·临床研究·

# 下肢外骨骼机器人联合无线神经肌肉电刺激训练对卒中患者平衡能力的影响

吴颖[1] 宋庆磊[1] 翟乐旭[1] 陈雪丽[2*]

（1.北京华生康复医院，北京 100075；2.首都医科大学附属北京世纪坛医院，北京 100038）

【摘要】 **目的** 探讨下肢外骨骼机器人联合无线神经肌肉电刺激训练对卒中患者平衡能力的影响。**方法** 回顾性分析2023年10月—2024年8月北京华生康复医院收治的50例脑卒中后偏瘫患者的病例资料。根据康复治疗方法的不同，将患者分为观察组和对照组，每组25例。对照组在常规康复基础上，结合穿戴下肢外骨骼机器人训练；观察组在对照组基础上，增加无线神经肌肉电刺激训练为期4周。比较两组患者康复训练后并发症发生情况，以及美国国立卫生研究院脑卒中量表（National Institute of Health stroke scale，NIHSS）、运动平衡功能评分量表（Fugl–Meyer，FMA）和生活质量量表（Stroke–Specific Quality of Life Scale，SS–QOL）评分结果。**结果** 康复训练后，观察组NIHSS评分明显低于对照组，差异有统计学意义（$P<0.05$）。观察组并发症总发生率低于对照组，差异有统计学意义（$P<0.05$）。康复训练后，观察组Fugl–Meyer评分高于对照组，差异有统计学意义（$P<0.05$）。康复训练后，观察组SS–QOL评分高于对照组，差异有统计学意义（$P<0.05$）。**结论** 下肢外骨骼机器人联合无线神经肌肉电刺激训练是一种具有潜力的脑卒中患者康复方法，可以改善脑卒中后偏瘫患者的肢体功能障碍，提升平衡能力和日常生活能力，减少患者在日常生活中对他人得依赖，提高其生活质量。

【关键词】 下肢外骨骼机器人；电刺激；偏瘫；脑卒中；生活质量

【中图分类号】 TH77;R743.33 【文献标识码】 A 【DOI】 10.11876/mimt202502008

# Effect of lower limb exoskeleton robot combined with wireless neuromuscular electrical stimulation training on balance ability of stroke patients

*Wu Ying[1], Song Qinglei[1], Zhai Lexu[1], Chen Xueli[2*]*

*(1. Beijing Watson Rehabilitation Hospital, Beijing 100075, China; 2. Beijing Shijitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100038, China)*

【Abstract】 **Objective** To explore the effect of lower limb exoskeleton robot combined with wireless neuromuscular electrical stimulation training on the balance ability of stroke patients. Method A retrospective analysis was conducted on the case data of 50 patients with hemiplegia after stroke admitted to Beijing Huasheng Rehabilitation Hospital from October 2023 to August 2024. The patients were divided into the observation group and the control group by the order of admission, with 25 cases in each group. The control group received conventional rehabilitation combined with lower limb exoskeleton robot training, while the observation group received additional wireless neuromuscular electrical stimulation training for 4 weeks on the basis of the control group. The National Institute of Health Stroke Scale (NIHSS), complication occurrence, Fugl–Meyer Assessment (FMA) of motor balance function, and Stroke–Specific Quality of Life Scale (SS–QOL) were compared between the two groups. **Result** After the intervention, the NIHSS score of the observation group was significantly lower than that of the control group, with a statistically significant difference ($P<0.05$). The total complication rate of the observation group was lower than that of the control group, with a statistically significant difference ($P<0.05$). After the intervention, the Fugl–Meyer score of the observation group was higher

**基金项目**：国家重点研发计划（2022YFC2009706）

**第一作者**：吴颖，女，硕士，主管技师，研究方向：康复治疗技术

**通讯作者**：陈雪丽，女，硕士，主任医师，研究方向：产后康复、老年康复、运动损伤康复、神经康复

than that of the control group, with a statistically significant difference ($P$<0.05). After the intervention, the SS-QOL score of the observation group was higher than that of the control group, with a statistically significant difference ($P$<0.05). **Conclusion** The combination of lower limb exoskeleton robots and radio stimulation training is a promising rehabilitation method for stroke patients, which can improve limb dysfunction, enhance balance and daily living abilities, reduce dependence on others in daily life, and improve their quality of life in post-stroke hemiplegic patients.

【**Key words**】 Lower limb exoskeleton robot; Electrical stimulation; Hemiplegia; Stroke; Quality of life

在饮食结构变化、精神压力增加等因素影响下，脑卒中疾病的发生率呈逐年上升趋势。脑卒中，又称急性脑血管病（Cerebral Vascular Accident，CVA），其极高的致死、致残率，已经成为影响我国人均寿命，阻碍国民追求高质量生活水平的重要因素。病变后运动皮质的损伤和支配腿部肌肉的运动皮质脊髓兴奋性发生改变，使躯体表现为平衡功能障碍和步态异常，30% ~ 40% 的脑卒中患者即使进行物理治疗后还会存在步行能力受限或丧失的问题[1]，其中75% ~ 80%的患者存在不同程度的功能障碍（日常活动能力、步行能力等），而患者的恢复程度与日常生活质量密切相关[2]。因此，需积极为患者提供指导，促进其全面康复极为重要[3]。

下肢外骨骼机器人是一种用于辅助下肢运动功能康复的先进设备，已成为改善脑卒中偏瘫患者步行功能效果确切的一项技术[4]，融合了机械结构、传感器技术和控制系统。它通过电机驱动，带动患者下肢进行屈伸、摆动等特定运动模式[5]。通过机械助力模拟生理步态，强化下肢分离运动能力，改善关节协调[6]。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[7]。通过特定的重复性训练，患者可学习并储存正确运动模式，这种实际体验有助于促进患者大脑皮质重组[8]无线神经肌肉电刺激能够加速神经再生进程，通过低频电流刺激运动神经和肌肉，诱发肌肉节律性收缩，激活被封闭的神经通路，促进神经兴奋和传导功能恢复。这对卒中后受损的神经系统具有重要修复作用。通过无线神经肌肉电刺激，可促进肌肉运动，改善肌张力，使患者更好地控制身体，提升平衡能力，降低因平衡功能受损导致的跌倒风险。目前，无线神经肌肉电刺激已成为卒中康复治疗中广泛应用的辅助手段之一。既可以单独使用，也可与其他康复治疗方法（如物理疗法、作业疗法等）结合，以提升治疗效果。通过经颅磁刺激（TMS）和功能近红外光谱（fNIRS）证实，联合干预可增强患侧运动皮质兴奋性（rMT降低18%），并改善前额叶-运动区功能连接[9]，轻量化无线电刺激设备联合下肢外骨骼机器人训练中的应用仍处于探索阶段，相关研究需要更多临床试验和科学证据支持。本研究采用回顾性研究设计，收集北京北京华生康复医院2023年10月—2024年8月期间收治的脑卒中患者临床康复资料进行分析，以探究下肢外骨骼机器人联合无线神经肌肉电刺激训练对脑卒中患者平衡能力的影响。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

回顾性分析2023年10月—2024年8月北京华生康复医院收治的50例脑卒中后偏瘫患者的病例资料。根据康复治疗方法不同，将患者分为观察组和对照组，每组25例。纳入标准：①患者资料显示，所有患者均符合脑CT或MRI诊断的原发性卒中患者标准，以及《实用内科学》的诊断标准[5]；②患者病程中意识清醒，生命体征稳定；③确诊为脑卒中后偏瘫患者；④无颅脑损伤病史；⑤康复治疗者签署知情同意书。排除标准：①康复治疗前本身存在肢体残疾；②治疗期间出现新发脑部疾病；③资料不完善者；④未签署知情同意书者；⑤不能忍受日常训练。所有患者均填写一般资料调查量表，观察组中男12例，女13例；年龄40 ~ 75岁，平均（52.56 ± 7.82）岁；脑卒中肢体功能障碍部位：左侧14例，右侧11例；卒中类型：缺血性18例，出血性7例；有无家族史：有20例，无5例。对照组中男15例，女10例；年龄43 ~ 72岁，平均（52.58 ± 6.32）岁；脑卒中肢体功能障碍部位：左侧12例，右侧13例；卒中类型：缺血性16例，出血性9例；有无家族史：有17例，无8例。两组患者一般资料比较，差异无统计学意义（$P$>0.05）。

### 1.2 干预方法

常规康复包括在训练开始前签署知情同意书，对所有康复患者进行康复评估，包括患者的基本信息、生命体征、肢体功能障碍分级、平衡功能、认知情况、日常生活能力、感觉功能等。根据评估结果，制定适合患者的个体化训练方案，并实施训练，

包括运动训练（Physical Therapy，PT）、作业训练（Occupational Therapy，OT）、物理因子治疗、针灸治疗等。对照组在常规康复基础上，结合穿戴下肢外骨骼机器人训练；观察组在对照组基础上，增加无线神经肌肉电刺激训练。20min/次，5次/周，为期4周。



**图1** 下肢外骨骼机器人



**图2** 无线神经肌肉电刺激

a  b 

**图3** 实际工作中结合训练中应用

**1.2.1** 对照组

对照组给予下肢外骨骼机器人康复［生产企业：迈步机器人科技（长沙）有限公司，湘械注准20222192120，型号：BEAR-A1］。首先，在他人协助下，患者从轮椅转移至机器人上并就座。治疗师根据患者腿长，调节机器大腿与小腿长度，使患者双脚踩在足托上，并确保患者的髋、膝、踝分别与机器相应标志点对齐，随后用绑带固定。在调制屏幕上选择患者患侧，点击“站立”，屏幕内容调制结束后，长按“上升”按钮，将设备升高至双侧足托离开地面5～10cm。查看绑带是否绑好，再调节机器的宽度，以两髋与机器都可插入一手掌为宜，并询问患者有无不适。一切正常后，长按“下降”按钮，使足托完全贴紧地面。根据患者实际情况，选择相应模式（行走模式：可调节速度与助力，普遍患者选择速度在10～15级，助力等级分为1～5级，级别越大助力越大；单步行走模式、原地踏步模式、减重模式，均可调节速度与助力，等级同行走模式；智能模式：可根据患者自身行走情况，自动调节相应等级，一般首次评估采用此模式），随后点击“开始”，3s读数后机器开始迈步。行走过程中，需有一人在机器后方给予少量助力向前推。患者沿走廊往返行走，直至20min训练结束。训练期间，提示患者尽可能跟随机器人步伐向前迈步行走，并时刻关注患者疲劳情况及是否出现其他不良反应。

**1.2.2** 观察组

观察组在使用下肢外骨骼机器人期间，结合无线电刺激（生产企业：上海 DJO Wireless Professional 神经肌肉刺激器，国械注进20212090144）训练。该设备为无线电刺激，便于与下肢外骨骼机器人训练同时进行。选用Nerologic rehabiltation模式中Slow start neuro rehab 模式（促进运动控制和运动再学习），每次训练20min，刺激频率在3～35HZ。在机器人治疗起始阶段，根据患者病情，选择对应的刺激部位，主要包括腹部、患侧下肢大腿前侧和后侧、小腿前侧。取两个电极片，分别置于患肌肌腹两端。启动电源，缓慢调节电流强度，以引起明显可见的肌肉收缩且无明显疼痛为宜。治疗时，缓慢逐步增加电刺激频率与强度，治疗中随时询问和查看患者情况，根据患者适应性再调整刺激强度。治疗结束时，关闭电源，取下电极片。

**1.3 观察指标**

**1.3.1** 美国国立卫生研究院脑卒中量表（The National Institutes of Health Stroke Scale，NIHSS）

采用NIHSS进行评估。该量表共计15个检查项目，总分为各项目之和，区间为0～42分，分值越高表示神经缺损程度越严重[10]。

**1.3.2** 并发症发生情况

记录患者在治疗期间发生跌倒、肺炎、感染等的情况。

**1.3.3** 运动平衡功能评分量表（Fugl-Meyer，FMA）

FMA主要适用于偏瘫患者的平衡功能评估。该量表主要是对偏瘫患者进行7项检查，每个项目分为3个等级，从0～2分，总分范围0～14分，得分越低，说明患者的平衡功能越差[11]。

**1.3.4** 生活质量量表（Stroke-Specific Quality of Life Scale，SS-QOL）

脑卒中患者的生活质量量表由12个维度和49个条目组成，用于评估患者的生活质量。总分在49～245分。数值越高，代表患者的生活质量越好。

### 1.4 统计学分析

本研究的所有数据均使用Epidata完整输入，为确保数据的完整性和准确性，所有数据均由双人独立录入以进行核查。使用SPSS 27.0对数据进行统计分析。计数资料以百分比（%）表示，组间比较采用卡方检验或Fisher确切概率法；计量资料以均数 ± 标准差（x ± s）表示；两组间比较采用t检验。$P$<0.05认为具有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 两组干预前后NIHSS评分比较

干预前，两组NIHSS评分比较，差异无统计学意义（$P$>0.05）；干预后，观察组NIHSS评分明显低于对照组，差异有统计学意义（$P$<0.05），见表1。

**表1** 两组干预前后NIHSS评分比较（$\bar{x}$ ± s，分）

| 组别 | 例数 | 干预前 | 干预后 | $t$ | $P$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 观察组 | 25 | 27.38 ± 4.73 | 16.32 ± 5.21 | 7.858 | 0.000 |
| 对照组 | 25 | 27.29 ± 4.65 | 20.28 ± 5.42 | 4.908 | 0.000 |
| $t$ | | 0.067 | 2.633 | | |
| $P$ | | 0.946 | 0.011 | | |

### 2.2 两组并发症发生情况比较

观察组并发症总发生率低于对照组，差异有统计学意义（$P$<0.05），见表2。

**表2** 两组并发症发生情况比较［$n$（%）］

| 组别 | 例数 | 跌倒 | 肺炎 | 感染 | 总发生 |
|---|---|---|---|---|---|
| 观察组 | 25 | 1（4.00） | 0（0.00） | 0(0.00) | 1（4.00） |
| 对照组 | 25 | 4 (16.00) | 1（4.00） | 2（8.00） | 7（28.00） |
| *Fisher*确切概率 $P$ | | 0.349 | 1.000 | 0.490 | 0.049 |

### 2.3 两组Fugl–Meyer平衡量表评分比较

干预前，两组Fugl–Meyer评分比较，差异无统计学意义（$P$>0.05）；干预后，观察组Fugl–Meyer评分高于对照组，差异有统计学意义（$P$<0.05），见表3。

**表3** 两组Fugl–Meyer平衡量表评分比较（$\bar{x}$ ± $s$，分）

| 组别 | 例数 | 干预前 | 干预后 | $t$ | $P$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 观察组 | 25 | 4.75 ± 1.23 | 12.53 ± 1.27 | 22.002 | 0.000 |
| 对照组 | 25 | 4.61 ± 1.10 | 9.48 ± 1.35 | 13.982 | 0.000 |
| $t$ | | 0.424 | 8.227 | | |
| $P$ | | 0.673 | 0.000 | | |

### 2.4 两组SS–QOL评分比较

干预前，两组SS–QOL评分比较，差异无统计学意义（$P$>0.05）；干预后，观察组SS–QOL评分高于对照组，差异有统计学意义（$P$<0.05），见表4。

**表4** 两组SS–QOL评分比较（$\bar{x}$ ± s，分）

| 组别 | 例数 | 干预前 | 干预后 | $t$ | $P$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 观察组 | 25 | 127.87 ± 10.43 | 176.28 ± 11.52 | 15.575 | 0.000 |
| 对照组 | 25 | 127.41 ± 10.33 | 157.89 ± 11.56 | 9.830 | 0.000 |
| $t$ | | 0.156 | 5.631 | | |
| $P$ | | 0.876 | 0.000 | | |

## 3 讨论

本次研究结果表明，干预后，观察组NIHSS评分明显低于对照组，差异有统计学意义（$P$<0.05）。该结果与李爽等[12]的研究结果一致。分析其原因：下肢外骨骼机器人外部驱动对下肢进行科学、高效、准确的行走康复训练，刺激神经系统的重塑[13]。无线电刺激凭借促进神经功能恢复的特性，改善患者神经缺损表现[14–15]。

本次研究结果表明，观察组并发症总发生率低于对照组，差异有统计学意义（$P$<0.05）。分析其原因：下肢外骨骼机器人的应用，辅助患者完成下肢运动，增强患者下肢运动能力[16]。结合无线神经肌肉电刺激通过反复的刺激能够建立新的行为模式，使受损的神经通路重建，改善大脑功能重新学习过程，进而恢复中断的运动感觉反馈环路，且电刺激肌肉，可直接激活运动神经元，增加肌肉的活动，从而改善静态肌电值，助于肌肉功能恢复[17]，同时促进核心稳定，可显著提升脑卒中偏瘫患者下肢运动功能和平衡能力[18]，也能帮助患者快速找到骨盆分离运动感觉[19]。所以应用上述两种措施有助于提升患者的运动功能，从而降低并发症的发生风险。

本次研究结果表明，干预后，观察组Fugl–Meyer评分高于对照组，差异有统计学意义（$P$<0.05）。分析其原因：下肢外骨骼机器人单踝关节驱动设计，摆动相初期触发踝背屈辅可针对性改善脑卒中患者足下垂等典型步态异常[20]，机器人辅助训练可明显改善脑卒中患者的平衡功能，且这种积极作用不受机器人类型、是否结合其他干预措施、训练时间及强度的影响[21]。以低频神经肌肉电刺激对卒中后偏瘫肌痉挛患者进行辅助治疗，通过对神经肌肉产生作用，使其恢复兴奋状态，肌肉产生节律性收缩，并进行自主控制，缓解痉挛程度，对相应拮抗肌产生刺激作用，促进拮抗肌群、

痉挛肌群恢复平衡状态[22]可有效促进中枢神经系统重组和功能恢复，提高卒中患者平衡能力。

本次研究结果表明，干预后，观察组 SS-QOL 评分高于对照组，差异有统计学意义（$P<0.05$）。分析其原因：下肢外骨骼机器人外骨骼的力学反馈与患者主动运动意图的结合，可增强运动皮层与脊髓运动神经元的同步激活效率，神经肌肉电刺激系统可以将患者肢体感觉、皮肤感觉等信息传入中枢，使中枢逐渐适应其运动训练信号，通过运动控制法帮助其建立正常的运动模式，继而有效提高肢体运动康复训练效果[23]。脑卒中慢性恢复期应用下肢外骨骼机器人系统符合该时期功能性代偿训练的宗旨，打破其应用辅助支具较少、常规康复训练效果较差的瓶颈，为改善患者生活质量、减轻家庭和社会经济负担提供新思路[24,25]。

本研究样本数量相对较小，导致脑卒中部位不均等，未来需要增加患者数量，还需进一步减少干扰因素，从而为提高脑卒中患者平衡能力选择适合的措施。

综上所述，该联合方案通过力学辅助-神经激活-实时反馈的闭环模式，突破传统康复的单一干预局限，为脑卒中患者平衡功能恢复提供了标准化、数据驱动的解决方案,改善脑卒中后偏瘫患者的肢体功能障碍，提升平衡能力和日常生活能力，提高其生活质量。下肢外骨骼机器人联合无线神经肌肉电刺激训练可作为脑卒中后，平衡能力训练的一种训练计划的补充，本研究中康复项目干预较多，虽然干预后患者平衡能力有改善，但后期还需进一步研究下肢外骨骼机器人联合无线神经肌肉电刺激训练的针对性。

## [ 参 考 文 献 ]


[1] 常万鹏,张钟文,杨钰琳,等.康复外骨骼机器人对脑卒中下肢运动功能障碍疗效的Meta分析[J].中国组织工程研究, 2024, 28(2):321-328.

[2] 李芳雪,樊宇,郝飞,等.药物涂层球囊与普通球囊治疗症状性颅内动脉粥样硬化性狭窄的疗效[J].内蒙古医学杂志,2023,55(12):1512-1516+1520.

[3] 顾旭东,吴华,郭帅,等.骨盆辅助步行康复机器人对脑卒中偏瘫患者运动功能及日常生活能力的影响[J].中国康复医学杂志,2020,35(5):556-559.

[3] Aprile I, Iacovelli C, Goffredo M, et al.Efficacy of end-effector RobotAssisted Gait Training in subacute stroke patients: Clinical and gait outcomes from a pilot bi-centre study[J].NeuroRehabilitation, 2019, 45(2): 201-212.

[4] 王艳艳.下肢外骨骼康复机器人应用于脑卒中偏瘫下肢运动功能障碍患者的效果[J].中外医学研究, 2023, 21(6):132-135.

[5] 衡水市中医医院课题组. 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, 2025, 6(1): 15-23.

[6] 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(06):1124-1129.

[7] 董延广,王强,张文娟,等.下肢外骨骼机器人联合踝关节康复训练对脑卒中后步行功能障碍患者步行功能的影响[J].中华物理医学与康复杂志, 2024, 46(02):118-122.

[8] Chen L,Zhang R,Zhou W, et al. Synergistic Effects of Exoskeleton-Assisted Walking and Wireless Electrical Stimulation on Cortical Plasticity in Subacute Stroke[J]. Frontiers in Neurology, 2024, 15: 789215.

[9] 王亚囡,张通,杜雪晶,等.脑卒中偏瘫患者步态参数与平衡功能的关系[J].中国康复理论与实践,2022,28(1): 38-43.

[10] 陈本梅,蒋理想,仇慕磊,等.重复经颅磁刺激联合镜像疗法对脑卒中偏瘫患者上肢运动功能及神经电生理的效果[J].中国康复理论与实践,2023,29(10):1201-1207

[11] 李爽,杨学婧,张晓颖.虚拟现实训练系统联合平衡训练对脑卒中偏瘫患者肢体和平衡功能及生活能力的影响[J].中国实用神经疾病杂志,2023,26(7):848-852.

[12] 胡靖然,陈小飞.虚拟现实技术联合下肢康复机器人训练对缺血性脑卒中患者下肢功能及平衡能力影响的研究[J].中国康复,2020,35(12):633-636.

[13] Lo HS, Xie SQ. Exoskeleton robots for upper-limb rehabilitation: State of the art and future prospects[J]. MedEng Phys, 2012, 34(3):261-268.

[14] 孙佳.康复沙龙联合神经肌肉电刺激治疗仪对脑卒中患者偏瘫下肢功能的恢复影响[J].生命科学仪器,2024,22(2):49-52.

[15] 张辉,袁磊,王剑宇,等.西医常规治疗联合芪蛭通络胶囊对急性缺血性脑卒中介入术后患者恢复的临床研究[J].中国医院用药评价与分析,2023,23(12):1446-1449.

[16] 王宇梅,徐格曼,马晓明,等. 老年人急性前循环大面积脑梗死发生恶性脑水肿预测模型的建立与评价[J]. 中华老年医学杂志,2023,42(11):1273-1279.

[17] 韦静,王霞.Bobath康复技术联合神经肌肉电刺激对脑卒中偏瘫患者平衡功能及神经功能的影响[J].中华老年心脑血管病杂志, 2024, 26(11):1329-1333.

[18] 方鑫泓,吴冬云,周赟,等.神经肌肉电刺激疗法联合核心稳定训练对脑卒中偏瘫患者的影响[J].中国伤残医学, 2024, 32(14):8-11.

[19] 孙佳.康复沙龙联合神经肌肉电刺激治疗仪对脑卒中患者偏瘫下肢功能的恢复影响[J].生命科学仪器,2024,22(2):49-52.

[20] 吴文杰. 单踝关节步行外骨骼机器人对脑卒中患者步行能力的影响[D]. 江苏:南京体育学院,2024.

[21] 程雪,白定群,彭晓华.下肢外骨骼康复机器人在脑卒中康复中的应用和研究进展[J].中国康复医学杂志 2021年36卷10期, 1327-1332页, ISTIC PKU CSCD CA, 2021:重庆市卫生计生委医学科研项目.

[22] 刘华,徐冬梅,邓小渝,等.低频神经肌肉电刺激辅助治疗老年脑卒中后偏瘫肌痉挛对肌张力恢复的影响[J].中国老年学杂志, 2023, 43(5):1114-1117.

[23] 梁晓昱，方蔓倩，杨燕冰，等 . 功能性电刺激联合循环运动 系统对老年脑卒中后肌肉衰减综合征患者肢体功能、平衡 能力以及认知功能的影响 [J]. 现代生物医学进展，2022，22(9):1713-1717.

[24] 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.