

表面肌电生物反馈在功能性踝关节不稳康复中的应用

黄墩兵¹, 姜财^{2,3}, 林忠华^{2,3}, 贾小飞⁴, 郑绍敏¹, 陈雨翔¹, 全俊¹, 林坚¹

【摘要】 目的:观察表面肌电生物反馈(sEMGBF)疗法对于功能性踝关节不稳(FAI)患者踝外翻功能恢复的影响。方法:选取符合标准的FAI患者50例,随机分为对照组和观察组各25例。2组患者均采用常规康复训练,对照组在常规康复训练基础上增加肌力训练,观察组在常规康复训练基础上增加sEMGBF治疗。在康复治疗前和治疗8周后,采用通过等速肌力测试评估患者的患侧踝关节腓侧肌群肌力和关节稳定性同时采用Pro-Kin 254评估其姿势稳定性。结果:治疗8周后,2组患者在60°/s和120°/s角速度下,踝外翻PT值和E/I值均较治疗前明显提高(均 $P<0.05$),且观察组在60°/s和120°/s角速度下踝外翻峰值力矩和E/I值均显著优于对照组(均 $P<0.05$);治疗8周后,2组患者运动长度、运动椭圆面积、总偏移指数和ATE值均较治疗前明显下降(均 $P<0.05$);且观察组运动长度、运动椭圆面积、总偏移指数和ATE值均低于对照组(均 $P<0.05$)。结论:sEMGBF治疗可提高FAI患者患侧踝关节腓侧肌群肌力和关节稳定性,进而改善FAI患者姿势控制能力。

【关键词】 表面肌电;生物反馈;功能性踝关节不稳

【中图分类号】 R49;R684 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2021.05.007

Application of surface electromyographic biofeedback in rehabilitation of functional ankle instability Huang Dunbing, Jiang Cai, Lin Zhonghua, et al. Rehabilitation Centre, Zhejiang Hospital, Hangzhou 310013, China

【Abstract】 **Objective:** To investigate the influence of surface electromyographic biofeedback (sEMGBF) on eversion function in patients with functional ankle instability. **Method:** A total of 50 patients with functional ankle instability were selected in the outpatient and inpatient department of the rehabilitation department, and randomly divided into two groups: the control group (25 cases) and the experimental group (25 cases). Both groups received conventional rehabilitation treatment (joint range of motion training, balance function training and muscle strength training), and the experimental group was given sEMGBF additionally. All patients were evaluated before and 8 weeks after treatment. The peak torque of fibular muscle and joint stability were assessed through isokinetic myodynamia, and postural stability was evaluated through Pro-Kin 254. **Results:** After 8 weeks of treatment, the PT of ankle valgus and E/I values increased significantly in the two groups compared with those before treatment at 60°/s and 120°/s angular velocities (all $P<0.05$), and the PT of ankle valgus and E/I values in the experimental group were significantly better than those in the control group at 60°/s and 120°/s angular velocities (all $P<0.05$); after 8 weeks of treatment, the movement length, movement ellipse area, total offset index and ATE value increased significantly in the two groups compared with those before treatment (all $P<0.05$), and movement length, movement ellipse area, total offset index and ATE value in the experimental group were significantly better than those in the control group (all $P<0.05$). **Conclusion:** The sEMGBF can improve fibular muscle myodynamia and point stability, thereby improving postural control ability of FAI patients.

【Key words】 surface electromyography; biofeedback; functional ankle instability; eversion; rehabilitation

功能性踝关节不稳(functional ankle instability, FAI)是指踝关节受到反复扭伤后,踝关节无解剖结构的松弛,但存在踝周力量缺失、本体感觉功能下降和神

经肌肉控制功能改变等一系列临床表现^[1-3]。研究表明,踝扭伤中97.6%为足内翻造成踝外侧稳定结构的损伤,尤其是腓侧肌群^[4]。然而,针对于腓侧肌群常规肌力训练是在无监测下的主动训练,其踝外翻训练往往被胫前肌收缩所代偿,导致训练效果并不理想。表面肌电生物反馈(surface electromyographic biofeedback, sEMGBF)疗法是在表面肌电图的定量、定性分析下,通过调变反射条件建立起自主控制性特异生理反射的训练技术,其疗效已得到了临床证实^[5-6]。本研究将探讨sEMGBF对FAI患者腓侧肌群力量和功

基金项目:国家自然科学基金项目(81904271);福建省科技创新联合基金项目资助(2019Y9026);福建省卫生健康科技计划项目(2019-ZQN-2)

收稿日期:2020-12-29

作者单位:1. 浙江医院康复中心,杭州 310013;2. 福建医科大学省立临床医学院,福州 350001;3. 福建省立医院康复二科,福州 350001;4. 宁夏回族自治区人民医院康复医学科,银川 750002

作者简介:黄墩兵(1993-),男,技师,主要从事运动损伤康复方面的研究。

通讯作者:林坚, Drlinjian@126.com

能的影响,为临床上进一步推广提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集2020年1月~2020年10月在本院康复医学科门诊及住院的50例FAI患者。参考国际踝关节协会提出的慢性踝关节不稳者筛选标准^[7],纳入标准:在进行本研究之前12个月,至少出现过一次严重的踝关节扭伤,并出现患侧疼痛、肿胀等症状;参加本研究前1年内单侧踝关节出现扭伤、失控和不稳的感觉2次及以上;坎伯兰踝关节不稳量表(Cumberland Ankle Instability Tool,CAIT)得分 ≤ 27 分;另一侧踝关节未出现过扭伤、失控及不稳的情况;踝关节前抽屉实验和距骨倾斜实验结果均呈阴性。排除标准:下肢曾骨折或接受手术;下肢有任何已知的机械性不稳定或急性病理症状;全身性神经肌肉系统失调、前庭系统功能异常;双侧功能性踝关节不稳定者。本研究已通过福建省立医院伦理委员会批准(K2019-03-035),所有患者均签署知情同意书。根据随机数字表分为观察组和对照组各25例。2组患者性别、损伤侧、年龄、身高、体重、BMI和CAIT等差异均无统计学意义。见表1。

1.2 方法 2组患者均采用常规康复训练,对照组在常规康复训练基础上增加肌力训练,观察组在常规康复训练基础上增加sEMGBF治疗。①常规康复训练:包括关节活动度训练,通过主动和被动关节活动训练相结合以保持踝关节活动度。20min/次,1次/d,5次/周,共8周;平衡功能训练:在平衡垫上保持单、双足站立,同时抛接球训练。20min/次,1次/d,5次/周,共8周。②肌力训练:在常规康复训练基础上再进行踝关节局部肌群力量训练,采用弹力带进行踝关节内翻/外翻抗阻训练。20次/组,2组/d,组间休息1min,5d/周,共8周。③sEMGBF治疗:在常规康复训练基础上再进行sEMGBF治疗。采用荷兰产Myomed932肌电生物反馈治疗仪,在安静的治疗室内,患者舒适坐于椅子上,治疗师先用95%的脱脂酒精擦拭患侧小腿皮肤,待其干燥后将正电极置于腓骨肌运动点的皮肤上,将负电极置于腓骨肌肌腱上,参考电极贴于中间,但3块电极互不接触。治疗前鼓励患

者努力做踝外翻动作3次,将采集到的肌电信号最高值作为基线。治疗开始后,要求患者做踝外翻同时注视显示屏上的动作提示和肌电信号,当患者的肌电信号超过基线时,仪器依次发出“刺激”、“维持”和“放松”指令,患者会受到一个外加的电刺激,踝外翻动作幅度增大,然后尽力维持该动作一段时间,最后完全放松肌肉。治疗期间当患者的自发肌电信号连续3次超过基线,仪器将在患者下一次收缩时自动调高基线至3次的均值。刺激方式为自动触发电流,频率10~50Hz,电流强度调至最大耐受为宜。患者共接受8周治疗,20min/次,1次/d,5d/周。

1.3 评定标准 ①等速肌力测试:应用Biodex System 4型多关节等速系统,患者髋、膝关节角度大约维持在45°屈曲位置,踝关节处于中立位置,并以皮带固定髋、膝关节,待受试者熟悉等速肌力测试后,让受试者在角速度以60°/s和120°/s下做5次内/外翻重复最大收缩,记录患侧踝外翻峰值力矩(peak torque,PT)和外翻/内翻峰值力矩(eversion/inversion,E/I)比值。其中,PT是指肌肉收缩产生的最大力矩,代表肌肉收缩产生的最大肌力^[8]。E/I值代表关节活动中肌肉平衡情况,间接判断关节稳定性^[9]。②姿势稳定性评估:采用Pro-Kin254评估FAI患者患足姿势控制能力,包括静态平衡能力、动态平衡能力和本体感觉。在正式测试前获得受试者患侧的压力中心(Center Of Pressure,COP)变换情况。静态平衡能力测试:锁上测试台的固定锁,患者患侧单足立于测试台上,双手自然垂于体侧,患者尽可能控制身体保持静止。静态平衡能力指标包括运动长度(mm):指COP运动轨迹的总长度,反映人体重心移动的总距离和晃动程度,其数值越大表示稳定性越差^[10]。运动椭圆面积(mm²):指COP运动轨迹所围绕的面积,反映人体重心移动的区域面积,该面积越大表示稳定性越差^[10]。动态平衡能力测试:去除测试台的固定锁,调节测试台阻力,患者单足立于测试板上,在20s时间内通过踝关节控制尽可能保持身体不动。动态平衡能力指标为总偏移指数,指患者整体偏移的位置与垂直中线形成的角度,其数值越大代表姿势控制能力越差,跌倒风险程度越高^[11]。本体感觉测试方法:去除测试台

表1 2组患者一般资料比较

组别	n	性别(例)		损伤侧(例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	身高 (cm, $\bar{x} \pm s$)	体重 (kg, $\bar{x} \pm s$)	BMI (kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	CAIT (分, $\bar{x} \pm s$)
		男	女	左	右					
观察组	25	15	10	11	14	28.6 \pm 3.8	169.2 \pm 8.1	66.5 \pm 13.0	23.0 \pm 2.8	20.6 \pm 2.7
对照组	25	10	15	10	15	27.6 \pm 4.6	168.8 \pm 8.2	63.8 \pm 16.1	22.1 \pm 4.1	21.3 \pm 2.2
统计量		$\chi^2 = 2.000$		$\chi^2 = 0.082$		$t = 0.843$	$t = 0.156$	$t = 0.667$	$t = 0.914$	$t = -1.034$
P		0.157		0.774		0.403	0.877	0.508	0.365	0.307

的固定锁,调节测试台阻力为第“5”档,圈数为“5”,患侧单足立于测试台上,健足站立于测试台外,根据显示器上蓝色曲线轨迹,控制足部斜板运动,在最短时间内(最长不超过 120s)完成 5 次圆周运动,电脑自动记录评估耗时和平均轨迹误差(average track error, ATE)。ATE=(患者踝足控制光标所描记轨迹长度-理想轨迹长度)/理想轨迹长度。ATE 值越小代表患者运动控制能力越强,本体感觉越好^[12]。为避免因临床因素和主观因素造成的误差,以上所有疗效评估均由同一名治疗师完成。

1.4 统计学分析 所有数据采用 SPSS 21.0 统计软件进行分析。计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,计数资料比较采用 χ^2 检验,组间比较采用独立样本 t 检验,组内比较采用配对样本 t 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

治疗前 2 组患者在 $60^\circ/s$ 和 $120^\circ/s$ 角速度下,踝外翻 PT 和 E/I 值组间差异均无统计学意义;治疗 8 周后,2 组患者在 $60^\circ/s$ 和 $120^\circ/s$ 角速度下,踝外翻 PT 值和 E/I 值均较治疗前明显提高(均 $P < 0.05$),且观察组在 $60^\circ/s$ 和 $120^\circ/s$ 角速度下踝外翻 PT 和 E/I 值均显著高于对照组(均 $P < 0.05$)。见表 2。

治疗前 2 组患者运动长度、运动椭圆面积、总偏移指数和 ATE 值差异无统计学意义;治疗 8 周后,2 组患者运动长度、运动椭圆面积、总偏移指数和 ATE 值均较治疗前明显下降(均 $P < 0.05$);且观察组运动长度、运动椭圆面积、总偏移指数和 ATE 值均低于对照组(均 $P < 0.05$)。见表 3。

3 讨论

踝关节反复扭伤易导致 FAI 形成,并且踝关节扭伤好发于外踝,导致腓侧肌群和韧带的损伤,而腓侧肌

群对于控制踝关节内翻及维持稳定起着重要的作用^[13-15]。研究表明 FAI 患者肌肉和韧带组织的受伤导致其中负责感受张力和位置等本体感受器和传入神经纤维破坏,外界干扰信息经传入神经传导到募集肌肉,促使募集肌肉正确收缩的时间延长。由于信息传入障碍,踝关节在触地后踝关节周肌肉无法对踝关节异常位置产生正确收缩反应,导致踝关节失控和扭伤的发生^[16]。另有研究表明踝关节扭伤后会出现踝关节外翻肌无力和腓骨肌群延迟收缩^[17, 18]。目前,FAI 患者常用的综合康复训练以踝关节力量、本体感觉和平衡功能训练为主。本体感觉训练和平衡功能训练强调的是整体的训练方案,未能对腓侧肌群等小肌群进行针对性训练。而常规肌力训练(如弹力带抗阻训练)对于训练腓侧肌群时往往会被胫前肌等大肌群收缩所代偿,导致训练效果并不理想。sEMGBF 根据脑的可塑性理论,通过表面电极对腓侧肌群进行电刺激,经过反复向中枢神经系统提供输入冲动,使大脑皮层逐渐恢复对失能肌肉的控制,提高患者主动运动的控制能力,达到恢复运动功能的目的^[19-20]。本研究利用 sEMGBF 训练来弥补传统运动康复训练的不可检测性,通过反馈的视觉、听觉信号提高患者对目标肌肉训练的准确性,增加患者参与治疗的积极性,从而增强传统运动训练对 FAI 患者的康复疗效。

腓侧肌肉力量下降导致踝内翻控制能力的降低,是 FAI 的潜在因素^[21-22]。临床上许多治疗师认为外翻力量的薄弱是功能性不稳的重要因素之一,并将腓侧肌的力量训练作为功能性踝关节不稳的主要训练方案^[23]。如何提高腓侧肌力训练效果是目前亟需解决的临床问题。本研究结果表明干预 8 周后 sEMGBF 组患者外翻肌 PT 值大于常规训练组,结果提示 sEMGBF 训练可有效改善 FAI 患者踝外翻肌力。既往研究表明 sEMGBF 通过主动反复刺激、收缩,使神经、肌肉细胞发生兴奋,促使中枢神经系统释放内源性

表 2 2 组患者等速肌力评定治疗前后比较

$\bar{x} \pm s$

组别	n	踝外翻 PT				E/I 值			
		$60^\circ/s$		$120^\circ/s$		$60^\circ/s$		$120^\circ/s$	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
对照组	25	15.4±2.8	19.7±1.0 ^a	11.9±2.9	14.5±0.7 ^a	78.1±2.0	84.4±1.2 ^a	70.4±2.2	73.9±1.2 ^a
观察组	25	15.5±1.0	24.1±3.1 ^{ab}	12.3±0.9	17.8±1.3 ^{ab}	79.3±1.5	89.6±1.7 ^{ab}	70.7±1.0	78.4±2.3 ^{ab}

与治疗前比较,^a $P < 0.05$;与对照组治疗后比较,^b $P < 0.05$

表 3 2 组患者姿势稳定性评估治疗前后比较

$\bar{x} \pm s$

组别	例数	运动长度(mm)		运动椭圆面积(mm ²)		总偏移指数		ATE	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
对照组	25	1039.5±83.3	905.6±24.4 ^a	664.4±75.0	552.2±13.8 ^a	2.2±0.2	1.8±0.1 ^a	20.9±1.2	17.9±0.7 ^a
实验组	25	1020.9±68.8	807.0±49.8 ^{ab}	656.2±14.5	484.6±49.4 ^{ab}	2.2±0.1	1.6±0.1 ^{ab}	20.5±1.2	15.9±0.7 ^{ab}

与治疗前比较,^a $P < 0.05$;与对照组治疗后比较,^b $P < 0.05$

啡,提高肌群神经肌肉功能恢复和力量控制,有效提高患者康复训练疗效^[24]。FAI患者内/外翻肌力出现不同程度降低,外翻肌力缺失程度大于内翻肌力(即E/I值降低),导致踝关节侧面力学上的不平衡。正常的E/I值能促使外翻和内翻肌力保持平衡,维持肌群之间协调性,对于保持踝关节侧面稳定性,防止运动中较弱肌群的拉伤和降低踝关节受伤概率具有重要的意义^[25]。本研究结果提示sEMGBF通过提高腓侧肌PT值改善踝关节E/I值,从而维持踝关节侧方稳定性,降低了踝关节受伤风险。在对FAI患者进一步的姿势稳定性评估发现,sEMGBF能有效提高FAI患者单足静态平衡能力、动态平衡能力和本体感觉,从而进一步对上述结果予以验证。分析原因来源可能在于:①患者通过肌电信号反馈来加强腓侧肌群的肌力和神经肌肉控制,增强踝关节外侧结构的稳定性,减少了外踝扭伤的风险。②外踝反复扭伤致本体感受器和传入神经破坏,肌肉对异常位置正确收缩的反应时间延长,增加踝关节失控、扭伤的发生率。而sEMGBF训练可增加运动皮质的信号输入,通过不断刺激运动皮质并建立新的感觉兴奋痕迹,加强中枢神经系统对于目标肌肉的控制,减少了肌肉在失稳状态下正确收缩的反应时间。

综上所述,sEMGBF通过强化肌肉训练能有效提高腓侧肌肌力,改善踝关节侧方动态稳定结构的平衡,增强FAI患者姿势控制能力,减少踝关节扭伤和跌倒风险。但是目前sEMGBF在FAI患者训练中的应用尚不成熟,还需做大样本、多中心的临床研究及实验总结对本研究结果予以进一步的验证。

【参考文献】

- [1] Raymond J, Nicholson LL, Hiller CE, et al. The effect of ankle taping or bracing on proprioception in functional ankle instability: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Sci Med Sport*,2012,15(5):386-392.
- [2] Fox J, Docherty CL, Schrader J, et al. Eccentric plantar-flexor torque deficits in participants with functional ankle instability[J]. *J Athl Train*, 2008,43(1):51-54.
- [3] Delahunt E, Monaghan K, Caulfield B. Altered neuromuscular control and ankle joint kinematics during walking in subjects with functional instability of the ankle joint[J]. *Am J Sports Med*, 2006, 34(12):1970-1976.
- [4] 朱燕,陈永强,丁莹,等. 功能性踝关节不稳的运动员与非运动员踝内外翻肌等速向心及等速离心测试的比较分析[J]. *中国康复医学杂志*,2012,27(5):437-441.
- [5] 陈建,李硕,闫成龙. 表面肌电生物反馈结合本体感觉神经肌肉促进技术治疗脑卒中患者足下垂的临床观察[J]. *中国康复医学杂志*, 2016,31(8):899-902.
- [6] Govil K, Noohu MM. Effect of EMG biofeedback training of gluteus maximus muscle on gait parameters in incomplete spinal cord injury[J]. *NeuroRehabilitation*,2013,33(1):147-152.
- [7] Gribble PA, Delahunt E, Bleakley CM, et al. Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the International Ankle Consortium[J]. *J Athl Train*, 2014, 49(1):121-127.
- [8] 范建中,彭楠,杨哲,等. 正常女青年膝关节等速屈伸肌力测试的研究[J]. *中华物理医学与康复杂志*,2000,22(5):25-27.
- [9] 张阳,张秋霞. 单侧功能性踝关节不稳者两侧踝内外翻等速肌力差异性的研究[J]. *北京体育大学学报*,2013,36(12):88-92.
- [10] 王盛,杨菊,朱奕,等. 平衡反馈训练仪用于脑损伤偏瘫患者静态平衡测试的信度与效度研究[J]. *中国康复医学杂志*,2011,26(11):1035-1038.
- [11] Gunay US, Altas EU, Ozer KD. Comparison of the spinal characteristics, postural stability and quality of life in women with and without osteoporosis[J]. *J Orthop Sci*,2020,25(6):960-965.
- [12] 韩肖华,谢凌峰,黄晓琳. 移动式平板训练对踝关节扭伤后本体感觉的影响[J]. *中国康复医学杂志*,2012,27(6):547-550.
- [13] Sierra-Guzmán R, Jiménez F, Abián-Vicén J. Predictors of chronic ankle instability: Analysis of peroneal reaction time, dynamic balance and isokinetic strength[J]. *Clin Biomech*,2018,54(1):28-33.
- [14] Hopkins JT, Brown TN, Christensen L, et al. Deficits in peroneal latency and electromechanical delay in patients with functional ankle instability[J]. *J Orthop Res*,2009,27(12):1541-1546.
- [15] Lotito G, Pruvost J, Collado H, et al. Peroneus quartus and functional ankle instability[J]. *Ann Phys Rehabil Med*,2011,54(5):282-292.
- [16] Hertel J. Sensorimotor deficits with ankle sprains and chronic ankle instability[J]. *Clin Sports Med*,2008,27(3):353-370.
- [17] Hoch MC, McKeon PO. Peroneal reaction time after ankle sprain: A systematic review and meta-analysis[J]. *Med Sci Sports Exerc*,2014,46(3):546-556.
- [18] Arnold BL, Linens SW, de la Motte SJ, et al. Concentric evertor strength differences and functional ankle instability: a meta-analysis[J]. *J Athl Train*, 2009,44(6):653-662.
- [19] 杜宁,崔松子,王自强,等. 表面肌电联合生物反馈在脊髓损伤踝背伸功能康复中的应用[J]. *中国康复医学杂志*,2018,33(10):1188-1189.
- [20] Ko Y, Ha H, Bae Y H, et al. Effect of space balance 3D training using visual feedback on balance and mobility in acute stroke patients[J]. *J Phys Ther Sci*,2015,27(5):1593-1596.
- [21] Hamstra-Wright KL, Huxel Bliven K. Effective exercises for targeting the gluteus medius[J]. *J Sport Rehabil*,2012,21(3):296-300.
- [22] Van Deun S, Staes FF, Stappaerts KH, et al. Relationship of chronic ankle instability to muscle activation patterns during the transition from double-leg to single-leg stance[J]. *Am J Sports Med*,2007,35(2):274-281.
- [23] Caulfield BM, Garrett M. Functional instability of the ankle: differences in patterns of ankle and knee movement prior to and post landing in a single leg jump[J]. *Int J Sports Med*,2002,23(1):64-68.
- [24] Knutson JS, Chae J. A novel neuromuscular electrical stimulation treatment for recovery of ankle dorsiflexion in chronic hemiplegia: a case series pilot study[J]. *Am J Phys Med Rehabil*,2010,89(8):672-682.
- [25] 高敏,梁英,王萍芝,等. 动静态平衡仪评定踝关节稳定性的信效度研究[J]. *中国康复*,2015,30(6):451-454.