

## 康复机器人辅助训练在脑卒中后上肢功能障碍患者中的应用分析

王凤双, 杨杰, 杨帆

(首都医科大学附属北京康复医院康复诊疗中心 北京 100144)

**摘要** **目的:** 探讨康复机器人辅助训练对脑卒中后上肢功能障碍患者康复的影响。**方法:** 选取2021年12月—2023年12月于首都医科大学附属北京康复医院收治的90例脑卒中后上肢功能障碍患者,按随机数字表法分为对照组(45例,采用任务导向训练)和观察组(45例,采用任务导向训练联合康复机器人辅助训练),对比两组患者上肢功能、手功能、患肢关节活动度、患肢表面肌电图及脑功能连接情况。**结果:** 观察组训练后的Fugl-Meyer运动量表(FMA)评分高于对照组,Jebsen Taylor手功能测试(JTT)时间短于对照组,腕关节的掌屈、背伸、尺偏及桡偏的活动度高于对照组( $P<0.05$ )。观察组训练后屈肘、伸肘时的肌电图值高于对照组,患侧初级运动皮质区(M1)、前运动皮质区(PMC)、辅助运动区(SMA)的HbO<sub>2</sub>浓度高于对照组( $P<0.05$ )。**结论:** 对脑卒中后上肢功能障碍患者应用康复机器人辅助训练联合任务导向训练,利于患者上肢功能、手功能的康复,增加关节活动度,促进脑功能重组,值得临床应用。

**关键词** 康复机器人; 任务导向训练; 脑卒中; 上肢功能障碍

**中图分类号** R743.3 R493 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721(2025)02-0260-06

## Application analysis of rehabilitation robot-assisted training in patients with upper limb dysfunction after stroke

WANG Fengshuang, YANG Jie, YANG Fan

(Rehabilitation diagnosis and treatment center, Beijing Rehabilitation Hospital of Capital Medical University, Beijing 100144, China)

**Abstract** **Objective:** To explore the effect of rehabilitation robot-assisted training on rehabilitation of patients with upper limb dysfunction after stroke. **Methods:** 90 patients with upper limb dysfunction after stroke who were treated in Beijing Rehabilitation Hospital of Capital Medical University from December 2021 to December 2023 were selected and divided into the control group (task-oriented training,  $n=45$ ) and the observation group (task-oriented training combined with rehabilitation robot-assisted training,  $n=45$ ) using the random number table method. The upper limb and hand function, motion range of affected limb joint, affected limb surface electromyography, and brain functional connectivity status were compared between the two groups of patients. **Results:** In the observation group, the Fugl-Meyer Motor Scale (FMA) scores after training, the mobility of palmar flexion, dorsiflexion, ulnar deviation, and radial deviation of the wrist joint, the electromyographic values during elbow flexion and extension, and the concentration of hemoglobin oxytocopherol (HbO<sub>2</sub>) in the primary motor cortical area (M1), premotor cortical area (PMC), and supplementary motor area (SMA) of the affected side were higher than those of the control group ( $P<0.05$ ), and the Jebsen Taylor hand function test (JTT) time was shorter than the control group ( $P<0.05$ ). **Conclusion:** Rehabilitation robot-assisted training combined with task-oriented training can promote the rehabilitation of upper limb and hand function, enhance joint mobility, and improve the reorganization of brain function in patients with upper limb dysfunction after stroke, which is worth applying.

**Key words** Rehabilitation Robot; Task-oriented Training; Stroke; Upper Limb Dysfunction

**基金项目:** 国家重点研发计划(2020YFC2004303)

**Foundation Item:** National Key R & D Plan Project (2020YFC2004303)

**引用格式:** 王凤双, 杨杰, 杨帆. 康复机器人辅助训练在脑卒中后上肢功能障碍患者中的应用分析[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2025, 6(2): 260-265.

**Citation:** WANG F S, YANG J, YANG F. Application analysis of rehabilitation robot-assisted training in patients with upper limb dysfunction after stroke[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(2): 260-265.

**通讯作者( Corresponding Author ): 王凤双( WANG Fengshuang ), Email: ty199111369@163.com**

脑卒中是我国常见的急性脑血管疾病，是导致我国成年人残疾及死亡的主要原因<sup>[1]</sup>。随着医疗技术的发展，脑卒中患者的生存率明显增加，但有80%脑卒中后存活患者伴有不同程度的肢体功能障碍，其中以上肢功能障碍为主，使其躯体功能、日常生活能力明显受限<sup>[2-3]</sup>。任务导向训练是治疗脑卒中后上肢功能障碍的主要推荐方法，对恢复患者运动功能有重要意义<sup>[4-5]</sup>。但因患者康复时间长，功能障碍程度相对较重，此时仅应用任务导向训练无法取得理想效果。近年来，康复机器人逐渐用于医学康复领域，通过康复机器人辅助患者完成肢体康复训练，能根据患者需求随时调整及强化康复训练过程，为患者提供视觉、听觉等多种感官结合训练，调动患者的康复兴趣<sup>[6-7]</sup>。但康复机器人在我国起步较晚，应用范围有待拓展，其康复训练效果仍需临床研究予以论证。基于此，本研究分析康复机器人辅助训练联合任务导向训练对脑卒中后上肢功能障碍患者的康复效果，现报道如下。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 选取2021年12月—2023年12月于首都医科大学附属北京康复医院收治的90例脑卒中后上肢功能障碍患者，按随机数字表法分为对照组（45例，采用任务导向训练）和观察组（45例，采用任务导向训练联合康复机器人辅助训练）。其中对照组男25例，女20例；年龄55~73（64.83±4.18）岁；卒中类型：缺血性卒中32例，出血性卒中13例；偏瘫部位：左侧23例，右侧22例；病程1~6（3.38±1.08）个月。观察组男21例，女24例；年龄55~74（65.18±4.36）岁；卒中类型：缺血性卒中30例，出血性卒中15例；偏瘫部位：左侧21例，右侧24例；病程1~6（3.42±1.06）个月。两组患者的一般资料比较，差异无统计学意义（ $P>0.05$ ），具有可比性。

**纳入标准：**①患者均符合缺血性卒中<sup>[8]</sup>、出血性卒中<sup>[9]</sup>的判断标准；②首发卒中；③肢体功能障碍病程≤6个月；④卒中后的认知功能较好，能配合康复训练；⑤患侧肩关节具备主动前屈、内外展、肘关节屈伸动作，手部轻微抓握，或无动作但屈肌张力不超过1级。**排除标准：**①蛛网膜下腔出血、

进展型脑卒中者；②伴有言语、吞咽、视觉等功能障碍者；③伴有眩晕、耳鸣等前庭功能异常者；④有骨关节疾病、类风湿关节炎等关节疾病者；⑤曾有颅脑外伤、颅脑肿瘤及恶性肿瘤者；⑥其他疾病导致关节疼痛、活动受限；⑦伴癫痫、帕金森等神经系统疾病者。

**1.2 方法** 两组患者在进行康复训练时，均进行常规作业训练、运动训练、被动关节活动训练等。对照组采用任务导向训练，即由操作者指导患者完成多项动作，如将患手置于正前方桌子上，协助及指导患者用手指触摸自己的鼻尖，再放置在桌子上；旋转手臂使手心、手背向上；患侧上肢屈肘90°，指导屈伸腕关节触摸前方的指定物品；患肢屈肘90°，前臂中立位处于桌面，指导患者抓握前方物品并放开；抓取前方水杯或网球等物品并靠近自己的嘴边，再放回原位。同时操作者可对患侧瘫痪肌肉予以拍打、叩击等本体感觉刺激，在患者首次出现肌肉收缩等情况后，可继续强化肌力训练。待其肌力逐渐恢复，并训练患者完成独立进食、刷牙、洗脸、穿衣等基本活动。每次训练活动范围从低到高，训练30分钟/次，1次/天，5天/周，连续训练4周。

观察组在对照组训练方案的基础上采用Hocoma Armeo<sup>®</sup>Power上肢康复机器人辅助训练，其主要分3个模块辅助锻炼，分别为功能性练习、评估练习、娱乐和游戏，辅助患者早期康复训练，侧重上臂、手功能早期康复，即便重度功能障碍患者，也可在该设备辅助下进行大量重复的活动训练，获得学习能力。该康复机器人具有按需辅助功能：当患者不能移动上臂时，该仪器能够感知并根据需求辅助患者完成上臂移动；当患者几乎无活动能力时，设备可以起到完全驱动作用；当患者活动能力有进步时，也可调整到完全无支撑辅助的主动训练模式。上述训练30分钟/次，1次/天，5天/周，连续训练4周。

**1.3 观察指标** ①上肢功能：采用Fugl-Meyer运动量表（Fugl-Meyer Assessment Scale, FMA）<sup>[10]</sup>评价患者上肢功能，分别于训练前后评估其肩、肘部、腕等关节运动情况，总分66分，分值随上肢功能的提高而增加。②手功能：分别于训练前后采用Jebsen Taylor手功能测试法（Jebsen Taylor Hand Function

Test, JTT)<sup>[11]</sup> 评价患者手部完成翻转卡片、捡物品、挖豆子、叠跳棋、转移物品 5 个功能, 每项功能最长时间设置为 120 s, 用时越短, 手功能恢复效果越好。③腕关节活动度: 分别于训练前后评估其腕关节活动度, 测量腕关节的掌屈、背伸、尺偏及桡偏的活动度。④表面肌电图: 分别于训练前后对患肢予以表面肌电图检测, 于肱二头肌、肱三头肌肌腹部粘贴表面电极, 对肘关节予以固定, 指导患者进行屈伸肘活动, 每块肌肉主动收缩 3 次, 每次放松 5 s 后再进行下次活动, 采集收缩时的肌电图值, 数值随肌肉收缩的提高而增加。⑤脑功能连接度: 分别于训练前后对患者进行功能性近红外光谱 [Functional Near-infrared Spectroscopy, fNIRS (丹阳慧创医疗器械有限公司, 型号 Nirsmart-3000 B)] 检测, 覆盖前额、运动区, 将初级运动皮质区 (M1)、前运动皮质区 (PMC)、辅助运动区 (SMA) 设置为感兴趣区域, 记录 730 nm、850 nm 波长的光信号, 采集频率设为 11 Hz, 采集 HbO<sub>2</sub>, 在获取数值时, 校正运动伪影, 消除生理造影, 记录患侧 M1、患侧 PMC、患侧 SMA 的 HbO<sub>2</sub> 值。

**1.4 统计学方法** 所有数据均采用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析。计量数据用均数 ± 标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 予以描述, 符合正态分布的组间数据用独立样本 *t* 检验, 组内数据用配对样本 *t* 检验; 非符合正态分布的数据采用秩和检验; 计数资料以例数 (百分比) [*n* (%)] 表示, 行  $\chi^2$  检验。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 上肢功能** 训练前两组患者 FMA 评分比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。与训练前相比, 训练后两组患者 FMA 评分均增加, 且观察组 FMA 评分高于对照组, 差异有统计学意义 ( $P < 0.001$ ), 如图 1。

**2.2 手功能** 训练前两组患者 JTT 测试时间比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。与训练前相比, 训练后两组患者 JTT 测试时间均缩短, 且观察组 JTT 测试时间短于对照组, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 如图 2。

**2.3 腕关节活动度** 训练前两组患者腕关节活动范围比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。训练后,

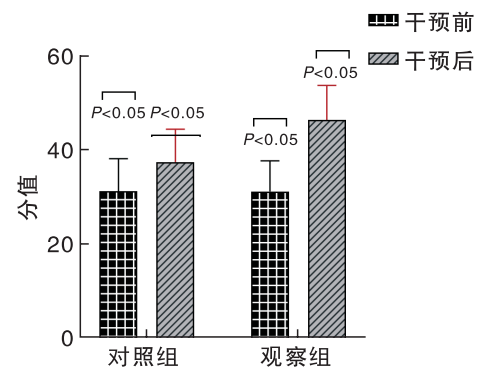


图 1 两组患者 FMA 评分比较

Figure 1 Comparison of FMA scores between the two groups of patients

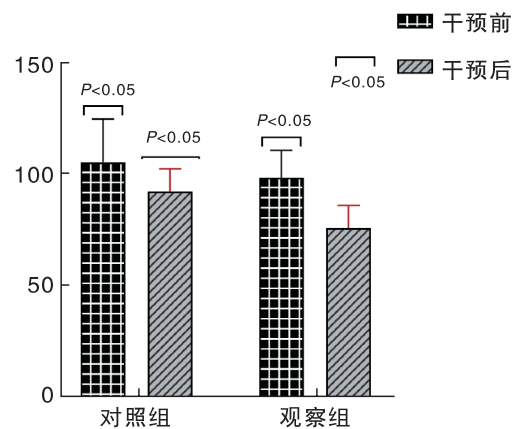


图 2 两组患者 JTT 测试时间比较

Figure 2 Comparison of JTT test times between the two groups of patients

两组患者腕关节活动范围均增加, 且观察组腕关节活动范围高于对照组, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 1。

**2.4 表面肌电图** 训练前两组患者屈肘、伸肘时的肌电图值比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。训练后, 两组患者肌电图值均增加, 且观察组屈肘、伸肘时的肌电图值均高于对照组, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 2。

**2.5 脑功能连接** 训练前两组患者不同区域的 HbO<sub>2</sub> 浓度比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。训练后, 两组患者不同区域的 HbO<sub>2</sub> 浓度均增加, 且观察组不同区域的 HbO<sub>2</sub> 浓度高于对照组, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 3。

## 3 讨论

上肢功能障碍是脑卒中后患者常见后遗症,

表 1 两组患者腕关节活动范围比较 (°,  $\bar{x} \pm s$ )Table 1 Comparison of wrist joint motion range between the two groups of patients (°,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	掌屈		背伸		桡偏		尺偏	
	训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后
观察组 (n=45)	54.72 ± 6.36	78.84 ± 6.51 <sup>a</sup>	7.18 ± 2.18	18.36 ± 4.15 <sup>a</sup>	13.89 ± 3.36	25.18 ± 4.18 <sup>a</sup>	38.89 ± 6.34	78.84 ± 8.18 <sup>a</sup>
对照组 (n=45)	55.18 ± 6.48	71.05 ± 6.29 <sup>a</sup>	7.30 ± 2.24	15.01 ± 4.08 <sup>a</sup>	14.01 ± 3.41	22.08 ± 4.31 <sup>a</sup>	40.12 ± 6.49	71.03 ± 8.09 <sup>a</sup>
t 值	0.340	5.773	0.258	3.861	0.168	3.464	0.909	4.554
P 值	0.735	<0.001	0.797	<0.001	0.867	0.001	0.366	<0.001

注：与本组训练前比较，<sup>a</sup>P<0.05表 2 两组患者肌电图值比较 (μV,  $\bar{x} \pm s$ )Table 2 Comparison of electromyographic values between the two groups of patients (μV,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	屈肘		伸肘	
	训练前	训练后	训练前	训练后
观察组 (n=45)	6.28 ± 2.48	48.82 ± 3.36 <sup>a</sup>	4.92 ± 1.78	68.28 ± 4.87 <sup>a</sup>
对照组 (n=45)	6.36 ± 2.51	42.04 ± 3.27 <sup>a</sup>	5.06 ± 1.84	61.03 ± 4.73 <sup>a</sup>
t 值	0.152	9.701	0.367	7.164
P 值	0.879	<0.001	0.715	<0.001

注：与本组训练前比较，<sup>a</sup>P<0.05表 3 两组患者不同区域 HbO<sub>2</sub> 浓度比较 (×10<sup>-6</sup> mmol/L,  $\bar{x} \pm s$ )Table 3 Comparison of HbO<sub>2</sub> concentrations in different regions between the two groups of patients (×10<sup>-6</sup> mmol/L,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	患侧 M1 区		患侧 PMC 区		患侧 SMA 区	
	训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后
观察组 (n=45)	8.08 ± 1.75	20.24 ± 2.48 <sup>a</sup>	10.84 ± 3.36	24.26 ± 4.27 <sup>a</sup>	16.87 ± 4.25	24.43 ± 5.18 <sup>a</sup>
对照组 (n=45)	7.97 ± 1.82	16.71 ± 2.50 <sup>a</sup>	11.07 ± 3.48	20.01 ± 4.19 <sup>a</sup>	17.04 ± 4.35	19.78 ± 4.93 <sup>a</sup>
t 值	0.292	6.725	0.319	4.766	0.188	4.362
P 值	0.771	<0.001	0.751	<0.001	0.852	<0.001

注：与本组训练前比较，<sup>a</sup>P<0.05

以不由自主运动、肌张力异常及协调运动障碍等表现为主。由于患者上肢功能障碍持续时间长，约有 50% 患者伴有中重度功能障碍，此时仅通过作业、运动等常规康复训练，因其训练内容单一，过程枯燥无味，多数患者无法坚持训练，造成康复训练效果不佳<sup>[12-13]</sup>。任务导向训练一直是脑卒中后患者康复训练的主要方案，基于患者异常表现及缺失情况，将满足患者实际生活需求作为训练目标，以任务作为导向指导患者有目的参与到康复训练中，可在一定程度上促进患者功能康复<sup>[14-15]</sup>。但因患者康复过程漫长、受影响因素较多，短时间的干预训练并不

能取得最佳效果，故而为了短期内缓解患者上肢功能异常情况，多要联合其他方法共同干预。上肢康复机器人有效地结合了虚拟现实技术及软件系统，在进行一定的康复训练时，可满足患者康复训练过程中的趣味性要求，并为患者提供沉浸式、个性化的康复训练场景，对患者视觉、听觉及触觉予以多感官刺激，同时将刺激反馈至中枢神经组织，进而提高患者康复训练效果<sup>[16-17]</sup>。

上肢功能障碍患者因肢体肌无力、活动受限等，均会造成肩关节稳定性下降，同时手部功能障碍，腕关节无法有效屈伸、活动等，均会影响患者

日常生活能力及自理性。本研究显示,观察组训练后 FMA 评分高于对照组, JTT 测试时间短于对照组,腕关节的掌屈、背伸、尺偏及桡偏的活动度均高于对照组,差异有统计学意义 ( $P<0.05$ )。说明康复机器人辅助训练联合任务导向训练能够改善患者上肢功能,利于手、腕关节功能的康复。付艳等人<sup>[18-19]</sup>对上肢康复机器人的关节运动轨迹、角度、肩肘关节运动协调性分析指出,其可抑制躯干活动代偿性,增加关节活动代偿性及平稳性。隋意等人<sup>[20]</sup>对溶栓后卒中患者予以手功能康复机器人干预后,患者上肢功能、手肘活动度均增加。上述研究均报道了康复机器人辅助训练在患者疾病急性期、恢复期均有一定的效果。任务导向训练以恢复患者日常生活能力为训练目的,根据患者完成的目的及训练过程有效整合运动模式,可纠正患者异常姿势,促进肌肉张力,使患者重新建立肢体运动模式<sup>[21]</sup>。联合康复机器人辅助训练,可为患者提供高重复、高效的训练模式,通过视觉、听觉等实时反馈调整运动模式,有利于患者运动皮质区的重组,改善患者肢体运动功能;另外康复机器人能辅助患者完成自由运动过程,实现肩关节、肘关节及手部等功能活动,尤其是在康复早期注重手部及上臂的康复训练,通过进行主被动康复训练,进而改善患者上肢功能<sup>[22-23]</sup>。

脑卒中后患者患肢肌群张力及肌力抑制,神经系统活性降低,周围神经及肌肉的运动神经细胞异常,均会导致肢体功能障碍。本研究结果显示,观察组训练后屈肘、伸肘时的肌电图值均高于对照组,差异有统计学意义 ( $P<0.05$ ),说明康复机器人辅助训练联合任务导向训练能增加患者肌肉负荷强度,促进肌肉兴奋活动度,利于患者肢体功能康复。通过任务导向训练患者的手腕、手指、肘部、肩部等关节活动能力,可促进患者运动及感觉通路的神经元,有效控制其肢体运动节奏,促进患侧肌群活动,增加肢体肌力。康复机器人提供在三维空间内大单位的智能上肢支撑功能,其软件功能表现为增强表现反馈、抓握、放松训练,可按需辅助支持,提供上肢减重支持,指导外骨骼运动,其主要目的是增强患者活动范围、肌力与耐力水平,改善自主运动。

康复机器人的应用,可对患者多感官予以刺激,并将训练结果反馈至训练系统,患者能实时感知训练反馈结果,有利于神经细胞重塑、轴突延伸及突触建立,对促进神经再生与运动功能重建有积极意义;同时能够提高关节运动的灵活性及稳定性,改善肌肉质量,增加肢体肌力,以此促进患者关节功能康复<sup>[24]</sup>。

通常,正常大脑两侧半球功能处于相对平衡的状态,两侧 M1 区相互作用、制约,维持平衡状态。脑卒中后患者双侧大脑兴奋性明显改变,当一侧大脑受损,两侧半球平衡被破坏,患侧半球的兴奋性下降,而健侧半球过度抑制,从而导致卒中后功能障碍<sup>[25-26]</sup>。因此当促进患侧半球兴奋性,或抑制健侧半球兴奋性,对促进卒中后功能恢复有重要意义。fNIRS 通过分析大脑皮质区的血氧浓度,有效评估大脑活动状态,可间接性评价大脑神经元的活动状态。本研究显示,观察组训练后的患侧 M1、PMC、SMA 的 HbO<sub>2</sub> 浓度均高于对照组,差异有统计学意义 ( $P<0.05$ )。说明康复机器人辅助训练联合任务导向训练能增加患者患侧运动区的神经元活性,利于患者功能康复。ZHENG J Y 等人<sup>[27]</sup>报道了上肢康复机器人辅助患者进行主动、被动训练均能激活患侧半球感觉运动、前运动皮层活性,促进与认知和运动控制相关的皮层激活,利于大脑功能连接。通过任务导向训练促进患者肢体活动康复的同时,采用康复机器人可激活患者大脑运动神经区的控制系统,改善神经可塑性,刺激运动神经元活性,利于感觉运动皮质层的建立;同时能有效控制上肢运动的中枢神经系统,促进大脑功能活性,利于大脑重塑;另外通过视觉系统传递肢体活动信号至皮质运动区,利于患侧 M1 区产生神经冲动,并将产生的冲动信号传递至脊髓,可有效控制手臂及手部的运动,以此进一步促进患者皮质区激活,利于患者上肢功能康复<sup>[28-30]</sup>。

综上所述,对脑卒中后上肢功能障碍患者应用康复机器人辅助训练联合任务导向训练,利于患者上肢功能、手功能的康复,增加关节活动度,提高患肢肌力,促进脑功能重组,增加皮质激活,值得应用。但本研究的样本量较少,患者训练时间短、

观察时间短,使本研究结果存在一定偏倚,故后期需要扩大样本量、延长观察时间,进而深入研究康复机器人的作用机制。

**利益冲突声明:** 本文不存在任何利益冲突。

**作者贡献声明:** 王凤双负责设计论文框架,起草论文,论文修改,拟定写作思路,指导撰写文章并最后定稿;杨杰负责实验操作,研究过程的实施;杨帆负责数据收集,统计学分析及绘制图表。

## 参考文献

- [1] 吴鸿玲,张毅,王奥,等.基于远程康复平台的任务导向性训练对脑卒中后出院患者运动功能和日常生活活动能力的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2022,44(1):40-43.
- [2] 赵青,马奎军,王虹,等.巨刺疗法联合上肢智能康复机器人对提高脑卒中急性期患者手功能主动运动诱发的疗效观察[J].中国中医急症,2023,32(8):1436-1440.
- [3] 黄振明,邓海茵,何友泽,等.上肢康复机器人在脑卒中后不同时期上肢运动功能康复中的应用研究进展[J].中华物理医学与康复杂志,2024,46(8):751-755.
- [4] 张云涵,吕文艳,刘家宝.镜像疗法联合任务导向性训练对脑卒中偏瘫患者肢体功能恢复的影响[J].四川大学学报(医学版),2023,54(5):1046-1051.
- [5] Lee S H, Park G, Cho D Y, et al. Comparisons between end-effector and exoskeleton rehabilitation robots regarding upper extremity function among chronic stroke patients with moderate-to-severe upper limb impairment[J]. Sci Rep, 2020, 10 (1): 1806.
- [6] 李京泽,邢靖松,吕福现,等.下肢康复机器人训练对卒中后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.
- [7] 苏丽丽,方小养,林玲,等.上肢康复机器人训练对亚急性脑卒中患者认知和上肢运动功能的效果[J].中国康复理论与实践,2022,28(5):508-514.
- [8] 中国卒中学会,中国卒中学会神经介入分会,中华预防医学会卒中预防与控制专业委员会介入学组.急性缺血性卒中血管内治疗中国指南2018[J].中国卒中杂志,2018,13(7):706-729.
- [9] 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.
- [10] Singer B, Garcia-vega J. The Fugl-Meyer upper extremity scale[J]. J Physiother, 2017, 63(1): 53.
- [11] Kontson K L, Wang S, Barovsky S, et al. Assessing kinematic variability during performance of Jebsen-Taylor Hand Function Test[J]. J Hand Ther, 2020, 33(1): 34-44.
- [12] 王静,朱琳,王瑞平.上肢机器人对卒中患者上肢功能恢复的影响[J].中国实用神经疾病杂志,2013,16(22):73-74.
- [13] 丁莹,胡军.任务导向训练与音乐治疗在脑卒中上肢运动功能康复中的应用[J].中国康复,2023,38(3):136-139.
- [14] 朱琳,席艳玲,黄海霞,等.机器人辅助训练对卒中患者上肢屈肌痉挛的疗效观察及表面肌电图分析[J].中国康复医学杂志,2020,35(8):954-958.
- [15] 王晓芳,张秀娟,张雅中.镜像疗法联合任务导向性训练对老年脑卒中后偏瘫患者功能恢复及肌电图的影响[J].实用医院临床杂志,2023,20(5):41-44.
- [16] 杜滨红,马丽虹,翟霞,等.任务导向的上肢康复机器人训练对脑卒中后上肢功能的疗效观察[J].中国康复医学杂志,2022,37(11):1551-1554.
- [17] Takebayashi T, Takahashi K, Amano S, et al. Robot-assisted training as self-training for upper-limb hemiplegia in chronic stroke: a randomized controlled trial[J]. Stroke, 2022, 53(7): 2182-2191.
- [18] 付艳,阳交凤,李世其,等.康复机器人被动训练对脑卒中患者上肢代偿运动的影响[J].中国康复医学杂志,2022,37(5):647-652.
- [19] 朱琳,席艳玲,严会荣,等.上肢康复机器人在脑卒中上肢屈肌痉挛患者肘伸展功能恢复中的应用效果[J].临床和实验医学杂志,2022,21(10):1110-1114.
- [20] 隋意,李爱仙,蔡鹤,等.老年缺血性脑卒中患者溶栓后采用手功能康复机器人干预对上肢功能及握力的改善效果[J].机器人外科学杂志(中英文),2024,5(2):158-165.
- [21] 张云涵,吕文艳,刘家宝.镜像疗法联合任务导向性训练对脑卒中偏瘫患者肢体功能恢复的影响[J].四川大学学报(医学版),2023,54(5):1046-1051.
- [22] LIU Y L, SONG Q Z, LI C, et al. Quantitative assessment of motor function for patients with a stroke by an End-Effector upper limb rehabilitation robot[J]. Biomed Res Int, 2020. DOI: 10.1155/2020/5425741.
- [23] 宋建飞,戴磊,秦郑圆,等.上肢康复机器人辅助训练对卒中患者上肢功能的效果:基于功能性近红外光谱[J].中国康复理论与实践,2023,29(11):1339-1345.
- [24] 刘攀,卢秀艳,王欣,等.上肢机器人虚拟情景训练联合头针对脑卒中患者认知功能障碍的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2024,46(3):242-246.
- [25] Kim D H, Lee K D, Bulea T C, et al. Increasing motor cortex activation during grasping via novel robotic mirror hand therapy: a pilot fNIRS study[J]. J Neuroeng Rehabil, 2022, 19(1): 8.
- [26] 孙琦,谢晶军.上肢康复机器人对脑卒中患者上肢功能障碍的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2023,45(9):833-835.
- [27] ZHENG J Y, SHI P, FAN M X, et al. Effects of passive and active training modes of upper-limb rehabilitation robot on cortical activation: a functional near-infrared spectroscopy study[J]. Neuroreport, 2021, 32(6): 479-488.
- [28] 范虹,龚剑秋,吴月峰,等.基于上肢康复机器人的任务导向性训练对急性期脑卒中患者上肢本体感觉功能的影响[J].中国康复医学杂志,2020,35(8):983-985.
- [29] Lamberti N, Manfredini F, Baroni A, et al. Motor cortical activation assessment in progressive multiple sclerosis patients enrolled in gait rehabilitation: a secondary analysis of the RAGTIME trial assisted by functional near-infrared spectroscopy[J]. Diagnostics (Basel), 2021, 11(6): 1068.
- [30] 顾怡雯,舒锦,赵珈琛.手部外骨骼机器人联合Bobath训练在脑卒中偏瘫患者手功能康复治疗中的应用效果观察[J].中国康复,2024,39(10):594-598.

收稿日期:2024-05-23

编辑:赵敏