA)^[9]:于干预前后评估患者下肢运动功能情况,FMA中的下肢运动量表满分为34分,分数与患者下肢运动功能呈正相关。④改良Rankin量表(Modified Rankin Scale, mRS)^[10]:评估患者神经功能康复结果。量表总分为6分,分数与神经功能状况呈负相关,分数越高神经功能预后越差。⑤美国国立卫生研究院卒中量表(National Institute of Health Stroke Scale, NIHSS)^[11]:于干预

表1 两组患者一般资料比较 [$\bar{x} \pm s, n(\%)$]

Table 1 Comparison of general data between the two groups of patients [$\bar{x} \pm s, n(\%)$]

组别 (n=95)	平均年龄 (岁)	性别		卒中类型		平均病程 (月)
		男	女	脑梗死	脑出血	
对照组	49.22 ± 3.15	52 (54.74)	43 (45.26)	51 (53.68)	44 (46.32)	3.21 ± 0.31
研究组	49.03 ± 3.29	50 (52.63)	45 (47.37)	52 (54.74)	43 (45.26)	3.22 ± 0.30
t/ χ^2 值	0.407	0.085		0.363		0.226
P 值	0.685	0.771		0.547		0.822

前后评估患者的神经功能状况。量表包含 12 个项目，总分为 42 分，分数与神经功能状况呈负相关，分数越高表示神经功能受损越严重。

1.4 统计学方法 所有数据均采用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析，符合正态分布的计量资料以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示，组间比较采用独立样本 t 检验；计数资料以例数 (百分比) [n (%)] 表示，采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 6MWT 步行距离 干预前两组患者 6 min 步行距离比较，差异无统计学意义 ($P > 0.05$)；干预后两组患者步行距离均高于治疗前，且研究组患者步行距离高于对照组，差异有统计学意义 ($P < 0.05$)，见表 2。

2.2 BBS 评分与 FMA 评分 干预前两组患者 BBS、FMA 评分比较，差异无统计学意义 ($P > 0.05$)；

干预后两组患者 BBS、FMA 评分均高于治疗前，且研究组评分均高于对照组，差异有统计学意义 ($P < 0.05$)，见表 3。

2.3 神经功能评分 干预前两组患者 mRS、NIHSS 评分比较，差异无统计学意义 ($P > 0.05$)；干预后两组患者 mRS、NIHSS 评分均低于治疗前，且研究组患者评分均低于对照组，差异有统计学意义 ($P < 0.05$)，见表 4。

3 讨论

脑卒中患者因内外部因素导致脑血管突然破裂或闭塞，迫使脑部血液供应中断，造成脑组织缺氧缺血，大部分患者经科学、及时、有效的治疗后虽可脱离生命危险，但是预后仍伴随运动功能障碍，影响其生活自理能力及身心健康，同时还给患者的家庭带来极为沉重的压力^[12]。脑卒中患者步行障碍是指由于脑卒中导致神经系统功能障碍，影响患者

表 2 两组患者 6MWT 步行距离比较 ($m, \bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of 6MWT walking distance between the two groups of patients ($m, \bar{x} \pm s$)

组别 ($n=95$)	干预前	干预后	t 值	P 值
对照组	209.76 \pm 10.29	244.78 \pm 8.26	25.868	0.000
研究组	207.45 \pm 12.24	285.43 \pm 7.93	52.115	0.000
t 值	1.408	51.626	—	—
P 值	0.161	0.000	—	—

表 3 两组患者 BBS 与 FMA 评分比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 3 Comparison of BBS and FMA scores between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

组别 ($n=95$)	BBS 评分		t 值	P 值	FMA 评分		t 值	P 值
	干预前	干预后			干预前	干预后		
对照组	15.07 \pm 4.38	25.87 \pm 1.86	22.121	0.000	18.27 \pm 5.33	26.06 \pm 1.23	47.293	0.000
研究组	13.96 \pm 3.76	32.28 \pm 1.06	45.708	0.000	16.94 \pm 4.67	30.29 \pm 1.20	26.986	0.000
t 值	1.874	29.183	—	—	1.829	23.993	—	—
P 值	0.063	0.000	—	—	0.069	0.000	—	—

表 4 两组患者 mRS 与 NIHSS 评分比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 4 Comparison of mRS and NIHSS scores between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

组别 ($n=95$)	mRS 评分		t 值	P 值	NIHSS 评分		t 值	P 值
	干预前	干预后			干预前	干预后		
对照组	3.27 \pm 0.32	2.68 \pm 0.21	15.024	0.000	23.87 \pm 4.47	15.83 \pm 1.29	16.844	0.000
研究组	3.31 \pm 0.35	2.11 \pm 0.17	30.059	0.000	22.69 \pm 3.79	10.87 \pm 1.22	28.735	0.000
t 值	0.822	20.562	—	—	1.963	27.228	—	—
P 值	0.412	0.000	—	—	0.051	0.000	—	—

的步行能力和平衡能力的情况^[13]。脑卒中后患者可能出现肢体无力、肌肉痉挛、协调能力下降等症状，影响患者步行功能^[14]。临床干预多给予患者相应的健康宣教以及康复锻炼指导。当脑卒中患者生命体征趋于稳定状态时开展相应的康复训练，有利于患者脑部血管再生，强化肌力，提升患者肢体功能，减轻功能损伤程度。目前干预方案多样，康复机器人训练系统、运动疗法、针灸、推拿、牵引以及矫正器等方式，均为患者预后恢复提供新的思路^[15]。

本研究数据显示，干预后两组患者 6MWT 步行距离均高于治疗前，且研究组高于对照组。马凯敏等人^[16]关于脑卒中患者的研究指出，接受下肢康复机器人联合电针干预的研究组患者 6 min 步行距离明显高于常规康复训练组，与本研究结果一致。分析认为，下肢康复机器人属于一种智能化、便捷化、个性化操作体系，能够依照患者实际情况进行综合分析，通过被动训练、主动辅助式训练、抗阻运动以及双手镜像运动等训练体系开展相关康复锻炼干预，以达到提升患者运动功能，缓解运动障碍的目的。下肢康复机器人联合康复锻炼不仅能对患者开展被动以及主动训练，还可间接刺激大脑相应活动区间，调动大脑内部神经元，激活相应运动记忆，模拟正常人行走状态，以一种智能化、稳定性、系统性的状态提供长期的运动输出，因训练过程接近生理步态，患者接受度更高，利于锻炼长久性、可持续性^[17]。

本研究数据显示，干预后两组患者 BBS、FMA 评分均高于治疗前，且研究组评分高于对照组。程泉等人^[18]对脑卒中偏瘫患者的相关分析中指出，接受镜像疗法联合下肢康复机器人治疗的研究组患者平衡状态评分以及下肢运动功能评分明显高于常规康复训练组，与本研究结果一致。本研究着重锻炼患者下肢步行能力，对研究组患者进行下肢康复机器人辅助步行训练，配合康复锻炼中的步行训练，根据患者的情况及时调整训练参数以及强度，有效改善患者下肢功能，促使下肢平衡状态得以恢复。因此可认为康复锻炼联合下肢康复机器人治疗可显著改善患者下肢功能，利于恢复患者下肢稳定性。下肢康复机器人训练系统中的减重支持系统能为患者的躯干以及骨盆稳定性提供较好的支持，患者可尽快控制腿部肌肉，改善下肢运动自控力，确保步

行速度及耐力，尽早完成步行训练^[19]。稳定性是下肢平衡力的关键，提升核心稳定性能够进一步改善患者下肢平衡，提高运动能力^[20]。

本研究数据显示，干预后两组患者 mRS、NIHSS 评分均低于治疗前，且研究组评分低于对照组。吴李秀等人^[21]在脑卒中偏瘫患者的研究中指出，经下肢康复机器人配合肌电生物反馈治疗后患者的神经功能恢复情况高于常规康复组，与本研究结果一致。分析认为，康复锻炼联合下肢康复机器人在脑卒中患者康复中发挥重要作用。该方法通过促进脑卒中患者被动运动，持续刺激患侧肢体，并将这些刺激通过神经反馈机制传递至脑部受损功能区。两种方式的联合干预可激活受损的功能区及相关神经通路，进而恢复或重建这些区域对肢体运动的控制能力^[22]。通过联合干预，还能提高神经冲动的传递效率，扩大训练部位对应的脑部功能区，并增强患者功能区神经细胞的活性，从而显著改善神经功能^[23]。这种综合性干预对于促进神经功能的恢复和重建具有积极作用^[24]。

综上所述，脑卒中患者行康复锻炼联合下肢康复机器人辅助训练，能明显改善患者预后下肢运动功能、神经功能及平衡状态，对于改善患者步行障碍具有积极意义。

利益冲突声明：本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明：陈虹敏负责设计论文框架，起草论文，实验操作，研究过程的实施，数据收集，统计学分析，绘制表格；何小俊负责论文修改，拟定写作思路，指导撰写文章并最后定稿。

参考文献

- [1] Afridi A, Malik A N, Rathore F A. Task oriented training for stroke rehabilitation: a mini review[J]. J Pak Med Assoc, 2023, 73(11): 2295–2297.
- [2] Moon Y, Bae Y. The effect of backward walking observational training on gait parameters and balance in chronic stroke: randomized controlled study[J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2022, 58(1): 9–15.
- [3] Inoue S, Otaka Y, Kumagai M, et al. Effects of balance exercise assist robot training for patients with hemiparetic stroke: a randomized controlled trial[J]. J Neuroeng Rehabil, 2022, 19(1): 12.
- [4] Miyagawa D, Matsushima A, Maruyama Y, et al. Gait training with a wearable powered robot during stroke rehabilitation: a randomized parallel-group trial[J]. J Neuroeng Rehabil, 2023, 20(1): 54.
- [5] 中华医学会神经病学分会，中华医学会神经病学分会脑血管病学组．中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018[J]．中华神经科杂志，2018，51(9): 666–682.
- [6] 中华医学会神经病学分会，中华医学会神经病学分会脑血管病学组．中国脑出血诊治指南 (2019)[J]．中华神经科杂志，2019，52(12): 994–1005.
- [7] Guyant G H, Sullivam M J, Thompson P J, et al. The 6-minute walk: a new measure of exercise capacity in patients with chronic heart failure[J]. Can

- Med Assoc J, 1985, 132(8): 919-923.
- [8] Berg K O, Wood-Dauphinee S L, Williams J I, et al. Measuring balance in the elderly: validation of an instrument[J]. *Cam J Public Health*, 1992, 83 Suppl 2: S7-S11.
- [9] Hernández E D, Forero S M, Galeano C P, et al. Intra-and inter-rater reliability of Fugl-Meyer assessment of lower extremity early after stroke[J]. *Braz J Phys Ther*, 2021, 25(6): 709-718.
- [10] Haggag H, Hodgson C. Clinimetrics: Modified rankin scale (mRS)[J]. *J Physiother*, 2022, 68(4): 281.
- [11] Kwah L K, Diong J. National institutes of health stroke scale (NIHSS)[J]. *J Physiother*, 2014, 60(1): 61.
- [12] 王晓铃, 马颖, 华永萍, 等. 骨盆带控制联合下肢康复机器人辅助对老年卒中偏瘫病人平衡功能和步行效率的影响[J]. *实用老年医学*, 2022, 36(7): 706-709, 714.
- [13] 杨玲玲, 刘津, 蔡华安. 下肢康复机器人在卒中步态康复中的应用进展[J]. *实用医院临床杂志*, 2022, 19(2): 221-224.
- [14] DENG Y, ZHANG Y, LIU L, et al. Robot-assisted gait training plan for patients in poststroke recovery period: a single blind randomized controlled trial[J]. *Biomed Res Int*, 2021: 5820304. DOI: 10.1155/2021/5820304.
- [15] 任延妍. 卒中偏瘫患者早期中西医结合康复护理研究进展[J]. *山西医药杂志*, 2021, 50(13): 2036-2038.
- [16] 马凯敏, 朱慧梅, 陈伟东. 下肢康复机器人联合电针对卒中患者肢体和神经功能康复的影响[J]. *中国现代医生*, 2023, 61(17): 64-67, 80.
- [17] de Miguel-Fernández J, Lobo-Prat J, Prinsen E, et al. Control strategies used in lower limb exoskeletons for gait rehabilitation after brain injury: a systematic review and analysis of clinical effectiveness[J]. *J Neuneng Rehabil*, 2023, 20(1): 23.
- [18] 程泉, 杨威, 陈林, 等. 镜像疗法联合下肢康复机器人治疗对卒中偏瘫患者下肢运动和平衡功能的影响[J]. *浙江中西医结合杂志*, 2021, 31(12): 1118-1121.
- [19] Aprile I, Conte C, Cruciani A, et al. Efficacy of robot-assisted gait training combined with robotic balance training in subacute stroke patients: a randomized clinical trial[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(17):5162.
- [20] Kim K T, Choi Y, Cho J H, et al. Feasibility and usability of a robot-assisted complex upper and lower limb rehabilitation system in patients with stroke: a pilot study[J]. *Ann Rehabil Med*, 2023, 47(2): 108-117.
- [21] 吴李秀, 余旭芳, 戴梦圆, 等. 下肢康复机器人配合肌电生物反馈治疗对卒中偏瘫患者下肢运动功能的影响[J]. *中国现代医生*, 2020, 58(4): 72-75.
- [22] Tanaka N, Yano H, Ebata Y, et al. Influence of robot-assisted gait training on lower-limb muscle activity in patients with stroke: comparison with conventional gait training[J]. *Ann Rehabil Med*, 2023, 47(3): 205-213.
- [23] LIN Y N, HUANG S W, KUAN Y C, et al. Hybrid robot-assisted gait training for motor function in subacute stroke: a single-blind randomized controlled trial[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2022, 19(1): 99.
- [24] WANG W C, Yeh C Y, HUANG J J, et al. Synergic effect of robot-assisted rehabilitation and antispasticity therapy: a narrative review[J]. *Life(Basel)*, 2023, 13(2): 252.

收稿日期: 2024-05-22

编辑: 张笑嫣

(上接 270 页)

- [7] 康海琼, 周红俊, 刘根林, 等. 脊髓损伤神经学分类国际标准检查表 2019 版最新修订及解读[J]. *中国康复理论与实践*, 2019, 25(8): 983-985.
- [8] 王月光, 穆晓红, 蒋昇源, 等. 急性脊髓损伤患者早期血清标志物与 AISA 分级的相关性[J]. *中国组织工程研究*, 2024, 28(34): 5494-5499.
- [9] 符彩萍, 吴家欣, 张军, 等. 高压氧联合康复训练对老年脊髓损伤患者受损神经功能的影响[J]. *中国老年学杂志*, 2023, 43(19): 4728-4731.
- [10] 陈瑶, 祁正亮, 王青, 等. 针刺结合增液承气汤对老年慢性功能性便秘患者临床症状及胃肠功能的影响[J]. *微循环学杂志*, 2024, 34(2): 25-30.
- [11] 张英, 彭芬芬, 郑翠玉, 等. 徒手肌力评估联合三级平衡评定指导下的康复运动方案在心脏术后患者康复中的应用[J]. *现代临床护理*, 2023, 22(6): 53-59.
- [12] Adegeest C Y, Ter Wengel P V, Peul W C. Traumatic spinal cord injury: acute phase treatment in critical care[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2023, 29(6): 659-665.
- [13] 伏徐徐, 彭玉慧. 激励理论联合协同干预对天玑骨科手术机器人治疗后的颈脊髓损伤患者功能康复和应对倾向的影响[J]. *机器人外科学杂志(中英文)*, 2024, 5(3): 459-465.
- [14] ZUO Y M, YE J J, CAI W X, et al. Controlled delivery of a neurotransmitter-agonist conjugate for functional recovery after severe spinal cord injury[J]. *Nat Nanotechnol*, 2023, 18(10): 1230-1240.
- [15] Kilgore K L, Anderson K D, Peckham P H. Neuroprosthesis for individuals with spinal cord injury[J]. *Neurol Res*, 2023, 45(10): 893-905.
- [16] Edwards D J, Forrest G, Cortes M, et al. Walking improvement in chronic incomplete spinal cord injury with exoskeleton robotic training (WISE): a randomized controlled trial[J]. *Spinal Cord*, 2022, 60(6): 522-532.
- [17] 洪雅晴, 刘铨权, 张清芳, 等. 下肢外骨骼机器人对卒中患者时空步态影响的 Meta 分析[J]. *中国康复*, 2023, 38(12): 739-747.
- [18] 李希, 王秉翔, 李娜, 等. 下肢外骨骼机器人康复训练对卒中偏瘫患者下肢运动的影响[J]. *山东大学学报(医学版)*, 2023, 61(3): 121-126, 133.
- [19] 郭文静, 张勇, 邱纪方. 下肢外骨骼机器人在卒中恢复期患者步态康复中的应用研究进展[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2023, 45(11): 1035-1039.
- [20] 陈芳, 季晶, 苏彬, 等. 平地行走式下肢外骨骼机器人对卒中患者步行功能的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2022, 44(6): 497-502.
- [21] Rodríguez-Fernández A, Lobo-Prat J, Font-Llagunes J M. Systematic review on wearable lower-limb exoskeletons for gait training in neuromuscular impairments[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2021, 18(1): 22.
- [22] 胡晓敏. 从肠道菌群角度探讨外骨骼机器人辅助步行训练对脊髓损伤患者便秘症状的影响[D]. 成都: 成都中医药大学, 2021.
- [23] XIANG X N, ZONG H Y, OU Y, et al. Exoskeleton-assisted walking improves pulmonary function and walking parameters among individuals with spinal cord injury: a randomized controlled pilot study[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2021, 8(1): 86.
- [24] Postol N, Spratt N J, Bivard A, et al. Physiotherapy using a free-standing robotic exoskeleton for patients with spinal cord injury: a feasibility study[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2021, 18(1): 180.
- [25] 刘勇. 脊髓损伤康复的临床策略[J]. *大连医科大学学报*, 2024, 46(1): 1-8.
- [26] 曹烈虎, 魏文强, 张永琪, 等. 《创伤性脊柱脊髓损伤康复治疗专家共识(2020版)》解读[J]. *上海医药*, 2024, 45(10): 1-5.
- [27] 许文, 张曼, 武端. 脊髓损伤康复患者同侪训练方案的设计及应用研究[J]. *护士进修杂志*, 2024, 39(1): 47-51.
- [28] 牛文鑫, 单绵佳, 齐燕, 等. 脊髓损伤康复中的支撑-驱动生物力学问题[J]. *同济大学学报(医学版)*, 2021, 42(5): 581-588.
- [29] 杜燕宣, 李金波. 可穿戴设备在脊髓损伤康复中的应用及发展现状[J]. *中国康复*, 2022, 37(3): 183-188.
- [30] 黄露, 韩杉, 罗莉莉, 等. 下肢康复机器人联合 VR 技术在脊髓损伤患者中的应用[J]. *贵州医药*, 2024, 48(7): 1087-1089.

收稿日期: 2024-08-09

编辑: 崔明瑶