

多关节联动功能性电刺激联合常规康复治疗对脑卒中患者下肢运动功能的影响

刘加鹏^{1,2}, 王卫宁², 徐冬艳², 王念宏², 吴毅^{2*}

1 上海中医药大学康复医学院, 上海 201203;

2 复旦大学附属华山医院, 上海 200040

* 通信作者: 吴毅, E-mail: wuyi4000@163.com

收稿日期: 2024-01-19; 接受日期: 2024-05-25

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC2001700); 上海市科技创新行动计划课题(20412420200); 上海市临床重点专科项目(shslczdk02702); 上海市科技创新行动计划课题(22Y31900202); 复旦大学医工结合项目(重点项目)(IDH2310111)

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2024.04006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



摘要 **目的** 探讨多关节联动功能性电刺激(FES)联合常规康复治疗对脑卒中患者下肢运动功能的影响。**方法** 选择2023年1—12月在复旦大学附属华山医院康复医学科住院治疗的脑卒中后下肢运动功能障碍患者35例。采用SPSS 25.0统计软件随机方法分为对照组和试验组,分别为16例、19例。对照组中1例因提前出院而脱落;试验组中4例因多种原因中止或脱落,最终2组均纳入15例。对照组接受常规康复治疗 and 常规步行训练,其中常规康复治疗包括牵伸训练、肌力训练、关节活动训练、运动控制训练和体位转移训练等,40 min/次,1次/d,5次/周,持续治疗4周;常规步行训练包括骨盆控制训练、膝关节稳定性训练、平衡训练和上下楼梯训练等,20 min/次,1次/d,5次/周,持续治疗4周。试验组在对照组常规康复治疗基础上接受多关节联动FES治疗,20 min/次,1次/d,5次/周,持续治疗4周。分别于治疗前、治疗2周和治疗4周后采用Fugl-Meyer下肢运动功能评定量表(FMA-LE)评价患者下肢运动功能;采用吉步恩三维步态分析系统评价患者步速、步幅、双支撑相(步态周期中双足同时着地的阶段)、双膝平均屈伸角度(双膝最大屈伸角度平均值);采用改良Barthel指数(MBI)评价患者日常生活活动能力。**结果** ① FMA-LE、MBI评分:与治疗前比较,2组治疗2、4周后FMA-LE、MBI评分均明显升高,差异具有统计学意义($P < 0.05$);与治疗2周后比较,2组治疗4周后FMA-LE、MBI评分均明显升高,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。与对照组同一时间点比较,试验组治疗2、4周后FMA-LE评分和治疗4周后MBI评分均明显升高,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。② 步态参数:与治疗前比较,试验组治疗2、4周后步速、步幅和双膝平均屈伸角度均明显升高,双支撑相均明显降低,差异均具有统计学意义($P < 0.05$);与治疗2周后比较,试验组治疗4周后步速、步幅和双膝平均屈伸角度均明显升高,双支撑相均明显降低,差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。与对照组同一时间点比较,试验组治疗2周后步速、双膝平均屈伸角度均明显升高,治疗4周后步幅、双膝平均屈伸角度均明显升高,双支撑相明显降低,差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。**结论** 多关节联动FES联合常规康复治疗能有效改善脑卒中后偏瘫患者下肢运动功能、步行能力和日常生活活动能力。

关键词 脑卒中;多关节联动功能性电刺激;下肢运动功能;步行功能;日常生活活动能力

引用格式:刘加鹏,王卫宁,徐冬艳,等.多关节联动功能性电刺激联合常规康复治疗对脑卒中患者下肢运动功能的影响[J].康复学报,2024,34(4):349-354.

LIU J P, WANG W N, XU D Y, et al. Effect of multi-joint functional electrical stimulation combined with conventional rehabilitation therapy on lower limb motor function of patients with stroke [J]. Rehabil Med, 2024, 34(4): 349-354.

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2024.04006

©《康复学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 4.0 协议

© Rehabilitation Medicine, OA under the CC BY-NC-ND 4.0

脑卒中是一种临床常见的急性脑血管疾病,具有高发病率、高致残率、高致死率等特点^[1]。在病情稳定后,约70%脑卒中患者会遗留不同程度的运动功能障碍,其中大部分患者未能恢复良好的步行能力^[2]。脑卒中患者在恢复阶段表现为以伸肌占优势的协同运动模式(髋内收和内旋、膝伸展、踝跖屈内翻、足趾屈曲),严重影响其步行功能和日常生活活动能力^[3]。因此,帮助脑卒中患者尽早改善下肢的运动功能,纠正其异常运动模式,恢复良好的步态功能是康复训练的重要内容,也是提高脑卒中患者生活质量的重要一环。康复医生或治疗师通过制定合理的步态训练计划,可以极大地恢复脑卒中患者的步行能力。有研究显示,下肢功能性电刺激(functional electric stimulation, FES)可有效改善脑卒中患者的步态功能^[4]。但FES方案大多只是刺激单一肌肉或肌群^[5],功能较为单一,作用效果有限。行走是一个复杂的过程,需要下肢各肌群协调收缩和相互作用以实现动态稳定。与单通道FES比较,多通道FES能够依据动作发生的时序定向精准地对周围神经进行调控,辅助主动肌在正确的时间点进行有效收缩,从而抑制协同运动,帮助患者建立正确的运动模式,更好地改善患者的运动控制能力^[6]。本研究使用可穿戴的多通道功能性电刺激器配备了多个独立的刺激器^[7],可同时佩戴在身体的多个部位,通过无线连接,协同运作,并根据脑卒中偏瘫患者步行中关键肌群激发的时序给予合适的刺激,以改善脑卒中患者的异常步态和步行能力。本研究采用穿戴式多关节联动功能性电刺激联合常规康复治疗治疗脑卒中下肢运动功能障碍患者,取得良好效果。

1 临床资料

1.1 病例选择标准

1.1.1 诊断标准 参照《中国脑血管疾病分类2015》^[8]有关脑卒中的诊断标准,并经头颅MRI检查

或CT检查确诊。

1.1.2 纳入标准 ①首次发病;②病程≤1年;③性别不限;④年龄18~80岁;⑤患者生命体征稳定,意识清醒,听指令正常;⑥下肢运动功能Brunnstrom分期Ⅲ~Ⅴ期,能够独立或少量帮助下步行至少20 min;⑦患侧下肢改良Ashworth肌张力评定量表(modified Ashworth scale, MAS)分级≤2级;⑧患者对本研究方案知情同意,并自愿签署知情同意书。

1.1.3 排除标准 ①体内有心脏起搏器或其他金属器械者;②试验电极贴附处皮肤破溃;③存在腓总神经损伤、重症肌无力、待刺激部位肌肉疾病等其他无法完成正常神经肌肉电刺激的问题;④严重认知、言语功能障碍;⑤合并其他严重的原发性疾病;⑥视觉障碍;⑦存在跌倒风险。

1.1.4 中止和脱落标准 ①入组后继发新的疾病或出现新的病灶;②治疗依从性不强,无法按规定完成治疗;③主动要求退出本研究。

1.2 一般资料

根据文献^[9]和预试验的结果,通过PASS软件进行计算,本研究分为2组,采用独立样本 t 检验,设定检验水准为 $\alpha=0.05$,把握度 $1-\beta=0.8$,得出样本量为28,考虑到脱落率20%,本研究最低样本量35例。选取2023年1—12月在复旦大学附属华山医院康复医学科住院治疗的脑卒中后下肢运动功能障碍患者35例。采用SPSS 25.0统计软件随机方法分为对照组和试验组,对照组16例、观察组19例。对照组1例因提前出院而脱落;试验组4例因多种原因中止或脱落(3例患者提前出院;1例患者因皮肤对电极片有轻度过敏反应,拒绝继续进行治疗),最后2组均纳入15例。2组性别、年龄、病程和疾病类型等一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。见表1。本研究方案经复旦大学附属华山医院伦理委员会审批通过(审批号:KY2021-1003)。

表1 2组一般资料比较

Table 1 Comparison of general data between two groups

组别	例数	性别		年龄/($\bar{x}\pm s$,岁)	病程/($\bar{x}\pm s$,月)	脑卒中类型	
		男	女			脑梗死	脑出血
对照组	15	9	6	50.73±11.25	6.60±3.42	8	7
试验组	15	11	4	49.13±10.79	6.67±3.64	10	5

2 方 法

2.1 治疗方法

2.1.1 对照组 接受常规康复治疗 and 常规步行训练。

2.1.1.1 常规康复治疗 在物理治疗师的指导下进行偏瘫肢体综合训练,主要包括牵伸训练、肌力训练、关节活动训练、运动控制训练、体位转移训练等,40 min/次,1次/d,5次/周,持续治疗4周。

2.1.1.2 常规步行训练 患者在治疗师的指导下进行步态矫正训练,包括骨盆控制训练、膝关节稳定性训练、平衡训练和上下楼梯训练等,20 min/次,1次/d,5次/周,持续治疗4周。

2.1.2 试验组 在对照组常规康复治疗基础上接受多关节联动穿戴式FES治疗。具体方法如下:

采用江苏德长医疗科技有限公司生产的膝踝联动穿戴式功能性电刺激仪(江苏德长医疗科技有限公司,型号:DC-L-800)进行FES治疗。每个患者在开始治疗前由康复治疗师对电刺激参数进行个性化设置。①控制膝关节的FES电极片正负极贴于患侧股直肌肌腹的近端和远端;控制踝关节的FES电极片正负极分别贴于患侧腓骨小头外侧和胫前肌肌腹远端,连接好穿戴式功能性电刺激仪。②开机后,电流强度由弱到强缓慢增加,直至引起目标肌群明显收缩,以此设定好各电刺激器的电流强度。若肌群不能产生理想收缩,应调整电极位置,以达到刺激效果。③根据脑卒中患者步态周期的情况,设置各刺激器刺激肌群的时序,让受试者进行适应性行走,针对受试者步态情况进行刺激时序微调,确保各电刺激器刺激时序与目标肌群在步态周期中的激发时序相一致。④按设定好的电刺激参数进行FES治疗,20 min/次,1次/d,5次/周,持续治疗4周。

2.2 观察指标

分别于治疗前、治疗2周和治疗4周后由未参与本研究干预的物理治疗师对2组患者进行以下指标评估。

2.2.1 下肢运动功能 采用Fugl-Meyer下肢运动功能评定量表^[10](Fugl-Meyer lower extremity, FMA-

LE)评价患者下肢运动功能。FMA-LE总分34分,分值越高表示患者下肢功能越好。

2.2.2 下肢步态参数 采用吉步恩三维步态分析系统(大连乾涵科技有限公司,型号:DC-G-200)评价患者步速、步幅、双支撑相(步态周期中双足同时着地的阶段)、双膝平均屈伸角度(双膝最大屈伸角度的平均值)等指标。

2.2.3 日常生活活动能力 采用改良Barthel指数^[11](modified Barthel index, MBI)评价患者日常生活活动能力。MBI总分100分,分数越高表示日常生活活动能力越好。

2.3 统计学方法

采用SPSS 25.0统计软件进行数据分析。计量资料服从正态分布以($\bar{x} \pm s$)表示,组内多个时间点比较采用重复测量方法分析,组间比较采用两独立样本 t 检验;计数资料采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

3 结 果

3.1 2组治疗不同时间点FMA-LE、MBI评分比较

与治疗前比较,2组治疗2、4周后FMA-LE、MBI评分均明显升高,差异具有统计学意义($P < 0.05$);与治疗2周后比较,2组治疗4周后FMA-LE、MBI评分均明显升高,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。与对照组同一时间点比较,试验组治疗2、4周后FMA-LE评分和治疗4周后MBI评分均明显升高,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。见表2。

3.2 2组治疗不同时间点步态参数比较

与治疗前比较,试验组治疗2、4周后步速、步幅和双膝平均屈伸角度均明显升高,双支撑相均明显降低,差异均具有统计学意义($P < 0.05$);与治疗2周后比较,试验组治疗4周后步速、步幅和双膝平均屈伸角度均明显升高,双支撑相均明显降低,差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。与对照组同一时间点比较,试验组治疗2周后步速、双膝平均屈伸角度均明显升高,治疗4周后步幅、双膝平均屈伸角度均明显升高,双支撑相明显降低,差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。见表3。

表2 2组不同时间点FMA-LE、MBI评分比较($\bar{x}\pm s$)

分

Table 2 Comparison of FMA-LE and MBI scores between two groups at different times ($\bar{x}\pm s$)

Scores

组别	例数	时间	FMA-LE评分	MBI评分
对照组	15	治疗前	16.73±3.56	60.33±11.57
		治疗2周后	18.33±3.29 ¹⁾	64.47±11.43 ¹⁾
		治疗4周后	21.13±3.14 ¹⁾²⁾	67.07±10.27 ¹⁾²⁾
试验组	15	治疗前	16.13±3.40	60.80±9.25
		治疗2周后	21.47±4.57 ¹⁾³⁾	65.73±9.09 ¹⁾
		治疗4周后	24.80±3.73 ¹⁾²⁾³⁾	74.40±9.12 ¹⁾²⁾³⁾

注:与治疗前比较,1) $P<0.05$;与治疗2周后比较,2) $P<0.05$;与对照组同一时间点比较,3) $P<0.05$ 。

Note: Compared with that before treatment, 1) $P<0.05$; compared with that after treatment for two weeks, 2) $P<0.05$; compared with the control group at the same time, 3) $P<0.05$.

表3 2组不同时间点下肢步态参数比较($\bar{x}\pm s$)

Table 3 Comparison of gait parameter of lower limb between two groups at different times ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	时间	步速/(cm/s)	步幅/cm	双支撑相/%	双膝平均屈伸角度/°
对照组	15	治疗前	46.93±3.76	76.73±2.76	51.05±2.23	24.60±1.51
		治疗2周后	48.13±3.76 ¹⁾	78.33±3.09	48.45±2.11 ¹⁾	26.00±1.45 ¹⁾
		治疗4周后	57.67±3.69 ¹⁾²⁾	81.53±3.05 ¹⁾	47.35±2.56 ¹⁾	28.53±1.18 ¹⁾
试验组	15	治疗前	46.33±3.58	77.53±4.76	49.87±2.95	24.93±1.21
		治疗2周后	59.47±3.96 ¹⁾³⁾	87.93±5.09 ¹⁾	44.29±2.60 ¹⁾	29.87±1.13 ¹⁾³⁾
		治疗4周后	64.53±4.12 ¹⁾²⁾	94.40±5.04 ¹⁾²⁾³⁾	39.36±2.53 ¹⁾²⁾³⁾	33.20±1.03 ¹⁾²⁾³⁾

注:与治疗前比较,1) $P<0.05$;与治疗2周后比较,2) $P<0.05$;与对照组同一时间点比较,3) $P<0.05$ 。

Note: Compared with that before treatment, 1) $P<0.05$; compared with that after treatment for two weeks, 2) $P<0.05$; compared with the control group at the same time, 3) $P<0.05$.

4 讨论

4.1 多关节联动FES联合常规康复治疗可改善脑卒中患者下肢运动功能

本研究结果显示,与对照组同一时间点比较,试验组治疗2、4周后FMA-LE评分均明显升高;治疗2周后步速、双膝平均屈伸角度均明显升高,治疗4周后步幅、双膝平均屈伸角度均明显升高,双支撑相明显降低,提示多关节联动FES联合常规康复治疗可改善脑卒中患者下肢运动功能。这可能与脑卒中患者下肢肌肉力量、运动协调性、关节稳定性、关节活动度、肌张力等改善有关^[12]。①纠正脑卒中患者异常步态:与单通道FES比较,多关节联动FES可以根据脑卒中患者下肢步态周期情况,按时序调节多组肌群产生节律性收缩,有效改善下肢肌肉力量和协调性,更好地对关节运动进行控制。FES可作用于膝、踝关节,增强关节稳定性,纠正膝过伸或足下垂、内翻等因关节稳定性不佳形成的异常步态。②提高膝关节稳定性:膝关节稳定性是影响步行功能的一个重要因素,其中股四头肌在下肢步行过程中对膝关节稳定起到至关重要的作用。

脑卒中患者运动功能恢复早期阶段,若患侧下肢股四头肌肌力不足,膝关节稳定性将受到影响,此时臀大肌就会代偿性伸髋以限制股骨,从而控制膝关节,导致患者出现代偿性膝过伸。股四头肌作为重要的髋关节屈肌,可以帮助下肢摆动相完成足廓清;此外,股四头肌作为膝关节伸肌还可以通过离心收缩来限制和控制小腿在摆动相初、中期向后的摆动,从而使下肢向前摆动成为可能^[13]。本研究使用的多关节联动FES根据脑卒中患者步态周期中股四头肌收缩的节律给予其适当刺激,不仅可以很好地稳定膝关节,还可以提高患侧髋、膝关节的运动角度和步幅,从而改善步态功能^[14]。③提高步态稳定性:足内翻和足下垂也是影响脑卒中患者步态稳定性的重要原因。脑卒中患者患侧小腿三头肌痉挛和胫骨前肌无力是导致足内翻和足下垂的重要原因^[15]。FES能够辅助踝背屈肌在步行过程中按时序产生正确收缩,通过节律性刺激可以有效控制踝关节的运动;此外,FES还可以改善脑卒中患者下肢肌张力和肌肉硬度,减轻肌肉痉挛,使患侧下肢关节活动范围增加,能量消耗减少,异常运动模式得

到缓解,从而提高脑卒中患者步行时的姿势控制能力^[16]。

4.2 多关节联动FES联合常规康复治疗可改善脑卒中患者日常生活活动能力

本研究结果显示,与对照组同一时间点比较,试验组治疗4周后MBI评分明显升高,提示多关节联动FES联合常规康复治疗可改善脑卒中患者日常生活活动能力。可能与以下因素有关:①提高下肢运动功能。下肢运动功能与脑卒中患者日常生活活动能力(如转移、步行、上下楼梯、如厕等)密切相关。与常规康复治疗比较,多关节联动FES可通过精确的刺激顺序及刺激强度激活失神经控制的轻瘫或者瘫痪的肌肉群,使脑卒中患者获得更好的下肢协调性与稳定性,改善平衡、转移能力,从而提高脑卒中患者的日常生活活动能力^[17]。②提高躯干平衡控制能力。脑卒中后偏瘫患者下肢往往伴随着以伸肌为主的协同运动,导致主动肌与拮抗肌之间不能协调收缩,出现膝过伸、膝塌陷、足内翻、足下垂等各种异常步态和代偿性运动,继而影响躯干的控制与平衡^[18]。多关节联动FES可在脑卒中患者自由行走过程中通过传感器实时监测运动状态和身体反应,对参与运动的关键肌群进行精确控制和调整,支持其影响平衡的薄弱环节。此外,多关节联动FES不受地点和环境的限制,更贴近脑卒中患者实际的日常生活活动场景,可帮助脑卒中患者建立正确的运动模式,并映射到大脑皮质,增加脑感觉运动皮层的活动^[19],提高大脑对躯干平衡的控制能力。③提高股四头肌收缩能力。上下楼梯是脑卒中患者日常生活活动能力的1项重要指标。脑卒中后偏瘫患者在下楼梯时,股四头肌作为膝关节伸肌,需要产生强力的离心性收缩以控制膝关节的屈曲角度,避免膝关节因过度屈曲而无法支撑^[20]。多关节联动FES可在支撑相中期辅助股四头肌进行离心性收缩,提高脑卒中患者的关节稳定性,改善日常生活活动能力。但值得注意的是,与对照组同一时间点比较,试验组治疗2周后MBI评分差异无统计学意义,可能原因是脑卒中患者日常生活活动能力的提高是建立在运动功能综合改善基础上的,运动功能很难短期内得到改善,但经过4周多关节联动FES治疗,脑卒中患者下肢运动功能和关节稳定性得到改善,其步行和转移能力明显改善,从而提高日常生活活动能力。

5 小 结

多关节联动FES联合常规康复治疗可有效改善脑卒中后偏瘫患者下肢运动功能、步行能力和日常

生活活动能力,值得临床推广。但本研究还存在一定局限性,如样本量较小、观察时间较短、未进行随访、仅分析特定量表和三维步态测试数据指标等。下一步还需开展大样本临床随机对照研究,适当延长观察时间,加强出院后随访,观察包括表面肌电和脑电等神经电生理指标,探讨多关节联动FES的作用机制,以期多关节联动FES治疗脑卒中患者提供参考依据。

参考文献

- [1] WU S M, WU B, LIU M, et al. Stroke in China: advances and challenges in epidemiology, prevention, and management [J]. *Lancet Neurol*, 2019, 18(4): 394-405.
- [2] KOH J S G, HILL A M, HILL K D, et al. Evaluating a novel multi-factorial falls prevention activity programme for community-dwelling older people after stroke: a mixed-method feasibility study [J]. *Clin Interv Aging*, 2020, 15: 1099-1112.
- [3] LI S, FRANCISCO G E, RYMER W Z. A new definition of post-stroke spasticity and the interference of spasticity with motor recovery from acute to chronic stages [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2021, 35(7): 601-610.
- [4] JOHNSTON T E, KELLER S, DENZER-WEILER C, et al. A clinical practice guideline for the use of ankle-foot orthoses and functional electrical stimulation post-stroke [J]. *J Neurol Phys Ther*, 2021, 45(2): 112-196.
- [5] JAQUELINE DA CUNHA M, RECH K D, SALAZAR A P, et al. Functional electrical stimulation of the peroneal nerve improves post-stroke gait speed when combined with physiotherapy. A systematic review and meta-analysis [J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2021, 64(1): 101388.
- [6] 刘加鹏, 王卫宁, 梁思捷, 等. 多通道功能性电刺激踏车训练对脑卒中患者步行功能的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2021, 36(2): 182-185.
LIU J P, WANG W N, LIANG S J, et al. Effect of multi-channel functional electrical stimulation treadmill training on walking function of stroke patients [J]. *Chin J Rehabil Med*, 2021, 36(2): 182-185.
- [7] TAO S, ZHANG X W, CAI H Y, et al. Gait based biometric personal authentication by using MEMS inertial sensors [J]. *J Ambient Intell Humaniz Comput*, 2018, 9(5): 1705-1712.
- [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. 中国脑血管疾病分类2015[J]. *中华神经科杂志*, 2017, 50(3): 168-171.
Neurology Branch of Chinese Medical Association, Cerebrovascular Disease Group of Neurology Branch of Chinese Medical Association. Classification of cerebrovascular diseases in China (2015) [J]. *Chin J Neurol*, 2017, 50(3): 168-171.
- [9] YOU G Q, LIANG H Y, YAN T B. Functional electrical stimulation early after stroke improves lower limb motor function and ability in activities of daily living [J]. *NeuroRehabilitation*, 2014, 35(3): 381-389.
- [10] FUGL-MEYER A R. Post-stroke hemiplegia assessment of physical properties [J]. *Scand J Rehabil Med Suppl*, 1980, 7: 85-93.
- [11] 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.
- [12] SELVES C, STOQUART G, LEJEUNE T. Gait rehabilitation after stroke: review of the evidence of predictors, clinical outcomes and timing for interventions [J]. *Acta Neurol Belg*, 2020, 120(4): 783–790.
- [13] SANTOS G F, JAKUBOWITZ E, PRONOST N, et al. Predictive simulation of post-stroke gait with functional electrical stimulation [J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 21351.
- [14] SIJOBERT B, AZEVEDO C, PONTIER J, et al. A sensor-based multichannel FES system to control knee joint and reduce stance phase asymmetry in post-stroke gait [J]. *Sensors*, 2021, 21(6): 2134.
- [15] LI S. Ankle and foot spasticity patterns in chronic stroke survivors with abnormal gait [J]. *Toxins*, 2020, 12(10): 646.
- [16] MOON S H, CHOI J H, PARK S E. The effects of functional electrical stimulation on muscle tone and stiffness of stroke patients [J]. *J Phys Ther Sci*, 2017, 29(2): 238–241.
- [17] CHEUNG V C K, NIU C M, LI S, et al. A novel FES strategy for poststroke rehabilitation based on the natural organization of neuromuscular control [J]. *IEEE Rev Biomed Eng*, 2019, 12: 154–167.
- [18] XING Y, BAI Y L. A review of exercise-induced neuroplasticity in ischemic stroke: pathology and mechanisms [J]. *Mol Neurobiol*, 2020, 57(10): 4218–4231.
- [19] LIM J, LIM T, LEE J, et al. Patient-specific functional electrical stimulation strategy based on muscle synergy and walking posture analysis for gait rehabilitation of stroke patients [J]. *J Int Med Res*, 2021, 49(5): 3000605211016782.
- [20] WILLIAMS G, HASSETT L, CLARK R, et al. Improving walking ability in people with neurologic conditions: a theoretical framework for biomechanics-driven exercise prescription [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2019, 100(6): 1184–1190.

Effect of Multi-Joint Functional Electrical Stimulation Combined with Conventional Rehabilitation Therapy on Lower Limb Motor Function of Patients with Stroke

LIU Jiapeng^{1,2}, WANG Weining², XU Dongyan², WANG Nianhong², WU Yi^{2*}

¹ School of Rehabilitation Medicine, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China;

² Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai 200040, China

*Correspondence: WU Yi, E-mail: wuyi4000@163.com

ABSTRACT Objective To investigate the effect of multi-joint functional electrical stimulation (FES) combined with conventional rehabilitation therapy on lower limb motor function of patients with stroke. **Methods** A total of 35 patients with lower limb motor dysfunction after stroke were admitted to the Department of Rehabilitation Medicine in the Huashan Hospital, Fudan University from January to December 2023. The patients were randomly divided into control group and experimental group by SPSS 25.0 statistical software, with 16 and 19 cases in each group, respectively. During the course of the treatment, one case in the control group dropped out due to early discharge, four cases in the experimental group discontinued or dropped out for various reasons, and finally 15 cases were included in each group. The control group received routine rehabilitation treatment and routine walking training. Routine rehabilitation treatment included stretching training, muscle strength training, joint mobility training, motor control training and functional mobility training for transfer, 40 minutes a time, once a day, five times a week for four weeks; routine walking training included pelvic control training, knee joint stability training, balance training, up and down stairs training, 20 minutes a time, once a day, five times a week for four weeks. The experimental group received multi-joint FES treatment in addition to the conventional rehabilitation treatment received in the control group, 20 minutes a time, once a day, five times a week for four weeks. Before treatment, two and four weeks after treatment, Fugl-Meyer assessment lower extremity (FMA-LE) was used to assess lower limb motor function; the JiBuEn three-dimensional gait analysis system was used to assess the walking speed, stride length, double support phase (the stage of the gait cycle in which both feet landed simultaneously), and average knee flexion and extension angles (the average of the maximum knee flexion and extension angles); the modified Barthel index (MBI) was used to assess the activities of daily living. **Results** (1) FMA-LE and MBI scores: compared with that before treatment, the FMA-LE and MBI scores of both groups increased significantly after two and four weeks of treatment, with statistically significant differences ($P < 0.05$). Compared with two weeks after treatment, the FMA-LE and MBI scores of both groups increased significantly after four weeks of treatment, with statistically significant differences ($P < 0.05$). Compared with the control group at the same time, the FMA-LE scores of the experimental group after two and four weeks of treatment and the MBI scores after four weeks of treatment increased significantly, with statistically significant differences ($P < 0.05$). (2) Gait parameters: compared with that before treatment, the walking speed, stride length, and the average knee flexion and extension angles in the experimental group increased significantly after two and four weeks of treatment, while the double support phase decreased significantly, with statistically significant differences ($P < 0.05$). Compared with two weeks after treatment, the walking speed, stride length, and the average knee flexion and extension angles in the experimental group increased significantly after four weeks of treatment, while the double support phase decreased significantly, with statistically significant differences ($P < 0.05$). Compared with the control group at the same time, the walking speed and the average knee flexion and extension angles in the experimental group increased significantly after two weeks of treatment, while the stride length and the average knee flexion and extension angles increased significantly after four weeks of treatment, and the double support phase decreased significantly, with statistically significant differences ($P < 0.05$). **Conclusion** Multi-joint FES combined with conventional rehabilitation therapy can effectively improve the lower limb motor function, walking ability and activities of daily living of hemiplegic patients after stroke.

KEY WORDS stroke; multi-joint functional electrical stimulation; lower limb motor function; walking function; activities of daily living

DOI:10.3724/SP.J.1329.2024.04006