

强化多通道功能性电刺激对偏瘫患者下肢运动功能的影响及表面肌电研究

李 郡^{1,2}, 王 强^{1*}, 颜 武², 王林娜², 陆丹丹²

¹青岛大学附属医院康复医学科, 山东 青岛

²济宁市兖州区第一人民医院康复医学科, 山东 济宁

收稿日期: 2024年4月15日; 录用日期: 2024年5月7日; 发布日期: 2024年5月14日

摘 要

目的: 探讨脑卒中偏瘫患者给予强化多通道功能性电刺激(FES)治疗后下肢运动功能的变化及表面肌电研究。方法: 选择符合入组标准的60例脑卒中偏瘫患者, 随机分为对照组、常规刺激组、强化刺激组, 每组20例。3组患者均给予常规药物治疗及康复训练, 对照组给予偏瘫肢体运动疗法(PT)训练每次30 min; 常规刺激组PT治疗每次30 min, 同时予以FES 10 min, 一天一次; 强化刺激组PT治疗每次30 min, FES 20 min, 一天一次。分别于治疗前及治疗后对患者进行Fugl-Meyer运动评定量表下肢部分(FMA-LE)、TUGT (“起立-行走”计时测试)、步态参数中患者的步长(患侧)和步频进行评定, 同时利用表面肌电图测量3组患者治疗前后患侧腓肠肌内侧头中位频率(MF)数值变化。结果: 三组患者治疗4周后进行评估, 组内比较FMA-LE、TUGT、步长(患侧)、步频、MF数值均较治疗前改善, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。常规刺激组、强化刺激组FMA-LE、TUGT、步长(患侧)、步频、MF数值均较对照组改善, 差异均有统计学意义($P < 0.05$); 强化刺激组较常规刺激组上述指标改善, 差异均有统计学意义($P < 0.05$)。结论: 多通道功能性电刺激可以改善脑卒中偏瘫患者下肢的运动功能, 增强肢体抗疲劳性, 且通过增加治疗时间下肢运动功能改善更明显, 可以将此研究方法广泛应用于临床中。

关键词

功能性电刺激, 脑卒中, 下肢, 表面肌电图

Effects of Enhanced Multi-Channel Functional Electrical Stimulation on Lower Limb Motor Function and Surface Electromyography in Patients with Hemiplegia

*通讯作者。

文章引用: 李郡, 王强, 颜武, 王林娜, 陆丹丹. 强化多通道功能性电刺激对偏瘫患者下肢运动功能的影响及表面肌电研究[J]. 临床医学进展, 2024, 14(5): 809-817. DOI: 10.12677/acm.2024.1451495

Jun Li^{1,2}, Qiang Wang^{1*}, Wu Yan², Linna Wang², Dandan Lu²

¹Department of Rehabilitation Medicine, Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

²Department of Rehabilitation Medicine, The First People's Hospital of Yanzhou District, Jining Shandong

Received: Apr. 15th, 2024; accepted: May 7th, 2024; published: May 14th, 2024

Abstract

Objective: To investigate the changes of lower limb motor function and surface electromyography in stroke patients with hemiplegia after intensive multi-channel functional electrical stimulation (FES). **Methods:** Sixty stroke patients with hemiplegia who met the inclusion criteria were randomly divided into control group, conventional stimulation group and intensive stimulation group, with 20 cases in each group. The patients in the three groups were given routine drug treatment and rehabilitation training, and the control group was given hemiplegic limb movement therapy (PT) training for 30 min each time. The conventional stimulation group was treated with PT for 30 min each time and FES for 10 min once a day. The intensive stimulation group was treated with PT for 30 min each time and FES for 20 min once a day. Before and after treatment, the lower limb part of Fugl-Meyer motor assessment scale (FMA-LE), TUGT ("standing-walking" timing test), step length (affected side) and step frequency of patients in gait parameters were evaluated. At the same time, surface electromyography was used to measure the median frequency (MF) of the medial head of the gastrocnemius muscle on the affected side of the three groups before and after treatment. **Result:** After 4 weeks of treatment, the FMA-LE, TUGT, step length (affected side), step frequency and MF values of the three groups were improved compared with those before treatment, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). After 4 weeks of treatment, the FMA-LE, TUGT, step length (affected side), step frequency and MF values of the conventional stimulation group and the intensive stimulation group were improved compared with the control group, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$); the above indexes in the intensive stimulation group were improved compared with those in the conventional stimulation group, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusion:** Multi-channel functional electrical stimulation can improve the motor function of lower limbs in stroke patients with hemiplegia, enhance the anti-fatigue of limbs, and improve the motor function of lower limbs more obviously by increasing the treatment time. This research method can be widely used in clinical practice.

Keywords

Functional Electrical Stimulation, Stroke, Lower Limbs, Surface Electromyography

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

脑卒中(cerebral stroke)具有高发病率、高致残率、高复发率的特点[1] [2], 约 50%~80%患者发病 6 个月后存在不同程度下肢功能障碍、步态异常[3], 严重影响患者日常生活质量及家庭和谐。

目前治疗下肢运动功能障碍治疗方法较多, FES 由于其疗效确定、方便易行在康复治疗中应用广泛。

FES 是神经肌肉电刺激(Neuro-muscular electrical stimulation, NMES)的一种亚型, 按照设备预先编定的程序, 给予丧失功能的器官或肢体一定强度的低频脉冲电流, 达到刺激运动神经, 然后诱发肌肉运动, 模拟正常的自主运动从而来替代或矫正器官和肢体功能的一种治疗方法[4]。其中刺激有助于功能性和有目的的运动, 通过对特定肌肉施加电刺激来实现这一目的, 当肌肉收缩时, 会产生可以功能使用的运动[5]。1960 年代初 Liberson [6]发现第一个用于协助偏瘫患者的足下垂训练的 FES 设备, 后来人们逐渐开发出单通道至多通道功能性电刺激仪器, 逐渐应用于人体多个器官。由于步行是多关节、多肌肉参与整体运动, 既往 FES 治疗多以患者被动参与为主, 不能调控步行时肌肉有序收缩, 本研究使用基于正常步行模式下 FES 通过模拟正常行走模式, 观察下肢运动改善情况, 并观察下肢运动功能能否通过增加 FES 刺激次数而得到改善。

由于人体运动功能的复杂性, 传统评估方法客观指标较少, 误差较大, 将功能性电刺激与表面肌电图(surface electromyography, sEMG)相结合, 可以更好地反应功能性电刺激疗效及患者肌肉运动状态, 找出步态异常主要原因, 指导下一步康复治疗。表面肌电图具有无创性、实时性等优点。通过在皮肤表面选定位置放置电极片, 从而记录待测肌肉活动时的生物电信号, 定量和定性分析各种运动状态下的神经肌肉功能[7]。本研究通过观察患者正常步行周期中患侧下肢单支撑相腓肠肌内侧头 MF 数值变化, 反应待测肌肉的耐力及疲劳性。

2. 研究对象及方法

2.1. 研究对象

选取 2021 年 9 月至 2022 年 3 月在青岛大学附属医院黄岛院区康复医学科住院且符合本次研究纳入标准的脑卒中偏瘫患者 60 例, 按照随机数字法分为三组: 对照组, 常规刺激组和强化刺激组, 每组 20 例。

2.1.1. 纳入标准

- (1) 首次发病, 且符合脑卒中诊断标准[8];
- (2) 患者系单侧肢体偏瘫, 无明显感觉异常及认知功能障碍;
- (3) 年龄 30~80 岁, 病程 3 个月内;
- (4) 患者下肢 Brunstrom 分期 \geq III 期;
- (5) 患侧下肢肌张力 Ashworth 分级 \leq 2 级, Holden 步行能力达 2 级及以上, 且患者需能一次性连续行走至少 15 min;
- (6) 意识清醒, 病情稳定;
- (7) 签署知情同意书。

2.1.2. 排除标准

- (1) 急性期病情不稳定者;
- (2) 患者合并严重心肺肾等功能障碍, 患肢皮肤有破损或感染, 局部不能贴电极片者;
- (3) 存在共济失调等协调障碍、存在严重认知功能障碍者的患者;
- (4) 存在偏侧忽略, 或视力太差严重影响步行者;
- (5) 患者既往有严重髋、膝、踝疼痛影响步行者。

2.1.3. 脱落标准

- (1) 由于各种原因不能配合治疗, 数据结果不完整者;
- (2) 治疗中出现严重不良事件和不良反应者;
- (3) 依从性差, 治疗过程中对治疗排斥抵触者。

2.2. 治疗方法

三组患者均给予常规药物治疗及基本康复训练, 康复训练包括: (1) 偏瘫肢体运动疗法训练(PT): 以Brunstrom 技术、Bobath 技术、Rood 技术、本体神经肌肉易化技术(PNF)恢复肌肉肌力; 躯干肌、核心肌群训练; 下肢功能训练; 坐位、站位平衡功能训练, 坐-站转移训练; 患肢单侧负重及步行和步态矫正训练。(2) 日常生活能力训练(activities of daily living, ADL)训练, 包括穿脱衣物、上楼梯等。(3) 针灸、物理因子治疗等。

对照组给予偏瘫肢体运动疗法(PT)训练每次 30 min; 常规刺激组 PT 治疗每次 30 min, 同时予以 FES 10 min, 一天一次; 强化刺激组 PT 治疗每次 30 min, FES 20 min, 一天一次。本研究采用广州市凡科医疗设备有限公司生产的基于正常行走模式的四通道功能性电刺激治疗仪(商品名: 易善行), 型号: P2-9632, 注册证号: 粤械 201522602。设备主要由神经肌肉定位仪、功能性电刺激治疗仪主机、连接线和电极片、足底压力感受器五部分组成。治疗前首先进行 FES 参数设置: 模式采取行走模式(S), 频率 30 Hz, 脉宽 200 μ s, 步行周期以 5 s 为基准, 并根据患者步行中的反应来调整[9], 电流强度以患者最大耐受为度, 时间为 20 min。

治疗室环境舒适, 整洁安全, 患者穿着合适衣物、鞋子。操作方法: (1) 患者取坐位, 双膝稍屈曲, 充分暴露患肢; (2) 选择偏瘫侧下肢胫前肌、股四头肌、腓肠肌及腓绳肌 4 组肌肉, 酒精脱脂后将电极片贴于相应位置, 连接主机及电极片; (3) 选用步行模式(S)进行训练, 调整参数(步行周期 5 s、时间 10 min), 调节刺激强度, 以患者耐受为宜; (4) 打开足底压力感受器, 将主机置于患者口袋内, 并将电极线固定。治疗中需治疗师陪同, 观察患者如出现心慌、胸闷、头痛等不适及时终止治疗。滴滴声响起, 关闭电源, 摘下电极片, 取出足底压力感受器, 治疗结束。

2.3. 评定方法

3 组患者分别于治疗前和治疗 4 周后对 3 组患者进行各项评定指标测定:

2.3.1. Fugl-Meyer 量表下肢部分(FMA-LE)

FMA 量表下肢部分包括 7 大项, 17 个小项, 包括下肢反射、连带运动、分离运动、协调、速度, 可反应下肢运动功能、平衡、感觉和关节功能。每个小项分值 0~2 分, 得分可直接反应下肢运动功能, 得分越高表示患者下肢运动功能越好[10]。

2.3.2. “起立-行走”计时测试(Timed “Up & Go” Test, TUGT)

嘱患者坐于起点处靠背椅上, 从椅子开始标记出 3 米起始位置, 听到“开始”指令后, 患者站立并向前行走。记录患者从屁股离开椅面, 步行 3 米标记处转身回来, 到屁股再次落于椅面的时间。通过完成时间反应患者平衡能力和综合步行能力的定量指标[11]。

2.3.3. 步态参数中患者的步长(患侧)和步频

应用广州一康步态智能分析系统 A7-2, 所有测试患者均能在无疲劳状态下进行, 行走距离相等, 通过 3D 步态采集患者运动功能信息, 包括步频、步态周期、步幅、步速、双侧肢体步长、双侧肢体支撑相、摆动相占比等, 选用其中的步长(患侧) [12]和步频[13]进行统计分析。

2.3.4. 表面肌电图

临床常用表面肌电图对肌肉的肌力、肌张力、疲劳进行研究, 本次研究采用的是腓肠肌中位频率(MF), 观察腓肠肌耐力变化。MF 是指骨骼肌收缩过程中肌纤维放电频率的中间值[14], 可反应治疗前后肌肉耐力变化。

在步行周期中踝关节影响着步行有效性及平衡功能,研究表明小腿三头肌可在步行时产生前进推动力,在踝关节跖屈运动中起主导作用[7],且患肢单支撑相(single support phase, SS)对整个步态周期影响较为重要[15],故本研究采用患肢 SS 时腓肠肌内侧头 MF 变化。测量方法:测量环境要求温暖舒适、宽敞,患者在无疲劳状态下进行。测试时,嘱受试者放松、自然站好,反复向患者讲明测试时注意事项,避免紧张;在 sEMG 信号保持在基线附近(上下波动不超过 $10 \mu\text{V}$);测试人员下达口令,受试者原地踏步进行预试肌电信号,降低信噪比;然后在无干扰情况下直线行走,重复 3 次,每次结束后休息 20 s 再进行下一次;同步采集 sEMG 信号。整个测试过程均用手机摄像头多镜录像进行实时录制[15]。结束后,表面肌电图与录像结合,取患侧 SS 过程中腓肠肌内侧头的 MF。

2.4. 统计学分析方法

应用 SPSS26.0 软件进行数据统计分析,计数资料使用 χ^2 检验,计量资料数据若符合正态分布的以均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,治疗前后比较采用配对样本 t 检验;多组间比较采用单因素方差分析,组间两两比较,方差齐时采用 LSD 法或 Bonferroni 法,方差不齐时采用 Tamhane's T2 法;若不符合正态分布,以中位数(下四分位数,上四分位数)即 P50 (P25, P75)表示,治疗前后比较采用秩和检验,多组间比较采用 Kruskal-Wallis H 检验,后续两两比较采用 Mann-Whitney 检验。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

3. 结果

3.1. 三组患者一般资料比较

选取我院就诊的脑卒中患者 60 例,通过随机数字表法将其分为对照组、常规刺激组、强化刺激组,每组各 20 例患者。3 组患者一般资料(性别、年龄),疾病资料(疾病种类、偏瘫侧别、病程)均衡可比($P > 0.05$)。见表 1。

Table 1. Comparison of general data of three groups of patients
表 1. 三组患者一般资料比较

组别	例	性别(例) 男/女	偏瘫侧别 左/右	病种 脑梗死/脑出血	年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	病程 (天, $\bar{x} \pm s$)
对照组	20	8/12	11/9	7/13	55.50 ± 9.53	32.50 ± 9.71
常规刺激组	20	7/13	7/13	8/12	54.30 ± 10.15	35.20 ± 9.61
强刺激组	20	11/9	9/11	11/9	56.45 ± 8.84	33.85 ± 8.72

3.2. 三组患者治疗前后运动功能疗效比较

三组患者入院治疗前 FMA-LE、TUGT、步长(患侧)、步频差异无统计学意义($P > 0.05$)。治疗 4 周后进行评估, FMA-LE、TUGT、步长(患侧)、步频均较治疗前改善,差异有统计学意义($P < 0.05$);常规刺激组、强化刺激组 FMA-LE、TUGT、步长(患侧)、步频均较对照组改善,差异均有统计学意义($P < 0.05$);强化刺激组较常规刺激组 FMA-LE、TUGT、步长(患侧)、步频改善,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。详见表 2。

3.3. 三组患者表面肌电中腓肠肌 MF 结果比较

治疗前,三组患者 MF 组间差异无统计学意义($P > 0.05$);治疗后,三组患者 MF 数值均提高, ($P < 0.05$);

组间比较, 常规刺激组、强化刺激组 MF 数值高于对照组, 差异有统计学意义($P < 0.05$); 强化刺激组患侧 MF 高于常规刺激组($P < 0.05$)。详见表 3。

Table 2. Comparison of motor function before and after treatment in three groups of patients
表 2. 三组患者治疗前后运动功能疗效比较

指标	组别	治疗前	治疗 4 周后
FMA-LA	对照组	19.60 ± 2.48	22.90 ± 3.14 ^a
	常规刺激组	19.85 ± 2.41	25.10 ± 2.88 ^{ab}
	强化刺激组	19.95 ± 1.99	27.40 ± 2.52 ^{abc}
TUGT (s)	对照组	22.17 ± 4.81	19.15 ± 4.71 ^a
	常规刺激组	22.13 ± 3.22	16.75 ± 4.00 ^{ab}
	强化刺激组	21.47 ± 4.39	13.63 ± 1.35 ^{abc}
步长(患侧) (cm)	对照组	38.10 ± 7.62	44.30 ± 7.19 ^a
	常规刺激组	39.15 ± 6.48	49.40 ± 6.59 ^{ab}
	强化刺激组	38.05 ± 5.82	53.65 ± 3.38 ^{abc}
步频(步/分钟)	对照组	74.79 ± 6.08	80.57 ± 9.23 ^a
	常规刺激组	75.54 ± 6.10	87.41 ± 8.21 ^{ab}
	强化刺激组	76.61 ± 5.47	93.95 ± 5.89 ^{abc}

注: 与治疗前比较, ^a $P < 0.05$; 与对照组比较, ^b $P < 0.05$; 与常规刺激组比较, ^c $P < 0.05$ 。

Table 3. Changes of surface electromyography before and after treatment in three groups of patients
表 3. 三组患者治疗前后表面肌电变化

指标	组别	治疗前	治疗 4 周后
MF (Hz)	对照组	54.53 ± 5.47	59.26 ± 6.16 ^a
	常规刺激组	56.25 ± 5.58	65.95 ± 5.05 ^{ab}
	强化刺激组	56.91 ± 6.47	71.51 ± 6.22 ^{abc}

注: 与治疗前比较, ^a $P < 0.05$; 与对照组比较, ^b $P < 0.05$; 与常规刺激组比较, ^c $P < 0.05$ 。

4. 讨论

脑卒中为常见病、多发病, 发病后部分患者会遗留有步态异常, 而步行是一个精确而复杂的运动过程, 需要多关节、肌肉、神经参与, 其中一个环节出现问题, 均可导致步态异常。异常步态较易引起行走不稳, 甚至跌倒等, 严重影响患者日常生活。因此, 提高步速及稳定性, 帮助患者形成正确步态是脑卒中患者步态训练的目标。

脑卒中后神经康复基础是中枢神经系统的可塑性, 适当的康复训练刺激可以使神经元形态学结构发生变化, 从而促进脑损伤的修复[16]。Van 研究发现在脑卒中后早期进行维持 10 周的 MFES 辅助下步态训练可改善患者肢体运动功能[17]。运动控制理论认为, 人体的任何功能活动均源自于模式运动, 都是以一定的运动模式为基础, 以产生功能性活动为最终目的[18], 在该理论基础上, 本研究使用基于正常模式

的多通道 FES 对脑卒中偏瘫患者进行治疗,使患者能够按照正常行走模式进行训练,以提高运动的协调性,促进分离运动产生,减少共同运动,并在训练中不断重复、强化肌肉正常收缩时序,增加感受器的冲动传入,加速脑侧支循环的形成,改善大脑皮质的可塑性[19],从而促进患者下肢功能恢复,减少异常步态形成。本研究采用基于人体正常模式的四通道 FES 治疗仪结合常规康复训练 4 周,通过不同次数的 FES 治疗,观察患者下肢运动功能改善情况及腓肠肌表面肌电变化。

本研究结果显示,常规刺激组、强化刺激组在 FMA、TUGT、步长、步频方面均较对照组明显改善,说明基于正常行走模式的 FES 治疗联合常规康复训练优于常规康复训练;强化刺激组较常规刺激组也有改善,且差异有统计学意义,说明增加 FES 训练次数效果更好。在 FMA 评分方面,予以 FES 治疗患者评分高,而且通过增加训练次数,功能提升更明显,考虑为 FMA 下肢评分中关于下肢反射、共同运动、分离运动、协调、速度等,予以正确运动模式下多通道功能性电刺激治疗后,对于患者分离运动产生,下肢整体运动功能改善有明显效果。有研究表明:偏瘫患者予以 FES 刺激偏肢体 3 周后 FMA 评分及 Berg 平衡量表评分均较治疗前好转,核磁共振弥散张量成像(DTI)检查发现患者纤维束明显增多,FMA 评分也较前提高,进一步验证重复模式化运动可引起脑细胞重塑[20],而本研究采用的基于正常运动模式的 FES 在引导患者早期正确的步行时,通过重复性动作刺激股四头肌及小腿三头肌,同时,也刺激肌力较弱的腓绳肌和胫前肌,随着这种模拟正常步行周期的反复电刺激,使患者下肢功能得到改善,而刺激时间越长,运动改善越明显,FMA 评分也越高。

FMA 通过评分反应患者下肢运动改善情况,“起立-行走”计时测试(TUGT)通过客观数据反应躯干及下肢整体运动功能。Ha 通过在在气台台阶上进行功能性电刺激,结果显示 TUGT 和功能伸展测试均明显改善,建议将 FES 的踝关节运动作为改善卒中患者功能的干预措施[21]。FES 能改善患者患侧下肢的运动功能,促进分离运动的产生,改善运动的协调性,基于人体正常模式的四通道 FES 治疗仪,不仅仅是刺激痉挛肌或瘫痪肌,通过协同收缩改善平衡功能,减少体位转移、转身时间。本研究在刺激胫前肌的同时,腓肠肌协同收缩,能使踝关节运动更协调,从而改善运动及平衡功能。本研究中强化电刺激组的 Fugl-Meyer 量表下肢部分评分、TUGT 均较常规电刺激组改善更显著,说明增加功能性电刺激训练时间能更明显地改善患者下肢运动功能。强化功能性电刺激训练通过增加治疗时间效果改善更明显。

偏瘫步态直观表现为步长较短和步速较慢,步长影响因素有:1) 摆动相髋关节屈曲、膝关节伸展和踝关节背屈角度;2) 支撑相期:站立稳定性、脚踝力量和推进动力。偏瘫患者步长短的主要原因为摆动相早期髋关节屈曲力量不足,患侧支撑末期至摆动前期起始时地面的推进力不够,双侧步长不对称可导致步态异常,也可影响平衡功能导致跌倒发生。偏瘫患者步行速度慢的主要原因是步态周期中双支撑期占比延长,Smidt 等用 fM RI 观察了下肢功能性电刺激对健康人体脑功能活动的影响,发现下肢 FES 和特定神经区域的大脑激活之间存在剂量-反应关系[22]。Taylor 及其同事[23]证明使用 FES 治疗足下垂减少能量过度消耗,提高步行速度。步速通常会随着时间和各种康复治疗的干预从而得到改善,但步行过程患者为追求步行速度使髋关节过度代偿,导致异常步态强化。本研究中常规刺激组及强刺激组患者通过基于正常模式的功能性电刺激治疗后,在提高肌力的同时,患侧步长及步频均提高,与之前研究相符,强刺激组较常规刺激组治疗时间延长,步长及步频改善更明显。

为更精确分析患者经 FES 治疗前后肌肉功能变化,可通过表面肌电图采集步行活动过程中的肌肉电信号,对其进行定量、定性分析。当步行时,sEMG 可以描绘出步态中所需要肌肉收缩的时间和水平,根据具体肌肉进行针对性康复锻炼,从而达到事半功倍效果。步态周期中单支撑相时,被测足承担全部体重,此时踝关节从跖屈转为背屈,小腿三头肌收缩,身体重心从足跟移至前足,陈一等将偏瘫患者与正常人比较,腓肠肌肌电信号较健康受试者差异较大,研究表明此期如果肢体肌力不足,背屈受限,较易出现步态异常[15],故本次研究选取腓肠肌内侧头为待测肌肉,观察治疗前后 MF 值变化。

MF 与运动电位沿着肌纤维的传输速度有直接关系,反映了局部肌肉的疲劳程度,可用来评估肌肉的疲劳度。随之康复治疗的进行,腓肠肌疲劳性降低,耐力增加。分析原因为:脑卒中后患者行走时分离运动不能很好的产生,踝关节不能背屈,导致行走不稳及存在异常步态,如不加以干预,长此以往加重健侧肢体负担,增加跌倒风险。反之如使患者能按照正常行走运动模式进行训练,并在训练中不断重复、强化肌肉正常收缩时序,从而促进患者下肢功能恢复;通过纠正患者足内翻及足下垂,减少无用做功,提高步行有效率,从而提高肌肉耐力。强刺激组通过增加治疗时间, MF 升高,患者抗疲劳性增加,进一步验证重复功能性电刺激可改善下肢运动功能。

因此,基于正常行走模式的 FES 对脑卒中偏瘫患者进行治疗,下肢运动改善优于常规康复训练,通过适当延长治疗时间功能改善更明显。患者在早期借助 FES 所完成的肌肉协同收缩模拟了正常行走时的自主动作,在帮助患者改善肢体功能的同时,有助于患者树立信心,促使其更能积极配合治疗,从而提高患者日常生活能力水平,帮助患者尽早回归社会。

参考文献

- [1] Warlow, C., Sudlow, C. and Dennis, M. (2003) Stroke. *The Lancet*, **362**, 1211-1224. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(03\)14544-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(03)14544-8)
- [2] Stewart, J.D. (2008) Foot Drop: Where, Why and What to Do? *Practical Neurology*, **8**, 158-169. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2008.149393>
- [3] Wilkinson, I.A., Burridge, J., Strike, P., et al. (2014) A Randomised Controlled Trial of Integrated Electrical Stimulation and Physiotherapy to Improve Mobility for People Less than 6 Months Post Stroke. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, **10**, 468-474. <https://doi.org/10.3109/17483107.2014.917125>
- [4] 刘翠华, 张盘德, 容小川. 步态诱发功能性电刺激结合康复训练对脑卒中足下垂患者的临床疗效[J]. 中国老年学杂志, 2014(24): 6882-6884.
- [5] Marquez-Chin, C. and Popovic, M.R. (2020) Functional Electrical Stimulation Therapy for Restoration of Motor Function after Spinal Cord Injury and Stroke: A Review. *BioMedical Engineering OnLine*, **19**, Article No. 34. <https://doi.org/10.1186/s12938-020-00773-4>
- [6] Liberson, W.T. (1961) Functional Electrotherapy: Stimulation of the Peroneal Nerve Synchronized with the Swing Phase of the Gait of Hemiplegic Patients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, **42**, 101-105.
- [7] 吕文, 张锦明, 吕政, 等. 表面肌电图在偏瘫患者下肢肌肉动力学分析中的应用[J]. 医学综述, 2020, 26(24): 4883-4886, 4891.
- [8] 各类脑血管疾病诊断要点(1995) [J]. 临床和实验医学杂志, 2013, 12(7): 559.
- [9] 谭志梅, 燕铁斌. 基于正常行走模式的功能性电刺激改善脑梗死早期患者偏瘫下肢运动功能的随机对照研究 [C]//中国康复医学会. 中国康复医学会第八届全国康复治疗学术年会资料及论文汇编. 2011: 2.
- [10] 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): 519-522.
- [11] Kubicki, A. (2014) Functional Assessment in Older Adults: Should We Use Timed Up and Go or Gait Speed Test? *Neuroscience Letters*, **577**, 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2014.06.014>
- [12] 王玉龙. 康复功能评定学[M]. 第2版. 北京: 人民卫生出版社, 2013: 154-400.
- [13] Kavanagh, J.J. (2009) Lower Trunk Motion and Speed-Dependence during Walking. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, **6**, Article No. 9. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-6-9>
- [14] 穆景颂, 倪朝民. 表面肌电图在脑卒中康复评定中的应用[J]. 中国康复, 2009, 24(1): 53-55.
- [15] 陈一, 施海涛, 毛岭. 脑卒中患者步态周期各时相中下肢肌肉的表面肌电特点[J]. 中国康复理论与实践, 2019, 25(8): 956-961.
- [16] 孙咏虹, 吴冰洁. 丰富康复训练与神经可塑性[J]. 中国康复理论与实践, 2010, 16(7): 635-637.
- [17] van Bloemendaal, M., Bus, S.A., Nollet, F., Geurts, A.C.H. and Beelen, A. (2021) Feasibility and Preliminary Efficacy of Gait Training Assisted by Multichannel Functional Electrical Stimulation in Early Stroke Rehabilitation: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, **35**, 131-144. <https://doi.org/10.1177/1545968320981942>

-
- [18] Dietz, V. and Sinkjaer, T. (2007) Spastic Movement Disorder: Impaired Reflex Function and Altered Muscle Mechanics. *The Lancet Neurology*, **6**, 725-733. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(07\)70193-X](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(07)70193-X)
- [19] 陈曦, 王强, 张永祥, 等. 不同次数的功能性电刺激治疗对脑卒中偏瘫患者下肢功能的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2015, 37(6): 421-423.
- [20] 陈丹凤, 燕铁斌, 黎冠东, 等. 多通道功能性电刺激对脑卒中患者下肢运动功能的影响[J]. 中国康复, 2013, 28(4): 289-291.
- [21] Ha, S.Y., Han, J.H., Ko, Y.J. and Sung, Y.H. (2020) Ankle Exercise with Functional Electrical Stimulation Affects Spasticity and Balance in Stroke Patients. *Journal of Exercise Rehabilitation*, **16**, 496-502. <https://doi.org/10.12965/jer.2040780.390>
- [22] Smith, G.V., Alon, G., Roys, S.R. and Gullapalli, R.P. (2003) Functional MRI Determination of a Dose-Response Relationship to Lower Extremity Neuromuscular Electrical Stimulation in Healthy Subjects. *Experimental Brain Research*, **150**, 33-39. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1405-9>
- [23] Burridge, J.H., Taylor, P.N., Hagan, S.A., Wood, D.E. and Swain, I.D. (1997) The Effects of Common Peroneal Stimulation on the Effort and Speed of Walking: A Randomized Controlled Trial with Chronic Hemiplegic Patients. *Clinical Rehabilitation*, **11**, 201-210. <https://doi.org/10.1177/026921559701100303>