

## 手部外骨骼机器人联合手运动想象对脑卒中偏瘫患者脑电信号及认知功能的影响

顾怡雯, 舒锦

(上海市静安区市北医院老年康复科 上海 200435)

**摘要** **目的:** 探讨手部外骨骼机器人联合手运动想象对脑卒中偏瘫患者脑电信号及认知功能的影响。**方法:** 选取 2022 年 10 月—2023 年 10 月于上海市静安区市北医院老年康复科就诊的脑卒中后偏瘫手功能障碍患者 120 例, 按照不同干预方法将其分为 A、B、C 三组, 各 40 例。A 组予以手运动想象联合常规康复治疗, B 组予以手部外骨骼机器人联合常规康复治疗, C 组予以手部外骨骼机器人联合手运动想象及常规康复治疗。比较三组患者 Fugl-Meyer 上肢运动功能量表 (FMA-UL) 评分、上肢动作研究量表 (ARAT) 评分、Carroll 上肢功能试验 (UEFT) 评分、Bathel 指数 (BI) 评分、蒙特利尔认知评估量表 (MoCA) 评分、简易精神状态检查量表 (MMSE) 评分、上肢肌电积分 (iEMG) 值、大脑各导联  $\alpha$  波绝对功率值及总有效率。**结果:** 治疗后 4 周, 三组患者 FMA-UL、ARAT、UEFT、BI 评分及前臂伸肌肌群、上肢三角肌、肱三头肌 iEMG 值比较均显著升高, 且 C 组显著高于 A 组、B 组, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。三组患者 MoCA、MMSE 评分及大脑各导联  $\alpha$  波绝对功率值比较均显著升高, 且 C 组均显著高于 A 组、B 组, A 组均显著高于 B 组, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。C 组总有效率 (97.50%) 显著高于 A 组总有效率 (82.50%) 与 B 组总有效率 (80.00%), 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。**结论:** 手部外骨骼机器人联合手运动想象可明显改善脑卒中偏瘫患者认知功能与大脑功能状态, 提高其日常生活能力及前臂伸肌肌群、上肢三角肌、肱三头肌 iEMG 值, 更好地改善其上肢运动功能障碍。

**关键词** 脑卒中; 手部外骨骼机器人; 运动想象; 康复; 手功能

**中图分类号** R743.3 R493 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2024) 06-1116-08

## Effect of hand exoskeleton robot combined with hand motion imagination on EEG signal and cognitive function in stroke patients with hemiplegia

GU Yiwen, SHU Jin

(Department of Rehabilitation, Shanghai Jing'an District Shibe Hospital, Shanghai 200435, China)

**Abstract** **Objective:** To investigate the effects of hand exoskeleton robot combined with hand motion imagination on EEG signal and cognitive function of stroke patients with hemiplegia. **Methods:** A total of 120 hemiplegia patients with hand dysfunction after stroke who were treated in Shanghai Jing'an District Shibe Hospital from October 2022 to October 2023 were selected. They were divided into 3 groups according to different intervention ways, with 40 cases in each group. Group A was given hand movement imagination combined with routine rehabilitation treatment, group B was given hand exoskeleton robot combined with routine rehabilitation treatment, while Group C was given the hand exoskeleton robot combined with hand movement imagination and routine rehabilitation treatment. Fugl-Meyer assessment of upper extremity (FMA-UE), action

收稿日期: 2024-04-16 录用日期: 2024-05-18

Received Date: 2024-04-16 Accepted Date: 2024-05-18

基金项目: 上海市静安区卫生科研课题 (2022MS10); 上海市静安区卫生系统重点学科建设资助项目 (2021ZD03)

Foundation Item: Health Research Project of Shanghai Jing'an District (2022MS10); Health System Key Discipline Construction Support Project of Shanghai Jing'an District (2021ZD03)

通讯作者: 舒锦, Email: Shu\_jin@126.com

Corresponding Author: SHU Jin, Email: Shu\_jin@126.com

引用格式: 顾怡雯, 舒锦. 手部外骨骼机器人联合手运动想象对脑卒中偏瘫患者脑电信号及认知功能的影响 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2024, 5 (6): 1116-1123.

Citation: GU Y W, SHU J. Effect of hand exoskeleton robot combined with hand motion imagination on EEG signal and cognitive function in stroke patients with hemiplegia[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2024, 5(6): 1116-1123.

research arm test (ARAT), upper extremity function test (UEFT), Batherl Index (BI), montreal cognitive assessment (MoCA), mini-mental state examination (MMSE), and intramuscular EMG (iEMG) of the upper limbs, absolute power of  $\alpha$  oscillations of each brain lead and total effective rate were compared among the three groups. **Results:** 4 weeks after treatment, FMA-UL, ARAT, UEFT and BI scores, iEMG values of the forearm extender muscle group, upper limb deltoid muscle, and triceps were significantly improved, while they were significantly better in group C than group A and B ( $P<0.05$ ). MoCA, MMSE scores, and absolute power values of  $\alpha$  oscillations of brain leads were all increased in the three groups after treatment, while they were significantly better in group C than group A and B, and group A was significantly better than group B, with significant differences ( $P<0.05$ ). Overall effective rate of Group C (97.50%) was noticeably higher than group A (82.50%) and group B(80.00%), and the differences were statistically significant ( $P<0.05$ ). **Conclusion:** Hand exoskeleton robot combined with hand motion imagination can significantly improve the cognitive function, brain function and upper limb motor dysfunction of stroke patients with hemiplegia, as well as improve their daily living ability and iEMG values of forearm extensors, upper deltoid muscles and triceps.

**Key words** Stroke; Hand Exoskeleton Robot; Motor Imagination; Rehabilitation; Hand Function

脑卒中潜伏期长, 致残率、致死率较高, 属于常见颅脑病变<sup>[1]</sup>。偏瘫是脑卒中常见并发症, 患者自理能力差, 合并认知障碍概率高, 患者易出现情绪消极悲观的情况, 导致生活质量降低<sup>[2-3]</sup>。研究指出手功能障碍更是影响脑卒中偏瘫患者回归社会与家庭的重要因素<sup>[4]</sup>。康复治疗能提高患者生活能力, 促进其神经功能恢复, 改善其自理能力<sup>[5]</sup>。与传统康复手段对比, 外骨骼机器人可提供个性化、高强度的可控性康复训练, 是一种新型助行-康复技术, 融合了人工智能、康复医学、机器人学等学科, 能够精确评估患者运动功能改善程度, 减轻临床工作人员负担<sup>[6-7]</sup>。运动想象则属于特殊的主动运动, 无任何动作输出, 具备操作简单、针对性强的优势, 可按照运动记忆进行反复运动想象, 激活大脑某一活动特定区域, 予以暗示性训练, 适用于卒中后任何阶段。且运动想象能够减轻多数治疗存在的场地、器械等限制, 已被证明疗效明显<sup>[8]</sup>。本研究旨在探讨手部外骨骼机器人、手运动想象及常规康复治疗用于脑卒中偏瘫手功能障碍患者中的康复训练, 观察其对患者脑电信号与认知功能的影响。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 选取2022年10月—2023年10月于上海市静安区市北医院老年康复科就诊的脑卒中后偏瘫手功能障碍患者120例, 按照不同干预方法将其分为A、B、C三组, 各40例。A组予以手运动想象联合常规康复治疗, B组予以手部外骨骼机器人联合常规康复治疗, C组予以

手部外骨骼机器人联合手运动想象及常规康复治疗。三组患者基线资料比较, 差异无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 见表1。

纳入标准: ①符合《中国脑血管病防治指南》<sup>[9]</sup>中疾病诊断标准; ②年龄55~80岁, 病程 $\leq 1$ 个月; ③能够单独执行指令; ④生命体征稳定, 既往无正规康复治疗; ⑤依从性较好; ⑥偏瘫手Brunnstrom分期I~II期; ⑦蒙特利尔认知评估量表(Montreal Cognitive Assessment Scale, MoCA)评分 $<26$ 分, 感知、认知能力下降者; ⑧均已签署知情同意书。排除标准: ①偏瘫手严重肿胀、骨折者; ②上肢手改良Ashworth分级 $>3$ 级者; ③合并恶性肿瘤、癫痫者; ④精神状态异常、意识不清者; ⑤存在明显认知障碍, 不能完成认知量表评估者; ⑥体内有耳蜗植入、心脏起搏器等金属异物者; ⑦无法穿戴外骨骼者。本研究已经医院伦理委员会批准(伦理审批号: YL-20220704-11)。

## 1.2 方法

**1.2.1 常规康复治疗** 所有患者均行常规康复干预, 经资深康复治疗师负责, 推行脑卒中康复宣教, 予以日常生活活动能力训练、步行功能训练、手功能训练及翻身坐起训练等, 提高患者独立生活能力与运动功能。治疗60分钟/次, 1次/天, 5天/周, 持续4周。

**1.2.2 手运动想象联合常规康复治疗** 在常规康复治疗基础上行手运动想象训练。治疗前, 由专业康复治疗师讲解手运动想象治疗过程, 并于安静的治疗室内向患者示范训练动作, 帮助患者了解动作的全部流程, 确定患者能够想象

动作执行过程,于大脑建立“启动-进行-结束”整个动作的流程图,即可进行手运动想象训练。首先嘱患者闭目深呼吸全身放松,想象躺在舒适、温暖的环境中,维持2~3 min,按指导录音进行训练。随后要求患者集中注意力,行患侧上肢运动想象训练,包括肩关节外展、前屈、后伸动作,以及指关节、腕关节、肘关节的伸展动作等,持续10 min。基础动作结束后,再次集中患者注意力,深呼吸全身放松,行功能性活动与日常生活活动能力训练,如想象穿衣、洗漱、梳头等,并想象“伸胳膊碰面前的杯子”“移动木块和物体”“伸开手指抓握网球”“举起手臂拿东西”“端茶”“剥香蕉”等手部动作,持续15 min。最后深呼吸全身放松,嘱患者集中注意力于周边,逐步放松全身肌肉,想象回到室内,感受

周围的环境,维持2~3 min,让患者缓慢睁开眼睛,期间可从10倒数至1,结束训练。训练1次/天,5天/周,持续4周。同时配合常规康复,60分钟/次,1次/天。注意,想象过程中应防止患者出现肢体动作,若患者发生肌张力上升、疲劳等不适现象,应适当休息,终止训练。

**1.2.3 手部外骨骼机器人联合常规康复治疗**在常规康复治疗基础上行手部外骨骼机器人训练(如图1)。外骨骼训练装置由上海海每康智能科技有限公司生产,型号HMK-SG01,采用EMG控制上肢外骨骼训练系统。外骨骼机械手由多尼龙指环固定于手上,其构成为手指组件5个、手掌支持平台1个。手指组件为5连杆机构,可带动每个手指屈伸,属于单独微型线性电机驱动。外骨骼训练系统还能收集健手

表1 三组患者基线资料比较 [ $\bar{x} \pm s, n(\%)$ ]

Table 1 Comparison of baseline data among the three groups of patients [ $\bar{x} \pm s, n(\%)$ ]

组别	A组 (n=40)	B组 (n=40)	C组 (n=40)	F/ $\chi^2$ 值	P值
性别				0.475	0.789
男	23 (57.50)	21 (52.50)	24 (60.00)	—	—
女	17 (42.50)	19 (47.50)	16 (40.00)	—	—
年龄(岁)	64.35 ± 7.81	65.11 ± 8.04	64.02 ± 7.94	0.199	0.820
病程(d)	21.45 ± 3.26	21.83 ± 3.08	21.60 ± 3.47	0.137	0.872
病变类型				0.539	0.764
脑出血	14 (35.00)	11 (27.50)	13 (32.50)	—	—
脑梗死	26 (65.00)	29 (72.50)	27 (67.50)	—	—
肩关节半脱位	15 (37.50)	16 (40.00)	13 (32.50)	0.502	0.778
优势手				0.480	0.787
左	25 (62.50)	23 (57.50)	22 (55.00)	—	—
右	15 (37.50)	17 (42.50)	18 (45.00)	—	—

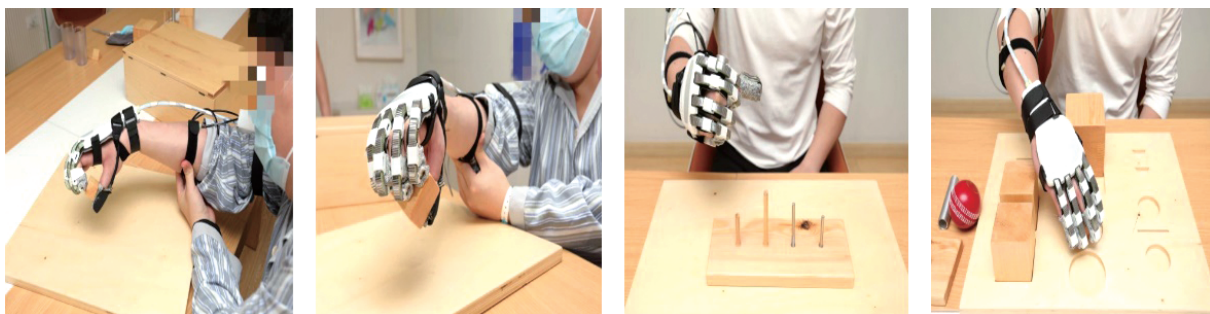


图1 手部外骨骼机器人辅助卒中后手功能障碍患者康复训练

Figure 1 Rehabilitation training of patients with hand dysfunction after stroke assisted by hand exoskeleton robot

运动期间关键肌表面肌电信号，解析出健手的手势动作，一般通过运动模式的肌电控制系统进行识别，从而驱动外骨骼辅助患手，促使双手完成同步对称性训练。

手部外骨骼机器人训练前，应详细说明训练方法和仪器原理，提高患者依从性。随后由康复治疗师辅助患者穿戴机械手臂，患手佩戴外骨骼，取表面阵列电极2块，贴在其健侧前臂伸肌、屈肌区域，注意患者应取坐位，于舒适等高支撑平面上放置患手，确保表面阵列电极覆盖前臂浅表肌群。后在保证手功能性活动、高识别率情况下，予拇指和食指对指、集团抓握、伸食指和中指、伸拇指、集团伸展、伸食指6组动作。健手单独完成上述动作，以供机器学习。正式训练期，依次训练上述动作，如训练集团抓握时，待健手自主抓握后，引导患手抓握动作，且外骨骼同步辅助抓握，维持5 s后放松，反复训练10次。期间可尝试抓握网球、木块等，还需嘱患者集中注意力，持续性给予其训练指令，重点关注患手运动感觉，以及机械手运动情况。训练30分钟/次，1次/天，5天/周，连续4周。同时配合常规康复治疗，60分钟/次，1次/天。

**1.2.4 手部外骨骼机器人联合手运动想象治疗及常规康复训练** 在常规康复治疗基础上，增加手部外骨骼机器人和手运动想象训练。本组训练中，常规康复治疗60分钟/次；手运动想象训练15分钟/次；手部外骨骼机器人训练15分钟/次。每种治疗均1次/天，5天/周，连续4周。

### 1.3 观察指标

**1.3.1 主要观察指标** ①使用Fugl-Meyer上肢运动功能量表(Fulg-Meyer Assessment of Upper Extremity, FMA-UE)<sup>[10]</sup>评估三组患者治疗前后上肢运动功能，包括协调、手腕、肩/肘/前臂、手/手指四个类别，共评估33个项目，按3分制评分(0~2分)，总计66分，分数愈高上肢运动功能愈好。②使用上肢动作研究量表(Action Research Arm Test, ARAT)<sup>[11]</sup>评估三组患者治疗前后手精细运动功能，包括粗大运动功能、抓、握、手指对捏测试4个项目，分数越高手精细运动功能越好。③使用Carroll上肢功能试验(Upper

Extremity Function Test, UEFT)<sup>[12]</sup>评估三组患者治疗前后手功能，包括旋转、捏、抓握、书写、放置5个功能区分数与试验总分，共6部分，分数越高手功能越好。④使用MoCA、简易精神状态检查量表(Mini-Mental State Examination, MMSE)<sup>[13]</sup>评估三组患者认知功能，评分愈高认知功能愈好。⑤利用Neuroscan 64导联脑电放大器，采集患者放松全身、闭眼状态、安静状态、清醒时脑电信号，记录20 min。注意，应先处理心电、眼电等干扰信号，随后使用快速傅里叶变换提取脑电信号的 $\alpha$ 波绝对功率值，记录大脑各导联 $\alpha$ 波绝对功率值。

**1.3.2 次要观察指标** ①使用Bathelr指数(BI)评分<sup>[14]</sup>评估三组患者治疗前后日常生活能力，共计10个项目，评分愈高生活能力愈好。②评估三组患者治疗前后上肢肌电积分(Intramuscular Electromyogram, iEMG)值，在患者行伸指、伸腕、伸肘、肩外展动作时，利用表面肌电治疗反馈系统评估前臂伸肌肌群、上肢三角肌、肱三头肌iEMG值。③Brunnstrom分期为I~VI期，治疗后显效为IV~VI期，有效为III期，无效为I、II期。总有效率=显效率+有效率。

**1.4 统计学方法** 所有数据采用SPSS 26.0进行统计学分析。计量资料用均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示，组间用 $t$ 检验；计数资料用例数(百分比)[ $n$ (%)]表示，组间用 $\chi^2$ 检验；多组间比较用单因素方差分析。 $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 FMA-UL、ARAT、UEFT、BI评分** 三组患者治疗前FMA-UL、ARAT、UEFT、BI比较，差异无统计学意义( $P>0.05$ )；治疗4周后，三组患者FMA-UL、ARAT、UEFT、BI评分均显著升高，且C组显著高于A组、B组，差异有统计学意义( $P<0.05$ )，见表2。

**2.2 MoCA、MMSE评分** 三组患者治疗前MoCA、MMSE评分比较，差异无统计学意义( $P>0.05$ )；治疗4周后，三组患者MoCA、MMSE评分均显著升高，差异有统计学意义( $P<0.05$ )，其中C组评分均显著高于A组、B

组, 差异有统计学意义 ( $P<0.05$ ), A 组评分均显著高于 B 组, 差异有统计学意义 ( $P<0.05$ ), 见表 3。

**2.3 上肢 iEMG 值** 治疗 4 周后, 三组患者肱三头肌、前臂伸肌肌群、上肢三角肌 iEMG 值均明显升高, 且 C 组显著高于 A 组、B 组, 差异均有统计学意义 ( $P<0.05$ ), 见表 4。

**2.4 脑电  $\alpha$  波绝对功率值** 三组患者治疗前大脑各导联  $\alpha$  波绝对功率值比较, 差异无统计学意义 ( $P>0.05$ ); 治疗 4 周后, 三组大脑各导联  $\alpha$  波绝对功率值均显著升高, 差异有统计学意义 ( $P<0.05$ ), 其中 C 组显著高于 A 组、B 组, 差异有统计学意义 ( $P<0.05$ ), A 组显著高于 B 组, 差异有统计学意义 ( $P<0.05$ ), 见表 5。

**2.5 总有效率** 三组患者总有效率比较, C 组总有效率 (97.50%) 显著高于 A 组总有效率 (82.50%)、B 组总有效率 (80.00%), 差异有统计学意义 ( $P<0.05$ ), 见表 6。

### 3 讨论

脑卒中偏瘫特征为偏瘫侧肌张力增高, 为改善其肢体功能情况, 需行康复治疗刺激受损神经<sup>[15-17]</sup>, 且多数患者偏瘫手软瘫期时间较长。何逸康等人<sup>[18]</sup>研究提出卒中后伴手功能障碍患者概率可达 85%, 卒中 6 个月后上肢手功能康复患者占比不足 50%, 说明上肢手功能障碍为卒中后主要后遗症之一, 恢复进程相对缓慢、艰难。其还会降低肢体运动、协调、感觉、灵活性, 严重限制患者日常生活活动能力, 促使患者生活质量严重下降, 给社会及家庭带来沉重负担<sup>[19]</sup>。GOU X X 等人<sup>[20]</sup>研究提出加强手部强化训练, 可进一步改善脑卒中偏瘫患者上肢运动功能, 减轻偏瘫严重程度, 提高脑卒中患者康复效果。故脑卒中后偏瘫手功能障碍是当前康复医疗领域的关键问题。

本研究中, 治疗 4 周后三组患者 FMA-UL、ARAT、UEFT、BI 评分及前臂伸肌肌群、上肢三角肌、肱三头肌 iEMG 值均显著升高, 且 C 组患者评分显著高于 A 组、B 组; 同时 C 组总有效率显著高于 A 组、B 组, 差异均有统计学意

义 ( $P<0.05$ )。分析其原因, 与真实运动相比, 运动想象训练存在相同运动神经元通路, 其主要为心理神经肌肉理论, 可经重复训练运动皮质、运动神经元中已保存的运动流程图, 加强对康复治疗动作的理解, 也可激活特定区域神经元细胞, 加强运动技巧训练。且早期开展运动想象训练, 能够降低神经功能损害情况, 促进潜伏通路与休眠突触活化, 强化和重组侧感觉运动皮质区, 提高患者日常活动能力, 改善其行为能力, 加快其上肢功能恢复进程<sup>[21]</sup>。外骨骼机器人为可穿戴仿生设备, 是一种现代新兴科技, 可加快患者康复情况, 缓解治疗师短缺的问题<sup>[22]</sup>。程迎等人<sup>[23]</sup>研究指出治疗 2 周后, 相较镜像组, 外骨骼组有效率更高, 由于治疗时间延长, 两组差距变小, 但外骨骼组显效率相对更好, 提示外骨骼机器人能够改善偏瘫患者手功能, 确保日常生活活动能力得到缓解。且其辅助康复训练, 可更高效地加快运动功能恢复, 有助于手功能康复。张芳芳等人<sup>[24]</sup>研究提到 iEMG 值可反映特定期间内肌肉中参与运动时活动单位释放电总量, 由于康复机器人联合运动想象疗法可加强患者训练阶段主观能动性, 治疗后联合组能有效提高前臂伸肌肌群、上肢三角肌、肱三头肌 iEMG 值。

本研究结果还显示治疗 4 周后, 三组患者 MoCA、MMSE 评分及大脑各导联  $\alpha$  波绝对功率值均显著升高, 其中 C 组均显著高于 A 组、B 组, A 组均显著高于 B 组, 差异均有统计学意义 ( $P<0.05$ )。这可能是因运动想象疗法本质上无运动输出, 且行重复记忆的认知训练, 其包括背外侧前额叶皮质、辅助运动区、顶叶皮质、运动前皮质、小脑等部位<sup>[25]</sup>。如在常规康复基础上结合运动想象疗法, 可加强现有神经元处理完整运动程序的速度, 提高患者运动功能, 改善患者认知功能<sup>[26]</sup>。此外, 脑电信号识别算法是该疗法康复的主要前提<sup>[8]</sup>。且对于脑卒中患者而言, 脑电  $\alpha$  波活性降低, 疾病预后越差。汪丽丽等人<sup>[27]</sup>研究指出脑卒中患者大脑其他部分与认知功能、运动功能存在相关性, 与受损区  $\alpha$  波段振荡同步性下降。提示脑卒中预后与

表2 三组患者 FMA-UL、ARAT、UEFT、BI 评分比较 ( $\bar{x} \pm s$ , 分)  
Table 2 Comparison of FMA-UL, ARAT, UEFT and BI scores among the three groups of patients ( $\bar{x} \pm s$ , score)

指标	治疗前			治疗后 4 周				
	A 组 (n=40)	B 组 (n=40)	C 组 (n=40)	A 组 (n=40)	B 组 (n=40)	C 组 (n=40)	F 值	P 值
FMA-UL	28.75 ± 4.19	29.46 ± 3.82	28.01 ± 4.75	36.28 ± 4.88 <sup>a</sup>	34.47 ± 5.13 <sup>a</sup>	41.59 ± 5.36 <sup>abc</sup>	20.838	0.000
ARAT	23.51 ± 3.63	24.39 ± 4.70	23.82 ± 4.15	33.60 ± 5.28 <sup>a</sup>	34.79 ± 4.85 <sup>a</sup>	39.15 ± 5.41 <sup>abc</sup>	12.701	0.000
UEFT	47.17 ± 6.12	46.84 ± 6.39	47.52 ± 5.83	58.92 ± 6.77 <sup>a</sup>	57.15 ± 6.94 <sup>a</sup>	64.58 ± 6.34 <sup>abc</sup>	13.469	0.000
BI	51.63 ± 6.28	52.37 ± 5.84	51.86 ± 6.07	75.43 ± 5.41 <sup>a</sup>	74.18 ± 5.76 <sup>a</sup>	85.35 ± 6.12 <sup>abc</sup>	44.993	0.000

注：与治疗前相比，<sup>a</sup> $P < 0.05$ ；与 A 组相比，<sup>b</sup> $P < 0.05$ ；与 B 组相比，<sup>c</sup> $P < 0.05$

表3 三组患者 MoCA、MMSE 评分比较 ( $\bar{x} \pm s$ , 分)  
Table 3 Comparison of MoCA and MMSE scores among the three groups of patients ( $\bar{x} \pm s$ , score)

指标	治疗前			治疗后 4 周				
	A 组 (n=40)	B 组 (n=40)	C 组 (n=40)	A 组 (n=40)	B 组 (n=40)	C 组 (n=40)	F 值	P 值
MoCA	21.35 ± 1.79	21.78 ± 1.62	21.05 ± 2.02	23.95 ± 1.74 <sup>bc</sup>	22.81 ± 1.86 <sup>a</sup>	26.15 ± 2.10 <sup>abc</sup>	31.742	0.000
MMSE	23.05 ± 1.92	23.24 ± 2.11	22.82 ± 2.07	25.84 ± 1.88 <sup>bc</sup>	24.97 ± 1.91 <sup>a</sup>	27.73 ± 2.14 <sup>abc</sup>	20.314	0.000

注：与治疗前相比，<sup>a</sup> $P < 0.05$ ；与 A 组相比，<sup>b</sup> $P < 0.05$ ；与 B 组相比，<sup>c</sup> $P < 0.05$

表4 三组患者上肢 iEMG 值比较 ( $\bar{x} \pm s$ ,  $\mu V$ )  
Table 4 Comparison of iEMG values of upper limbs among the three groups of patients ( $\bar{x} \pm s$ ,  $\mu V$ )

指标	治疗前			治疗后 4 周				
	A 组 (n=40)	B 组 (n=40)	C 组 (n=40)	A 组 (n=40)	B 组 (n=40)	C 组 (n=40)	F 值	P 值
前臂伸肌肌群	12.51 ± 1.84	12.14 ± 2.18	12.32 ± 1.96	27.25 ± 4.11 <sup>a</sup>	28.10 ± 4.23 <sup>a</sup>	30.59 ± 3.81 <sup>abc</sup>	7.334	0.001
上肢三角肌	17.24 ± 3.49	17.55 ± 3.57	17.31 ± 3.66	43.29 ± 6.11 <sup>a</sup>	44.36 ± 5.48 <sup>a</sup>	49.17 ± 6.72 <sup>abc</sup>	10.461	0.000
肱三头肌	16.37 ± 3.55	16.81 ± 3.64	16.19 ± 3.44	25.83 ± 6.02 <sup>a</sup>	26.78 ± 5.46 <sup>a</sup>	31.59 ± 5.27 <sup>abc</sup>	12.196	0.000

注：与治疗前相比，<sup>a</sup> $P < 0.05$ ；与 A 组相比，<sup>b</sup> $P < 0.05$ ；与 B 组相比，<sup>c</sup> $P < 0.05$

表 5 三组患者脑电  $\alpha$  波绝对功率值比较 ( $\bar{x} \pm s, \mu V^2$ )  
Table 5 Comparison of absolute power values of  $\alpha$  oscillations among the three groups of patients ( $\bar{x} \pm s, \mu V^2$ )

指标	治疗前			治疗后 4 周			F 值	P 值
	A 组 (n=40)	B 组 (n=40)	C 组 (n=40)	A 组 (n=40)	B 组 (n=40)	C 组 (n=40)		
AF4	8.96 ± 2.16	9.11 ± 2.24	9.07 ± 1.83	15.21 ± 3.05 <sup>c</sup>	12.59 ± 2.81 <sup>a</sup>	17.88 ± 3.17 <sup>abc</sup>	30.812	0.000
FP1	8.51 ± 2.21	8.16 ± 2.33	8.79 ± 2.07	12.83 ± 3.13 <sup>c</sup>	10.85 ± 2.79 <sup>a</sup>	14.77 ± 3.45 <sup>abc</sup>	15.636	0.000
FP2	8.93 ± 2.47	9.15 ± 2.55	9.28 ± 2.24	13.85 ± 3.51 <sup>bc</sup>	11.73 ± 3.39 <sup>a</sup>	16.62 ± 4.28 <sup>abc</sup>	17.127	0.000
C1	10.12 ± 2.61	10.75 ± 2.54	10.31 ± 2.68	14.93 ± 3.88 <sup>bc</sup>	13.11 ± 3.62 <sup>a</sup>	16.89 ± 4.17 <sup>abc</sup>	9.415	0.000
C3	9.14 ± 2.43	9.58 ± 2.66	8.79 ± 2.31	13.77 ± 3.64 <sup>bc</sup>	11.94 ± 3.25 <sup>a</sup>	15.62 ± 3.13 <sup>abc</sup>	12.088	0.000
C4	11.04 ± 2.87	10.72 ± 2.59	10.81 ± 2.74	15.45 ± 4.26 <sup>bc</sup>	13.15 ± 3.72 <sup>a</sup>	18.29 ± 5.11 <sup>abc</sup>	13.692	0.000
CZ	9.77 ± 2.40	9.91 ± 2.72	10.14 ± 2.63	14.86 ± 4.07 <sup>bc</sup>	12.78 ± 3.12 <sup>a</sup>	17.15 ± 4.92 <sup>abc</sup>	11.352	0.000
P3	9.08 ± 2.47	8.65 ± 2.31	9.25 ± 2.51	14.37 ± 3.59 <sup>bc</sup>	12.13 ± 3.47 <sup>a</sup>	15.98 ± 3.41 <sup>abc</sup>	12.272	0.000
CP1	8.15 ± 2.27	8.64 ± 2.44	7.96 ± 2.20	14.22 ± 3.83 <sup>bc</sup>	11.47 ± 3.18 <sup>a</sup>	16.51 ± 4.10 <sup>abc</sup>	18.373	0.000
CP2	10.72 ± 2.38	11.18 ± 2.79	10.89 ± 2.81	15.96 ± 4.12 <sup>bc</sup>	14.05 ± 3.95 <sup>a</sup>	17.83 ± 4.01 <sup>abc</sup>	8.810	0.000
CP3	9.13 ± 2.59	10.01 ± 2.85	9.68 ± 2.67	15.74 ± 3.83 <sup>bc</sup>	13.16 ± 3.29 <sup>a</sup>	17.92 ± 4.17 <sup>abc</sup>	15.888	0.000

注: 与治疗前相比, <sup>a</sup>P<0.05; 与 A 组相比, <sup>b</sup>P<0.05; 与 B 组相比, <sup>c</sup>P<0.05

表 6 三组患者总有效率比较 [n (%)]  
Table 6 Comparison of total effective rate among the three groups of patients [n (%)]

组别	有效		总有效率
	显效	无效	
A 组 (n=40)	19 (47.50)	14 (35.00)	33 (82.50)
B 组 (n=40)	21 (52.50)	11 (27.50)	32 (80.00)
C 组 (n=40)	28 (70.00)	11 (27.50)	39 (97.50) <sup>ab</sup>
$\chi^2$ 值			6.202
P 值			0.045

注: 与 A 组相比, <sup>a</sup>P<0.05; 与 B 组相比, <sup>b</sup>P<0.05

脑电  $\alpha$  波关联, 其绝对功率值上升, 可改善大脑功能状态, 进一步提高其上肢功能障碍康复。Rodgers H 等人<sup>[28]</sup>研究表明外骨骼机器人应用于中重度脑卒中上肢运动功能障碍康复训练后, 对上肢功能的改善有限。故较手部外骨骼机器人, 手运动想象训练可通过调节脑电  $\alpha$  波, 改善大脑功能状态, 提高患者认知功能。且较单一疗法, 联合治疗对患者上肢功能改善效果显著。

综上所述, 手部外骨骼机器人联合手运动想象可明显改善脑卒中偏瘫患者认知功能与大脑功能状态, 提高其日常生活能力及前臂伸肌肌群、上肢三角肌、肱三头肌 iEMG 值, 有助于其上肢运动功能障碍恢复, 值得临床推广应用。但本研究旨在分析手部外骨骼机器人联合手运动想象的可行性, 初步探索干预措施的疗效, 尚未经过计算直接确定样本量, 可能存在样本量不足的局限性, 易导致研究结果发生偏倚, 未来还需进行大样本多中心研究, 进一步观察其应用效果。

**利益冲突声明:** 本文不存在任何利益冲突。

**作者贡献声明:** 顾怡雯负责病例资料收集与整理, 数据统计, 撰写全文; 舒锦负责病例资料收集与整理, 数据统计。

### 参考文献

- ZHANG J H, LU C J, WU X X, et al. Neuroplasticity of Acupuncture for Stroke: An Evidence-Based Review of MRI[J]. *Neural Plast*, 2021. DOI: 10.1155/2021/2662585.
- 张超龙, 何兆辉, 袁国静, 等. 镜像反馈训练对脑卒中后偏瘫患者运动功能血清生化指标及神经功能的影响[J]. *中国实用神经疾病杂志*, 2020, 23(3): 255-259.
- HONG Z Q, SUI M H, ZHUANG Z Q, et al. Effectiveness of Neuromuscular Electrical Stimulation on Lower Limbs of Patients With Hemiplegia After Chronic Stroke: A Systematic Review[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2018, 99(5): 1011-1022.
- 王隄德, 刘建民, 杨弋, 等. 我国脑卒中防治仍面临巨大挑战——《中国脑卒中防治报告 2018》概要[J]. *中国循环杂志*, 2019, 34(2): 105-119.
- Ikbali Afsar S, Mirzayev I, Umit Yemisci O, et al. Virtual Reality in Upper Extremity Rehabilitation of Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2018, 27(12): 3473-3478.
- Sanchez-Villamanan M D C, Gonzalez-Vargas J, Torricelli D, et al. Compliant lower limb exoskeletons: a comprehensive review on mechanical design principles[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2019, 16(1): 55.
- Contreras-Vidal J L, Bortole M, Zhu F S, et al. Neural decoding of robot-assisted gait during rehabilitation after stroke[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2018, 97(8): 541-550.
- 郭冬菊, 胡静璐, 王德正, 等. 手运动想象对脑卒中患者脑电信号的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2023, 38(8): 1044-1049.
- 王薇薇, 王新德. 第六届全国脑血管病学术会议纪要[J]. *中华神经科杂志*, 2004, 37(4): 346-348.
- 陈瑞全, 吴建贤, 沈显山. 中文版 Fugl-Meyer 运动功能评定量表的最小临床意义变化值的研究[J]. *安徽医科大学学报*, 2015, 50(4): 519-521, 522.
- 瓮长水, 王军, 潘小燕, 等. 上肢动作研究量表在脑卒中患者中的效度[J]. *中国康复理论与实践*, 2008, 14(1): 53-54.
- 何璐, 徐开寿, 邱晒红, 等. Carroll 上肢功能试验在痉挛型偏瘫儿童中的信度研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2011, 26(9): 40-43.
- 管青兰, 盛飞, 郁志华, 等. MMSE 与 MoCA 评价社区老年人认知功能的差异分析[J]. *中西医结合心脑血管病杂志*, 2021, 19(9): 1577-1580.
- 王赛华, 施加加, 孙莹, 等. 简体版改良 Barthel 指数在脑卒中恢复期中的信度与效度研究[J]. *中国康复*, 2020, 35(4): 179-182.
- 何晓浩, 孙淑霞. 针刺推拿联合治疗在偏瘫病人脑 BOLD-fMRI 研究中的应用[J]. *中西医结合心脑血管病杂志*, 2020, 18(23): 3950-3953.
- Byrd E M, Jablonski R J, Vance D E. Understanding Anosognosia for Hemiplegia After Stroke[J]. *Rehabil Nurs*, 2020, 45(1): 3-15.
- Kerimov K, Coskun Benlidayi I, Ozdemir C, et al. The Effects of Upper Extremity Isokinetic Strengthening in Post-Stroke Hemiplegia: A Randomized Controlled Trial[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2021, 30(6): 105729.
- 何逸康, 宋爱国, 赖健伟, 等. 基于镜像疗法的手部外骨骼机器人在脑卒中偏瘫手康复中的应用[J]. *中国康复医学杂志*, 2022, 37(12): 1616-1621.
- WANG W Z, JIANG B, SUN H X, et al. Prevalence, incidence, and mortality of stroke in China: results from a nationwide population-based survey of 480687 adults[J]. *Circulation*, 2017, 135(8): 759-771.
- GOU X X, ZHANG X, ZHENG X X, et al. Effect of Hand Intensive Training on Upper Limb Function of Stroke Patients with Hemiplegia[J]. *Comput Math Methods Med*, 2022. DOI: 10.1155/2022/6844680.
- 赵敏, 杨娜娜, 李婉莺, 等. 三维螺旋式振动疗法联合运动想象训练对脑卒中偏瘫患者上肢功能、平衡能力及日常生活活动能力的影响[J]. *现代生物医学进展*, 2023, 23(19): 3695-3698.
- 李宇淇, 曾庆, 黄国志. 上肢康复机器人在脑卒中中的临床应用进展[J]. *中国康复理论与实践*, 2020, 26(3): 310-314.
- 程迎, 高晓平, 陈和木, 等. 手部外骨骼机器人辅助双侧对称性训练与镜像疗法对偏瘫患者手功能的康复效果比较[J]. *安徽医学*, 2019, 40(12): 1319-1322.
- 张芳芳, 周磊, 朱慧珊. 运动想象联合康复机器人在卒中偏瘫上肢运动功能恢复中的应用效果观察[J]. *北京医学*, 2021, 43(6): 525-529.
- Kim Y K, Park E, Lee A, et al. Changes in network connectivity during motor imagery and execution[J]. *PLoS One*, 2018, 13(1): e0190715.
- 任莎莎, 程凯, 许亮, 等. 经颅直流电刺激联合运动想象疗法改善脑卒中偏瘫病人上肢运动功能及认知功能的效果[J]. *实用老年医学*, 2023, 37(5): 449-453.
- 汪丽丽, 张颖, 王春方, 等. 基于脑机接口的电刺激训练对脑卒中患者上肢功能障碍康复的临床研究[J]. *生物医学工程与临床*, 2022, 26(2): 163-168.
- Rodgers H, Bosomworth H, Krebs H I, et al. Robot assisted training for the upper limb after stroke (RATULS): a multicentre randomised controlled trial[J]. *Lancet*, 2019, 394(10192): 51-62.

编辑: 赵敏