

# 功能性电刺激手摇车训练对早期脑卒中患者上肢功能恢复的影响

徐胜<sup>1</sup> 张艳<sup>1</sup> 李露露<sup>1</sup> 卞海波<sup>1</sup> 郭川<sup>2,3</sup> 包士雷<sup>2,3</sup> 王彤<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>常州市德安医院康复中心,常州 213000; <sup>2</sup>南京医科大学第一附属医院康复中心,南京

211166; <sup>3</sup>江苏省人民医院康复医学中心,南京 210029

通信作者:王彤,Email:wangtong60621@163.com

**【摘要】 目的** 探讨功能性电刺激(FES)手摇车训练对早期脑卒中患者上肢运动功能和日常生活活动能力的影响。**方法** 将早期脑卒中偏瘫患者 60 例按随机数字表法分为 FES 手摇车组(试验组)和 MOTOMed 运动训练组(对照组),每组患者 30 例。2 组患者均采用常规康复治疗,试验组在此基础上增加 FES 手摇车进行训练,每日 1 次,每次 20 min,对照组则增加 MOTOMed 运动训练系统治疗,每日 1 次,每次 20 min。2 组患者均连续治疗 4 周。于治疗前和治疗 4 周后采用 Brunnstrom 分期评估 2 组患者上肢和手的运动功能,并于治疗前和治疗 1、2、3、4 周后采用上肢简化 Fugl-Meyer 量表(FMA-UE)和改良的 Barthel 指数(MBI)分别评估 2 组患者上肢的运动功能和日常生活活动能力。**结果** 治疗 4 周后,2 组患者上肢和手的 Brunnstrom 分期分别与组内治疗前比较,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),且试验组患者治疗 4 周后上肢( $\chi^2 = 9.23, P < 0.05$ )和手( $\chi^2 = 15.91, P < 0.05$ )的 Brunnstrom 分期均显著优于对照组治疗 4 周后。治疗 1、2、3、4 周后,2 组患者的 FMA-UE 和 MBI 评分与组内治疗前比较,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),且试验组患者治疗 1、2、3、4 周后的 FMA-UE 和 MBI 评分均显著优于对照组同时时间点,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。**结论** FES 手摇车训练可显著改善早期脑卒中患者的上肢运动功能和日常生活活动能力,且疗效优于 MOTOMed 运动训练系统。

**【关键词】** 脑卒中; 功能性电刺激手摇车; 上肢运动功能; 日常生活活动能力

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.08.003

## The effects of functional electric stimulation and upper limb cycle training on upper limb motor function and daily living activities post-stroke

Xu Sheng<sup>1</sup>, Zhang Yan<sup>1</sup>, Li Lulu<sup>1</sup>, Bian Haibo<sup>1</sup>, Guo Chuan<sup>2,3</sup>, Bao Shilei<sup>2,3</sup>, Wang Tong<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Rehabilitation Department of De'an Hospital in Changzhou, Changzhou 213000, China; <sup>2</sup>Rehabilitation Center, The First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 211166, China; <sup>3</sup>Jiangsu Provincial People's Hospital Rehabilitation Medical Center, Nanjing 210029, China

Corresponding author: Wang Tong, Email: wangtong60621@163.com

**【Abstract】 Objective** To explore the effect of combining functional electric stimulation (FES) with upper limb cycle training in rehabilitating upper limb motor function and ability in the activities of daily living after a stroke. **Methods** Sixty hemiplegic stroke survivors were randomly divided into an experimental group and a control group. In addition to conventional rehabilitation therapy, the experimental group underwent 20 minutes of MOTOMed upper limb cycle training every day while receiving FES. The control group received only the 20 minutes of cycle training. Before and after 4 weeks, Brunnstrom staging was used to quantify hand and upper extremity functioning. The Fulg-Meyer assessment upper extremity scale (FMA-UE) and the modified Barthel index (MBI) were also used before the training and after 1, 2, 3 and 4 weeks of the treatments. **Results** After 4 weeks of treatment, significant differences were observed in the average BS scores of both groups compared with before the intervention. The average hand and upper limb stages of the experimental group were significantly better than the control group's averages. Significant improvement was also observed in the average FMA-UE and MBI scores of both groups after only one week, with significantly greater improvement in the experimental group. **Conclusions** Supplementing upper limb cycle training with FES can significantly improve the upper limb motor function and ability in the activities of daily living of stroke survivors. It is more effective than the MOTOMed exercise alone.

**【Key words】** Stroke; Functional electrical stimulation; Upper limbs; Cycle training; Upper limb motor function; Activities of daily living; MOTOMed

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.08.003

脑卒中是影响人类健康和生活质量最为常见的疾病之一,其发病率呈现逐年上升趋势,在我国每年约有 250 万新发脑卒中患者<sup>[1-2]</sup>。研究发现,约 80% 的脑卒中患者发病后会出现上肢功能障碍,其中仅 30% 的患者可以实现上肢功能的完全恢复<sup>[3]</sup>,而 50% 的患者会出现不同程度的上肢功能缺损(严重者可能完全依赖健侧上肢或者辅具才能实现部分上肢功能),且约 80% 的上肢遗留功能障碍的患者合并有手功能障碍<sup>[4]</sup>。

临床研究表明,功能性电刺激(functional electrical stimulation, FES)可显著改善患者上肢的运动功能,降低致残率,提高患者的生活自理能力,并在预防和纠正肩关节半脱位以及肩痛的方面有较好的治疗效果<sup>[5-7]</sup>。传统的手摇车也被证实可以促进患者上肢运动和感觉功能的恢复,增强其肌肉力量和灵活性<sup>[8-9]</sup>。近些年,多通道的 FES 辅助踏车和手摇车被越来越多地应用到脑卒中、脊髓损伤和外周神经损伤后的康复治疗中,大量研究表明,这 2 种治疗方法对患者的下肢运动功能均有较好的改善作用<sup>[10-11]</sup>。本研究旨在分析对比 FES 手摇车与传统的 MOTomed 运动训练系统对早期脑卒中患者上肢功能恢复的影响,以期为临床工作提供一种更为优化的上肢训练方案。

## 资料与方法

### 一、一般资料及分组

纳入标准:①符合第四届全国脑血管病会议通过的脑卒中诊断标准<sup>[12]</sup>,并经头颅 CT 或 MRI 检查证实的;②首次发病,病程 < 3 个月,病情稳定,年龄 ≥ 18 岁;③查体合作;④可独立完成 20 min 手摇车或 FES 手摇车训练,之前未进行过类似训练;⑤签署知情同意书。

排除标准:①有心脏起搏器,严重心肺肝肾功能不全;②严重认知障碍,精神类疾病患者;③骨质疏松;④在电刺激部位有金属内固定患者;⑤严重的上肢痉挛;⑥对电刺激无感觉的患者;⑦有严重肩痛,无法完成摇手动作的患者;⑧严重的肩关节不稳;⑨电极片过敏或不能耐受电刺激的患者。

选取 2017 年 1 月至 2018 年 6 月在常州市德安医院康复科住院且符合上述指标的早期脑卒中患者 60 例,将其按随机数字表法分为试验组(FES 手摇车)

和对照组(MOTomed 运动训练组),每组患者 30 例,2 组患者的例数、性别、平均年龄、平均病程、偏瘫侧别、病变性质等一般资料组间比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),详见表 1。本研究经常州市德安医院伦理学会批准,编号 20170036。

### 二、治疗方法

2 组患者均进行常规康复训练,对照组在常规康复训练的基础上增加 MOTomed 运动训练系统训练,试验组则增加 FES 手摇车训练。

1. 常规康复训练<sup>[13]</sup>:①良肢位摆放;②床上翻身坐起以及坐站转移训练;③Bobath 握手下进行功能性作业活动训练;④呼吸训练;⑤神经肌肉促进技术。常规康复训练每日 1 次,每次 45 min,每周训练 5 d,连续训练 4 周。

2. MOTomed 运动训练:采用德国 RECK 公司生产的 Viva2 型 MOTomed 运动训练系统(MOTomed)进行上肢训练。由同一名治疗师将患者转移至 MOTomed 运动训练系统的靠背椅上,治疗模式均采用主动训练模式,阻力设定范围为 1~20 N/m,共分为 20 个训练等级,最低为 1 N/m,最高为 20 N/m,根据患者耐受调节阻力训练等级,要求患者尽量采取对称用力模式,角速度维持 30 转/min,训练期间,系统会实时给出患者的训练时间、角速度、双侧对称性和运动里程等重要参数,治疗过程中,治疗师需全程关注患者的治疗状态,根据患者的功能状态动态调整阻力等级,确保安全。MOTomed 运动训练每日 1 次,每次 20 min,每周训练 5 d,连续训练 4 周。

3. FES 手摇车训练:采用常州思雅医疗器械有限公司生产的 SYC01-D08 型 FES 手摇车进行训练,由同一名治疗师将患者转移至 FES 手摇车旁的靠背椅上进行治疗,功能性电刺激部位为偏瘫侧的冈上肌、三角肌、肱二头肌和肱三头肌,系统内置算法会根据患者运动角度依次给予主动肌和拮抗肌的交替刺激,刺激强度为 0~100 mA 动态可调,每次训练前治疗师根据患者的耐受阈选择初始刺激强度,同时系统会根据患者的肌电反馈实时调整电刺激强度,实现动态肌力补偿,使患者的肌肉收缩与电刺激达到最佳匹配,根据患者耐受调节阻力大小,要求患者尽量采取对称用力模式,角速度维持在 30 转/min。FES 手摇车训练每日 1 次,每次 20 min,每周训练 5 d,连续训练 4 周。

表 1 2 组患者一般资料

| 组别  | 例数 | 性别(例) |    | 平均年龄<br>(岁, $\bar{x} \pm s$ ) | 平均病程<br>(d, $\bar{x} \pm s$ ) | 偏瘫侧别(例) |    | 病变性质(例) |      |
|-----|----|-------|----|-------------------------------|-------------------------------|---------|----|---------|------|
|     |    | 男     | 女  |                               |                               | 左       | 右  | 脑缺血     | 脑出血性 |
| 试验组 | 30 | 21    | 9  | 59.13±11.26                   | 35.83±16.31                   | 17      | 13 | 24      | 6    |
| 对照组 | 30 | 20    | 10 | 58.23±8.99                    | 35.60±16.45                   | 16      | 14 | 25      | 5    |

### 三、疗效评定方法

于治疗前和治疗 4 周后采用 Brunnstrom 分期评估 2 组患者上肢和手的运动功能,并于治疗前和治疗 1、2、3、4 周后采用上肢简化 Fugl-Meyer 量表 (Fugl-Meyer assessment of upper extremity, FMA-UE) 和改良的 Barthel 指数 (modified Barthel index, MBI) 分别评估 2 组患者上肢的运动功能和日常生活活动能力。

1. 上肢和手的 Brunnstrom 分期评估: 根据患者脑卒中后的运动表现依次分为迟缓期、痉挛期、共同运动阶段、部分分离阶段、完全分离阶段和正常运动阶段等 6 期,共有 6 个等级,最低为 I 期,最高为 VI 期,等级越高,则上肢或手的运动功能越好<sup>[14]</sup>。

2. FMA-UE 评分: 该量表包括腱反射、肩、肘、腕关节屈肌、伸肌协同运动和分离运动、腕关节稳定性、小关节运动 (如手抓握、手指侧捏、对指等) 协调能力和速度情况等 33 项评定指标,每项指标按 0、1、2 计分,0 分代表完全不能完成相应检查动作,2 分代表可以完成相应检查动作,满分为 66 分,分数越高,则上肢运动功能越好<sup>[15]</sup>。

3. MBI 评分: 该量表共包含十项日常生活活动,根据患者完成情况进行评分,总分为 100 分,0~20 分完全依赖,21~60 分严重依赖,61~90 分中度依赖,91~99 分轻度依赖,100 分为自理<sup>[16]</sup>。

### 四、统计学方法

采用 SPSS 20.0 版统计学软件对本研究所得数据

进行分析,计量资料采用 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示,结果保留小数点后 2 位有效数字。组间 Brunnstrom 分期比较采用 Mann-Whitney U 检验,组内治疗前、后 Brunnstrom 分期比较采用配对 Mann-Whitney U 检验;经正态检验和方差齐性分析,组间比较采用成组  $t$  检验,组内治疗前、后比较采用配对  $t$  检验。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

一、2 组患者治疗前、后上肢和手的 Brunnstrom 分期比较

治疗前,2 组患者上肢和手的 Brunnstrom 分期组间比较,差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。治疗 4 周后,2 组患者上肢和手的 Brunnstrom 分期分别与组内治疗前比较,差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ),且试验组患者治疗 4 周后上肢和手的 Brunnstrom 分期显著优于对照组治疗 4 周后,差异亦有统计学意义 ( $P < 0.05$ ),详见表 2 和表 3。

二、2 组患者治疗前、后 FMA-UE 和 MBI 评分比较  
治疗前,2 组患者的 FMA-UE 和 MBI 评分组间比较,差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。治疗 1、2、3、4 周后,2 组患者的 FMA-UE 和 MBI 评分与组内治疗前比较,差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ),且试验组患者治疗 1、2、3、4 周后的 FMA-UE 和 MBI 评分均显著优于对照组同时时间点,差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ),详见表 4。

表 2 2 组患者治疗前、后上肢的 Brunnstrom 分期比较 (例)

| 组别      | 例数 | I 期 | II 期 | III 期 | IV 期 | V 期 | VI 期 |
|---------|----|-----|------|-------|------|-----|------|
| 试验组     |    |     |      |       |      |     |      |
| 治疗前     | 30 | 6   | 12   | 10    | 2    | 0   | 0    |
| 治疗 4 周后 | 30 | 0   | 1    | 5     | 12   | 12  | 0    |
| 对照组     |    |     |      |       |      |     |      |
| 治疗前     | 30 | 6   | 13   | 9     | 2    | 0   | 0    |
| 治疗 4 周后 | 30 | 0   | 5    | 12    | 8    | 5   | 0    |

注:2 组治疗前组间比较,  $\chi^2 = 0.09, P > 0.05$ ; 试验组治疗 4 周后与组内治疗前比较,  $Z = -5.26, P < 0.05$ ; 对照组治疗 4 周后与组内治疗前比较,  $Z = -5.12, P < 0.05$ ; 试验组治疗 4 周后与对照组治疗 4 周后比较,  $\chi^2 = 9.23, P < 0.05$

表 3 2 组患者治疗前、后手的 Brunnstrom 分期比较 (例)

| 组别      | 例数 | I 期 | II 期 | III 期 | IV 期 | V 期 | VI 期 |
|---------|----|-----|------|-------|------|-----|------|
| 试验组     |    |     |      |       |      |     |      |
| 治疗前     | 30 | 15  | 12   | 3     | 0    | 0   | 0    |
| 治疗 4 周后 | 30 | 1   | 6    | 11    | 10   | 2   | 0    |
| 对照组     |    |     |      |       |      |     |      |
| 治疗前     | 30 | 16  | 12   | 2     | 0    | 0   | 0    |
| 治疗 4 周后 | 30 | 7   | 12   | 10    | 1    | 0   | 0    |

注:2 组治疗前组间比较,  $\chi^2 = 0.02, P > 0.05$ ; 试验组治疗 4 周后与组内治疗前比较,  $Z = -4.88, P < 0.05$ ; 对照组治疗 4 周后与组内治疗前比较,  $Z = -4.26, P < 0.05$ ; 试验组治疗 4 周后与对照组治疗 4 周后比较,  $\chi^2 = 15.91, P < 0.05$

表 4 2 组患者治疗前、后 FMA-UE 和 MBI 评分比较(分,  $\bar{x} \pm s$ )

| 组别      | 例数 | FMA-UE 评分                 | MBI 评分                    |
|---------|----|---------------------------|---------------------------|
| 试验组     |    |                           |                           |
| 治疗前     | 30 | 9.43±5.06                 | 37.17±9.80                |
| 治疗 1 周后 | 30 | 19.33±10.36 <sup>ab</sup> | 47.83±14.06 <sup>ab</sup> |
| 治疗 2 周后 | 30 | 25.10±12.21 <sup>ab</sup> | 56.00±16.94 <sup>ab</sup> |
| 治疗 3 周后 | 30 | 28.80±12.66 <sup>ab</sup> | 60.67±18.04 <sup>ab</sup> |
| 治疗 4 周后 | 30 | 32.00±12.33 <sup>ab</sup> | 66.17±18.13 <sup>ab</sup> |
| 对照组     |    |                           |                           |
| 治疗前     | 30 | 8.93±4.00                 | 37.50±10.23               |
| 治疗 1 周后 | 30 | 11.90±4.40 <sup>a</sup>   | 41.33±11.74 <sup>a</sup>  |
| 治疗 2 周后 | 30 | 14.83±5.28 <sup>a</sup>   | 46.33±13.13 <sup>a</sup>  |
| 治疗 3 周后 | 30 | 15.77±5.56 <sup>a</sup>   | 47.83±13.37 <sup>a</sup>  |
| 治疗 4 周后 | 30 | 17.30±6.04 <sup>a</sup>   | 49.67±14.32 <sup>a</sup>  |

注:与组内治疗前比较,<sup>a</sup> $P < 0.05$ ;与对照组同时时间点比较,<sup>b</sup> $P < 0.05$

## 讨 论

本研究结果显示,经 4 周的 FES 手摇车训练后,试验组患者的上肢 Brunnstrom 分期、手 Brunstrom 分期、FMA-UE 和 MBI 评分较组内治疗前均显著改善,且均优于采用 MOTomed 运动训练系统进行治疗的对照组,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),FES 手摇车训练可显著改善早期脑卒中患者上肢的运动功能和日常生活活动能力,且疗效优于 MOTomed 运动训练。

人类精细、灵活、复杂的功能活动大多都是由上肢完成的,脑卒中后上肢的恢复要远远滞后于下肢,而且患者往往因过度依赖健侧上肢而导致患侧上肢的习惯性废用<sup>[17-18]</sup>。研究证实,对称性上肢训练、镜像疗法、上肢康复机器人、神经肌肉促进技术、音乐疗法、强制性运动疗法、电子生物反馈以及虚拟现实技术等均可改善脑卒中患者的上肢功能<sup>[19-20]</sup>。而 MOTomed 运动训练系统也已被广泛应用于脑卒中后上肢功能康复中,研究表明,MOTomed 运动训练系统有助于改善脑卒中患者上肢的肌肉力量、协调性和灵活性<sup>[21]</sup>。此外,MOTomed 运动训练系统对称性的上肢训练模式有助于提高患者皮质的兴奋性,促进其脑功能的重塑<sup>[22-23]</sup>。但是针对软瘫期的脑卒中患者,现有的训练方法无法实现肌肉主动收缩下的功能性活动,过早以及过多的早期被动活动会大大增加肩关节的损伤风险<sup>[24]</sup>。

FES 手摇车是指在传统摇手训练过程中结合了多通道的 FES,根据患者摇手过程的屈伸肌协调收缩时序给予相应主动肌和拮抗肌交替刺激的一种训练技术<sup>[25]</sup>。研究表明,FES 手摇车可在患者进行周期性圆周训练的同时,依据患者的运动角度来确定目标肌肉的刺激时序,从而实现主动参与下的功能性圆周运动<sup>[26]</sup>。还有研究发现,FES 手摇车可有效地

改善脑卒中患者训练过程中参与不充分的问题,让患者在脑卒中的早期即实现主动的上肢协调交替运动,有效地预防半脱位等并发症,减少肩关节损伤的发生<sup>[27]</sup>,同时维持和提高患者的心肺耐力,抑制异常运动模式,改善患者的运动控制能力<sup>[28]</sup>。此外,多通道 FES 有助于提升大脑的可塑性,加速脑卒中后的神经重塑,恢复患者的本体感觉,提高肌肉收缩效率,调节异常肌张力<sup>[29-31]</sup>。本研究中,FES 手摇车采取四通道的电流输出,能够交替刺激肩关节和肘关节屈伸控制的四组肌群,辅助患者完成肩关节和肘关节的屈伸运动,在脑卒中早期强化输入正常的上肢圆周运动模式。此外,本研究所采用的 FES 手摇车训练还整合了情景反馈训练,患者可实时观测到自己的训练参数,提高训练积极性,有效地改善脑卒中后的上肢运动功能<sup>[32]</sup>。

综上所述,FES 手摇车训练可显著改善早期脑卒中患者的上肢运动功能和日常生活活动能力,且疗效优于 MOTomed 运动训练系统。本研究不足之处在于,未能对患者的上肢肌张力、心肺功能、并发症和损伤的发病率进行监测和研究,且观察周期偏短,这些还有待本课题组进一步的研究去完善。

## 参 考 文 献

- [1] 张薇, 范宇威, 高静, 等. 脑卒中流行病学调查相关文献复习 [J]. 中国临床神经科学, 2014, 22(6): 106-110. DOI: 10.7666/d. d152031.
- [2] Liu M, Wu B, Wang WZ, et al. Stroke in China: epidemiology, prevention, and management strategies [J]. Lancet Neurol, 2007, 6(5): 456-464. DOI: 10.1016/S1474-4422(07)70004-2.
- [3] Beebe JA, Lang CE. Active range of motion predicts upper extremity function three months post-stroke [J]. Stroke, 2009, 40(5): 1772-1775. DOI: 10.1161/STROKEAHA.108.536763.
- [4] Barry A J, Kamper DG, Stoykov ME, et al. Characteristics of the severely impaired hand in survivors of stroke with chronic impairments [J]. Top Stroke Rehabil, 2021, 29(3): 1-11. DOI: 10.1080/10749357.2021.1894660.
- [5] Arwert H, Schut S, Boiten J, et al. Patient reported outcomes of hand function three years after stroke [J]. Top Stroke Rehabil, 2018, 25(1): 13-19. DOI: 10.1080/10749357.2017.1385232.
- [6] Vuagnat H, Chantraine A. Shoulder pain in hemiplegia revisited: contribution of functional electrical stimulation and other therapies [J]. J Rehabil Med, 2003, 35(2): 49-56. DOI: 10.1080/16501970306111.
- [7] Weingarden H, Ring H. Functional electrical stimulation-induced neural changes and recovery after stroke [J]. Eura Medicophys, 2006, 42(2): 87-90. DOI: 10.1002/14651858.CD005654.
- [8] 张志茹. Motomed 智能训练系统联合肌电生物反馈综合治疗对偏瘫病人上肢运动功能的影响 [J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2017, 15(4): 476-478. DOI: 10.3969/j.issn.1672-1349.2017.04.026.

- [9] 王丽华, 黄学英, 柳尧花, 等. MOTOMed 运动训练系统对颈髓损伤四肢瘫痪患者上肢肌力的影响[J]. 中华现代护理杂志, 2014, 20(10): 1156-1159. DOI: 10.3760/j.issn.1674-2907.2014.10.013.
- [10] 张明, 高晓盟, 李宁, 等. 踏板训练结合功能性电刺激对脑卒中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, 2017, 39(9): 655-658. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2017.09.004.
- [11] 张小华, 任力杰, 曾静, 等. 功能性电刺激结合康复踏板训练对卒中急性期患者下肢功能的影响[J]. 中国卒中杂志, 2017, 12(9): 812-816. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5765.2017.09.010.
- [12] 中华神经科学会, 中华神经外科学会. 各类脑血管疾病诊断要点[J]. 中华神经外科杂志, 1997, 13(1): 3-5.
- [13] 中华医学会神经病学分会神经康复学组. 中国脑卒中康复治疗指南(2011 完全版)[J]. 中国医学前沿杂志(电子版), 2012, 4(6): 55-76. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7372.2012.06.014.
- [14] Ismail Safaz, Bilge, Ylmaz, et al. Brunnstrom recovery stage and motricity index for the evaluation of upper extremity in stroke: analysis for correlation and responsiveness[J]. Int J Rehabil Res, 2009, 32(3): 228-231. DOI: 10.1097/mrr.0b013e32832a62ad.
- [15] Adomavicienė A, Daunoravicienė K, Kubilius R, et al. Influence of new technologies on post-stroke rehabilitation: a comparison of Armeo Spring to the Kinect System[J]. Medicina, 2019, 55(4): 98-109. DOI: 10.3390/medicina55040098.
- [16] Shah S, Vanclay F, Cooper B. Improving the sensitivity of the Barthel index for stroke rehabilitation[J]. J Clin Epidemiol, 1989, 42(8): 703-709. DOI: 10.1016/0895-4356(89)90065-6.
- [17] 朱琳, 梁军, 张冉, 等. 第三代功能性电刺激联合任务导向训练对卒中后上肢功能的康复作用[J]. 中国脑血管病杂志, 2014, 11(5): 228-232. DOI: 11.3969/j.issn.1672-5921.2014.05.002.
- [18] 南登崑, 黄晓琳. 实用康复医学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2009: 315-316.
- [19] Winstein CJ, Stein J, Arena R, et al. Guidelines for adult stroke rehabilitation and recovery[J]. Stroke, 2016, 47(6): e98-e169. DOI: 10.1001/jama.2017.22036.
- [20] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会神经康复学组, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国脑卒中早期康复治疗指南[J]. 中华神经科杂志, 2017, 50(6): 405-412. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2017.06.002.
- [21] 朱琳, 刘霖, 宋为群. 重复性训练对卒中患者偏瘫上肢痉挛改善的疗效观察[J]. 中国脑血管病杂志, 2007, 4(1): 18-21. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2007.01.005.
- [22] 曹明辉, 燕军, 燕铁斌, 等. MOTOMed 不同模式运动训练对青少年志愿者体感诱发电位的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2010, 32(3): 270-272. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2010.04.008.
- [23] Han KJ, Kim JY. The effects of bilateral movement training on upper limb function in chronic stroke patients[J]. J Phys Ther Sci, 2016, 28(8): 2299-2302. DOI: 10.1589/jpts.28.2299.
- [24] Lynch D, Ferraro M, Krol J, et al. Continuous passive motion improves shoulder joint integrity following stroke[J]. Clin Rehabil, 2005, 19(6): 594-599. DOI: 10.1191/0269215505cr9010a.
- [25] Gföhler M, Lugner P. Cycling by means of functional electrical stimulation[J]. IEEE Trans Rehabil Eng, 2000, 8(2): 233-243. DOI: 10.1109/86.847825.
- [26] Hara Y, Ogawa S, Muraoka Y. Hybrid power-assisted functional electrical stimulation to improve hemiparetic upper-extremity function[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2006, 85(12): 977-985. DOI: 10.1097/01.phm.0000247853.61055.f8.
- [27] Hodkin EF, Lei Y, Humby J, et al. Automated FES for upper limb rehabilitation following stroke and spinal cord injury[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2018, 26(5): 1067-1074. DOI: 10.1109/TNSRE.2018.2816238.
- [28] Kakebeeke TH, Hofer PJ, Frotzler A, et al. Training and detraining of a tetraplegic subject: high-volume FES cycle training[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2008, 87(1): 56-64. DOI: 10.1097/PHM.0b013e31815b2738.
- [29] Marta G, Simona F, Claudia C, et al. fMRI brain mapping during motion capture and FES induced motor tasks: signal to noise ratio assessment[J]. Med Eng Phys, 2011, 33(8): 1027-1032. DOI: 10.1016/j.medengphy.2011.04.005.
- [30] 糜迅, 杨裕梅. 功能性电刺激联合踏板运动在临床康复中的应用及研究现状[J]. 系统医学, 2017, 2(2): 165-168. DOI: 10.19368/j.cnki.2096-1782.2017.02.165.
- [31] Popovic-Maneski L, Aleksic A, Metani A, et al. Assessment of spasticity by a pendulum test in SCI patients who exercise FES cycling or receive only conventional therapy[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2018, 26(1): 181-187. DOI: 10.1109/TNSRE.2017.2771466.
- [32] Park JH, Yoo C. Effects of task-oriented training on upper extremity function and performance of daily activities by chronic stroke patients[J]. J Phys Ther Sci, 2015, 27(8): 2657-2659. DOI: 10.1589/jpts.27.2657.

(修回日期:2022-06-15)

(本文编辑:阮仕衡)