

生物反馈电刺激联合康复机器人在脑卒中后下肢功能障碍患者中的应用

蒋娟愉, 王伟锋, 张白慧

(常州市武进中医医院康复科 江苏 常州 213161)

摘要 **目的:** 分析生物反馈电刺激联合康复机器人在脑卒中后下肢功能障碍患者恢复中的干预效果。**方法:** 选取2021年3月—2024年3月常州市武进中医医院收治的97例脑卒中后下肢功能障碍患者, 将其随机分成对照组($n=48$, 生物反馈电刺激干预)与观察组($n=49$, 生物反馈电刺激联合康复机器人干预), 共持续训练4周。对比两组患者的下肢功能、步行步态情况、生活状况水平、神经指标水平以及不良反应情况。**结果:** 与对照组相比, 观察组治疗4周后的Fugl-Meyer下肢运动功能评估量表(FMA-LE)评分和Berg平衡量表(BBS)评分更高($P<0.05$)。与对照组相比, 观察组治疗4周后功能性步行量表(FAC)评分及步频、步速水平较高, 步行周期较短($P<0.05$)。观察组治疗4周后日常生活活动能力评定量表(ADL)评分、脑卒中专门化生活质量量表(SS-QOL)评分较对照组高($P<0.05$)。观察组治疗4周后神经生长因子(NGF)、脑源性神经细胞营养因子(BDNF)水平较对照组高, 神经元特异性烯醇化酶(NSE)水平较对照组低($P<0.05$)。**结论:** 生物反馈电刺激联合康复机器人可促进脑卒中后下肢功能障碍患者的肢体功能恢复, 改善步行步态状况, 调节神经指标水平, 提升日常生活能力和生活质量。

关键词 生物反馈电刺激; 康复机器人; 脑卒中后下肢功能障碍; 功能恢复

中图分类号 R493 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2025) 04-0613-06

Application effect of biofeedback electrical stimulation combined with rehabilitation robot on the recovery of lower limb dysfunction in post-stroke patients

JIANG Juanyu, WANG Weifeng, ZHANG Baihui

(Department of Rehabilitation, Wujin Hospital of Traditional Chinese Medicine, Changzhou 213161, China)

Abstract **Objective:** To analyze the intervention effect of biofeedback electrical stimulation combined with rehabilitation robot on the recovery of lower limb dysfunction in post-stroke patients. **Methods:** 97 patients with lower limb dysfunction after stroke who were admitted to Wujin Hospital of Traditional Chinese Medicine from March 2021 to March 2024 were selected. They were randomly divided into the control group ($n=48$, biofeedback electrical stimulation) and the observation group ($n=49$, biofeedback electrical stimulation combined with rehabilitation robot intervention). Both groups underwent 4 weeks of training. Lower limb function, gait status, quality of life, neurological indicators, and adverse reactions were compared between the two groups of patients. **Results:** Compared with the control group, the observation group showed significantly higher Fugl-Meyer Assessment for Lower Extremity (FMA-LE) scores and Berg Balance Scale (BBS) scores after 4 weeks of treatment ($P<0.05$). The observation group also showed higher Functional Ambulation Category (FAC) scores, greater step frequency and speed, and shorter gait cycle compared to the control group ($P<0.05$). Additionally, higher Activities of Daily Living Scale (ADL) scores and Stroke Specific Quality of Life Scale (SS-QOL) scores were found in the observation group than those in the control group ($P<0.05$). Neurological indicators in the observation group showed higher levels of nerve growth factor (NGF) and brain-derived neurotrophic factor (BDNF), but lower levels of neuron-specific enolase (NSE) compared to those in the control group ($P<0.05$). **Conclusion:** Biofeedback electrical stimulation combined with rehabilitation robots can promote the recovery of limb function, improve gait status, regulates neurological indicators, and enhance daily living ability and quality of life in post-stroke patients with lower limb dysfunction.

Key words Biofeedback Electrical Stimulation; Rehabilitation Robot; Lower Limb Dysfunction after Stroke; Functional Recovery

基金项目: 江苏省自然科学基金面上项目 (BK20211088)

Foundation Item: Natural Science Foundation of Jiangsu Province (BK20211088)

引用格式: 蒋娟愉, 王伟锋, 张白慧. 生物反馈电刺激联合康复机器人在脑卒中后下肢功能障碍患者中的应用[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2025, 6(4): 613-618.

Citation: JIANG J Y, WANG W F, ZHANG B H. Application effect of biofeedback electrical stimulation combined with rehabilitation robot on the recovery of lower limb dysfunction in post-stroke patients[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(4): 613-618.

通讯作者 (Corresponding Author): 蒋娟愉 (JIANG Juanyu), Email: 13775272216@163.com

脑卒中是一种常见的神经系统疾病，其发病率逐年上升，已成为全球范围内造成残疾和死亡的主要原因之一^[1]。在脑卒中的急性期和康复阶段，患者常常伴随不同程度的运动功能障碍，尤其是下肢功能受损，严重影响患者的生活质量和社会功能^[2]。因此，寻找有效的康复治疗手段对于改善患者的康复效果具有重要意义。传统的脑卒中康复治疗主要包括功能训练、药物治疗等手段，然而这些方法存在康复效果缓慢等问题^[3]。近年来，随着医疗技术的不断进步和康复理念的不断更新，生物反馈电刺激和康复机器人逐渐应用于临床实践，并取得了一定的成效。生物反馈电刺激技术通过监测患者的生理参数，并将其转化为可视化或听觉化的反馈信号，帮助患者更好地感知和控制身体运动，从而促进受损神经系统的功能重建^[4]。康复机器人利用先进的机械设备对患者进行定向、重复的运动训练，为患者提供个性化的康复方案，并在康复过程中保持高度的可控性和安全性^[5]。尽管临床已有研究表明^[6-7]，二者在疾病损伤康复中具有一定的应用前景，但鲜有研究将其进行联合应用，故生物反馈电刺激联合康复机器人的康复方案是一个新的研究方向。通过二者的互补作用，有望进一步提高康复效果，加速患者的康复进程。本研究旨在通过临床试验，探讨生物反馈电刺激联合康复机器人在脑卒中后下肢功能障碍患者中的应用效果。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2021 年 3 月—2024 年 3 月常州市武进中医医院收治的 97 例脑卒中后下肢功能障碍患者，将其随机分成对照组（ $n=48$ ，生物反馈电刺

激干预）与观察组（ $n=49$ ，生物反馈电刺激联合康复机器人干预），共持续训练 4 周。比较两组患者一般资料，差异无统计学意义（ $P>0.05$ ），见表 1。本研究经医学伦理委员会批准（审批号：LL-2025-02-001）。

纳入标准：①符合《中国各类主要脑血管病诊断要点 2019》^[8]中关于脑卒中的诊断标准，并经 CT、MRI 等影像学检测确诊；②初次、单侧发病；③ 18 岁≤年龄<80 岁，性别不限；④病程<3 个月，处于稳定期；⑤存在单侧下肢功能障碍，但功能未完全丧失；⑥具备一定的认知交流能力，可配合研究所需操作；⑦对本次研究知情同意。排除标准：①脑卒中后生命体征不稳定；②存在严重认知、精神障碍；③非首次发病；④对本研究干预存在过敏反应及相关禁忌；⑤近期接受过康复训练指导。

1.2 方法 所有患者入院均给予常规康复治疗，如调节颅内压、预防感染、维持脑神经营养等，并通过指导饮食等方式维持患者整体健康状况。

1.2.1 对照组 对照组接受生物反馈电刺激[伟思医疗科技有限责任公司，苏食药监械（准）字 2011 第 2210596 号，型号：MyoTrac-Basic]干预，选择自主控制模式，刺激强度 40 mA，灵敏度<0.1 V，治疗过程中由专业康复治疗师进行指导，治疗前详细告知患者相关注意事项。将正、负刺激电极置于患者胫骨前肌肌腹上，正、负记录电极置于相应刺激电极旁，开始治疗时应告知患者需集中注意力，关注系统显示器上肌电信号（红色曲线），训练包括用力—刺激—维持—休息 4 个阶段，具体如下。①用力：嘱患者根据系统发出的提示音尽可能背屈踝关节，使肌电信号升高，将患者当下最高值设置

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

组别	性别		年龄（岁）	病程（d）	脑卒中类型		患侧	
	男	女			脑梗死	脑出血	左侧	右侧
对照组（ $n=48$ ）	28（58.33）	20（41.67）	60.52±5.83	35.18±7.64	37（77.08）	11（22.92）	23（47.92）	25（52.08）
观察组（ $n=49$ ）	34（69.39）	15（30.61）	61.73±4.47	37.35±7.21	43（87.76）	6（12.24）	17（34.69）	32（65.31）
t/χ^2 值	1.284		1.148	1.439	1.910		1.749	
P 值	0.257		0.253	0.153	0.166		0.185	

为基准高度。②刺激：嘱患者尽量用力超过先前自我基线高度，每次超越时系统均会自动给出一个外加强刺激作为奖励，同时增大患者踝背屈度数，期间引导患者仔细感受肌肉收缩引起的运动感觉。

③维持：引导患者根据提示音维持踝背屈动作，记录单次维持时间，要求患者逐渐增加维持时间。

④休息：嘱患者充分放松肌肉，在放松肌肉时系统显示器的肌电信号曲线越低越好。将以上4个训练阶段反复进行，当患者自发肌电信号连续多次超过阈值时，仪器会在下次收缩时自动调整阈值。每次治疗30 min，每天1次，每周训练6次，持续训练4周。

1.2.2 观察组 观察组在对照组基础上进行康复机器人（广州一康医疗设备实业有限公司，型号：A1，如图1）干预，由专业康复训练师为患者穿戴外骨骼康复机器人，记录患者身体指标信息，并根据患者个人情况对机器人辅助训练参数进行调节。在训练时，康复机器人可自动采集患者健侧肢体的运动反应，并通过人机交互镜像技术帮助患者患侧下肢运动。在每次训练开始前，统一设置初始步频为0.2 Hz（最高0.5 Hz），双腿活动度设置为 $5^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ，膝关节活动度设置为 $0^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。训练开始后，康复机器人会根据患者自身能力对助力、步频、步幅等方面进行反馈调节，患者在训练时康复师会全程陪同，并适时给予患者协助。每次训练30 min，每天2次，每周训练6次，持续训练4周。观察组患者先进行生物反馈电刺激干预，后进行康复机器人干预，两项干预的间隔在4 h以上，确保患者体力的恢复。



图1 康复机器人

Figure 1 Rehabilitation robot

1.3 观察指标

1.3.1 下肢功能 于治疗前、治疗4周后，采用Fugl-Meyer下肢运动功能评定量表（Fugl-Meyer Assessment for Lower Extremity, FMA-LE）^[9]和Berg平衡量表（Berg Balance Scale, BBS）^[10]评估患者下肢功能恢复情况。FMA-LE量表共34分，BBS量表共56分，二者分值均与下肢功能正相关。

1.3.2 步行步态情况 于治疗前、治疗4周后，采用功能性步行量表（Functional Ambulation Category Scale, FAC）^[11]评估患者步行能力，FAC评分共6分，分值与步行能力正相关；患者的步频、步速、步行周期采用步态分析仪（美国MiniSun公司，型号：IDEEA）测量，每项指标均测量3次，最后取平均值。

1.3.3 生活状况 于治疗前、治疗4周后，采用日常生活活动能力评定量表（Activity of Daily Living Scale, ADL）^[12]和脑卒中专用生活质量量表（Stroke-specific Quality of Life, SS-QOL）^[13]评估患者生活状况，ADL评分共100分，SS-QOL评分共245分，二者分值均与生活状况正相关。

1.3.4 神经指标水平 于治疗前、治疗4周后，收集患者血液标本（4 mL），离心采集上清液，分别使用酶联免疫法、双抗体夹心法及免疫层析法检测两组患者的神经生长因子（Nerve Growth Factor, NGF）、脑源性神经细胞营养因子（Brain-derived Neurotrophic Factor, BDNF）及神经元特异性烯醇化酶（Neuron-specific Enolase, NSE）。

1.3.5 不良反应发生情况 包括肢体不适、心理不适、皮肤症状、呼吸反应等。

1.4 统计学方法 所有数据采用SPSS 22.0统计学软件进行分析，计数资料用例数（百分比） $[n(\%)]$ 表示，组间行 χ^2 检验。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。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 下肢功能 与治疗前相比，治疗4周后两组患者FMA-LE评分、BBS评分均升高，差异有统计学意义（ $P < 0.05$ ）；与对照组比较，治疗4周后观察组评分更高，差异有统计学意义（ $P < 0.05$ ），见表2。

2.2 步行步态情况 与治疗前相比，治疗4周后两

组患者 FAC 评分及步频、步速水平均升高，步行周期均降低，差异有统计学意义（ $P<0.05$ ）；与对照组比较，治疗 4 周后观察组步行步态各指标更优，差异有统计学意义（ $P<0.05$ ），见表 3。

2.3 生活状况 与治疗前相比，治疗 4 周后两组患者 ADL 评分和 SS-QOL 评分均升高，差异有统计学意义（ $P<0.05$ ）；与对照组比较，治疗 4 周后观察组 ADL 评分和 SS-QOL 评分更高，差异有统计学意义（ $P<0.05$ ），见表 4。

2.4 神经指标水平 与治疗前相比，治疗 4 周后两组患者 NGF 水平和 BDNF 水平均升高，NSE 水平降低，差异有统计学意义（ $P<0.05$ ）；与对照组比较，治疗 4 周后观察组各神经指标均更优，差异有统计学意义（ $P<0.05$ ），见表 5。

2.5 不良反应情况 比较两组不良反应发生情况，差异无统计学意义（ $P>0.05$ ），见表 6。

3 讨论

脑卒中后下肢功能障碍严重影响患者生活质

表 2 两组患者下肢功能比较（ $\bar{x} \pm s$ ）

Table 2 Comparison of lower limb function between the two groups of patients（ $\bar{x} \pm s$ ）

组别	例数	FMA-LE 评分		BBS 评分	
		治疗前	治疗 4 周后	治疗前	治疗 4 周后
对照组	48	14.65 ± 2.87	21.59 ± 3.35 ^a	24.18 ± 3.23	35.32 ± 4.11 ^a
观察组	49	14.03 ± 2.62	26.72 ± 3.17 ^a	23.32 ± 3.12	40.64 ± 4.37 ^a
<i>t</i> 值		1.111	7.748	1.333	6.173
<i>P</i> 值		0.269	<0.001	0.185	<0.001

注：与治疗前比较，^a $P<0.05$

表 3 两组患者步行步态情况比较（ $\bar{x} \pm s$ ）

Table 3 Comparison of gait status between the two groups of patients（ $\bar{x} \pm s$ ）

组别	例数	FAC 评分		步频（步 / 分钟）		步速（m/min）		步行周期（min）	
		治疗前	治疗 4 周后	治疗前	治疗 4 周后	治疗前	治疗 4 周后	治疗前	治疗 4 周后
对照组	48	0.97 ± 0.28	3.11 ± 0.57 ^a	64.71 ± 16.25	74.89 ± 17.12 ^a	17.98 ± 3.82	28.59 ± 5.77 ^a	2.19 ± 0.63	1.81 ± 0.54 ^a
观察组	49	0.88 ± 0.31	3.96 ± 0.73 ^a	61.34 ± 13.76	85.57 ± 18.63 ^a	17.02 ± 3.74	33.15 ± 5.46 ^a	2.35 ± 0.76	1.49 ± 0.43 ^a
<i>t</i> 值		1.499	6.382	1.103	2.938	1.250	3.998	1.127	3.232
<i>P</i> 值		0.137	<0.001	0.272	0.004	0.214	<0.001	0.262	0.002

注：与治疗前比较，^a $P<0.05$

表 4 两组患者生活状况比较（ $\bar{x} \pm s$ ）

Table 4 Comparison of living conditions between the two groups of patients（ $\bar{x} \pm s$ ）

组别	例数	ADL 评分		SS-QOL 评分	
		治疗前	治疗 4 周后	治疗前	治疗 4 周后
对照组	48	48.75 ± 8.02	69.38 ± 10.35 ^a	121.78 ± 8.96	154.73 ± 10.19 ^a
观察组	49	49.76 ± 8.41	77.85 ± 13.24 ^a	118.91 ± 8.35	175.86 ± 11.17 ^a
<i>t</i> 值		0.605	3.505	1.632	9.727
<i>P</i> 值		0.547	0.001	0.105	<0.001

注：与治疗前比较，^a $P<0.05$

表 5 两组患者神经指标水平比较 ($\bar{x} \pm s$)
Table 5 Comparison of neurological indicators between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	NGF (ng/L)		BDNF (μ g/L)		NSE (μ g/L)	
		治疗前	治疗 4 周后	治疗前	治疗 4 周后	治疗前	治疗 4 周后
对照组	48	337.64 $\pm$ 35.89	476.42 $\pm$ 48.53 ^a	3.44 $\pm$ 0.53	3.97 $\pm$ 0.48 ^a	19.24 $\pm$ 3.29	12.76 $\pm$ 2.82 ^a
观察组	49	328.87 $\pm$ 35.17	543.15 $\pm$ 50.28 ^a	3.31 $\pm$ 0.45	4.72 $\pm$ 0.51 ^a	18.27 $\pm$ 3.43	7.83 $\pm$ 1.75 ^a
t 值		1.215	6.648	1.303	7.455	1.420	10.368
P 值		0.227	<0.001	0.195	<0.001	0.158	<0.001

注：与治疗前比较，^aP<0.05

表 6 两组患者不良反应发生情况 [n (%)]
Table 6 Incidence of adverse reactions between the two groups of patients [n (%)]

组别	例数	肢体不适	心理不适	皮肤症状	呼吸反应	总发生率
对照组	48	3 (6.25)	3 (6.25)	2 (4.17)	1 (2.08)	9 (18.75)
观察组	49	6 (12.24)	3 (6.12)	2 (4.08)	3 (6.12)	14 (28.57)
χ^2 值						1.293
P 值						0.255

量，然而传统康复方法干预效果有限^[14]。生物反馈电刺激能转化瘫痪肢体电信号，通过反馈促进患者自我调节，但起效慢，且临床单独应用时具有一定局限性^[15-16]。康复机器人作为穿戴式机械系统，可以协助患者模拟步行、锻炼肌力^[17-18]。

本研究中，观察组治疗 4 周后的 FMA-LE 评分、BBS 评分、ADL 评分、SS-QOL 评分均高于对照组。这与既往研究^[19]结果一致，提示生物反馈电刺激联合康复机器人可进一步促进患者下肢功能恢复，提升患者生活能力及生活质量。生物反馈电刺激有助于调节神经通路，改善脑神经递质分泌代谢，缓解神经功能紊乱。此外，该技术可直接作用于肌肉，促使电反应产生，从而改善肌群间平衡关系，增强下肢肌群的稳定性^[20-21]。康复机器人在训练过程中为患者提供准确的运动形态指导，帮助患者形成准确的感觉-运动回路，从而促进下肢功能恢复^[22]。研究显示^[23]，脑卒中后下肢功能障碍患者因中枢神经系统损伤，常伴随肌力、感知力减弱，影响患者步行能力及步态情况。本研究中，治疗 4 周后观察组 FAC 评分及步频、步速均优于对照组，步行周期短于对照组。这提示康复机器人训练在提高步行能

力，纠正步态方面疗效显著。步频是指单位时间内完成的步数，而步速则是指行走的速度，步行周期是指完成一个完整步态所需的时间。联合治疗后，患者下肢肌肉的力量和协调性增强，使得每一步的推进力更大，步态更稳定，从而提高了步频和步速。此外，康复机器人提供的精确步态训练也有助于患者形成更加高效和自然的步行模式，生物反馈电刺激联合康复机器人有利于促进下肢肌肉和神经系统的快速恢复和重塑，使得患者的步态更加正常，步行周期相应缩短^[24-25]。FAC 评分量表是评估脑卒中患者步行能力的常用工具，接受联合治疗有利于患者下肢肌肉力量的恢复、步态模式的重塑以及平衡能力的提高^[26]。

NGF 是一种调节神经细胞生长及存活的神神经细胞因子，其表达与神经元损伤关联密切^[27-28]。BDNF 是一种神经营养因子，其对保护神经元和修复损伤具有重要作用^[29]。而 NSE 则是一种神经元特异性烯醇化酶，其水平的升高，通常提示神经元受损或坏死^[30]。本研究中，治疗 4 周后观察组 NGF、BDNF 水平高于对照组，NSE 水平低于对照组，这提示了生物反馈电刺激联合康复机器人可有效调节神经因

子指标。原因可能在于：生物反馈电刺激联合康复机器人可以促进神经可塑性的提升，即大脑重新组织自身以适应损伤后的功能恢复。电刺激通过激活残余神经通路，增强神经元之间的连接，而康复机器人则通过重复性、标准化的运动训练，进一步强化这些新连接。同时，电刺激和运动训练均可增加患侧肢体的血流量，改善局部代谢和营养供给，促进组织修复和再生。在不良反应方面，本研究中两组无显著差异，这提示了生物反馈电刺激联合康复机器人在脑卒中后下肢功能障碍患者中应用的安全性较高。

综上所述，生物反馈电刺激与康复机器人的联合应用可进一步促进脑卒中后下肢功能障碍恢复，提高患者生活水平。需要注意的是，本研究虽在脑卒中后下肢功能恢复方面取得了一定进展，但也存在一些不足之处，如本研究所纳入样本量相对较小，可能会影响结果的稳定性和可靠性，未来仍需扩大样本量以进一步验证本研究结果在脑卒中后下肢功能障碍患者中的普遍适用性。

利益冲突声明：本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明：蒋娟愉负责设计论文框架，起草论文及修改论文，拟定写作思路，指导撰写文章并最后定稿；王伟锋、蒋娟愉、张白慧均参与该项目具体操作及研究过程的实施；王伟锋负责数据收集，统计学分析及绘制图表。

参考文献

- [1] 中华护理学会内科专业委员会，首都医科大学宣武医院．急性缺血性脑卒中静脉溶栓护理指南[J]．中华护理杂志，2023，58(1): 10-15.
- [2] 王楠，刘绪涛，谢豪娜．经颅直流电刺激联合下肢智能反馈训练在急性脑卒中后下肢运动功能障碍患者康复中的应用效果[J]．临床和实验医学杂志，2023，22(16): 1755-1758.
- [3] 陆晓，张文通，苏盼盼，等．基于表面肌电特征的脑卒中后下肢运动功能障碍评估[J]．中国生物医学工程学报，2022，41(6): 759-763.
- [4] Aalaie B, Tavana B, Rezasoltani Z, et al. Biofeedback versus electrical stimulation for sexual dysfunction: a randomized clinical trial[J]. Int Urogynecol J, 2021, 32(5): 1195-1203.
- [5] 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(2): 118-122.
- [6] 郑彭，黄国志，彭生辉．下肢康复机器人对改善脑卒中偏瘫患者下肢肌力及运动功能障碍的临床研究[J]．中国康复医学杂志，2016，31(9): 955-959.
- [7] 程庆华，陈蓓蕾，肖雪，等．肌电生物反馈与电刺激治疗对急性出血性脑卒中后吞咽障碍患者临床疗效及吞咽功能的影响[J]．实用医院临床杂志，2023，20(4): 59-63.
- [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] Cristine de Faria L, Barbosa Marques D, Hellen Dos Santos Cerqueira Gomes L, et al. Self-reported use of the paretic lower extremity of people with stroke: a reliability and validity study of the Lower-Extremity Motor Activity Log (LE-MAL) -Brazil[J]. Physiother Theory Pract, 2023, 39(8): 1727-1735.
- [10] ZHANG B, LI D, LIU Y, et al. Virtual reality for limb motor function, balance, gait, cognition and daily function of stroke patients: a systematic review and meta-analysis[J]. J Adv Nurs, 2021, 77(8): 3255-3273.
- [11] 韩春节，刘继红，张玲俐，等．功能性电刺激联合肌筋膜疼痛触发点针刺疗法对脑卒中后痉挛型足下垂患者步态稳定性及 FAC 评分的影响[J]．临床和实验医学杂志，2023，22(12): 1270-1273.
- [12] 张学敏，毕胜，张嗣敏，等．扩展 Barthel 指数量表评定脑卒中 ADL 能力的效度研究[J]．中国康复，2019，34(3): 134-137.
- [13] 李武芬，尤敏．基于老年综合评估的护理干预对脑卒中恢复期患者 SS-QOL 评分的影响[J]．国际护理学杂志，2021，40(6): 1084-1087.
- [14] 党辉，林夏妃，陈伟荣，等．吸气肌训练联合常规康复训练对脑卒中患者膈肌运动和肺功能的影响[J]．郑州大学学报(医学版)，2023，58(2): 241-246.
- [15] 顾怡雯，舒锦．表面肌电生物反馈与神经肌肉电刺激对脑卒中吞咽障碍疗效及生活质量的影响[J]．中国康复，2021，36(10): 599-603.
- [16] 王艳雪，曹海杰，孙乐鹏，等．重复经颅磁刺激与肌电生物反馈电刺激疗法联合治疗脑卒中后足下垂的疗效观察[J]．中国康复，2019，34(3): 119-122.
- [17] Malik A N, Tariq H, Afridi A, et al. Technological advancements in stroke rehabilitation[J]. J Pak Med Assoc, 2022, 72(8): 1672-1674.
- [18] ZHANG S, FAN L, YE J, et al. An intelligent rehabilitation assessment method for stroke patients based on lower limb exoskeleton robot[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2023. DOI: 10.1109/TNSRE.2023.3298670.
- [19] 毛珍芳，蒋志强，龙捷，等．下肢康复机器人在脑卒中伴重度偏瘫患者康复中的价值及其对不良心理的影响[J]．中国医药导报，2023，20(29): 78-82.
- [20] 巢小琳，李燕，曹欣．功能性电刺激结合中药涂擦、强制性运动疗法对脑卒中偏瘫患者上肢功能障碍的治疗效果[J]．海军医学杂志，2024，45(12): 1250-1254.
- [21] 张勇．经颅直流电刺激联合补荣通俞法针刺治疗对缺血性脑卒中后偏瘫患者认知功能、神经功能及运动功能的影响[J]．反射疗法与康复医学，2024，5(12): 51-54.
- [22] 安丹蕾，季宇宣，张瀚之，等．下肢康复训练机器人联合等速肌力训练对老年脑卒中偏瘫患者神经功能、步行能力、Lovett 肌力分级及平衡能力的影响[J]．临床和实验医学杂志，2024，23(4): 377-381.
- [23] 曲斯伟，朱琳，钱龙，等．镜像视觉反馈训练联合下肢康复机器人对脑卒中患者下肢运动功能的影响[J]．中华物理医学与康复杂志，2022，44(1): 30-34.
- [24] 卢旭霞，韩彦青．康复机器人对脑卒中后认知障碍病人认知功能、神经功能缺损程度及炎症因子的影响[J]．中西医结合心脑血管病杂志，2022，20(9): 1721-1723.
- [25] 齐琳，甄巧霞，刘翠，等．半导体激光穴位照射联合智能康复机器人治疗脑卒中偏瘫及对 BBS、FMA 评分的影响[J]．临床和实验医学杂志，2022，21(5): 539-542.
- [26] 江颖子，程红亮，卜云，等．中药封包联合通络解痉汤对脑卒中后痉挛性偏瘫患者 FAC 分级、肌张力及凝血的影响[J]．中医药导报，2023，29(4): 103-106.
- [27] 胡雅坤，王志强，梁家辉．微小 RNA-134 靶向调控环腺苷酸应答元件结合蛋白 / 脑源性神经营养因子通路对脑卒中后抑郁海马神经细胞的影响[J]．临床神经病学杂志，2022，35(1): 56-60.
- [28] 陈瑜，宣青．认知康复训练联合神经节苷脂治疗脑卒中认知障碍的疗效及 NGF 和 BDNF 水平变化[J]．中国老年学杂志，2020，40(7): 1382-1385.
- [29] 陈佳，李恩，王鸿雁．项丛刺疗法联合吞咽康复训练对脑卒中吞咽障碍患者吞咽功能及血清 BDNF、NGF、IGF-1 的影响[J]．武汉大学学报(医学版)，2022，43(5): 762-767.
- [30] 潘东，段英杰．急性缺血性脑卒中患者血清 CTRP-9、NSE 水平与神经功能缺损程度及卒中后认知障碍发生的关系[J]．山东医药，2023，63(17): 61-64.

收稿日期：2024-07-05

编辑：魏小艳