

悬吊训练对慢性腰痛患者运动皮质区神经网络的影响*

李 鑫¹ 黎志成¹ 梁文钊¹ 李 乐¹ 王楚怀^{1,2}

摘要

目的:研究悬吊训练对慢性腰痛(chronic low back pain, cLBP)患者运动皮质区神经网络的影响。

方法:招募20例cLBP患者和与之年龄等特征相匹配的10例健康对照者,对cLBP患者进行2周悬吊训练干预。使用经颅磁刺激技术记录干预前后cLBP患者和健康对照组多裂肌的运动诱发电位,经过数据处理绘制脑部地形图;干预前后对cLBP患者进行数字疼痛评分法(numerical pain rating scale, NPRS)、Oswestry残疾指数(Oswestry disability index, ODI)和平衡功能评估。

结果:2周悬吊训练干预后,cLBP患者运动皮质代表区地形图与干预前比较向外侧和向前侧移动,接近健康对照组;治疗干预后NPRS分数和ODI与干预前相比均具有显著性差异($P < 0.05$);平衡功能未出现显著性差异($P > 0.05$)。

结论:该研究揭示了悬吊训练可以逆转cLBP患者运动皮质神经网络的适应性改变。

关键词 慢性腰痛;经颅磁刺激;悬吊训练;神经可塑性

中图分类号:R493,R681.5 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2022)-02-0183-05

Influence of sling exercise on motor cortex neural network in patients with chronic low back pain/LI Xin, LI Zhicheng, LIANG Wenzhao, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2022, 37(2): 183—187

Abstract

Objective: To explore the influence of sling exercise on motor cortex neural network in patients with chronic low back pain (cLBP).

Method: Twenty cLBP patients and age-matched 10 healthy controls were recruited. Two weeks sling exercise intervention was performed on cLBP patients. Transcranial magnetic stimulation (TMS) was used to record the motor evoked potential of multifidus muscle (MF) in cLBP patients and healthy controls before and after intervention, and the data were processed to produce the brain mapping. Numerical Pain Rating Scale (NPRS), Oswestry Disability Index (ODI) and balance function assessment were performed on cLBP patients before and after the intervention.

Result: After two weeks, sling exercise induced an anterior and medial shift in motor cortical representation of MF, towards that observed in healthy individuals. NPRS score and ODI were significantly different after the intervention ($P < 0.05$). There was no significant difference in balance function ($P > 0.05$).

Conclusion: Sling exercise can reverse the adaptive changes in motor cortex neural networks in people with cLBP.

Author's address Department of Rehabilitation Medicine, The First Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510080

Key word chronic low back pain;transcranial magnetic stimulation;sling exercise;neuroplasticity

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.02.007

*基金项目:国家自然科学基金项目(81772434);广州市科技计划产学研重大专项(201704020122)

1 中山大学附属第一医院,广东省广州市,510080; 2 通讯作者

第一作者简介:李鑫,女,硕士,主管技师; 收稿日期:2020-12-03

近几年国内外的腰痛指南均显示,运动疗法是治疗慢性腰痛(chronic low back pain, cLBP)的有效手段之一,特别是核心稳定控制训练^[1-2]。悬吊式核心稳定控制训练是近几年研究较多的腰痛治疗方法,研究结果显示,悬吊式核心稳定控制训练可以有效减轻cLBP患者的疼痛,增强核心稳定肌的肌力,提高姿势控制能力^[3-5]。但是这种外周干预手段对cLBP患者有效的机制并不清楚。最近的多项研究分析显示,cLBP患者会出现背外侧前额叶皮质、颞叶、岛叶、楔叶、丘脑、初级躯体感觉皮层、皮质运动区等部位脑实质改变的现象^[6-8]。但是,外周干预的悬吊训练是否对cLBP患者产生了脑部神经网络的影响,产生了怎样的影响,截至目前,还没有相关报道,这就是本研究的目的。一项研究显示,生物压力反馈仪的不同压力值可以不同程度地激活腹横肌和多裂肌^[9],因此本研究利用生物压力反馈仪激活多裂肌使运动皮质区易化,同时结合经颅磁刺激技术(transcranial magnetic stimulation, TMS)记录由TMS刺激引起的多裂肌的运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)^[10-11],来研究分析受试者脑部神经网络的兴奋性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究通过招募广告和本院门诊招募cLBP患者。样本量确定:检验水准 $\alpha=0.05$,检验功效 $1-\beta=0.9$,参照既往研究^[12],均差值为0.18,变异指标为0.23,得出需要20例受试者。纳入标准:①20岁—45岁;②BMI在正常范围:18.5—25.0;③数字疼痛评分法(numerical pain rating scale, NPRS),3分—7分;④腰/骶部疼痛持续/间断时间 ≥ 3 个月;⑤MRI/CT显示无腰椎间盘突出、骨折、肿瘤及结构异常等;⑥右利手。

排除标准:①脊柱有骨折、脱位、严重创伤者;②腰部软组织有肿瘤、结核者;③腰椎发生融合椎及严重骨质疏松者;④脊柱有外科手术史者;⑤有严重心、肝、肾、造血系统等原发疾病以及精神病患者;⑥妊娠、哺乳期、月经期以及有长期痛经的女性;⑦由于恐惧无法完成试验者。

健康对照组是年龄、性别等一般特征与cLBP

患者匹配的健康受试者,采用1:2配对,共招募10例受试者。纳入标准:①20—45岁;②BMI在正常范围:18.5—25;③近6个月内无疼痛经历,未服用解热镇痛类、镇静催眠类药物;④右利手。

该试验已通过中山大学附属第一医院伦理委员会审查(批件号:伦审[2020]460号),所有受试者均签署知情同意书。

1.2 试验设备

1.2.1 经颅磁刺激:本试验采用8字形线圈(外环直径70mm)TMS(依瑞德,中国武汉)连接磁刺激器进行磁刺激,可产生2.0T的最大刺激输出。采用TMS设备上的表面电极(依瑞德,中国武汉)采集多裂肌的表面肌电信号。用磨砂膏和75%酒精处理皮肤后,将一次性Ag/AgCl表面电极按照SENIAM推荐的欧洲通用标准进行放置^[13],cLBP患者测试患侧,健康对照组分别测试两侧。电极间距为2cm,地极金属片用水湿润后夹在同侧手臂上。

1.2.2 生物压力反馈仪:使用生物压力反馈仪(Chattanooga Group Inc., USA)监测多裂肌的收缩。受试者坐位,将生物压力反馈仪的气囊放置在肩胛骨内侧缘的水平,嘱受试者缓慢地后伸腰椎将气囊压到 50 ± 2 mmHg使多裂肌收缩来易化皮质运动区的MEP,这个压力范围受试者易完成且不会产生疲劳^[9]。

1.3 运动皮质区神经兴奋性评估

1.3.1 试验过程:标准网格定位帽的设定是从中央中线顶点(水平方向虚线为两耳前凹之间的连线,垂直方向虚线为鼻根至枕骨粗隆的连线,两者相交的点为顶点)向后2cm,向前4cm,向两侧7cm,形成一个 42×2 的网络系统^[11]。受试者舒适的坐在有靠背的椅子上,双手自然放在双腿上,将制定好的网格定位帽戴在受试者头上,刺激线圈置于贴有电极片的多裂肌的对侧大脑半球并与颅骨相切,线圈手柄所在轴线与受试者正中中线保持 45° 夹角。从70%最大输出强度开始触发,找到受试者多裂肌的最佳刺激点,确定最佳刺激点后,将刺激强度慢慢减少或者增加,确定静息运动阈值(rest motor threshold, RMT)。用生物压力反馈仪监测多裂肌收缩,将刺激强度调整到120%RMT,在每个 1×1 cm的网格上连续刺激10次,刺激间隔至少为5秒,连续10次刺

激中至少5次MEP波幅 $\geq 50\mu\text{V}$ 才认为是有效的触发,保存有效刺激MEP波幅以备后续数据处理^[6,11-12]。

1.3.2 数据处理:本研究通过多裂肌MEP的波幅绘制的地形图来评估运动皮质代表区神经网络的兴奋性。每个格子的 ≥ 5 个MEP波幅的平均值为该处的波幅,然后将每个格子的平均波幅除以最大的波幅,即对每个格子的波幅进行标准化处理,标准化的波幅用于绘制地形图和计算地形图质心的位置。质心的位置是多裂肌MEP波幅加权后的总和,计算公式^[14]为: $CoG = \sum z_i x_i / \sum z_i, \sum z_i y_i / \sum z_i$, (其中 x_i 是指中线到两侧的距离, y_i 是指中线前后的距离, z_i 是指每个格子标准化的波幅,单位均为cm)。

1.4 疼痛程度、功能障碍和平衡功能评估

疼痛强度采用NPRS评估,评分范围为0—10分,0分为无疼痛,10分为严重疼痛。疼痛相关的功能障碍采用中文版的Oswestry功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)进行评估,ODI总分范围为0—100分,0分为无功能障碍,100分为最严重的功能障碍。使用平衡功能训练仪(PK252,江苏天瑞)对受试者平衡功能进行评估,受试者患侧脱鞋脱袜单腿站立30s,记录患者重心前后、左右移动的速度,重心轨迹移动的椭圆面积和运动长度,测3次,最终取平均值。

1.5 治疗方法

悬吊训练组受试者先进行仰卧搭桥、俯卧搭桥、侧卧外展和侧卧内收四种姿势进行评估^[15],找到弱链,针对2—3条肌肉弱链进行训练,根据循序渐进的训练原则,在仰卧位、左/右侧卧位和俯卧位等训练姿势上不断增加难度,减少支撑。每次20min,每周5次,连续干预2周。

1.6 统计学分析

本试验使用SPSS 25.0版本进行统计处理,定量资料以均数 $\pm$ 标准差表示,对数据进行正态性检验。两组受试者一般特征、干预前后的NPRS、ODI和平衡能力的比较采用配对 t 检验进行分析;cLBP组干预前后和健康对照组三者地形图质心在网格上X轴和Y轴的比较采用单因素方差分析法(one-way ANOVA);地形图使用Python3.7软件进行编程制作。设定 $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

2 结果

2.1 一般资料

所有受试者均成功完成试验。cLBP患者和健康对照组的一般特征资料见表1,经统计分析,两组一般特征均无显著性差异($P > 0.05$)。

2.2 两组受试者多裂肌在运动皮质代表区的地形图

图1结果显示,2周悬吊训练干预后,cLBP患者运动皮质代表区地形图与干预前比较向外侧和向前侧移动,并且接近健康对照组。

2.3 受试者多裂肌运动皮质代表区地形图参数

表2结果显示,与健康对照组相比,cLBP患者右侧大脑半球在X轴和Y轴方向上质心的位移具有显著性差异($P < 0.05$),而左侧大脑半球没有显著性差异($P > 0.05$)。与治疗干预前相比,治疗干预后cLBP患者右侧大脑半球在X轴方向上质心的位移具有显著性差异($P < 0.05$),而左侧大脑半球和Y轴方向上没有显著性差异($P > 0.05$)。

2.4 cLBP患者干预前后NPRS、ODI和平衡能力

表3结果显示,治疗干预后NPRS和ODI与治疗前相比均具有显著性意义($P < 0.05$)。表4结果显示,治疗干预后平衡功能评估中的前后速度、左右

表1 受试者一般资料比较 ($\bar{x} \pm s$)

特征参数	cLBP组	健康对照组	F值	P值
例数	20	10	-	-
性别(男/女)	10/10	5/5	-	-
受试侧(左/右)	9/11	10/10	-	-
年龄(岁)	30 $\pm$ 4	28 $\pm$ 4	1.151	0.292
身高(cm)	169.4 $\pm$ 9.3	167.4 $\pm$ 8.8	0.301	0.588
体重(kg)	64.1 $\pm$ 11.0	60.0 $\pm$ 9.9	0.961	0.335
BMI	22.2 $\pm$ 1.9	21.2 $\pm$ 1.8	2.040	0.164
受教育程度(年)	18.9 $\pm$ 2.8	19.4 $\pm$ 2.9	1.809	0.189
疼痛持续时间(月)	29.2 $\pm$ 17.8	-	-	-

注:cLBP:慢性腰痛

图1 cLBP患者悬吊训练干预前后和健康对照组多裂肌在运动皮质代表区地形图



速度、椭圆面积和运动长度与治疗前相比均没有显著性差异($P > 0.05$)。

表2 受试者脑地形图CoG在X轴和Y轴坐标上的位置比较 ($\bar{x} \pm s$)				
	中间向外侧—X轴(cm)		前后向—Y轴(cm)	
	右侧	左侧	右侧	左侧
治疗干预前	1.99±0.84	2.93±0.82	0.64±0.70	1.17±0.67
治疗干预后	3.07±0.49 ^②	2.70±0.37	1.38±0.59	1.37±0.75
健康对照组	2.94±0.46 ^①	3.03±0.53	1.80±0.47 ^①	1.97±0.85
F值	6.788	0.874	7.601	2.224
P值	0.006	0.431	0.004	0.133

两组受试者比较,①健康对照组和cLBP患者干预前的比较,②cLBP患者干预前后的比较。

表3 cLBP患者干预前后疼痛程度和腰椎功能障碍指数的比较 ($\bar{x} \pm s$)				
特征参数	干预前	干预后	t值	P值
NPRS	4.70±1.30	1.65±0.88	9.527	<0.0001
ODI	24.30±17.18	5.75±1.29	4.513	<0.0001

注:ODI,Oswestry 功能障碍指数;NPRS,数字疼痛评分法。

表4 cLBP患者干预前后平衡功能的比较 ($\bar{x} \pm s$)				
项目	干预前	干预后	t值	P值
前后速度(mm/s)	22.32±8.87	20.78±6.39	0.397	0.532
左右速度(mm/s)	21.98±5.03	20.95±5.36	0.396	0.533
椭圆面积(mm ²)	747.90±736.86	634.90±595.58	0.284	0.597
运动长度(mm)	999.95±246.74	943.50±247.49	0.514	0.478

3 讨论

本研究采用TMS评估多裂肌在皮质运动代表区的地形图来研究悬吊训练对cLBP患者神经网络的影响,来探索外周干预的核心稳定运动控制训练对cLBP患者运动皮层的适应性改变。研究结果显示,经过2周悬吊训练干预后,cLBP患者运动皮质代表区地形图与干预前比较地形图向外侧和向前侧移动,并且接近健康对照组,临床症状上,NPRS分数和ODI与干预前相比均有明显改善,但是平衡功能未出现明显改善。该研究揭示了悬吊训练可以逆转cLBP患者运动皮质神经网络的适应性改变,这就初步找到了核心运动控制训练对cLBP患者治疗有效的神经机制,为治疗师和临床医生采用悬吊训练治疗cLBP患者提供了有力的证据。

TMS技术结合带有网格系统的定位帽可以很好地绘制靶肌肉在运动皮质代表区的地形图,而且无论是刺激强度还是肌肉激活程度都不会改变地图的形状和重心位置,具有良好的信效度^[10],但是该技

术在采集靶肌肉MEP时,需要靶肌肉在次最大肌力收缩下产生运动皮质代表区的易化才能更好的绘制地形图。最近的一项研究显示,cLBP患者在坐位特定动作下,当生物压力反馈仪的压力值为50mmHg时,可以使多裂肌产生次最大肌力收缩^[9]。因此本研究将TMS技术与生物压力反馈仪结合,用于研究悬吊训练对cLBP患者运动皮质代表区神经机制的影响。

悬吊训练因为其无痛、精准、有效的特点,被广泛应用于cLBP的治疗和研究中。悬吊训练时弹性支撑放在腰椎骨盆处,以帮助受试者始终保持脊柱的中立位,因此确保核心稳定控制训练在没有疼痛的情况下进行^[15]。渐进性进阶式运动又可通过逐渐减少弹性支撑来实现,此时将受试者置于要求高但无痛的中立位姿势,目的是激活躯干深层局部稳定肌和抑制表层整体稳定肌肉^[16-17]。目前对于悬吊训练应用于腰痛患者时对脑部网络影响的研究还很少,主要集中在悬吊训练对cLBP患者平衡能力、疼痛程度、功能障碍和肌肉活性的影响上。Ko等^[3]和Park等^[18]均对cLBP患者进行12周悬吊训练干预,发现患者的疼痛程度均明显降低,腰椎活动度和功能障碍均得到明显改善,前后和左右方向身体重心的平衡能力也有提高。疼痛程度和ODI的结果与我们的结果是一致的,但是平衡能力的结果不一致,我们的结果显示平衡功能评估中前后速度、左右速度、椭圆面积和运动长度与治疗前相比没有显著变化,这可能是因为我们的干预时间只有2周,因此睁眼状态下单腿站立的静态平衡能力没有出现明显的变化。姜华^[19]对cLBP患者进行3周悬吊训练,用同样的设备进行闭眼状态下单腿站立的静态平衡能力评估,结果显示第3周训练结束前后速度和左右速度才有明显变化,第1周和第2周的结果和我们的结果一致。

关于运动训练是否可以对cLBP患者产生M1区神经可塑性改变的问题,Tsao等^[14]选择利用TMS评估技术来绘制腹横肌在皮质运动代表区地形图。研究发现,经过2周超声引导下腹横肌的单一训练,使腹横肌地形图质心移动了0.98cm,训练后的地形图与健康个体中观察到的结果一致^[20]。研究者分析这种地形图质心的转移与腹横肌的重新激活有关,

外周腹横肌的激活引起了M1区神经可塑性的改变,而在一般性步行训练组没有观察到这种变化。我们的研究是利用TMS评估技术绘制多裂肌的脑部地形图,经过2周的悬吊训练后,地形图质心移动了1.08cm,而且更接近健康对照组。以上研究说明,激活核心肌群的运动控制训练可以逆转cLBP患者运动皮层神经网络的适应性改变,并使其达到健康人的状态。

众所周知,在脑卒中的研究中,运动训练可以重塑神经网络连接,改善大脑功能^[21],而在我们的研究中,这种外周干预对大脑中枢产生的自下而上的机制在腰痛患者的治疗上也得到了证实,这就为寻找腰痛的发生发展机制和治疗方法提供了线索:cLBP患者由于长期处于疼痛和功能障碍状态,出现了皮质运动区神经网络的适应性改变^[11,20],局部肌肉活性降低和肌肉形态出现萎缩的现象^[22],悬吊训练可以有效激活外周的局部核心肌肉,增加肌力和本体感觉的输入^[15],进而逆转了cLBP患者皮质运动区适应性改变的神经网络。这只是一种假说,还有待进一步的研究证实。另外,我们的研究只针对皮质运动区,不排除悬吊训练对其他脑区产生的影响,将来的研究我们将更深入的研究cLBP患者脑部网络结构和功能改变之间的关系。

参考文献

- [1] Maher C, Underwood M, Buchbinder R. Non-specific low back pain[J]. *Lancet*, 2017, 389(10070):736—747.
- [2] 王瑞, 王雪强. 基于循证实践的腰痛康复治疗国际指南解读与启示[J]. *中国康复医学杂志*, 2019, 34(12):1464—1469.
- [3] Ko KJ, Ha GC, Yook YS, et al. Effects of 12-week lumbar stabilization exercise and sling exercise on lumbosacral region angle, lumbar muscle strength, and pain scale of patients with chronic low back pain[J]. *J Phys Ther Sci*, 2018, 30(1):18—22.
- [4] 王欣, 田秀娟, 王金玲, 等. 悬吊运动训练治疗慢性非特异性腰痛的效果[J]. *中国康复理论与实践*, 2019, 25(4):385—389.
- [5] 邓娇, 侯为林, 迟慧. 悬吊运动训练在颈腰痛康复中的应用研究进展[J]. *中国临床新医学*, 2019, 12(12):1354—1357.
- [6] Brumagne S, Diers M, Danneels L, et al. Neuroplasticity of sensorimotor control in low back pain[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2019, 49(6):402—414.
- [7] Pelletier R, Higgins J, Bourbonnais D. Is neuroplasticity in the central nervous system the missing link to our understanding of chronic musculoskeletal disorders[J]? *BMC Musculoskelet Disord*, 2015, 16:25.
- [8] Luchtmann M, Steinecke Y, Baecke S, et al. Structural brain alterations in patients with lumbar disc herniation: a preliminary study[J]. *PLoS One*, 2014, 9:e90816.
- [9] Li X, Lo WLA, Lu SW, et al. Trunk muscle activity during pressure feedback monitoring among individuals with and without chronic low back pain[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2020, 21(1):569.
- [10] Cavaleri R, Schabrun SM, Chipchase LS. The reliability and validity of rapid transcranial magnetic stimulation mapping[J]. *Brain Stimul*, 2018, 11(6):1291—1295.
- [11] 李鑫, 葛乐, 林科宇, 等. 慢性腰痛患者和健康人多裂肌大脑运动皮质区地形图的比较[J]. *中国康复医学杂志*, 2020, 35(10):1221—1224.
- [12] Massé-Alarie H, Beaulieu LD, Preuss R, et al. Influence of paravertebral muscles training on brain plasticity and postural control in chronic low back pain[J]. *Scand J Pain*, 2016, 12:74—83.
- [13] Konrad P. ABC of EMG: a practical introduction to kinesiological electromyography[M]. Version 1.0 ed., USA: Noraxon INC, 2005:1—60.
- [14] Tsao H, Galea MP, Hodges PW. Driving plasticity in the motor cortex in recurrent low back pain[J]. *Eur J Pain*, 2010, 14(8):832—839.
- [15] Li X, Liu H, Lin K, et al. Effects of different sling settings on electromyographic activities of selected trunk muscles: a preliminary research[J]. *Biomed Res Int*, 2020, 2020:1—10.
- [16] Kim EH, Lim TH, Park SH, et al. Effect of hip abduction exercise with manual pelvic fixation on recruitment of deep trunk muscles[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2015, 94(3):201—210.
- [17] Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part 1. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement[J]. *J Spinal Disord*, 1992, 5(4):383—389.
- [18] Park H, Jeong T, Lee J. Effects of sling exercise on flexibility, balance ability, body form, and pain in patients with chronic low back pain[J]. *Rehabil Nurs*, 2017, 42(6):E1—E8.
- [19] 姜华. 浅谈非特异性腰痛患者的运动平衡康复[J]. *北京农业职业学院学报*, 2015, 29(5):44—47.
- [20] Tsao H, Galea MP, Hodges PW. Reorganization of the motor cortex is associated with postural control deficits in recurrent low back pain[J]. *Brain*, 2008, 131(8):2161—2171.
- [21] Sun Y, Zehr EP. Training-induced neural plasticity and strength are amplified after stroke[J]. *Exerc Sport Sci Rev*, 2019, 47(4):223—229.
- [22] Shadani A, Mohseni Bandpei MA, Rahmani N, et al. A comparison of the abdominal and lumbar multifidus muscle size in patients with lumbar spondylolisthesis and healthy patients at rest and during contraction using ultrasonography[J]. *J Manipulative Physiol Ther*, 2018, 41:691—697.