

步态诱发功能性电刺激对不完全性脊髓损伤患者的疗效观察

谢 映¹ 朱文新¹ 李 玲¹ 吴汨霞¹ 张鹏程¹ 李 洋²

摘要

目的:观察步态诱发功能性电刺激治疗不完全性脊髓损伤患者的疗效。

方法:对40例不完全性脊髓损伤的患者,随机分为两组,对照组进行常规药物治疗、康复治疗,治疗组除常规药物治疗、康复治疗,每天佩戴步态诱发功能性电刺激进行患侧腓总神经、胫前肌电刺激同时步行训练,15—20min。每天2次,每周5—6d,共4周。分别在治疗前、治疗2周、4周行功能独立性评定(FIM)行走能力测评、10m最大步行速度测试、运动诱发电位(MEP)检测,治疗前后行胫前肌肌力评定。

结果:治疗2周后,两组FIM行走能力、10m最大步行速度、胫前肌MEP潜伏期两组无明显差异($P>0.05$)。治疗4周后,与对照组比较,FES治疗组FIM行走能力评分提高($P<0.01$)、10m最大步行速度提高($P<0.05$)、胫前肌MEP潜伏期缩短更明显($P<0.01$)。胫前肌肌力治疗前两组比较无显著性意义($P>0.05$),治疗4周后,两组肌力比较有显著性意义($P<0.05$)。

结论:功能性电刺激能显著改善不完全性脊髓损伤患者步行功能,运动诱发电位为判断脊髓运动传导功能提供了客观、定量的依据,功能性电刺激是一种安全有效的训练方法。

关键词 功能性电刺激;不完全性脊髓损伤;运动诱发电位;步行功能

中图分类号:R454.1,R651.2 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2013)-03-0229-05

Effect of gait triggered functional electrical stimulation on incomplete spinal cord injury patients/XIE Ying, ZHU Wenxin, LI Ling, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2013, 28(3): 229—233

Abstract

Objective: To observe the effect of gait triggered functional electrical stimulation on incomplete spinal cord injury(SCI).

Method: Forty patients with incomplete SCI after fractures of thoracolumbar segment were randomly divided into two groups: the treatment group(20cases) and the control group (20cases). Based on routine medical treatment and rehabilitation therapy, patients of treatment group received functional electrical stimulation(FES) on common peroneal nerve and tibialis anterior muscle of affected side by using XFT-2001 low-frequency electrical pulse stimulator, and at the same time 15—20min walking training, twice a day, 5—6d per week, 4 weeks in total. Scores of FIM, 10m maximum walking speed and tibialis anterior muscle motor evoked potential(MED) latency were evaluated before treatment, 2 weeks after treatment and 4 weeks after treatment. Tibialis anterior muscular strength was compared before treatment and 4 weeks after treatment.

Result: After 2 weeks treatment, scores of FIM, 10m maximum walking speed and tibialis anterior muscle MEP latency in both groups had not significant difference($P>0.05$). After 4 weeks treatment, It was shown that the scores of FIM and 10m maximum walking speed increased after treatment($P<0.01$, $P<0.05$), tibialis anterior muscle latency shortened($P<0.01$), tibialis anterior muscular strength enhanced($P<0.05$) compared with control group.

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2013.03.008

1 岳阳市第一人民医院康复医学科,湖南岳阳,414000; 2 岳阳市第一人民医院脊柱外科

作者简介:谢映,女,主治医师; 收稿日期:2012-06-17

Conclusion: FES could improve walking function of incomplete SCI patient. MEP examination could provide objective and quantitative basis for judging the motor functional status of spinal cord. FES was considered to be a safe and effective training method.

Author's address Dept. of Rehabilitation, the First Hospital of Yue yang, 414000

Key word functional electrical stimulation; incomplete spinal cord injury; motor evoked potential; walking function

脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)是一种严重的致残性损伤,常造成不同程度的瘫痪而影响患者生活自理和参与社会活动的能力。就目前的医疗水平而言,完全性脊髓损伤仍难以恢复,不完全性SCI会留有严重的功能障碍,甚至残疾。因此,研究有效的治疗SCI的方法意义重大。恢复独立的步行能力是不完全性脊髓损伤患者的主要康复目标。功能性电刺激(functional electrical stimulation, FES)技术是使用电刺激的手段,以精确的刺激顺序和刺激强度激活瘫痪或轻瘫的肌肉,使脊髓损伤患者恢复一定运动功能的一种康复治疗技术^[1]。本研究旨在探讨FES对不完全性脊髓损伤患者步行功能的影响,并采用运动诱发电位等检测疗效,为判断脊髓运动传导功能提供客观的依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选择2011年1月—2012年3月我院脊柱住院脊髓损伤患者47例,男28例、女19例,年龄19—45(32 ± 8)岁。胸髓损伤(截瘫)17例,腰髓损伤30例。损伤病因为车祸24例,高处坠落13例,重物砸伤9例,其他1例。经CT、MRI及照美国SCI学会损伤分级均为C级。患者均于伤后10h—4d内行减压+内固定术,术后1—2个月转入我科接受康复治疗。共47例患者,随机分成对照组与FES治疗组,按入选标准排除7例患者,其中3例未按规定完成治疗,4例资料不全影响疗效判断。剩余40例患者每组各20例,两组一般资料具有可比性,两组治疗前观察指标无显著性意义($P > 0.05$)。本实验为临床试验,实验对象均签署《知情同意书》,见表1。

入选标准:①符合脊髓损伤C级诊断标准;②患者病情稳定,意识清晰,可接受动作性指令。

排除标准:①伴有关节挛缩、畸形等不适合行走者;②合并其他系统严重疾病,影响康复训练的患者;③皮肤极度敏感的患者;④年龄在18岁以下或

表1 两组治疗前观察指标比较 ($\bar{x} \pm s$)

观察指标	FES治疗组(n=20)	对照组(n=20)	t
年龄	34.3 ± 8.73	32.0 ± 7.9	0.874
运动评分	28.80 ± 12.61	35.31 ± 13.23	0.356
感觉评分	68.38 ± 17.59	73.50 ± 15.99	0.215
ADL评分	20.48 ± 16.91	24.65 ± 15.85	0.785
性别(男/女)	13/7	14/6	

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。

1.2 设备和训练方法

治疗组的患者在常规药物治疗和康复治疗(截瘫肢体训练、减重平板训练等)的基础上再用步态诱发功能性电刺激仪治疗训练。步态诱发功能性电刺激仪及神经肌肉定位仪由深圳市讯丰通电子有限公司提供。该设备主要由XFT-2001P神经肌肉定位仪、足下垂助行仪主机、步态分析采集器以及绑带和电极片5部分组成。XFT-2001型步态诱发功能性电刺激仪刺激小腿失去神经控制的肌肉,使其收缩,以替代或改善肢体已丧失的运动功能。所有入选患者步行训练同时采用XFT-2001型步态诱发功能性电刺激仪对患侧腓总神经、胫前肌进行电刺激治疗15—20min,每天2次,每周5—6d,共4周。

1.3 评估方法

对所有入试患者分别在治疗前、治疗2周、4周由第一作者对患者进行步行功能的评定。采用功能独立性评定、10m最大步行速度测试(10m maximum walking speed, 10mMWS)、运动诱发电位(motion evoked potential, MEP)。

1.3.1 采用功能独立性评定(functional independence measure, FIM),计算每一个患者行走能力(步行与上下楼梯)的得分。

1.3.2 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平地上标记测试的起点、3m点、13m点和终点。让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,每个患者在两种情况下各测试3次,每次步行测试间隔可以休息,最大步行速度评测值取患者评测3次中最快一次数值,并以m/min方式来描述最大步行速度评测值。

1.3.3 MEP:采用Dantec公司(丹麦)生产的Mag-2型磁刺激仪,S-100型刺激线圈(外径10.5cm),最大输出强度2.5T。刺激程度以所记录的靶肌出现收缩为准,一般采用最大输出强度的70%—95%。受试者仰卧位,肌肉完全放松记录胫前肌MEP时使患者轻度用力背伸足,重复3次以上,记录M波,以潜伏期短、波幅高者为准。电极放于腓骨小头后缘腓总神经走行表面,阴极置近端。通过胫前肌表面的皮肤电极同时记录M波。

1.4 统计学分析

采用SPSS13.0统计软件进行统计分析,计量资料均采用均数±标准差表示。计量资料两组之间比较采用t检验,两组患者胫前肌肌力为等级资料采用秩和检验,P<0.05为两组之间有显著性差异。

2 结果

本研究入组共40例,对照组与FES治疗组各种20例,两组治疗前年龄、性别、运动评分、感觉评分、ADL得分无明显差异(P>0.05),见表1。两组治疗2周后,行FIM行走能力评分无显著差异(P>0.05)。治疗4周后,与对照组比较,FES治疗组得分增加更显著(P<0.01),见表2。

两组治疗2周后10m最大步行速度无显著差异,治疗4周后,与对照组比较,FES治疗组10m最大步行速度提高更明显(P<0.05),见表3。两组治疗2周后胫前肌MEP潜伏期无显著差异,治疗4周后,与对照组比较,FES治疗组胫前肌MEP潜伏期缩短更明显(P<0.01),见表4。胫前肌肌力比较,治疗前两组无显著性意义(P>0.05),治疗4周后,FES治疗组肌力大于对照组,两组间比较有显著性意义(P<0.05)。

3 讨论

改善肌肉的运动功能和耐力,完成功能性的步行是不完全性脊髓损伤患者的主要康复目标。不完全性脊髓损伤可因上运动神经元损伤和下运动神经

表2 两组不同训练时间FIM行走能力评分比较 (x±s)

组别	例数	平地行走(分)	上下楼梯(分)
FES治疗组	20		
治疗前		2.47±0.64	1.23±0.56
治疗2周		3.85±0.71 ^①	2.69±0.23 ^②
治疗4周		6.05±0.52 ^③	4.03±0.82 ^④
对照组	20		
治疗前		2.68±0.62	1.43±0.67
治疗2周		3.62±0.78 ^①	2.53±0.30 ^②
治疗4周		4.12±0.47 ^③	2.97±0.78 ^④

治疗2周后平地行走、上下楼梯比较:①P>0.05,②P>0.05,③P<0.01,④P<0.01

表3 两组训练不同时间10m最大步行速度比较 (x±s)

组别	例数	10m最大步行速度(m/min)
FES治疗组	20	
治疗前		0
治疗2周		33.19±7.41 ^①
治疗4周		46.02±9.02 ^②
对照组	20	
治疗前		0
治疗2周		26.53±7.61 ^①
治疗4周		39.21±9.42 ^②

与对照组比较,①P>0.05,②P<0.05

表4 两组训练不同时间胫前肌MEP潜伏期和波幅平均值 (x±s)

组别	例数	潜伏期(ms)	波幅(mV)
FES治疗组	20		
治疗前		40.54±6.82	0.41±0.12
治疗2周		34.23±7.29 ^①	0.65±0.30
治疗4周		30.14±2.3 ^②	0.87±0.46
对照组	20		
治疗前		39.12±5.34	0.40±0.23
治疗2周		36.53±6.18 ^①	0.48±0.16
治疗4周		35.71±2.42 ^②	0.52±0.37

与对照组比较,①P>0.05,②P<0.01

表5 两组患者治疗前后胫前肌肌力比较 (例)

	例数	Ⅳ ⁺ —Ⅴ ⁻	Ⅲ ⁺ —Ⅳ ⁻	Ⅱ ⁺ —Ⅲ ⁻
FES治疗组				
前	20	0	8	12
后	20	9	8	3
对照组				
前	20	0	9	11
后	20	4	7	9

治疗前,两组胫前肌肌力比较无显著差异P>0.05,治疗4周后两组胫前肌肌力比较有显著差异,P<0.05

元损伤引起,上运动神经元损伤可能会出现失神经支配而导致废用性肌萎缩,下运动神经元损伤出现周围神经损伤导致肌力下降,肌肉萎缩,均严重影响步行功能。许多研究均已证明^[3-5],在不完全性脊髓损伤后,下肢运动功能的早期恢复和步行能力的相

互关系。本研究旨在探讨步态诱发功能性电刺激对不完全性脊髓损伤患者步行功能的影响,并在治疗的不同时期,采用量表评分、运动诱发电位检测等为判断脊髓损伤后的运动传导功能提供更全面、客观的依据。

此研究表明,两组治疗前后,FIM行走能力评分、10m最大步行速度均提高,但治疗2周后,FES治疗组与对照组比较差异不明显,无显著性意义。治疗4周后,FES治疗组与对照组比较,差异具有显著性。说明常规药物治疗和康复治疗能一定程度提高FIM行走能力评分、10m最大步行速度,但FES治疗组能更显著提高患者的下肢运动功能,且治疗效果与时间呈正相关。

为了量化FES对下肢运动功能的影响,我们采用运动诱发电位^[6]。MEP是刺激中枢神经组织并在脊髓远端、外周神经或肌肉记录到的电信号,能直接反映脊髓下行传导路或外周运动神经的功能状态。MEP具有无损伤、穿透力强、稳定可靠等优点,已被学者认同。运动诱发电位可产生F波及M波,此次研究我们采用记录M波,这是因为F波为运动纤维的逆向冲动引起的响应节段前角运动神经元的回返放电,需要强刺激。因此不论是脊髓休克期还是SCI肌痉挛期,F波出现频次均可降低。另外,脊髓前角运动细胞减少或合并神经根损伤均可致损伤平面下不出现F波。所以F波不是脊髓损伤恢复依据。正常人对照组参照余科炜^[7]结果显示,MEP潜伏期基本恒定,而振幅值在不同个体或不同时段内有很大差异,胫前肌潜伏期异常上限为32.9ms。此研究显示两组患者治疗前后潜伏期均缩短,但FES治疗组治疗4周后潜伏期缩短明显,与对照组比较有显著意义。说明功能性电刺激能明显缩短潜伏期,对受损神经有一定修复作用,从而改善神经传导功能和神经肌肉兴奋性^[8-9]。

FES技术在恢复站立和行走能力方面的作用机制可能是通过电流刺激作用促进周围神经再生,并最大限度地维持肌肉形态与功能。FES最终刺激的目标是神经,主要是与肌肉相关的周围神经^[10]。大量实验证实,电刺激对不论电场类型、脉冲频率、波长以及疗程长短,均具有促进周围神经再生的作用^[11]。在肌肉失神经支配时期予电刺激可以维持一

定肌力和肌肉体积的,能够最大限度地改善临床常见的失神经肌萎缩^[12-14]。

此次研究表明,两组治疗4周后胫前肌肌力均有所提高,但FES胫前肌肌力提高更明显,与对照组比较有显著意义。已有的动物实验结果表明,FES在维持肌肉体积及肌力、改善肌肉组织物质代谢、调节肌纤维生理及生化性质等方面作用突出^[13]。而且Williams等^[11]用全植入式持续电刺激对15例周围神经损伤者进行了试验。Kern等^[15]观察了FES对长期失神经导致的肌肉萎缩的治疗效果。结果表明,FES可使肌肉结构发生变化,有效逆转肌肉萎缩。由此可见,FES治疗不仅可使尚存的肌纤维体积变大,促进新生纤维的再生,还可逆转长期失神经肌肉的退行性变。大量研究表明,不断重复的运动训练还可诱导神经肌肉的塑形,从而对功能恢复起重要作用^[16-17],Hicks AL等报道对13例慢性不完全SCI患者进行周期性运动训练,训练停止后继续观察,大部分功能改善均能维持^[18],Wernig A等^[17]发现,在完全或近似完全的瘫痪患者中,用膝关节来伸展的步行和站立可以恢复,提示存在脊髓水平的复杂运动反射模式,提示,运动训练可增加轴突的芽生^[19-20],增加神经兴奋性^[21],诱导突触蛋白的表达,建立新的突触,并增加突触的链接^[22-25],通过改善再生环境,使神经轴突生长的微环境向有利方向变化^[26]。

应用功能性电刺激对不完全性脊髓损伤患者的最明显的作用是能促进患者的随意运动。功能性电刺激相对普通电刺激可诱发患者产生步行动作并通过运动再学习,有可能使患者恢复对一些肌群的随意控制。对不完全性截瘫患者进行周期性电刺激的也能提高已经发生废用性萎缩肌肉的肌力。有学者研究减重训练结合FES能更好地恢复不完全性脊髓损伤患者的步行能力^[27]。

随着现代化进程提高,外伤致脊髓损伤发病率居高不下。目前尚没有治愈脊髓损伤有效手段,防止脊髓损伤后继发性损害的措施也非常有限。因此探索用不同的方法和新的技术去替代或修复损伤脊髓是实现脊髓修复一个发展方向。不完全性脊髓损伤患者由于保留部分的浅、深感觉功能,步态诱发功能性电刺激在患者下肢迈步时发出电流刺激踝背伸肌肉,所以在重新学习步行时会相对快和容易^[28]。

有些患者在步行时用与不用FES会有很明显的差别,当神经损伤稳定后开始使用FES并保持下去,可明显改善或阻止残疾状态的发展,在恢复截瘫行走能力方面有显著的运动功能替代和重建功效^[2]。这对于增强患者的康复信心,提高康复训练的主动性,促进患者的康复起到积极的作用^[29]。因本次研究总时间及规模有限,有待后续的更深入大样本、多中心的进一步研究。

参考文献

- [1] Thrasher TA, Popovic MR. Functional electrical stimulation of walking: Function, exercise and rehabilitation[J]. *Annales de l'adaptation et de médecine physique*, 2008, 51(6): 452—460.
- [2] 明东, 万柏坤. 功能性电刺激技术在截瘫行走中的应用研究进展[J]. *生物医学工程学杂志*, 2007, 24(4): 932—936.
- [3] Ladouceur M, Barbeau H. Functional electrical stimulation-assisted walking for persons with incomplete spinal injuries: Longitudinal changes in maximal overground walking speed[J]. *Scand J Rehabil Med*, 2000, 32(1): 28—36.
- [4] Mutton DL, Scremin AM, Barstow TJ, et al. Physiologic responses during functional electrical stimulation leg cycling and hybrid exercise in spinal cord injured subjects[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 1997, 78(7): 712—718.
- [5] Kirshblum SC, O'Connor KC. Predicting neurologic recovery in traumatic cervical spinal cord injury[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 1998, 79(11): 1456—1466.
- [6] Roy FD, Yang JF, Gorassini MA. Afferent regulation of leg motor cortex excitability after incomplete spinal cord injury[J]. *Neurophysiol*, 2010, 103(4): 2222—2233.
- [7] 余科伟, 李家顺, 杨海涛, 等. 急性脊髓损伤后磁刺激运动诱发电位及体感诱发电位的诊断意义[J]. *中华骨科杂志*, 2000, 20(5): 269—274.
- [8] Mattia D, Cincotti F, Astolfi L, et al. Motor cortical responsiveness to attempted movements in tetraplegia: evidence from neuroelectrical imaging[J]. *Clin Neurophysiol*, 2009, 120(1): 181—189.
- [9] Nakata H, Sakamoto K, Yumoto M, et al. The relationship in gating effects between short-latency and long-latency somatosensory-evoked potentials[J]. *Neuroreport*, 2011, 22(18): 1000—1004.
- [10] 张定国, 朱向阳. 功能性电刺激研究在中国的回顾, 现状与展望[J]. *中国康复理论与实践*, 2010, 16(9): 848—850.
- [11] 林森, 徐建光. 功能性电刺激在周围神经损伤修复中的研究进展[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2005, 19(8): 669.
- [12] Kerr C, McDowell B, Cosgrove A, et al. Electrical stimulation in cerebral palsy: a randomized controlled trial [J]. *Dev Med Child Neurol*, 2006, 48(11): 870—876.
- [13] de Kroon JR, Ljzerman MJ, Chae J, et al. Relation between stimulation characteristics and clinical outcome in studies using electrical stimulation to improve motor control of the upper extremity in stroke[J]. *J Rehabil Med*, 2005, 37(2): 65—74.
- [14] Glinesky J, Harvey L, van Es P, et al. The addition of electrical stimulation to progressive resistance training does not enhance the wrist strength of people with tetraplegia: a randomized controlled trial[J]. *Clin Rehabil*, 2009, 23(8): 696—704.
- [15] 李琦, 王金武, 曾丙芳. 神经肌电刺激治疗失神经肌肉萎缩研究进展[J]. *中国康复医学杂志*, 2007, 22(5): 478.
- [16] Dulop SA. Activity-dependent plasticity: implications for recovery after spinal cord injury[J]. *Trends in Neurosciences*, 2008, 31(8): 410—418.
- [17] Wernig A, Muller S. Laufband locomotion with body weight support improved walking in persons with severe spinal cord injuries[J]. *Paraplegia*, 1992, 30(4): 229—238.
- [18] Hicks AL, Adams MM, Martin Ginis K, et al. Long-term body-weight-supported treadmill training and subsequent follow-up in persons with chronic SCI: effects on functional walking ability and measures of subjective well-being[J]. *Spinal Cord*, 2005, 43: 291—298.
- [19] Engesser-Cesar C, Ichihama RM, Nefas AL, et al. Wheel running following spinal cord injury improves locomotor recovery and stimulates serotonergic fiber growth[J]. *Eur Neurosci*, 2007, 25: 1931—1939.
- [20] Goldshmit Y, Lythgo N, Galea MP, et al. Treadmill training after spinal cord hemisection in mice promotes axonal sprouting and synapse formation and improves motor recovery[J]. *Neurotrauma*, 2008, 25: 449—465.
- [21] Bailey SN, Hardin EC, Kobetic R, et al. Neurotherapeutic and neuroprosthetic effects of implanted functional electrical stimulation for ambulation after incomplete spinal cord injury[J]. *Rehabil Res Dev*, 2010, 47(1): 7—16.
- [22] Vaynman S, Gomez-Pinilla F. License to run: exercise impacts functional plasticity in the intact and injured central nervous system by using neurotrophins. *Neurorehabil*. *Neural Repair*, 2005, 19: 283—295.
- [23] Cotman CW, Berchtold NC, Christie LA, et al. Exercise builds brain health: key roles of growth factor cascades and inflammation[J]. *Trends Neurosci*, 2007, 30: 464—472.
- [24] Lavrov I, Gerasimenko YP, Ichihama RM, et al. Plasticity of spinal cord reflexes after a complete transection in adult rats: relationship to stepping ability[J]. *Neurophysiol*, 2006, 96: 1699—1710.
- [25] Petruska JC, Ichihama RM, Jindrich DL, et al. Changes in motoneuron properties and synaptic inputs related to step training after spinal cord transection in rats[J]. *Neurosci*, 2007, 27: 4460—4471.
- [26] 徐冬晨, 王红星, 雷晓婷, 等. 运动训练对脊髓损伤大鼠运动及神经功能恢复的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2010, 32(1): 9—12.
- [27] Postans NJ, Hasler JP, Granat MH, et al. Functional electrical stimulation to augment partial weight-bearing supported treadmill training for patients with acute incomplete spinal cord injury: A pilot study[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2004, 85(4): 604—610.
- [28] 廖麟荣, 王俊. 功能性电刺激在不完全性脊髓损伤患者步行中的应用研究进展[J]. *中国康复医学杂志*, 2011, 26(3): 286—288.
- [29] Kapadia NM, Zivanovic V, Furlan JC, et al. Functional electrical stimulation therapy for grasping in traumatic incomplete spinal cord injury: randomized control trial[J]. *Artif Organs*, 2011, 35(3): 212—216.