

• 临床指南 •

助行功能性电刺激临床操作规范

燕铁斌^{1*}, 陈汉波², 吴伟^{1,3}, 薛晶晶¹, 何晓阔⁴, 孙倩倩⁵, 孙文静¹, 张顺喜⁶, 李春镇⁷,
危昔均⁸, 庄志强^{1,3}, 魏妮⁹, 田腾飞¹⁰, 谭志梅¹¹, 徐奕鹏¹², 詹燕⁵, 许琦⁴, 周南平¹³

1 中山大学孙逸仙纪念医院, 广东 广州 510120;

2 广东三九脑科医院, 广东 广州 510510;

3 中山大学孙逸仙纪念医院深汕中心医院, 广东 汕尾 516600;

4 厦门市第五医院, 福建 厦门 361101;

5 湖北文理学院附属襄阳市中心医院, 湖北 襄阳 441106;

6 广州市第一人民医院, 广东 广州 510180;

7 深圳市南山区人民医院, 广东 深圳 518052;

8 南方医科大学深圳医院, 广东 深圳 518100;

9 湖南省财贸医院, 湖南 长沙 410217;

10 深圳市罗湖区人民医院, 广东 深圳 518002;

11 郑州大学第一附属医院, 河南 郑州 450052;

12 新疆维吾尔自治区人民医院, 新疆 乌鲁木齐 830001;

13 广州市凡科医疗设备有限公司, 广东 广州 510540

* 通信作者: 燕铁斌, E-mail: dr.yan@126.com

收稿日期: 2025-05-25; 接受日期: 2025-07-01

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(81772447); 深圳市三名工程“中山大学燕铁斌团队”资助项目(SZSM201678);

广东省医学科研基金项目(B2024178); 深圳市南山区科技计划项目(重点项目)(NS2023007)

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2026.02002

摘要 助行功能性电刺激(FES)作为改善中枢神经系统损伤患者行走功能的重要康复技术,在临床应用中缺乏统一的标准化操作规范。为规范助行FES的临床应用,提升治疗效果和安全性,由中山大学孙逸仙纪念医院牵头的专家组成项目组结合循证医学证据和临床实践经验,制定《助行功能性电刺激临床操作规范》。本标准根据临床操作流程对助行FES的临床适应证和禁忌证、治疗前评估、运动点检测、设备准备、环境要求、治疗中操作、治疗后处理、疗效评估等内容进行规范。本标准可为系统性、规范化应用FES技术提供指导,提高治疗效果的一致性和安全性,促进助行FES技术在神经康复领域的规范化应用和推广。

关键词 功能性电刺激; 助行; 神经康复; 临床操作规范; 标准

助行功能性电刺激(functional electric stimulation, FES)是采用低频脉冲电流刺激与行走动作相关的肌肉,产生肌肉收缩和关节活动,模拟正常行走,改善行走功能的治疗技术^[1]。国内外实践指南及专家共识均明确了助行FES可提高脑卒中偏瘫患者的步行速度、耐力和下肢运动功能^[2-3]。但由于无相关行业标准及国家标准,目前助行FES在临床应

用中存在适应证/禁忌证不一致、电极刺激点不统一、操作方法不规范等问题,严重影响了临床应用效果和推广^[4]。为促进助行FES的规范应用、提升效果,本项目组依据标准制定的相关规定,结合循证依据和应用实践,制定本文件。

本文件起草单位:中山大学孙逸仙纪念医院、广东三九脑科医院、湖北文理学院附属襄阳市中心

引用格式: 燕铁斌, 陈汉波, 吴伟, 等. 助行功能性电刺激临床操作规范[J]. 康复学报, 2026, 36(2): 82-86.

YAN T B, CHEN H B, WU W, et al. Clinical operation specifications for walking assistance with functional electric stimulation [J]. Rehabil Med, 2026, 36(2): 82-86.

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2026.02002

©《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

医院、厦门市第五医院、中山大学孙逸仙纪念医院、深汕中心医院、广州市第一人民医院、深圳市南山区人民医院、南方医科大学深圳医院、湖南省财贸医院、深圳市罗湖区人民医院、郑州大学第一附属医院、新疆维吾尔自治区人民医院、广州市凡科医疗设备有限公司。

本文件主要起草人:燕铁斌、陈汉波、吴伟、薛晶晶、何晓阔、孙倩倩、孙文静、张顺喜、李春镇、危昔均、庄志强、魏妮、田腾飞、谭志梅、徐奕鹏、詹燕、许琦、周南平。

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分:标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件的有些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中山大学孙逸仙纪念医院提出。

本文件由中国康复医学会归口。

1 适用范围

本文件规定了助行功能性电刺激的临床适应证和禁忌证、治疗前评估、运动点检测、设备准备、环境要求、治疗中操作、治疗后处理、疗效评估的要求。

本文件适用于助行功能性电刺激技术在临床中的应用。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 助行

以改善行走功能为目的的治疗。

注:患者可以在不同体位(卧、坐、站)进行,主要目的是改善行走,是否清醒不是必备条件。

3.2 FES

采用低频脉冲电流刺激已丧失功能的器官或肢体,以其产生的即时效应来代替或纠正器官或肢体功能的康复治疗方法。

3.3 表面电极

置于人体皮肤表面,用于将电刺激信号传导到人体的神经和肌肉刺激器所用的电极。

3.4 电灼伤

皮肤接触电源时,因为接触方式或参数使用不

恰当,导致皮肤或肌肉发生持续疼痛,皮肤产生水泡或者破损的现象。

4 临床适应证和禁忌证

4.1 适应证

适用于各种中枢神经系统损伤引起的行走障碍患者。不能站立行走或意识障碍的患者可在健侧卧位或非治疗侧卧位下使用,具备行走能力或在辅助下行走的患者可在行走中使用。

4.2 禁忌证

- (1)安装心脏起搏器、植入式除颤器的患者。
- (2)治疗下肢血管存在血栓的患者。
- (3)治疗部位有感染的患者。
- (4)生命体征不稳定的患者。
- (5)因其他疾病(如躯干或肢体骨折、肌肉或肌腱断裂等)影响治疗部位活动的患者。
- (6)不能配合或不能耐受电刺激治疗的患者。

5 治疗前评估

5.1 局部功能评估

5.1.1 下肢肌张力 应使用改良 Ashworth 痉挛量表、综合痉挛量表评估下肢肌张力。下肢肌张力改良 Ashworth 痉挛量表评分 ≥ 3 级应谨慎使用。

5.1.2 皮肤情况 应检查治疗区域皮肤情况。若电极放置部位存在感染、瘢痕、皮疹、溃疡、破损、出血等情况,应避免使用;电极放置部位毛发、油脂过多时宜去除后使用。

5.2 整体功能评估

5.2.1 卧床昏迷患者 应监测患者生命体征,如心率、血压、血氧饱和度、呼吸频率等。

5.2.2 卧床清醒患者 除监测患者生命体征外,应评估患者心肺功能及认知功能水平,可选择主观疲劳感觉评分、简易智力测试量表、简易智力状况检查法。

5.2.3 步行训练患者 除了监测患者生命体征外,应评估患者心肺功能及认知功能水平,可选择六分钟步行测试、主观疲劳感觉评分、简易智力测试量表、简易智力状况检查法。

6 运动点检测

应确定肌肉运动点位置。在安全的前提下,可选用刺激器(如电极定位笔)进行电刺激,观察肌肉的反应并确定相应肌肉运动点的位置。

7 设备准备

7.1 检查设备整体情况

7.1.1 检查设备 查看设备外观,确保无损坏。

7.1.2 检查电池 查看设备指示灯亮起并正常工作,电池电量应充足。

7.1.3 检查电极 硅胶电极无老化、脱落;凝胶电极无干燥、脱落。

7.1.4 检查输出电线 导线外层绝缘材料无脱落,接头处无断裂。

7.1.5 检查机器输出 通电测试有电流输出,触发装置的工作状态正常。

7.2 选择电极

7.2.1 股四头肌与腘绳肌电极 宜选择6 cm×9 cm或5 cm×7 cm的电极。

7.2.2 腓肠肌电极 宜选择4 cm×6 cm或3 cm×5 cm的电极。

7.2.3 胫前肌电极 宜选择4 cm×4 cm或3 cm×3 cm的电极。

根据患者年龄、身高等,可适当调整电极大小。

7.3 选择治疗参数

7.3.1 波形 采用对称双相方波。

7.3.2 脉宽 200~400 μs。

7.3.3 脉冲频率 25~50 Hz,宜为25~35 Hz。

7.3.4 通断比 刺激时间(T_1)与休息时间(T_0)比值($T_1:T_0$)宜在1:1~1:3。

8 环境要求

8.1 卧位训练

应配备1张治疗床,床的上方配有悬吊架,配有各种下肢悬吊装置。

8.2 辅助步行训练

应根据患者行走能力设置不同的训练环境,如室内训练、室外训练、社区内训练、多任务训练等。

9 治疗中操作

9.1 模拟步行模式

9.1.1 患者体位 不具备站立能力的患者取健侧卧位或非治疗侧卧位。可借助于悬吊装置,悬吊固定带分别置于膝关节上方及踝关节位置,给予充分减重支持。保持患侧下肢轻度屈髋屈膝,避免出现踝关节内翻及足下垂。

9.1.2 电极位置 电极放置于胫前肌、股四头肌、

腓肠肌、腘绳肌的运动点皮肤表面。

9.1.3 电刺激顺序 开机后完成自检,应按胫前肌、股四头肌、腓肠肌、腘绳肌的通道及刺激对应顺序,分别对应连接上述肌群。

9.1.4 调节输出 选择模拟步行模式,分别调节各通道电刺激强度,宜使用患者能耐受、无痛的刺激强度。

9.1.5 治疗时间 以20 min为宜,可根据患者实际情况作调整。

9.2 辅助步行模式

9.2.1 患者体位 取站立位,可借助拐杖/平行杠等康复辅助器具,或借助天轨/减重跑台等减重设备实现站立,允许使用足托等康复辅助器具。

9.2.2 电极位置 电极放置于胫前肌、股四头肌、腓肠肌、腘绳肌的运动点皮肤表面。

9.2.3 电刺激顺序 开机后完成自检,应按胫前肌、股四头肌、腓肠肌、腘绳肌的通道及刺激对应顺序,分别对应连接上述肌群。

9.2.4 调节输出 选择步行模式,分别调节各通道电刺激强度,宜使用患者能耐受、无痛的刺激强度。

9.2.5 治疗时间 以20 min为宜,可根据患者实际情况作调整。

10 治疗后处理

10.1 全身反应

10.1.1 肌肉疲劳 处理方法:应减少刺激强度,缩短治疗时间。

10.1.2 头晕、头痛、全身出汗、心慌、血压升高等 处理方法:应停止治疗,密切观察。

10.2 局部反应

10.2.1 皮肤局部丘疹 处理方法:找出原因,对症处理,并嘱患者勿刺激皮肤。

10.2.2 皮肤局部电灼伤 处理方法:采取紧急处理措施,并根据灼伤程度对症处理。

10.2.3 皮肤局部疼痛 处理方法:选择较短脉宽,缓慢增加电流强度或使用较大电极。

11 疗效评估

11.1 下肢肌张力评估

宜用改良Ashworth痉挛量表、综合痉挛量表。

11.2 下肢运动功能评估

宜用Fugl-Meyer运动功能量表的下肢部分。

11.3 平衡功能评估

宜用Berg平衡量表、动态平衡功能评定系统。

11.4 步行功能评估

宜用功能性步行分级量表、10米步行测试、起立-行走计时测试、六分钟步行试验、三维步态分析系统等。

11.5 日常生活自理能力评估

宜用Barthel指数或改良Barthel指数。

11.6 脑功能评估

宜用功能性近红外光谱技术、磁共振弥散张量成像、运动诱发电位。

12 助行功能性电刺激临床操作流程

应根据治疗对象的适应证选择是否进行助行功能性电刺激。规范的助行功能性电刺激临床操作流程见图1。

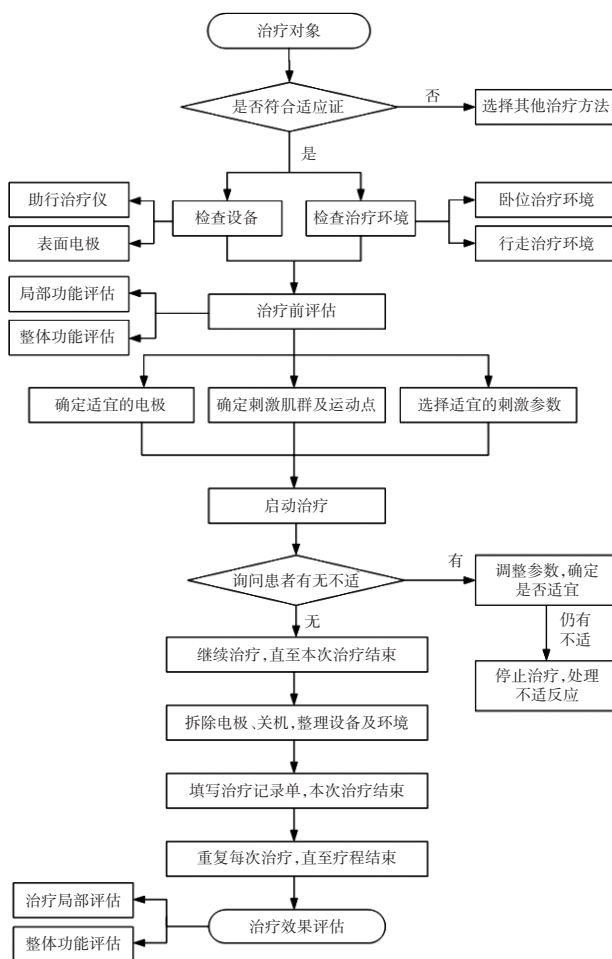


图1 助行功能性电刺激临床操作流程

Figure 1 Clinical operation process of functional electrical stimulation

参考文献

- [1] ENOKA R M, AMIRIDIS I G, DUCHATEAU J. Electrical stimulation of muscle: electrophysiology and rehabilitation [J]. Physiology (Bethesda), 2020, 35(1): 40–56.
- [2] 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.
- [3] 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.

Expert Consensus Group on Clinical Application of Functional Electrical Stimulation for Gait Assistance in Stroke Rehabilitation. Expert consensus on clinical practice of functional electrical stimulation for gait assistance in stroke patients [J]. Chin J Phys Med Rehabil, 2022, 44(10): 865–872.

- [4] 陈汉波, 吴伟, 燕铁斌, 等. 助行功能性电刺激技术临床操作指南[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2024, 46(1): 64–69.
- CHEN H B, WU W, YAN T B, et al. Clinical operation guidelines for functional electrical stimulation technology for gait assistance [J]. Chin J Phys Med Rehabil, 2024, 46(1): 64–69.

Clinical Operation Specifications for Walking Assistance with Functional Electric Stimulation

YAN Tiebin^{1*}, CHEN Hanbo², WU Wei^{1,3}, XUE Jingjing¹, HE Xiaokuo⁴, SUN Qianqian⁵, SUN Wenjing¹, ZHANG Shunxi⁶, LI Chunzhen⁷, WEI Xijun⁸, ZHUANG Zhiqiang^{1,3}, WEI Ni⁹, TIAN Tengfei¹⁰, TAN Zhimei¹¹, XU Yipeng¹², ZHAN Yan⁵, XU Qi⁴, ZHOU Nanping¹³

¹ Sun Yat-Sen Memorial Hospital, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, Guangdong 510120, China;

² Guangdong 999 Brain Hospital, Guangzhou, Guangdong 510510, China;

³ Shenshan Central Hospital of Sun Yat-Sen Memorial Hospital, Sun Yat-Sen University, Shanwei, Guangdong 516600, China;

⁴ The Fifth Hospital of Xiamen, Xiamen, Fujian 361101, China;

⁵ Xiangyang Central Hospital, Affiliated Hospital of Hubei University of Arts and Science, Xiangyang, Hubei 441106, China;

⁶ Guangzhou First People's Hospital, Guangzhou, Guangdong 510180, China;

⁷ Shenzhen Nanshan District People's Hospital, Shenzhen, Guangdong 518052, China;

⁸ Shenzhen Hospital, Southern Medical University, Shenzhen, Guangdong 518100, China;

⁹ The Hospital of Trade-Business in Hunan Province, Changsha, Hunan 410217, China;

¹⁰ Shenzhen Luohu District People's Hospital, Shenzhen, Guangdong 518002, China;

¹¹ The First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450052, China;

¹² People's Hospital of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang 830001, China;

¹³ Guangzhou Fanke Medical Equipment Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510540, China

*Correspondence: YAN Tiebin, E-mail: dr.yan@126.com

ABSTRACT Functional electric stimulation (FES) for walking assistance is an essential rehabilitation technology for improving walking function in patients with central nervous system injuries. However, there is a lack of unified standard operational specifications for its clinical application. To standardize the clinical application of FES for walking assistance and enhance therapeutic outcomes and safety, a project team led by experts from Sun Yat-Sen Memorial Hospital, Sun Yat-Sen University, has developed the "Clinical Operation Specifications for Walking Assistance with Functional Electric Stimulation", integrating medical evidence and clinical practice experience. Following the clinical operation workflow, this standard establishes guidelines for the clinical indications and contraindications of FES for gait assistance, pre-treatment assessments, motor point detection, equipment setup, environmental considerations, intra-treatment operations, post-treatment procedures, and efficacy evaluations. This standard offers guidance for the systematic and standardized application of FES technology, enhancing the consistency and safety of therapeutic effects, and fostering the standardized application and dissemination of FES technology within the field of neurological rehabilitation.

KEY WORDS functional electric stimulation; walking assistance; neurorehabilitation; clinical operation specifications; standard
DOI:10.3724/SP.J.1329.2026.02002

(上接第 81 页)

Application of Motor Imagery Brain-Computer Interface Training Based on Electroencephalogram in Stroke Rehabilitation

BAI Yulong*

Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai 200040, China

*Correspondence: BAI Yulong, E-mail: dr_baiyl@fudan.edu.cn

ABSTRACT Stroke, as one of the leading causes of disability worldwide, severely impairs patients' quality of life. Motor imagery brain-computer interface (MI-BCI) technology based on electroencephalogram (EEG) provides a new approach for motor function rehabilitation after stroke by real-time decoding EEG signals related to patients' motor intentions and converting them into multimodal external feedback. This systematic review summarizes the advancements in clinical applications of MI-BCI for upper and lower limb rehabilitation after stroke. Integrating MI-BCI with end-effectors such as rehabilitation robots, functional electrical stimulation (FES), and virtual reality can enhance upper limb motor function in stroke patients. Combining MI-BCI with neuromodulation techniques such as transcranial direct current stimulation or transcranial magnetic stimulation may further enhance decoding efficiency and rehabilitation outcomes. In lower limb rehabilitation, MI-BCI combined with lower limb rehabilitation robot, ergometers or FES has demonstrated positive potentials in improving gait, balance, and lower limb motor function in stroke patients. However, current research faces several limitations, including small sample sizes, inconsistent parameters (e.g., training intensity, intervention duration, feedback modes), and insufficient mechanistic studies. The "BCI illiteracy" phenomenon and low decoding accuracy in lower limbs also restrict the universal application of MI-BCI technology. Future research should conduct large-sample, multicenter randomized controlled trials to determine the optimal combinations and efficacy of different intervention strategies. It is also necessary to further explore the mechanisms of MI-BCI that promote brain functional reorganization, thereby establishing a theoretical foundation for individualized precision rehabilitation. Furthermore, technological innovation should be focused on enhancing signal decoding accuracy and developing more intelligent and adaptive feedback modes to promote the clinical translation and application of MI-BCI in stroke rehabilitation.

KEY WORDS stroke; motor dysfunction; electroencephalogram; motor imagery; brain-computer interface; intelligent rehabilitation

DOI:10.3724/SP.J.1329.2026.02001