

## 下肢外骨骼机器人在脑卒中偏瘫患者康复中的应用及效果观察

戚朋顺<sup>1</sup>, 徐亚宁<sup>2</sup>, 耿兵将<sup>3</sup>, 高丽<sup>3</sup>

(衡水市中医医院 1. 医学设备科; 2. 脑病科; 3. 推拿康复科 河北 衡水 053000)

**摘要** **目的:** 分析下肢外骨骼机器人在脑卒中偏瘫康复治疗中的应用价值。**方法:** 采用前瞻性研究方法, 选取 2021 年 1 月—2023 年 5 月衡水市中医医院收治的 86 例脑卒中偏瘫患者作为研究对象, 依据随机数表法将患者分为试验组和对照组。对照组 43 例患者予常规康复, 试验组 43 例患者予下肢外骨骼机器人干预。两组患者均接受 8 周治疗。比较两组患者的步行功能、运动功能及治疗满意度。**结果:** 6 min 步行试验(6MWT)、10 m 步行测试(10MWT)主体内效应( $F_{\text{时点}}$ 、 $F_{\text{交互}}$ )、主体间效应( $F_{\text{组间}}$ )比较, 差异有统计学意义( $P<0.05$ )。6MWT、10MWT 有随时间变化趋势, 且组间存在差异。治疗 2 周、4 周、8 周, 试验组的 6MWT 和 10MWT 结果均优于对照组( $P<0.05$ )。与对照组相比, 治疗后试验组的步行功能更理想( $P<0.05$ ), Berg 平衡量表(BBS)评分更高, 步频、步速更快( $P<0.05$ )。试验组总满意度较对照组更好( $P<0.05$ )。**结论:** 与常规康复干预相比, 下肢外骨骼机器人能更好地改善脑卒中偏瘫患者步行功能, 有助于提高患者治疗满意度。

**关键词** 下肢外骨骼机器人; 脑卒中; 偏瘫; 康复

**中图分类号** R608 R493 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2024) 06-1124-06

## Application effect of lower limb exoskeleton robot on rehabilitation of stroke patients with hemiplegia

QI Pengshun<sup>1</sup>, XU Yaning<sup>2</sup>, GENG Bingjiang<sup>3</sup>, GAO Li<sup>3</sup>

(1. Medical Equipment Department; 2. Department of Encephalopathy; 3. Tuina Rehabilitation Department, Hengshui Traditional Chinese Medicine Hospital, Hengshui 053000, China)

**Abstract** **Objective:** To explore the effect of lower limb exoskeleton robot on rehabilitation of stroke patients with hemiplegia. **Methods:** A prospective study was performed on 86 stroke patients with hemiplegia who were treated in Hengshui Traditional Chinese Medicine Hospital from January 2021 to May 2023. The patients were divided into the experimental group ( $n=43$ ) and the control group ( $n=43$ ) using a random number table. The control group received routine rehabilitation intervention, while the experimental group received lower limb exoskeleton robot-assisted rehabilitation intervention. The two groups were both treated for 8 weeks. The walking function, motor function and treatment satisfaction of the two groups were compared. **Results:** There were statistically significant differences in the intra-subject effects ( $F_{\text{timepoint}}$ ,  $F_{\text{interaction}}$ ) and inter-subject effects ( $F_{\text{intergroup}}$ ) of 6-minute walk test (6MWT) and 10-meter walk test (10MWT) between the two groups of patients ( $P<0.05$ ). 6MWT and 10MWT results showed a trend of change with time, and there were differences among groups. After 2 weeks, 4 weeks and 8 weeks of treatment, the results of 6MWT and 10MWT in the experimental group was better than those in the control group ( $P<0.05$ ). After treatment, the Holden walking function grade of experimental group was significantly better than that of the control group ( $P<0.05$ ), the Berg balance scale (BBS) score, stride frequency and stride speed of the experimental group were higher than those of the control group ( $P<0.05$ ). The total satisfaction rate was higher in the experimental group than that in the control group ( $P<0.05$ ). **Conclusion:** Compared with the conventional rehabilitation intervention, the lower limb exoskeleton robot can better improve the walking function and treatment satisfaction of stroke patients with hemiplegia.

**Key words** Lower Limb Exoskeleton Robot; Stroke; Hemiplegia; Rehabilitation

收稿日期: 2023-12-28 录用日期: 2024-01-09

Received Date: 2023-12-28 Accepted Date: 2024-01-09

通讯作者: 耿兵将, Email: 704213199@qq.com

Corresponding Author: GENG Bingjiang, Email: 704213199@qq.com

引用格式: 戚朋顺, 徐亚宁, 耿兵将, 等. 下肢外骨骼机器人在脑卒中偏瘫患者康复中的应用及效果观察[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2024, 5(6): 1124-1129.

Citation: QI P S, XU Y N, GENG B J, et al. Application effect of lower limb exoskeleton robot on rehabilitation of stroke patients with hemiplegia[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2024, 5(6): 1124-1129.

脑卒中是一种急性脑血管疾病，由于脑部血管突然破裂或血管阻塞导致血液不能流入大脑而引起脑组织损伤，偏瘫是脑卒中常见的后遗症之一，对患者的生活质量造成严重影响<sup>[1-3]</sup>。传统的康复手段虽然有一定效果，但其治疗方法较为单一，缺乏个性化的方案，患者容易产生厌烦情绪，不利于治疗的继续<sup>[4]</sup>。随着机器人技术和智能控制技术的不断进步，下肢外骨骼机器人已经成为研究的热点<sup>[5]</sup>。这种机器人能够根据患者的实际情况进行个性化康复训练，帮助患者逐步恢复行走能力。尽管已有一些关于下肢外骨骼机器人在康复医学领域的研究，但其在脑卒中偏瘫患者的具体应用和效果评估方面仍存在不足<sup>[6-7]</sup>。因此，开展这一领域的研究，对于完善脑卒中偏瘫患者的康复治疗具有重要意义。基于此，本研究纳入 86 例脑卒中偏瘫患者，对比分析了下肢外骨骼机器人的应用价值，以期为脑卒中偏瘫患者提供更有效的康复手段，提高其生活质量，推动下肢外骨骼机器人在康复医学领域的进一步应用和发展。现将结果报道如下。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

采用前瞻性研究方法，选取 2021 年 1 月—2023 年 5 月本院收入的 86 例脑卒中偏瘫患者作为研究对象。纳入标准：①患者符合 2019 年发布的《中国各类主要脑血管病诊断要点》<sup>[8]</sup>中关于脑卒中的诊断标准；②属首次发病，入院后经 CT 或磁共振确诊；③年龄 >18 周岁；④生命体征平稳，可开展康复训练；⑤病程小于 1 年；⑥认知功能较好；⑦依从性较好，配合开展训练，签署知情同意书。排除标准：①合并关节功能障碍，合并骨质疏松或骨折等限制步行疾病；②合并严重心律失常、慢阻肺疾病；③有明显视觉或听觉功能异常；④存在下肢外骨骼机器人应用禁忌表现，如穿戴位置皮肤感染；⑤入组前 3 个月内有肌张力药物应用史。依据随机数表法，将患者分为试验组和对照组。对照组 43 例患者予常规康复，试验组 43 例患者予下肢外骨骼机器人干预。两组间一般资料比较，差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )，具有可比性，见表 1。

### 1.2 方法

两组患者生命体征均稳定，由同一

医生团队开展康复训练指导。

#### 1.2.1 对照组

由康复师辅助开展步行训练，避免出现人为治疗误差，主要包括步行训练、常规康复训练，二者频率保持在每天 1 次，每次 30 min，每周 6 次，持续 8 周（见表 2）。

#### 1.2.2 试验组

除对照组干预方式外，试验组采用深圳迈步机器人公司的 BEAR-H1 型下肢外骨骼机器人开展室内地面辅助步行训练。开始训练前，由康复师根据患者下肢长度及腰部宽度调整外骨骼机器人机械臂对应参数。由康复师辅助患者进行机器人穿戴，匹配患者个人信息（包括腿长、偏瘫位置等）。开始训练时，机器人通过采集患者健康侧步行及运动数据，实施人机交互，以镜像控制患侧机器臂镜像运动，下肢外骨骼机器人步行频率维持在 0.1~0.5 Hz，其助力等级有 1~5 级，在训练初期，设定频率为 0.3 Hz，后续由机器人根据患者步行条件及能力反馈调节至患者合适频率。试验组患者下肢外骨骼机器人辅助步行训练 30 min/d，每天 1 次，每周 6 次，连续治疗 8 周。

## 1.3 观察指标

### 1.3.1 步行测试

于治疗前、治疗 2 周、治疗 4 周、治疗 8 周采用 6 min 步行试验（6-minute Walk Test, 6MWT）、10 m 步行测试（10-metre Walk Test, 10MWT）评估患者步行功能。6MWT<sup>[9]</sup>：选择一个安静、开放的区域，长度适宜，标记出起始线和返回线。患者尽可能快地来回走，不要跑或走得太慢，在 6 min 内尽可能走得远，记录其行走的总距离。10MWT<sup>[10]</sup>：选择一个平坦、开放的区域，长度约 10 米。标记出起点线和终点线，让患者从起点线处开始行走，尽可能快地走过 10 米的距离，记录其走过 10 米所需的时间。

### 1.3.2 Holden 步行功能分级

于治疗前、治疗后评估患者 Holden 步行功能分级<sup>[11]</sup>，0 级表示患者不能步行或需 2 人以上协助；1 级表示患者需要 1 人连续不断地帮助才能行走；2 级表示患者需 1 人在旁以间断的接触身体的方式帮助行走，步行不安全；3 级表示患者需 1 人在旁监护或用言语指导，但不接触身体；4 级表示患者可在平地上独立步行，在楼梯或斜坡上行走需帮

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 [ $\bar{x} \pm s$ ,  $n$  (%) ]

指标	试验组 ( $n=43$ )	对照组 ( $n=43$ )	$t/\chi^2$ 值	$P$ 值
年龄 (岁)	61.23 ± 7.41	61.70 ± 7.96	-0.280	0.780
体质指数 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	21.01 ± 1.02	21.11 ± 1.15	-0.427	0.671
病程 (d)	87.28 ± 20.21	89.16 ± 22.47	-0.409	0.684
性别			0.191	0.662
男	24 (55.81)	26 (60.47)		
女	19 (44.19)	17 (39.53)		
偏瘫侧			0.047	0.829
左	23 (53.49)	24 (55.81)		
右	20 (46.51)	19 (44.19)		
卒中类型			0.063	0.802
脑出血	11 (25.58)	10 (23.26)		
脑缺血	32 (74.42)	33 (76.74)		

表 2 常规康复及步行训练的内容和方式

Table 2 Contents and methods of routine rehabilitation and walking training

训练项目	训练内容	训练方式
步行训练	负重	指导患者进行负重训练, 逐渐增加重量和难度。
	重心转移	指导患者进行重心转移训练, 包括前后左右四个方向的转移。
	地面步行	指导患者进行地面步行训练, 从原地踏步开始, 逐渐增加步数和速度。
	坐站	指导患者进行坐站训练, 从坐到站起来, 反复练习。
	平板	让患者在平板上行走, 可以调节平板的高度和倾斜度增加难度、强度。
	上下楼梯	指导患者进行上下楼梯训练, 从较矮的楼梯开始, 逐渐增加高度和难度。
常规康复训练	日常生活功能	指导患者进行日常生活技能训练, 如穿脱衣服、洗漱、进食、上厕所。
	体位转移	包括从床转移到轮椅, 从轮椅转移到马桶等。
	功能性电刺激	通过特定的电刺激设备, 刺激瘫痪的肌肉, 帮助肌肉收缩和活动。
	生物反馈	使用摄像头或传感器, 观察和纠正患者的姿势和动作。
	牵伸	由康复师或患者自己通过外部力量拉伸肌肉和关节, 同时患者主动收缩肌肉, 然后缓慢拉伸至最大范围。
	下肢肌力及关节活动	开展抗阻运动, 如蹲下、抬起等动作。

助; 5 级表示患者在任何地方都能独立步行。

**1.3.3 运动功能** 于治疗前、治疗后采用 Berg 平衡量表 (Berg Balance Scale, BBS)<sup>[12]</sup>、步频、步速来评估患者的运动功能。BBS 通过 14 个项目来评估患者的平衡能力。每个项目根据完成的质量分为 0~4 分, 总分为 56 分, 分数越高平衡越好。

**1.3.4 患者治疗满意度** 于治疗后采用科室自制问卷对患者进行满意度评估, 问卷含治疗效

果、服务态度、治疗专业性、治疗趣味性 4 个维度, 总分为 100 分。非常满意、满意、比较满意、不满意分别为 100~90 分、89~70 分、69~60 分、60 分以下。总满意数为非常满意、满意、比较满意数之和。

**1.4 统计学方法** 所有数据均采用 SPSS 22.0 统计学软件进行分析, 计数资料如性别、卒中类型、偏瘫侧、Holden 步行功能分级、治疗满意度用例数 (百分比) [ $n$  (%) ] 表示, 行  $\chi^2$  检验; 符

合正态分布的计量资料如年龄、病程、步行测试指标、运动功能指标用均数  $\pm$  标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示, 行  $t$  检验, 两组多时点比较采用重复测量方差分析, 以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。绘图用 GraphPad Prism 8 软件。

## 2 结果

**2.1 步行测试结果** 6MWT、10MWT 主体内效应 ( $F_{\text{时点}}$ 、 $F_{\text{交互}}$ )、主体间效应 ( $F_{\text{组间}}$ ) 比较, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 6MWT、10MWT 有随时间变化趋势, 且组间存在差异。治疗 2 周、4 周、8 周, 试验组的 6MWT、10MWT 结果优于对照组, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 3。

**2.2 Holden 步行功能分级** 治疗前, 两组患者 Holden 步行功能分级比较未见显著差异 ( $P > 0.05$ )。与对照组相比, 治疗后试验组的步行功能更理想, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 4。

**2.3 运动功能** 与对照组相比, 治疗后试验组 BBS 评分更高, 步频、步速更快, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 5。

**2.4 患者满意度** 与对照组相比, 试验组的患者总满意度更高, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 6。

## 3 讨论

脑卒中是一组突发的局部脑血液循环障碍引起神经功能障碍的疾病的总称, 会导致患者肢体瘫痪、肌肉萎缩和关节僵硬等<sup>[13]</sup>。传统的康复

治疗方法虽然有一定的效果, 但对于下肢功能的恢复仍然有限<sup>[14]</sup>。下肢外骨骼机器人作为一种新兴的康复治疗手段, 通过机械辅助和感觉刺激等方式, 帮助患者恢复下肢运动功能<sup>[15]</sup>。近年来, 随着人工智能、机器学习等技术的不断发展, 下肢外骨骼机器人逐渐实现了智能化、个性化、精准化的治疗。但国内外对于其在脑卒中偏瘫患者康复中的应用及效果观察研究还处于探索阶段, 缺乏系统的理论体系和实践经验<sup>[16-17]</sup>。因此, 开展相关研究具有重要的理论意义和实践价值。

周人龙等人<sup>[18]</sup>研究发现, 对下肢功能障碍患者实施移动式下肢外骨骼机器人训练干预能够有效改善患者步行功能、抑郁状态。李颯安等人<sup>[19]</sup>发现, 单侧穿戴式外骨骼机器人训练可有效地改善亚急性期脑卒中患者步行功能。本研究中, 患者治疗 2 周、4 周、8 周, 试验组 6MWT、10MWT 结果均优于对照组。分析原因在于, 下肢外骨骼机器人能够为脑卒中偏瘫患者提供有效的运动康复训练。这种训练方式可以改善患者的肌肉力量、关节活动度和平衡能力, 进而提高患者的步行能力和日常生活能力<sup>[20]</sup>。通过持续的运动康复训练, 患者的下肢功能得到逐渐恢复, 因此 6MWT 和 10MWT 的结果会有明显提升。

从 Holden 步行功能分级结果来看, 治疗后, 较对照组而言, 试验组步行功能明显更好, BBS 评分更高, 步频、步速更快。分析原因可能为, 下肢外骨骼机器人能够提供感觉刺激和反馈。这种感觉刺激和反馈可以帮助患者重新建立神经系统与肌肉之间的联系, 促进神经系统的修

表 3 两组患者步行测试结果比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

Table 3 Comparison of walking test results between the two groups of patients ( $\bar{x} \pm s$ )

指标	组别	治疗前	治疗 2 周	治疗 4 周	治疗 8 周
6MWT (m)	试验组 (n=43)	91.42 $\pm$ 6.75	112.06 $\pm$ 8.94 <sup>a</sup>	129.62 $\pm$ 10.75 <sup>a</sup>	136.77 $\pm$ 9.72 <sup>a</sup>
	对照组 (n=43)	90.97 $\pm$ 6.98	104.45 $\pm$ 8.01	116.11 $\pm$ 9.73	126.32 $\pm$ 10.45
	F 值		$F_{\text{时点}}=748.669$ ; $F_{\text{交互}}=18.653$ ; $F_{\text{组间}}=25.239$		
	P 值		$P_{\text{时点}} < 0.001$ ; $P_{\text{交互}} < 0.001$ ; $P_{\text{组间}} < 0.001$		
10MWT (m/s)	试验组 (n=43)	0.21 $\pm$ 0.08	0.35 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	0.44 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>	0.57 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>
	对照组 (n=43)	0.20 $\pm$ 0.09	0.27 $\pm$ 0.08	0.36 $\pm$ 0.10	0.45 $\pm$ 0.08
	F 值		$F_{\text{时点}}=358.761$ ; $F_{\text{交互}}=11.130$ ; $F_{\text{组间}}=22.087$		
	P 值		$P_{\text{时点}} < 0.001$ ; $P_{\text{交互}} < 0.001$ ; $P_{\text{组间}} < 0.001$		

注: 与对照组相比, <sup>a</sup> $p < 0.05$

表 4 两组患者 Holden 步行功能分级比较 [n (%) ]

Table 4 Comparison of Holden walking function classification between the two groups of patients [n (%) ]

组别	分级	治疗前	治疗后	Z 值	P 值
试验组 (n=43)	0 级	16 ( 37.21 )	4 ( 9.30 )	-4.241	<0.001
	1 级	14 ( 32.56 )	7 ( 16.28 )		
	2 级	6 ( 13.95 )	10 ( 23.26 )		
	3 级	4 ( 9.30 )	10 ( 23.26 )		
	4 级	3 ( 6.98 )	9 ( 20.93 )		
	5 级	0 ( 0.00 )	3 ( 6.98 )		
对照组 (n=43)	0 级	15 ( 34.88 )	10 ( 23.26 )	-2.154	0.031
	1 级	16 ( 37.21 )	12 ( 27.91 )		
	2 级	5 ( 11.63 )	7 ( 16.28 )		
	3 级	3 ( 6.98 )	7 ( 16.28 )		
	4 级	4 ( 9.30 )	7 ( 16.28 )		
	5 级	0 ( 0.00 )	0 ( 0.00 )		
Z 值	—	-0.077	-2.170		
P 值	—	0.939	0.030		

表 5 两组患者运动功能比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

Table 5 Comparison of motor function between the two groups of patients ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	时间	BBS 评分 ( 分 )	步频 ( 步 / 分钟 )	步速 ( m/min )
试验组 (n=43)	治疗前	31.33 ± 3.65	16.07 ± 3.02	5.43 ± 1.62
	治疗后	44.33 ± 4.21	25.12 ± 4.01	8.65 ± 0.87
	t 值	-20.881	-20.583	-12.966
	P 值	<0.001	<0.001	<0.001
对照组 (n=43)	治疗前	31.60 ± 4.00	16.11 ± 3.01	5.52 ± 1.58
	治疗后	38.65 ± 5.48	21.60 ± 3.89	7.12 ± 0.65
	t 值	-8.831	-13.354	-7.610
	P 值	<0.001	<0.001	<0.001
组间治疗前	t 值	-0.338	-0.062	-0.261
	P 值	0.736	0.951	0.795
组间治疗后	t 值	5.380	4.132	9.236
	P 值	<0.001	<0.001	<0.001

表 6 两组患者满意度比较 [n (%) ]

Table 6 Comparison of patient satisfaction between the two groups of patients [n (%) ]

满意度	试验组 (n=43)	对照组 (n=43)	$\chi^2$ 值	P 值
非常满意	23 ( 53.49 )	12 ( 27.91 )	—	—
满意	10 ( 23.26 )	10 ( 23.26 )	—	—
比较满意	9 ( 20.93 )	13 ( 30.23 )	—	—
不满意	1 ( 2.33 )	8 ( 18.60 )	—	—
总满意度	42 ( 97.67 )	35 ( 81.40 )	6.081	0.014

复和重塑。随着治疗的进行，患者逐渐适应了下肢外骨骼机器人的辅助，并且逐渐学会自主控制下肢的运动，从而提高了步行能力和运动能力<sup>[21-23]</sup>。从治疗满意度来看，试验组总满意度高于对照组，这可能是由于，下肢外骨骼机器人能够提供更加精准和个性化的治疗。这种机器人可以根据患者的具体情况定制治疗方案，更好地满足患者的个性化需求。相比之下，常规的康复治疗方式可能缺乏针对性和灵活性，无法满足患者的特定需求。下肢外骨骼机器人能够提供更加全面和高效的训练<sup>[24]</sup>，可以帮助患者进行全方位的下肢运动训练，包括关节活动、肌肉力量、平衡协调等。通过持续的训练，患者的下肢功能可以得到全面恢复和提高。同时，由于机器人辅助可以减少治疗师的工作量，使得治疗更加高效，同时也减少了患者等待和排队的时间，从而提高了治疗满意度。

综上所述，下肢外骨骼机器人用于脑卒中偏瘫患者治疗是可行的，效果是确切的，其对脑卒中偏瘫患者治疗工作具有重要意义，可显著改善患者步行及运动功能，提高患者治疗满意度。但本研究仅关注短期效果，对于长期效果的稳定性和持续性未深入分析。未来需要进一步观察治疗效果的持续性，以及患者回归家庭和社会后的表现。

**利益冲突声明：**本文不存在任何利益冲突。

**作者贡献声明：**戚朋顺负责设计论文框架，起草论文，实验操作，研究过程的实施以及论文修改；徐亚宁负责撰写论文，资料收集，数据统计与分析；高丽负责数据收集，统计学分析，绘制图表；耿兵将负责拟定写作思路，指导撰写文章并最后定稿。

## 参考文献

- [1] Warutkar V, Dadgal R, Mangulkar UR. Use of robotics in gait rehabilitation following stroke: A review[J]. *Cureus*, 2022, 14(11): e31075.
- [2] 赵久明, 李月, 张佳奇, 等. 上肢康复机器人治疗脑卒中偏瘫患者上肢功能障碍的疗效[J]. *机器人外科学杂志(中英文)*, 2023, 4(6): 507-511.
- [3] ZHANG C P, LI X W, WANG H B. Application of action observation therapy in stroke rehabilitation: A systematic review[J]. *Brain Behav*, 2023, 13(8): e3157.
- [4] Candelario-Jalil E, Dijkhuizen R M, Magnus T. Neuroinflammation, stroke, blood-brain barrier dysfunction, and imaging modalities[J]. *Stroke*, 2022, 53(5): 1473-1486.
- [5] Hussain F, Goecke R, Mohammadian M. Exoskeleton robots for lower limb assistance: A review of materials, actuation, and manufacturing methods[J]. *Proc Inst Mech Eng H*, 2021, 235(12): 1375-1385.
- [6] 钟佩思, 杨世浩, 张超, 等. 下肢外骨骼机器人阻抗控制参数优化研究[J]. *科学技术与工程*, 2023, 23(18): 7831-7837.
- [7] 王艳, 吴珊红, 宫子涵. 下肢外骨骼机器人系统改善脑卒中患者步行功能研究进展[J]. *中国现代神经疾病杂志*, 2023, 23(1): 22-28.
- [8] 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. 中国各类主要脑血管病诊断要点 2019[J]. *中华神经科杂志*, 2019, 52(9): 710-715.
- [9] Ferté J B, Boyer F C, Taiar R, et al. Impact of resistance training on the 6-minute walk test in individuals with chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review and meta-analysis[J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2022, 65(3): 101582.
- [10] 何伟, 韩伯军, 王庆广, 等. 体外冲击波作用于肌腹或肌肉-肌腱结合处对脑卒中患者下肢痉挛及步行能力的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2023, 45(10): 904-908.
- [11] 王海波, 陶媛媛, 李静, 等. 经颅直流电刺激协同患侧下肢强制性负重训练对脑卒中 Pusher 综合征的效果[J]. *中国康复理论与实践*, 2023, 29(3): 269-274.
- [12] Nguyen P T, Chou L W, Hsieh Y L. Proprioceptive neuromuscular facilitation-based physical therapy on the improvement of balance and gait in patients with chronic stroke: A systematic review and Meta-analysis[J]. *Life (Basel)*, 2022, 12(6): 882.
- [13] van den Brink H, Doubal F N, Duering M. Advanced MRI in cerebral small vessel disease[J]. *Int J Stroke*, 2023, 18(1): 28-35.
- [14] Uniken Venema S M, Dankbaar J W, van der Lugt A, et al. Cerebral collateral circulation in the era of reperfusion therapies for acute ischemic stroke[J]. *Stroke*, 2022, 53(10): 3222-3234.
- [15] Yamamoto R, Sasaki S, Kuwahara W, et al. Effect of exoskeleton-assisted Body Weight-Supported Treadmill Training on gait function for patients with chronic stroke: a scoping review[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2022, 19(1): 143.
- [16] LIANG J J Y, ZHANG Q H, LIU Y, et al. A review of the design of load-carrying exoskeletons[J]. *Sci China Technol Sci*, 2022, 65(9): 2051-2067.
- [17] 李京泽, 邢靖松, 吕福现, 等. 下肢康复机器人训练对脑卒中偏瘫患者步行功能的影响[J]. *机器人外科学杂志(中英文)*, 2023, 4(6): 512-516.
- [18] 周人龙, 李响, 张洪蕊, 等. 移动式下肢外骨骼机器人对改善偏瘫患者运动功能及抑郁状态的疗效观察[J]. *中国康复*, 2021, 36(11): 673-676.
- [19] 李颀安, 陈泽健, 夏楠, 等. 单侧穿戴式外骨骼机器人训练对亚急性期脑卒中患者平衡和步行功能的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2023, 45(2): 109-113.
- [20] 李希, 王秉翔, 李娜, 等. 下肢外骨骼机器人康复训练对脑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.
- [21] 郭文静, 张勇, 邱纪方. 下肢外骨骼机器人在脑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.
- [22] 陈芳, 黄俊豪, 吴文杰, 等. 下肢外骨骼机器人在脑卒中患者功能康复中应用进展[J]. *中国康复*, 2023, 38(4): 243-247.
- [23] 王锋, 李靖龙. 下肢外骨骼机器人在脊髓损伤中的应用研究进展[J]. *实用医学杂志*, 2022, 38(23): 3012-3016.
- [24] 向小娜, 宗慧燕, 何红晨. 下肢外骨骼康复机器人对脊髓损伤患者步行能力改善的研究进展[J]. *中国康复医学杂志*, 2020, 35(1): 119-122.

编辑：崔明璠