

助行功能性电刺激技术临床操作指南

陈汉波¹ 吴伟² 燕铁斌³ 薛晶晶³ 张顺喜⁴ 李春镇⁵ 郭铁成⁶ 何晓阔⁷ 乔娜⁸ 谭志梅⁹
王强¹⁰ 魏妮¹¹ 谢青¹²

¹广东三九脑科医院康复治疗科, 广州 510510; ²中山大学孙逸仙纪念医院深汕中心医院康复医学科, 汕尾 516621; ³中山大学孙逸仙纪念医院康复医学科, 广州 510120; ⁴广州市第一人民医院康复医学科, 广州 510180; ⁵华中科技大学协和深圳医院康复医学科, 深圳 518052; ⁶华中科技大学同济医学院附属同济医院康复医学科, 武汉 430030; ⁷厦门市第五医院康复医学科, 厦门 361101; ⁸海南医学院第一附属医院康复医学科, 海口 570102; ⁹郑州大学第一附属医院康复医学科, 郑州 450040; ¹⁰青岛大学附属医院康复医学科, 青岛 266033; ¹¹湖南省财贸医院康复诊疗中心, 长沙 410002; ¹²上海交通大学医学院附属瑞金医院康复医学科, 上海 200025

通信作者: 燕铁斌, Email: dr.yan@126.com; 郭铁成, Email: pmr@tjh.tjmu.edu.cn

【摘要】 助行功能性电刺激(FES)是一种使用低频脉冲电流、按照正常行走模式有序刺激步行相关肌群,以改善行走功能的物理因子治疗技术,具有使用方便、安全性高、效果明显的优点,可单独使用也可与其它治疗联合使用。随着助行 FES 技术的临床广泛应用,规范化使用、同质化治疗则日显突出。本指南是国内助行 FES 应用领域的专家在已发表的《助行功能性电刺激应用于脑卒中患者临床实践专家共识》基础上的进一步拓展,旨在引导临床的规范化操作应用,提高临床疗效。

【关键词】 助行; 功能性电刺激; 脑卒中; 规范; 康复指南

基金项目:国家自然科学基金项目(81772447); 深圳市三名工程“中山大学燕铁斌团队”资助项目(SZSM201678); 广东省医学科学技术研究基金(A2021407、B2023104); 深圳市南山区科技计划项目(NS2023007)

Funding: National Natural Science Foundation of China(81772447); Shenzhens Sanming Project "Sun Yat-sen University Yan Tiebin Team" Supporting Project(SZSM201678); Medical Scientific Research Foundation of Guangdong Province, China(A2021407、B2023104); Shenzhen's Key Project of Nanshan District Science and Technology Plan Project(NS2023007)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2024.01.014

1961年, Liberson等^[1]首次采用低频电流刺激脑卒中偏瘫患者的腓神经,通过改善足下垂达到改善患者的行走功能。21世纪初,我国学者对此技术加以改进,研发出了基于正常行走模式的多通道助行功能性电刺激(functional electrical stimulation, FES),并对脑卒中早期偏瘫患者进行了随机对照研究,研究结果发表在国际期刊Stroke上^[2],随后,助行FES受到国内广泛关注^[3-6]。国内外实践指南^[7]及专家共识^[8]明确了助行FES可提高脑卒中偏瘫患者的步行速度和耐力,提高下肢运动功能。临床循证研究证明,基于正常行走模式的助行FES改善脑卒中偏瘫患者行走功能的效果优于仅改善踝关节活动的单通道电刺激,具有纠正步态能力强、治疗效果持续时间长的优势^[9-11]。

本操作指南是在2022年发表的《助行功能性电刺

激应用于脑卒中患者临床实践专家共识》^[8]的基础上,介绍助行FES的临床规范应用,旨在同质化操作、规范化管理、进一步提高助行FES的临床疗效。本指南所指的助行FES是指通过放置在皮肤上的电极来刺激肌肉,而非侵入性刺激。

治疗前准备

一、应用指征

助行FES作为一种低频脉冲电刺激,适用于脊髓及周围神经传导通路完整的下肢运动功能障碍的治疗,根据患者功能情况可进行辅助步行训练或步行模式训练。

1.适应证:助行FES适用于中枢神经系统损伤引起的行走障碍患者;对不能站立行走或意识障碍的患者可在健侧卧位使用,具备行走能力的患者可在站立

位使用。治疗时可采取被动运动模式或助力模式,可单独使用或与其它康复技术联合使用^[12-18]。

2.禁忌证:①安装心脏起搏器的患者;②治疗下肢血管存在血栓形成;③治疗下肢有赘生物或感染的部位;④生命体征不稳定;⑤不能配合或不能耐受治疗时间。

二、注意事项

助行 FES 治疗虽然安全性比较高,但如果操作不当,也可能会导致患者出现不良反应。因此,治疗前、后要做好评估,治疗过程中应密切观察患者的反应。

1.电刺激可能会引起自主神经系统反应,影响血压,治疗期间应注意患者的血压。长期使用高强度或低强度的电刺激,可能会造成电灼伤,治疗前、治疗中和治疗后应注意观察皮肤状况。

2.如果电极放在感染部位会加速感染的扩散,应避免。如果皮肤有瘢痕、皮疹、溃疡、破损时易造成电流聚集,电极的放置应避免这些部位。刺激所造成的肌肉收缩和血管扩张会影响血管凝血,不利于出血部位止血,因此,局部出血部位应避免使用。

三、治疗前评估

治疗前功能评估有助于明确助行 FES 的训练模式,尤其是对采用辅助步行模式的患者,这是保障治疗效果和治疗安全的重要步骤。

(一)患者治疗局部评估

1.下肢肌张力:可以采用改良 Ashworth 痉挛量表(modified Ashworth spasticity scale, MAS)^[19]评价患者下肢肌张力程度, MAS 分级 1 级、1⁺级、2 级可进行电刺激治疗,3 级谨慎使用,4 级不宜使用。

2.治疗区域皮肤:如毛发过多影响导电或容易导致电极脱落,此时可以剃去毛发。

(二)患者整体功能评估

采用站立行走模式治疗时,要求评估:①心肺功能——6 min 步行测试(6-minute walk test, 6MWT)是一种常用的评估心肺功能和耐力的测试,测试过程中监测患者心率、血压及血氧饱和度;主观疲劳感觉评分^[20](rating of perceived exertion, RPE)是根据运动时主观感受疲劳的程度来确定运动强度的大小,共分为 6~20 个等级,一般治疗过程中要求患者 RPE<14^[21];②认知功能——一般要求患者简易智力测试量表(abbreviate mental test, AMT)>7 分^[22]或简易智力状态检查(mini-mental state examination, MMSE)得分>21 分^[23],能配合治疗;③患者及家属的参与度——能积极主动参与治疗。

四、设备准备与环境要求

为确保电刺激治疗安全有效,应提前检查好治疗设备,并根据目标肌群大小选择合适的电极,根据患者

功能水平选择治疗模式和环境。

1.准备治疗设备:①检查设备——查看设备外观是否完好,有无损坏;②检查电池——治疗前需要确认助行 FES 仪的电池电量是否充足,查看设备指示灯是否亮起并正常工作;③检查电极——电极硅胶是否过期老化、脱落;④检查输出电线——导线外层绝缘材料是否脱落,接头处是否断裂;⑤检查机器输出——治疗者可以在自己肢体上通电测试是否有电流输出、触发装置是否工作正常。

2.选择合适的电极片:临床上常用电极大小有 6 cm×9 cm、5 cm×7 cm、4 cm×6 cm、3 cm×5 cm、4 cm×4 cm、3 cm×3 cm。Gomez-Tames 等^[24]研究发现,大的电极刺激面积大,小的电极刺激深度深并有助于更好地选择肌肉。一般根据目标肌群的大小选择电极片的规格,如股四头肌与腓绳肌可选择 6 cm×9 cm 或 5 cm×7 cm 的电极片,腓肠肌可选择 4 cm×6 cm 或 3 cm×5 cm 的电极片,胫前肌可选择 4 cm×4 cm 或 3 cm×3 cm 的电极片。此外,对于儿童或身高偏矮偏瘦的患者,应适当调整电极大小。

3.对治疗环境的要求:①卧床患者——一张可升降的电动理疗床,床的上方配有悬吊网架,配有各种下肢悬吊装置^[25],床的周围无障碍物,方便患者下肢活动;周围环境安静,便于患者训练过程中集中注意力;②可辅助步行患者——根据患者行走能力设置不同的环境,若患者步行功能较差,可在室内戴机步行训练;若患者步行功能较好,可戴机在治疗室外、社区内步行或上下楼梯训练;在步行训练过程中还可进行双任务训练,如戴机步行训练过程中让患者做减法运算^[26]等。

五、刺激部位及时序

正常行走需要下肢及躯干的多组肌群有序、协同参与,刺激的部位和时序要结合助行仪的通道数量及功能决定,其中单通道、双通道助行 FES 主要选择刺激胫前肌,四通道助行 FES 主要选择刺激胫前肌、股四头肌、小腿三头肌和腓绳肌。

1.确定刺激部位:助行 FES 的电极需要放置在运动点上,运动点是肌肉上的特殊区域,包含有高密度的运动终板或神经纤维,电刺激该区域时能引起肌肉的最大收缩^[27]。下肢参与行走的主要肌群,包括股四头肌(伸膝)、腓绳肌(屈膝)、胫前肌(踝背屈)、小腿三头肌(踝跖屈)。考虑到不同部位的肌肉形态存在差异,电极片也会按不同肌肉选择对应的规格。

2.确定刺激时序:正常行走时,参与下肢活动的肌群主要为股四头肌、胫前肌、小腿三头肌和腓绳肌四组肌群,行走时这 4 组肌群在正确时序范围内有规律地协调收缩,发挥各自作用。基于正常行走模

式的助行 FES 有 4 个输出通道,工作时按照胫前肌-股四头肌-小腿三头肌-腓绳肌的顺序对应一、二、三、四通道。

治疗中操作

一、体位选择

根据患者是否具备行走能力,可以采取健侧卧位、患侧悬吊下和站立行走治疗。不论采取何种体位,其核心是基于无错法行走的理论^[28]。

1. 无错法行走:基于正常行走功能的助行 FES,是从行走治疗中的“纠错学习”向“无错学习”转变^[28]。其基本概念是不论在卧位、坐位、站立位,都让患者接受具备正常行走模式的刺激(无错学习),让中枢在外周正常步行模式信息反复输入的基础上加以整合,并向外周靶器官输出正常的步行模式;再根据外周正常步行模式的正向反馈(避免或尽可能少地产生异常行走模式),周而复始地强化训练,最终恢复正确的行走功能^[29]。

2. 卧位治疗:适用于不具备站立能力的患者。患者贴好电极后健侧卧位,借助于悬吊装置,将患侧下肢悬吊起来,悬吊固定带分别置于膝关节上方及踝关节位置,给予充分的减重支持。保持患侧下肢轻度屈髋屈膝,调节髋关节在中立位,避免髋关节处于外展或者内收体位,避免踝关节出现内翻下垂。通过助行 FES 让患者在患侧肢体完全减重的环境下,模拟早期步行动作^[30]。

3. 减重站立位治疗:适用于可以站立但不具备行走能力的患者,患者依靠电动起床或站立悬吊架,在减重站立位下,将助行 FES 与下肢主被动运动有效结合,模拟患者在减重状态下的步行训练^[8]。此外,助行 FES 也可以与功率自行车结合^[12]。

4. 站立位治疗:适用于具备独立站立能力的患者,可以借助拐杖或平行杠等辅助器具或者天轨或减重跑台等减重设备实现站立,或者独立站立及短距离行走。将助行 FES 与患者实际步行结合起来,提高步行效率,达到帮助患者实现完全独立步行的目标。

二、调整适宜的治疗参数

目前对助行 FES 的治疗参数尚无统一意见。综合现有文献研究,助行 FES 的基本参数主要包括脉冲波形、脉宽、脉冲频率、电流强度、通断比及持续时间、治疗频率等。

1. 脉冲波形:采用对称或不对称双相方波,对称方波多用于大肌肉,不对称方波多用于小肌肉。

2. 脉宽:200~400 μs ,该范围内脉冲电刺激既可引起肌肉收缩,又不易引起疲劳、舒适感好^[11]。

3. 脉冲频率:30~50 Hz,多用 25~35 Hz,以达到最

大的肌肉收缩效能。

4. 电流强度:电刺激强度越大,参与收缩的肌纤维也越多,训练效果越好。但募集肌纤维过多时,耗能也明显增加,肌肉收缩效率反而降低,且代谢废物生成也越多,严重时可能因血供不足而产生疼痛。推荐助行 FES 治疗使用患者能耐受、无痛的最大强度,以达到最佳治疗效果。

5. 通断比:指电刺激持续时间(通电)与间歇时间(断电)的比值,刺激时间过长肌肉容易疲劳,间歇时间过长肌肉收缩效率较低。通断比应根据患者的步行周期及治疗后疲劳程度进行调整。临床上助行 FES 的刺激时间与休息时间比值在 1:3 以上则不易引起肌肉疲劳;随着治疗的进展和患者的耐受,逐渐增加刺激时间,缩短休息时间。

6. 治疗时间:文献报告每次治疗时间有 10 min^[31]、20 min^[12]、30 min^[6]、60 min^[32]。李春镇等^[31]研究发现,脑卒中恢复期患者戴机行走 10 min 的步态参数优于戴机行走 5 min 和 15 min,而戴机行走 15 min 时患者容易出现疲劳。薛晶晶等^[32]研究指出,延长每天的总治疗时间有助于降低肌张力、改善患侧下肢运动功能、提高步速和生活自理能力。因此,卧床患者多治疗 20~30 min/次,戴机行走的患者建议每行走 10 min 休息 1~2 min,每次累计治疗时间 30~60 min。

7. 治疗频率:根据患者体力情况,治疗每日 1~2 次^[33],每周治疗 5~6 d^[12],或隔天治疗 1 次,每周治疗 3 次^[13]。住院患者的治疗周期一般至少 2 周,以 4~8 周较多见^[9,12-13,33]。

治疗后处理

一、常见不良反应及处理

助行 FES 虽已有严格的禁忌证,但个别患者偶尔还是会出现不良反应,主要表现及处理方法如下。

1. 全身反应:治疗中可能会发生头晕、头痛、全身出汗、心慌、血压升高、肌肉疲劳等现象,其主要原因可能是治疗强度过大、治疗时间过长或强度和时长超出患者的耐受能力。

处理方法:①如因治疗剂量过大或选择不当引起者,应改变治疗种类或减少剂量;②首次治疗采用试验剂量,每 3~5 次后再根据患者的反应调整;③对反应过大的患者,必要时停止治疗,密切观察。

2. 局部反应:常见以下几种。

(1) 皮肤局部丘疹:主要为皮肤出现红斑或轻度水肿,其原因可能是电极材料对皮肤产生刺激反应所致;或电流密度过大,对皮肤产生刺激。

处理方法:①找出皮疹原因,对症处理,如局部涂抹止痒膏,并嘱患者勿刺激皮肤;②降低电流密度。

(2)皮肤过敏反应:表现为电极片接触的皮肤发生红、痒等过敏反应,原因可能是患者对电极片材料、导电胶或导电导线过敏所致。

处理方法:撤掉与皮肤接触的电极片,并在过敏皮肤处用止痒药,嘱患者禁止抓挠患处,以免抓破皮肤。

(3)皮肤电灼伤:皮肤出现水疱,这是由于电流密度过大,时间过长;或电极与皮肤接触不良或电极片使用频率过高老化等原因所致。

处理方法:①水泡大于 1 cm 者,用空针将水泡内液体抽出,覆盖 75% 的酒精纱布;②小水泡用 75% 酒精消毒,再涂烫伤软膏,以防感染;③严格遵循电极片使用频率,及时更换老化电极片。

总之,临床应用助行 FES 过程中,应严格遵循操作流程,对于存在偏身感觉障碍、失语、认知障碍或意识障碍的脑卒中患者,治疗过程中可能无法表达不适或肢体无感觉,从而导致出现上述不良反应发生,故这类患者使用时,必须进行详细评估后再治疗。当出现不良反应时,应遵循上述原则及时处理。

二、常用临床疗效评估方法

文献报道,助行 FES 能有效改善脑卒中患者下肢运动功能,包括平衡能力、步行速度和步行耐力^[32, 34],常采用下列评估方法评定疗效。

1. 评估下肢肌张力:常用 MAS^[14-35]和综合痉挛量表(composite spasticity scale, CSS)^[5],这两种评估方法操作简便、容易掌握,临床认可度高。表面肌电图虽更客观反映肌张力变化,但操作繁琐,适宜科研,临床尚未普及^[35]。

2. 评估下肢运动功能:常用 Fugl-Meyer 运动功能量表(Fugl-Meyer assessment, FMA)中的下肢部分^[15, 32],包括 17 个小项,每项分值 0~2 分,满分为 34 分,得分越高表示下肢运动功能越好。FMA 评定量表理论依据较充分,能够指导临床,操作简单,能很好地反映脑卒中下肢运动功能,且信度和效度较好,临床使用率较高^[16]。

3. 评估平衡能力:多采用 Berg 平衡量表(Berg balance scale, BBS),包括 14 个小项,每项用 0~4 分的 5 级评分法,总分 56 分,分值越高患者的平衡功能越好^[17, 32]。也有选择动态平衡功能评定系统,包括感觉统合测试(sensory integration test, SOT)含本体感觉、视觉、前庭觉、视觉依赖及综合测试,运动控制测试(motion control test, MCT)及综合测试(motion control test composite, MCTC)^[36-37]。由于动态平衡功能评定系统需要专门的设备,临床尚未普及。

4. 评估步行能力^[16, 36, 38]:①功能性步行分级量表(functional ambulation category scale, FAC),根据患者行走的独立程度分为 0~5 级;②10 m 步行测试(10-

meter walk test, 10MWT):测量 3 次,取平均值作为最终结果;③起立-行走计时测试(timed up and go test, TUGT),时间越短表示平衡和行走功能越好;④6 min 步行试验(6 minute walk test, 6MWT),测量患者在 6 min 内步行的距离;⑤步态评估系统:步态的时空参数,包括步态周期、步幅、步速、步长、支撑相、摆动相等,但需要专门的测试设备,且较为昂贵。

5. 评估日常生活活动能力:巴氏指数(Barthel index, BI)或改良巴氏指数(modified Barthel index, MBI)最常用^[12, 18],包含 10 个条目,得分越高代表患者日常生活能力越好。

6. 脑功能影像学评估:近年来,越来越多的研究利用功能性近红外光谱技术(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)或磁共振扩散张量成像(diffusion tensor image, DTI)来证明助行 FES 可增强脑卒中患者的脑功能连接及连接效率^[39-40],促进皮质脊髓束结构恢复^[12, 32],提高运动皮质兴奋性。由于这些手段评估疗效的成本比较高,尚未作为临床常规疗效的评估手段。

助行电刺激临床使用流程图见图 1。

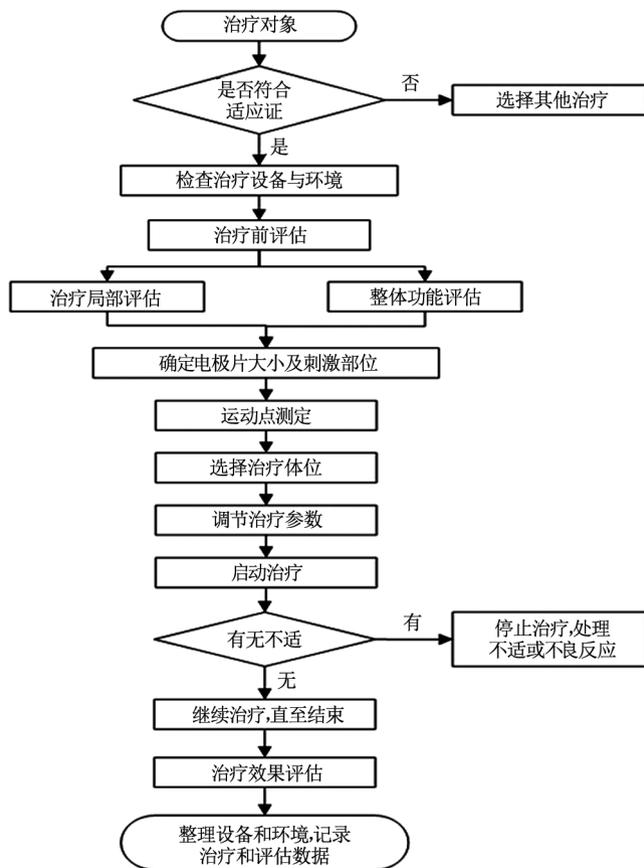


图 1 助行电刺激临床使用流程图

总结

随着助行 FES 的临床普及应用,新的助行电刺激设备也将越来越丰富,并会出现不同组合的联合治疗方案。本操作指南介绍了助行 FES 治疗脑卒中后偏瘫患者的同质化操作、规范化管理,有关临床应用证据的分级及推荐可以阅读本刊已发表的《助行功能性电刺激应用于脑卒中患者临床实践专家共识》^[8],此处不再赘述。

参考文献

- [1] Liberson WT, Holmquest HJ, Scot D, et al. Functional electrotherapy: stimulation of the peroneal nerve synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients[J]. Arch Phys Med Rehabil, 1961, 42: 101-105. DOI: 0.2307/2656978.
- [2] Yan T, Hui-Chan CW, Li LS. Functional electrical stimulation improves motor recovery of the lower extremity and walking ability of subjects with first acute stroke: a randomized placebo-controlled trial [J]. Stroke, 2005, 36 (1): 80-85. DOI: 10. 1161/01. STR. 0000149623.24906.63.
- [3] 苏彬,黄桂兰,房辉,等.功能性电刺激治疗脑卒中后步行功能障碍的临床应用及相关机制研究进展[J].中国康复医学杂志,2021,36(1):119-123. DOI: 10. 3969/j. issn. 1001-1242. 2021. 01. 024.
- [4] 李哲,范家宏,郭钢花,等.功能性电刺激恢复性治疗踏板对脑卒中早期患者下肢主动运动的影响[J].中国康复医学杂志,2017,32(6):667-672. DOI:10.3969/j.issn. 1001-1242. 2017.06.011.
- [5] 伦亿禧,王强,张永祥.功能性电刺激与踝足矫形器对改善偏瘫患者下肢运动功能的疗效比较[J].中国康复医学杂志,2014,29(6):575-577. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2014.06.018.
- [6] 郗淑燕,王丛笑,张丽华,等.功能性电刺激结合减重平板训练对脑卒中偏瘫患者步行能力的影响[J].中国康复医学杂志,2015,30(10):1065-1067. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242. 2015.10.023.
- [7] Johnston TE, 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. DOI: 10.1097/NPT.0000000000000347.
- [8] 助行功能性电刺激脑卒中康复临床应用专家共识组.助行功能性电刺激应用于脑卒中患者临床实践专家共识[J].中华物理医学与康复杂志,2022,44(10):865-872. DOI: 10.3760/ cma. j. issn. 0254-1424. 2022. 10.001.
- [9] 谭志梅,姜文文,燕铁斌,等.基于正常行走模式的功能性电刺激对脑卒中恢复期患者行走功能的影响[J].中华医学杂志,2016,96(29):2342-2346. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 0376-2491. 2016. 29. 012.
- [10] 陈丹凤,燕铁斌,黎冠东,等.功能性电刺激对脑卒中早期患者下肢运动功能及磁共振弥散张量成像的影响[J].中华医学杂志,2014,94(37):2886-2892. DOI: 10. 3760/ cma. j. issn. 0376-2491. 2014.37.003.
- [11] 燕铁斌,程曙光.一种基于人体行走模式的下肢瘫痪功能性低频电刺激治疗仪[J].中华物理医学与康复杂志,2008,30(11):733-735. DOI:10.3321/j.issn:0254-1424.2008.11.016.
- [12] 刘加鹏,王卫宁,梁思捷,等.多通道功能性电刺激踏板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. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2021.02.010.
- [13] Bae YH, Ko YJ, Chang WH, et al. Effects of robot-assisted gait training combined with functional electrical stimulation on recovery of locomotor mobility in chronic stroke patients: a randomized controlled trial[J]. J Phys Ther Sci, 2014, 26 (12): 1949-1953. DOI: 10.1589/ jpts.26.1949.
- [14] 王欣,胡川,卢秀艳,等.功能性电刺激联合电针拮抗肌治疗脑卒中后痉挛型足下垂的疗效观察[J].中华物理医学与康复杂志,2021,43(5):396-400. DOI: 10.1589/ jpts. 26. 1949. DOI: 10.3760/ cma. j. issn. 0254-1424. 2021. 05. 003.
- [15] 王荣丽,王宁华.功能性电刺激踏板疗法在脑卒中早期康复中的疗效研究[J].中国康复医学杂志,2020,35(2):146-150. DOI: 10. 3969/j. issn. 1001-1242. 2020. 02. 004.
- [16] 刘文权,徐武华,曾德良,等.对侧控制型功能性电刺激对脑卒中患者下肢运动功能的影响[J].中国康复医学杂志,2021,36(5):597-599. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2021.05.017.
- [17] 陈汉波,郑修元,吕晓,等.经颅直流电刺激同步多通道功能性电刺激对脑卒中偏瘫患者下肢运动功能影响的对照研究[J].中国康复医学杂志,2021,36(10):1227-1232. DOI: 10. 3969/j. issn. 1001-1242. 2021. 10. 006.
- [18] 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.
- [19] 郭铁成,卫小梅,陈小红.改良 Ashworth 量表用于痉挛评定的信度研究[J].中国康复医学杂志,2008,23(10):906-909. DOI: 10. 3969/j. issn. 1001-1242. 2008. 10. 013.
- [20] Ritchie C. Rating of perceived exertion (RPE) [J]. J Physiother, 2012, 58(1):62. DOI:10.1016/S1836-9553(12)70078-4.
- [21] Mackinnon LT, Ritchie CB, Hooper SL, et al. Exercise management: concepts and professional practice [M]. Champaign, US: Human Kinetics, 2003: 1-358. DOI:10.1007/s11948-001-0043-5.
- [22] 伍少玲,燕铁斌,黄利荣.简易智力测试量表的效度及信度研究[J].中华物理医学与康复杂志,2003,25(3):214-216. DOI: 10. 3760/ j. issn: 0254-1424. 2003. 03. 004.
- [23] 周小炫,谢敏,陶静,等.简易智能精神状态检查量表的研究和应用[J].中国康复医学杂志,2016,31(6):694-696. DOI: 10.3969/j. issn. 1001-1242. 2016. 06. 019.
- [24] Gomez-Tames JD, Gonzalez J, Yu W. A simulation study: effect of the inter-electrode distance, electrode size and shape in transcutaneous electrical stimulation[J]. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2012, 2012:3576-3579. DOI:10.1109/EMBC.2012.6346739.
- [25] Zheng X, Chen D, Yan T, et al. A randomized clinical trial of a functional electrical stimulation mimic to gait promotes motor recovery and brain remodeling in acute stroke [J]. Behav Neurol, 2018, 2018: 8923520. DOI: 10.1155/2018/8923520.
- [26] Wrightson JG, Twomey R, Ross EZ, et al. The effect of transcranial direct current stimulation on task processing and prioritisation during dual-task gait[J]. Exp Brain Res, 2015, 233(5):1575-1583. DOI: 10.1007/s00221-015-4232-x.
- [27] Gobbo M, Maffiuletti NA, Orizio C, et al. Muscle motor point identification is essential for optimizing neuromuscular electrical stimulation use[J]. J Neuroeng Rehabil, 2014, 11(1):17. DOI:10.1186/1743-0003-11-17.

- [28] 燕铁斌. 脑卒中后偏瘫行走训练新思路: 从“纠错训练”到“无错学习”[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(5): 497-500. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2019.05.001.
- [29] 燕铁斌. 脑病康复新模式: 从治疗肢体到脑-肢体协同调控[J]. 华西医学, 2018, 33(10): 1201-1206. DOI: 10.7507/1002-0179.201807017.
- [30] 游国清, 燕铁斌, Hui-Chan Christina WY. 功能性电刺激改善卒中早期患者偏瘫下肢功能的随机对照研究[J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(10): 867-870. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2007.10.010.
- [31] 李春镇, 眭明红, 于力争, 等. 基于行走模式功能性电刺激对卒中中恢复期患者步态调控的研究[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(5): 562-565. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2019.05.012.
- [32] 薛晶晶, 孔慧敏, 廖美新, 等. 步行模式的功能性电刺激不同治疗时间对卒中患者下肢功能影响的随机对照研究[J]. 康复学报, 2022, 32(1): 25-31. DOI: 10.3724/SP.J.1329.2022.01005.
- [33] 杨婷, 李雪萍, 林强, 等. 步态诱发功能性电刺激对偏瘫足下垂患者步行能力的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2018, 33(2): 170-174. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2018.02.009.
- [34] Ambrosini E, Parati M, Peri E, et al. Changes in leg cycling muscle synergies after training augmented by functional electrical stimulation in subacute stroke survivors: a pilot study[J]. J Neuroeng Rehabil, 2020, 17(1): 35. DOI: 10.1186/s12984-020-00662-w.
- [35] 梁成盼, 丁文娟, 黄桂兰, 等. 多通道功能性电刺激对卒中中上肢运动功能的疗效及表面肌电特征研究[J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36(9): 1127-1130. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2021.09.013.
- [36] 吕晓, 陈汉波, 丁丽娟, 等. 经颅直流电刺激同步肢体功能性电刺激对脑外伤患者运动功能和平衡功能的影响[J]. 康复学报, 2022, 32(1): 10-17. DOI: 10.3724/SP.J.1329.2022.01003.
- [37] 郑修元, 陈汉波, 吕晓, 等. 经颅直流电刺激同步多通道功能性电刺激对卒中中偏瘫患者平衡与行走功能影响的研究[J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36(10): 1220-1226. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2021.10.005.
- [38] Vromans M, Faghri PD. Functional electrical stimulation-induced muscular fatigue: effect of fiber composition and stimulation frequency on rate of fatigue development[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2018, 38: 67-72. DOI: 10.1016/j.jelekin.2017.11.006.
- [39] 何晓阔, 雷蕾, 余果, 等. 功能性电刺激辅助步行时卒中中偏瘫患者的脑激活模式[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2022, 44(9): 774-778. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.09.002.
- [40] 何晓阔, 刘慧华, 余果, 等. 经颅直流电刺激与功能性电刺激的不同时序组合对卒中中偏瘫患者脑功能连接的即时影响[J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36(10): 1213-1219. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2021.10.004.

(修回日期: 2023-12-18)

(本文编辑: 汪玲)

· 征订启事 ·

欢迎订阅《中华物理医学与康复杂志》

《中华物理医学与康复杂志》是中华医学会主办的物理医学与康复学专业的高水平学术期刊之一。本刊全面介绍本学科及相关领域领先的科研成果和新理论、新技术、新方法、新经验, 以及对物理因子治疗、康复临床、疗养等有指导作用且与本学科密切相关的基础理论研究, 及时反映我国物理医学与康复领域的重大进展。

本刊现设有述评、基础研究、临床研究、研究快报、个案报道、综述、讲座、继续教育、学术争鸣、外刊重要文章摘登、学会信息、康复器械与用品信息等栏目, 并将依来稿情况随时作一些调整。

《中华物理医学与康复杂志》为月刊, 大 16 开, 内芯 96 页码, 中国标准刊号: ISSN 0254-1424 CN 42-1666/R, 邮发代号: 38-391, 每月 25 日出版; 2024 年每册定价 30 元, 全年 360 元整。热忱欢迎国内外物理治疗、物理医学与康复、康复医学领域以及神经内科、神经外科、骨科等相关科室的各级医务工作者踊跃订阅、投稿。

订购办法: ①邮局订阅: 按照邮发代号 38-391, 到全国各地邮局办理订阅手续。②直接订阅: 通过邮局汇款至《中华物理医学与康复杂志》编辑部订购, 各类订户汇款时务请注明所需的杂志名称及年、卷、期、册数等。

编辑部地址: 430100 武汉市蔡甸区中法新城同济专家社区 E 栋《中华物理医学与康复杂志》编辑部。

电话: (027)-69378391; E-mail: cjpmr@tjh.tjmu.edu.cn; 杂志投稿网址: www.cjpmr.cn。

请及时关注本刊微信公众号。

