

·临床研究·

## 步态触发功能性电刺激对偏瘫足下垂患者步行能力的影响

杨 婷<sup>1</sup> 李雪萍<sup>1</sup> 林 强<sup>1</sup> 杨 倩<sup>1</sup> 许 亮<sup>1</sup> 高 政<sup>1</sup> 俞长君<sup>1,2</sup>

### 摘要

**目的:**比较步态诱发式功能性电刺激(FES)与神经肌肉电刺激(NMES)对脑卒中后足下垂患者下肢运动功能以及步行速度的影响。

**方法:**将30例脑卒中偏瘫足下垂患者随机分为两组,试验组和对照组,均接受神经内科常规药物及康复功能训练,试验组采用步态诱发式FES,刺激患侧腓总神经和胫前肌,2次/天,每次20min,每周7天,共4周。对照组采用NMES。分别在治疗前、治疗后评定偏瘫侧主动踝背伸的角度、FMA下肢运动功能以及步行速度。

**结果:**治疗4周后,两组患者偏瘫侧主动踝背伸的角度、FMA值以及10m最大步行速度较治疗前都有显著改善( $P < 0.05$ )。主动踝背伸角度试验组增加了58.3%,对照组增加了29.6%;FMA值试验组增加了38%,对照组增加了19%;10米最大步行速度试验组增加了34%,对照组增加了11%;治疗后与治疗前的差值,两组比较有显著性差异( $P < 0.05$ )。

**结论:**常规康复训练结合NMES能够改善偏瘫侧下肢运动功能及步行速度,常规康复训练结合FES后效果更明显,因此步态诱发式FES可以作为一种常规的训练方法在临床上广泛使用。

**关键词** 功能性电刺激;足下垂;运动功能;步行速度

中图分类号:R454.1,R743,R493 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2018)-02-0170-05

**Effects of gait induced FES to function of lower limb and walking speed in stroke patients with foot droop/YANG Ting, LI Xueping, LIN Qiang, et al. //Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2018, 33 (2): 170—174**

### Abstract

**Objective:** To compare the effects of gait induced functional electrical stimulation(FES) and neuromuscular electrical stimulation(NMES) to function of lower limb and walking speed in stroke patients with foot droop.

**Method:** Thirty stroke patients with foot droop were divided into treatment group (gait induced FES) and control group (NMES). All the patients accepted routine medicine and rehabilitation training. The electrodes were placed over the common peroneal nerve and tibialis anterior. Both groups were treated for 20min, 2 times per day, 7days a week for 4 weeks. The active angle of dorsiflexion, Fugl-Meyer assessment (FMA) score of lower limb and 10-meter maximum walking speed(10MWS) were assessed before and after treatment.

**Result:** After 4-week treatment, the active angles of dorsiflexion, FMA scores of lower limb and 10MWS of both groups improved significantly when compared with that before treatment ( $P < 0.05$ ). The active angles of dorsiflexion increased 58.3% and 29.6%, FMA scores of lower limb increased 38% and 19% and 10MWS increased 34% and 11% in treatment group and control group respectively. There were significant differences changes between both group( $P < 0.05$ ).

**Conclusion:** Conventional rehabilitation treatment combined with NMES can improve the function of lower

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2018.02.009

1 南京医科大学附属南京医院(南京市第一医院),江苏南京,210006; 2 通讯作者  
作者简介:杨婷,女,主管技师; 收稿日期:2016-08-21

limb and walking speed, while conventional rehabilitation treatment combined with gait induced FES can improve more. So gait induced FES can be commonly used to stroke patients in clinic.

**Author's address** Dept. of Rehabilitation Medicine, Nanjing First Hospital, Jiangsu, 210006

**Key word** functional electrical stimulation; foot droop; motor function; walking speed

脑卒中后最常见的临床症状就是肢体运动功能障碍,其中下肢的运动功能障碍直接影响到患者的临床恢复和生存质量。偏瘫患者的步行功能康复是医学界的难题,因此步行能力的恢复是脑卒中后康复需关注的重要问题之一。没有足够的主动踝背伸以及足跟触地是导致卒中后步态异常的常见原因<sup>[1-2]</sup>。脑卒中后足下垂是一种常见的步行功能障碍,可以影响到20%卒中后存活的患者<sup>[3]</sup>。足下垂是由踝背伸肌肉全部或部分瘫痪导致的,造成了摆动相地面廓清困难引起髌上提、画圈步态,严重影响步行速度。电刺激(electrical stimulation, ES)已经被公认为是一种能够促进运动功能恢复的有效手段,通过重塑或促进主动收缩,能够改变脑卒中后皮质的可塑性,一般使用的是神经电刺激(neuromuscular electrical stimulation, NMES)或功能性电刺激(functional electrical stimulation, FES)<sup>[4-6]</sup>。NMES是指任何利用低频脉冲电流,刺激神经或肌肉,引起肌肉收缩提高肌肉功能,或治疗神经肌肉疾患的一种治疗方法。FES是使用低频电流刺激失去神经控制的肌肉,使其收缩,以替代或矫正器官及肢体已丧失的功能,产生即时效应直接恢复功能。本研究采用的FES通过步态传感器(胫骨的倾角)检测到的步态情况来控制刺激器的低频脉冲输出,在患足起步,即患侧下肢的摆动前期,胫骨的倾角发生一定的改变时刺激踝背伸,而在患足落地,即患侧下肢的摆动末期,胫骨的倾角小于某一度数时停止电刺激,以此控制患肢的足部运动。既往已有比较FES与NMES对脑卒中偏瘫患者足下垂作用的研究,但研究的内容或者是整体运动功能、步行能力,或者是身体结构、身体功能(肌力、肌张力、关节活动度),没有一个较为全面的研究<sup>[7-8]</sup>。因此,本研究旨在比较步态诱

发式FES与常规的NMES对脑卒中后足下垂患者下肢运动功能以及步行速度的影响。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

选择2015年9月—2016年3月在我科住院进行康复治疗的脑卒中足下垂患者。诊断符合1995年中华医学会第四次全国脑血管病学术会议修订的《各类脑血管疾病诊断要点》并经CT或MRI证实。入选标准:①符合脑卒中诊断标准,足下垂为脑卒中导致;②患者病情稳定,意识清晰,可接受动作性指令;③患侧踝跖屈以及足内翻肌群肌张力控制在改良Ashworth2级及以下;④患侧下肢Brunnstrom分期在Ⅱ期或以上;⑤患者可独立或在监护下行走15m以上;⑥年龄18—75岁。

排除标准:①脑卒中属于急性期患者;②神志不清者或伴有明显认知障碍、精神障碍者;③由其他原因如外周神经损伤导致足下垂者;④足下垂,踝背伸肌力在0级者;⑤足下垂伴有有关节挛缩、畸形等不适合行走者;⑥合并其他系统严重疾病,影响康复训练的患者;⑦皮肤极度敏感的患者;⑧年龄在18岁以下或75岁以上者。

剔除标准:①不符合纳入标准者而误入者;②未按规定完成治疗者;③无法判断疗效或资料不全等影响疗效判断者。共有30例患者入选,随机分为2组各15例,随机的方法为:每个研究对象所接受的治疗方案由产生的随机分配序列产生并被放入按顺序、密封、不透光的信封中。合格的受试对象同意进入试验时信封才能被打开,受试对象才能接受相应的处理措施。另外,研究采用盲法评估。所有的评估和治疗均由有经验的治疗师完成。两组患者一般

表1 两组患者一般资料比较

( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	性别		年龄 (岁)	性质		偏瘫侧		发病时间 (d)
		男	女		脑梗死	脑出血	左	右	
试验组	15	8	7	63.07±4.46	11	4	8	7	49.53±15.90
对照组	15	9	6	60.60±8.33	10	5	7	8	47.40±14.51

资料比较差异无显著性意义( $P>0.05$ )。见表1。

### 1.2 设备和训练方法

所有入组的患者都采用常规药物治疗和康复治疗, 试验组进行步态诱发式 FES, 对照组采用 NMES。DC-L-50X 佩戴式足下垂康复仪由江苏德长医疗科技有限公司提供。该设备主要由刺激器、绑带(含电极线)、电极(含电极座和电极片)、专业医生或者经培训的业务人员用的编程器、充电器组成。

操作方法:①将电极片置于患侧的腓总神经与胫前肌肌腹部位。②医生或专业人员设置合理的电刺激参数(脉冲宽度从 100 $\mu$ s 开始), 调节电流输出强度, 通过观察患者踝背伸动作, 确定正确的电极位置。③请患者从中立位开始, 健侧下肢往前迈步, 至健侧下肢与身体成一横线, 并与地面垂直, 而患侧脚尖着地, 脚跟抬起时设定“起步角”, 然后, 患侧下肢迈出并落地, 保持健侧下肢与身体的位置不变, 患侧下肢迈出并落地时, 设定“落地角”。起步角和落地脚都根据患侧胫骨与垂直轴的角度来设置, 一般在 7 度左右。设置好起步角和落地角后, 让患者步行, 并观察踝背伸的情况, 如果足内翻则调整作用于腓总神经部位的电极使外翻增强, 反之亦然。试验组每天采用 FES 模式结合步态训练进行电刺激治疗, 每次 20min; 对照组的电刺激采用此仪器的神经肌肉电刺激模式 20min, 另外常规康复训练时包含步行训练。试验组和对照组训练: 2 次/天, 7 天/周, 共 4 周。

### 1.3 评估方法

由专人分别评估两组患者在治疗前、治疗 4 周后的偏瘫侧下肢运动功能(主动踝背伸角度及 FMA)以及 10m 最大步行速度。

**1.3.1 主动踝背伸的角度:**仰卧位, 患者的患侧足从中立位主动背伸测得的角度。

**1.3.2 偏瘫下肢运动功能恢复的评估:**采用简化 Fugl-Meyer 量表(Fugl-Meyer assessment, FMA)下肢运动功能评分法对患者下肢部分的运动功能进行评

定, FMA 是一个特异性的, 以评估脑卒中患者功能表现为基础的量表, 并且可以对功能损伤严重程度进行分级。评估包括运动功能、平衡、感觉和关节功能。下肢运动功能评估量表共包括 17 项, 每项评分 0—2 分(最高分 34 分<sup>[9]</sup>)。

**1.3.3 10m 最大步行速度测试:**用彩色胶布从起点到终点的直线距离为 16m 的平地上标记测试的起点、3m 点、13m 点和终点。让患者尽可能以最快的速度自起点走至终点, 用秒表记录患者从 3m 点至 13m 点所需的时间, 记录时间精确到 0.1s, 每位患者重复测试 3 次, 两次测试间隔可以休息, 取 3 次重复测试中最快的结果作为最大步行速度(m/min)<sup>[10]</sup>。

### 1.4 统计学分析

数据采用 SPSS17.0 进行统计处理。计量数据以均数 $\pm$ 标准差表示, 组间比较采用两样本  $t$  检验, 计数资料比较采用  $\chi^2$  检验, 以  $P<0.05$  为差异有显著性意义。

## 2 结果

### 2.1 治疗前各指标的比较

治疗前, 两组患者偏瘫侧下肢主动踝背伸的角度、FMA 值以及 10m 最大步行速度比较, 差异均无显著性意义( $P=0.83, 0.61, 0.58$ )。结果见表 2。

### 2.2 治疗后各指标的比较

治疗 4 周后, 两组的各项评估指标都较治疗前有显著增加, 主动踝背伸角度试验组增加了 58.3%, 对照组增加了 29.6%; FMA 值试验组增加了 38%, 对照组增加了 19%; 10 米最大步行速度试验组增加了 34%, 对照组增加了 11%。治疗后比治疗前的差值, 两组比较有显著性差异( $P<0.05$ )。见表 2。

## 3 讨论

偏瘫引起的踝控制障碍和足下垂是由于胫前肌肌力下降、踝背伸不足、运动无力、运动控制差和踝跖

表 2 治疗前后两组的各项评估指标以及各指标在治疗后增加的百分比值

( $\bar{x}\pm s$ )

评估指标	试验组					对照组				
	治疗前	治疗后	$P$	d	$\Delta$	治疗前	治疗后	$P$	d	$\Delta$
主动踝背伸角度( $^{\circ}$ )	6.80 $\pm$ 1.86	10.93 $\pm$ 3.81	0.00	4.13 $\pm$ 2.17 <sup>①</sup>	58.3%	7.13 $\pm$ 1.69	9.27 $\pm$ 2.40	0.00	2.13 $\pm$ 1.13 <sup>①</sup>	29.6%
FMA 下肢运动功能评分	16.40 $\pm$ 3.02	22.47 $\pm$ 4.24	0.00	6.07 $\pm$ 2.40 <sup>①</sup>	38.0%	17.00 $\pm$ 2.83	20.20 $\pm$ 3.23	0.00	3.20 $\pm$ 0.94 <sup>①</sup>	19.0%
10m 最大步行速度(m/min)	39.13 $\pm$ 13.33	51.47 $\pm$ 15.22	0.00	12.35 $\pm$ 3.27 <sup>①</sup>	34.1%	38.15 $\pm$ 11.11	41.97 $\pm$ 10.99	0.00	3.82 $\pm$ 0.76 <sup>①</sup>	11.0%

①治疗后与治疗前的差值两组比较  $P<0.05$ , 差异有显著性意义;  $\Delta$ : 治疗后与治疗前相比增加的百分比值。

屈及内翻肌群痉挛引起下肢的廓清障碍,都会导致异常步态、平衡障碍,增加步行时跌倒的风险<sup>[11-13]</sup>。足下垂是中枢神经系统损伤(如脑卒中、脊髓损伤、多发性硬化等)后的常见症状。而踝背伸肌力下降又是脑卒中后足下垂的一个重要原因,因此针对踝背伸的治疗能够有效地改善脑卒中偏瘫患者的下肢功能以及步行功能。

NMES是一项应用20—50Hz低频电流通过电极刺激特定神经肌肉群使其收缩,继而达到“功能”修复的目的。FES属于NMES的范畴,是利用一定强度的低频脉冲电流,通过预先设定的程序来刺激一组或多组肌肉,诱发肌肉运动或模拟正常的自主运动,完成一个任务,以替代或矫正器官及肢体已丧失的功能,产生即时效应直接恢复功能。临床上应用NMES为卒中后康复提供了治疗性作用和功能性作用。治疗作用主要是肢体的运动再学习,功能性作用主要是神经重塑作用<sup>[14-17]</sup>。研究证实,NMES结合任务导向性训练也即FES能够促进上肢和下肢运动再学习。下肢的神经重塑作用以腓总神经的刺激为典型,刺激后能够有效增加卒中后足下垂患者的步速<sup>[18]</sup>。FES是临床上常用的以电流作用于未受损的外周神经以产生肌肉收缩的治疗方法。自从1961年以来,FES已经被用于矫正偏瘫足下垂<sup>[19]</sup>。

本研究的目的在于比较步态诱发式功能性电刺激与常规的神经肌肉电刺激作用于胫前肌及腓总神经对卒中后足下垂患者偏瘫下肢运动功能(主动踝背伸角度和FMA下肢功能评分)以及步速(10m最大步行速度)的影响。本研究的评估指标包括身体结构和身体功能方面的评估(偏瘫侧主动踝背伸的角度、下肢运动功能评分),以及活动方面的评估(10m步行速度)。两组患者的所有指标在治疗前都没有显著性差异。治疗后,两组的各项评估指标都较治疗前有显著增加,主动踝背伸角度试验组增加了58.3%,对照组增加了29.6%;FMA值试验组增加了38%,对照组增加了19%;10m最大步行速度试验组增加了34%,对照组增加了11%。提示两组治疗后运动和功能都有了显著改善,表明两种治疗方法对于偏瘫足下垂都有治疗效果,这与以往的研究结果也是一致的。在卒中亚急性期的研究中,Yan<sup>[20]</sup>及其同事报道了NMES能够增加踝背伸的肌力,改善

运动功能。Bogataj等<sup>[21]</sup>强调了传统康复训练同样能改善步行功能。因此步态诱发式FES或者结合步行训练的NMES都能通过刺激足下垂患者的腓总神经从而增加踝背伸的活动度和肌力、降低肌张力<sup>[22-23]</sup>。

本研究的另一结果表明治疗后与治疗前的差值,两组比较有显著性差异( $P<0.05$ )。说明步态诱发式FES比传统的NMES对卒中后足下垂患者下肢运动功能以及步行速度有更好的改善作用。以往的研究卒中后遗症期佩戴功能性电刺激的步行的结果已经证明了此方法有很好的效率和接受程度<sup>[24-25]</sup>。Yan等<sup>[20]</sup>虽然报道了NMES能够增加踝背伸的肌力,改善运动功能,但与NMES不同的是步行时的功能性电刺激对改善步行能力有更大的帮助,因为它更接近于实际情况并且更注重改善步行能力而不是单单的踝背伸功能。最近的研究显示,足下垂电刺激增加最大主动收缩和运动诱发电位提示运动皮质和残留的减弱的神经连接的激活,这些原理都可以用来解释对提高步行速度的治疗作用<sup>[26]</sup>。另外,有研究还表明,FES针对足下垂治疗后可以改善卒中后患者的步态以及步行时的能量消耗,可以提高步速,可以提高生存质量和增加关节活动度<sup>[27-28]</sup>。这些都会导致步行功能改善并且可能导致氧耗降低。因此,治疗后的患者可以走得更好,用更少的体力消耗获得更多的步数。

综上所述,结合步态诱发式FES与传统的NMES相比,能够更好地改善卒中后足下垂患者下肢运动功能以及步行速度。因此,我们可以将此治疗作为偏瘫侧下肢运动功能康复的常用技术,使患者能够获得更好的运动功能及步行能力。本研究样本量较小,并且没有后续的追踪;另外患者的体力消耗是否会因为使用步态诱发式功能性电刺激而显著下降,这些都是尚待研究的内容。

## 参考文献

- [1] Burridge JH, Wood DE, Taylor PN, et al. Indices to describe different muscle activation patterns, identified during treadmill walking, in people with spastic drop-foot[J]. *Med Eng Physics*, 2001, 23(6): 427—734.
- [2] Roth EJ, Harvey RL. Rehabilitation of stroke syndromes. In: Braddom RL, editor. *Handbook of physical medicine and rehabilitation*[M]. 2nd ed. Philadelphia: WB Saunders,

- 2004: 727—756.
- [3] Ricarte IF, Figueiredo MM, Fukuda TG, et al. Acute foot drop syndrome mimicking peroneal nerve injury: an atypical presentation of ischemic stroke[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2014, 23 (5): 1229—1231.
- [4] Smith AE, Ridding MC, Higgins RD, et al. Cutaneous afferent input does not modulate motor intracortical inhibition in ageing men[J]. *Eur J Neurosci*, 2011, 34(9): 1461—1469.
- [5] Stephanie SY, Christina WY. Electrical acupoint stimulation of the affected arm in acute stroke: a placebo-controlled randomized clinical trial[J]. *Clin Rehabil*, 2014, 28(2): 149—158.
- [6] Chen CF, Lin YT, Chen WS, et al. Contribution of cortico-spinal modulation and total electrical energy for peripheral-nerve-stimulation-induced neuroplasticity as indexed by additional muscular force[J]. *Brain Stimul*, 2016, 9 (1): 133—140.
- [7] 刘翠华, 张盘德, 容小川, 等. 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]. *中国老年医学杂志*, 2014,(24): 6882—6884.
- [8] 刘智岚, 贾杰, 谢臻, 等. 足下垂刺激仪对脑卒中足下垂患者下肢运动功能的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2015, 37 (6):416—420.
- [9] Fugl-Meyer AR, Jaasko L, Leyman I, et al. The post stroke patient: A method for evaluation of physical performance[J]. *Scand J Rehab Med*, 1975, 7(1): 13.
- [10] Kendall FP, Kendall-McCreary E, Provance P. *Muscles: testing and function with posture and pain*. Fifth edition[M]. Lippincott, Williams and Williams, 2005.
- [11] Stewart JD. Foot drop: where, why and what to do? [J]. *Pract Neurol*, 2008, 8(3): 158.
- [12] Brunnstrom S. *Motor Behavior of Adult Patients with Hemiplegia: Movement therapy in hemiplegia*[M]. NY: Harper & Row, 1970.
- [13] Fernandez-Gonzalez P, Molina-Rueda F, Cuesta-Gomez A, et al. Instrumental gait analysis in stroke patients[J]. *Rev Neurol*, 2016, 63 (10): 433—439.
- [14] Wang YH, Meng F, Zhang Y, et al. Full-movement neuromuscular electrical stimulation improves plantar flexor spasticity and ankle active dorsiflexion in stroke patients: a randomized controlled study[J]. *Clin Rehabil*, 2016, 30 (6): 577—586.
- [15] Ko EJ, Chun MH, Kim DY, et al. The additive effects of core muscle strengthening and trunk NMES on trunk balance in stroke patients[J]. *Ann Rehabil Med*, 2016, 40 (1): 142—151.
- [16] Sugawara K, Tanabe S, Higashi T, et al. Changes of excitability in M1 induced by neuromuscular electrical stimulation differ between presence and absence of voluntary drive [J]. *Int J Rehabil Res*, 2011, 34 (2): 100—109.
- [17] Qu H, Xie Y, Liu X, et al. Development of network-based multichannel neuromuscular electrical stimulation system for stroke rehabilitation[J]. *J Rehabil Res Dev*, 2016, 53(2): 263—278.
- [18] Chaea J, Shefflerb L, Knutsonc J. Neuromuscular Electrical Stimulation for Motor Restoration in Hemiplegia[J]. *Stroke*, 2008, 15(5): 412—426.
- [19] Liberson WT, Hotmquest 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(8): 101.
- [20] 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.
- [21] Bogataj U, Gros N, Kljajic M, et al. The rehabilitation of gait in patients with hemiplegia: a comparison between conventional therapy and multichannel functional electrical stimulation therapy[J]. *Physical Therapy*, 1995, 75(6): 490—502.
- [22] Burridge J, Wood D, Taylor P, et al. The effect of common peroneal nerve stimulation on quadriceps spasticity in hemiplegia[J]. *Physiotherapy*, 1997, 83(2): 82—89.
- [23] Sabut SK, Sikdar C, Kumar R, et al. Functional electrical stimulation of dorsiflexor muscle: effects on dorsiflexor strength, plantarflexor spasticity, and motor recovery in stroke patients[J]. *NeuroRehab*, 2011,29 (4): 393—400.
- [24] Stein RB, Everaert DG, Thompson AK, et al. Long-term therapeutic and orthotic effects of a foot drop stimulator on walking performance in progressive and non-progressive neurological disorders[J]. *Neurorehab Neural Re*, 2010, 24 (2): 152—167.
- [25] Kottink AI, Hermens HJ, Nene AV, et al. A randomized controlled trial of an implantable 2-channel peroneal nerve stimulator on walking speed and activity in poststroke hemiplegia[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2007, 88, (8): 971—978.
- [26] Everaert DG, Thompson AK, Chong SL, et al. Does functional electrical stimulation for foot drop strengthen cortico-spinal connections?[J]. *NeurorehabNeural Re*, 2010, 24(2): 168—177.
- [27] Kottink AI, Oostendorp LJ, Buurke JH, et al. The orthotic effect of functional electrical stimulation on the improvement of walking in stroke patients with a dropped foot: a systematic review[J]. *Artif Organs*, 2004, 28(6): 577—586.
- [28] Burridge JH, Ladouceur M. Clinical and therapeutic applications of neuromuscular stimulation – a review of current use and speculation into future developments[J]. *Neuromodulation*, 2001, 4(4): 147—154.