

不同振动条件对慢性下背痛患者腰腹部肌群表面肌电信号的影响*

董煜琳¹ 王惠芳² 郑依粒¹ 刘晓晨¹ 胡浩宇¹ 恭迪¹ 张娟¹ 宋歌¹ 王雪强^{1,3}

摘要

目的:通过施加不同条件下的振动刺激,探讨振动训练对于慢性下背痛患者腰腹部肌群表面肌电信号的影响。利用表面肌电分析的方法,寻求最佳的振动频率和运动方式。

方法:采用MyoResearch XP Master Software Version 1.07.17表面分析系统测试21例慢性下背痛患者腰腹部肌肉的肌电信号。所有受试者分别在振动频率为0Hz、5Hz、10Hz、15Hz下完成平板支撑、侧撑、V字支撑三个动作。

结果:①竖脊肌的表面肌电值:在不同动作之间均有显著性差异($P < 0.05$),在平板支撑和V字支撑的情况下,不同频率之间具有显著性差异($P < 0.05$)。②腹外斜肌的表面肌电值:在四种频率的情况下,不同动作之间均有显著性差异($P < 0.05$),平板支撑和侧撑的情况下,不同频率之间具有显著性差异($P < 0.05$)。③腹直肌的表面肌电值:在0Hz和5Hz的情况下,不同动作之间均有显著性差异($P < 0.05$),在三组动作的情况下,不同频率之间均没有显著性差异($P > 0.05$)。

结论:不同振动条件的刺激,对慢性下背痛患者腰腹部肌群影响不同。竖脊肌最佳的振动频率为15Hz,最佳的振动动作为侧撑;腹外斜肌最佳的振动频率为15Hz,最佳的振动动作为V字支撑;腹直肌的振动动作为V字支撑,就不同频率而言,虽然腹直肌随着频率的增高,放电量逐渐增加,但是不会对肌肉产生显著性影响。

关键词 表面肌电;全身振动;腰腹部肌群;慢性下背痛

中图分类号:R685, R493 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2018)-03-0297-07

Analysis of surface electromyography of lumbo-abdominal muscles in patients with chronic low back pain under different vibration conditions/DONG Yulin, WANG Huifang, ZHENG Yili, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2018, 33(3): 297—303

Abstract

Objective: To explore the influence of vibration stimulation on chronic low back pain patients lumbo-abdominal major muscles under different vibration stimulation conditions, and to determine the best vibration frequency and location by surface electromyography (sEMG) analysis.

Method: sEMG signals from the lumbo-abdominal major muscles of 21 chronic low back pain patients were measured with the MyoResearch XP Master Software Version 1.07.17. Each subjects performed 3 exercises on 0Hz, 5Hz, 10Hz, 15Hz a vibration platform: plank, side stay and the "V" crunch.

Result: ①The surface electromyography of erector muscles showed significant difference between different exercises ($P < 0.05$). Under plank and "V" crunch, there were significant differences between different frequency ($P < 0.05$). ②The external oblique surface EMG values: in the four case of frequency, there were significant

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2018.03.009

*基金项目:国家自然科学基金青年项目(81501956);上海市科委青年科技英才扬帆计划项目(15YF14114000);上海市教委科研创新项目(15ZZ084);上海市人类运动能力开发与保障重点实验室资助项目(11DZ2261100);上海体育学院研究生国(境)外访学计划资助项目(stfx20170106)

1 上海体育学院,上海,200438; 2 上海市阳光康复中心; 3 通讯作者

作者简介:董煜琳,女,硕士研究生; 收稿日期:2017-08-28

differences between different exercises ($P < 0.05$). Under plank and side stay conditions, there were significant differences between different frequency ($P < 0.05$). ③The surface electromyography of rectus abdominis muscle: there were significant differences between different movements ($P < 0.05$) under 5Hz and 0Hz. There was no significant difference in frequency between three groups ($P > 0.05$).

Conclusion: Different vibration stimulation conditions has different effects on the lumbo-abdominal major muscles in patients with chronic lower back pain. Erector muscles: the best frequency of vibration is 15Hz, the best exercise is side stay. External oblique: the best frequency of vibration is 15Hz, the best exercise is side stay. Rectus abdominis: the best exercise on the vibration platform is "V" crunch. Although the rectus abdominis discharge capacity had increased with increasing frequency, but the muscles were not activated significantly.

Author's address Shanghai University of Sports, Shanghai, 200438

Key word surface electromyography; whole-body vibration; lumbo-abdominal muscles; chronic low back pain

振动刺激作为一种新兴的物理方法,在国外已经应用在运动训练和康复治疗等多个领域^[1]。在治疗腰痛方面,国内外诸多研究集中于振动的位置、振动频率,局部的肌肉振动刺激有利于提高腰痛患者躯干的神经肌肉控制能力,改善本体感觉^[2-3]。不同参数的全身振动训练,影响着治疗和训练效果。目前,国外虽有采用表面肌电图评价腰背部功能的研究报道^[4-5],但是有关慢性下背痛患者在不同条件下振动训练时,腰腹部肌群的活动水平及其募集情况的研究较少。本研究采用表面肌电测量技术,动态观察21例慢性下背痛患者在不同条件的振动平台上训练时,腰腹部肌群表面肌电信号的募集与激活情况,为临床治疗慢性下背痛提供理论依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选择2016年12月—2017年3月,在上海上体伤骨科医院就诊并自愿参加本研究的慢性下背痛患者21例。其中男11例,女10例,年龄20—28岁,平均(22.4±2.23)岁,平均体重为(61±9.45)kg,平均身高为(168.86±8.3)cm,病程时间较长(≥3个月)。受试者对实验均知情同意,并签署知情同意书,实验方案经上海体育学院伦理委员会批准。

1.1.1 纳入标准:①受试者皆为生命体征稳定,意识清醒,无认知障碍者;②年龄为18—60岁,能听懂语言且愿意配合者;③有或曾有腰痛病程≥3个月;④研究期间不会更改正在使用的药物种类。

1.1.2 排除标准:①严重的心、肝、肾、肺功能不全者,肿瘤者、孕妇、术后功能障碍者;②既往有智能障

碍者;③既往有精神疾病者或长期使用镇静剂者;④既往有心脑血管疾病者;⑤影响受试者肌肉骨骼系统方面的疾病,如严重的关节炎,骨性椎管狭窄、强直性脊柱炎、骨折、脱位、结构异常等;⑥内脏疾病所致的腰痛;⑦视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)(分数1—10)超过8分;⑧近期接受过核心稳定性训练;⑨测试前24h内无剧烈运动。凡符合以上一类,均不可纳入实验。

1.1.3 退出标准和管理:退出标准:①研究对象提出这样的请求;②研究对象发生了严重的疾病,如中风或心脏疾病;③在全身振动训练期间患者发生了负面事件。管理:①受试者被脱落,应当及时采取电话、上门等沟通方式尽可能与被脱落受试者取得联系,询问理由,尽可能完成所能完成的评估项目;②因试验中出现不良反应或是治疗无效等原因而退出试验的病例,应当根据受试实际情况采取相应医疗措施;③试验初始,患者一旦取得随机号码,之后不管诊断如何、治疗是否完成,都会成为试验观察的对象。

1.2 方法

1.2.1 试验器材:①振动系统:全身振动训练仪器(AV-009;BODYGREEN, Taiwan, China),仪器振动频率范围为5—35Hz,振幅为2mm。②EMG系统:MyoResearch XP Master Software Version 1.07.17(Noraxon Inc., Scottsdale, USA)表面肌电图测试和分析系统。采用一次性银/氯化银电极,电极粘贴方法参照欧洲联盟推荐标准进行电极定位、固定。

1.2.2 实验方案:将三组运动方式(平板支撑、侧撑、V字支撑)与频率(0Hz, 0mm; 5Hz, 2mm; 10Hz, 2mm; 15Hz, 2mm)组成12组动作,每一例受试者随

机抽取这12组动作,完成测试。在受试者正式开始测试前,将由同一康复治疗师指导受试者熟悉动作,每个动作熟悉3遍,即可开始测试。每一组动作要求受试者保持10s,与此同时记录10s的表面肌肉电信号,每组休息60s。

①平板支撑:俯卧,双侧小腿置于地板上,双上肢弯曲撑于振动台上,保持双侧肩部、髋部、膝部置于同一直线。②侧撑:右手弯曲侧撑于振动台上,双下肢位于地板上,肩部、髋部、膝部、脚尖形成一条斜线,左手放于体侧。头部保持自然状态,眼睛平视前方。③V字支撑:端坐于振动台上,双下肢伸直抬起与地面保持45°夹角,双手位于髂前上棘稍向后的位置支撑上身,上身挺直,保持动作。

1.2.3 表面电极放置^[4-5]:选取的腰腹部肌肉分别为竖脊肌上部(左右)、腹直肌(左右)、腹外斜肌(左右)。剃除测试区域皮肤汗毛,用细砂纸和75%医用酒精擦拭皮肤。①竖脊肌,双侧髂嵴连线中点旁开2cm处放置一测量电极片,另一测量电极片与该电极片间距为2cm,并与脊柱中线平行,参考电极置于测量电极中点外侧2cm处;②腹直肌,于身体中线旁开2cm,脐上方1cm处及3cm处各放置一测量电极片,两测量电极片中心间距2cm,参考电极置于测量电极中点外侧2cm处;③腹外斜肌,髂前上棘的地面垂直线与肚脐的地面平行线的交点处放置一测量电极片,于该点内上方45°方向放置另一测量电极片,两测量电极片中心间距2cm,参考电极置于测量电极中点外侧2cm处。电极均用医用胶布固定于皮肤表面,以防止在运动过程中电极松脱造成人为的干扰。

1.2.4 振动台是否干扰肌电测试:测试当日,被受试肌肉放松静坐于振动仪旁边,采集肌肉电信号10s。振动频率分别为0Hz,0mm;5Hz,2mm;10Hz,2mm;15Hz,2mm。分别计算各次测试肌电的RMG(rms)值,并进行多重比较分析,结果显示各组间均无显著性差异。因此证明,振动仪器本身及其频率调节对表面肌电均不产生显著影响。

1.3 数据采集与分析

sEMG分析:肌肉电活动的记录,采用MyoResearch XP Master Software Version 1.07.17表面肌电图和配套的无线数据收集装置,进行数据搜集。采样频率为1500Hz,上述12组运动各持续10s,并

记录10s的肌电原始信号。利用Matlab软件程序对原始的肌肉电信号进行10—500Hz的噪音处理^[6],并提取第3—第7秒的数据,对原始信号进行去除基线、解调、平滑处理,解调过程对信号取绝对值,得出第3—第7秒肌电数据平均值。并选用表面肌电均方根(root mean square, RMS)值计算,RMS值代表肌肉激活程度^[7]。其数值越大表明肌肉激活的越多。

1.4 统计学分析

将收集得到的数据采用Office Excel 2003与SPSS 17.0版统计软件进行统计分析:①分析受试者腰腹部肌群在不同频率之间的肌电信号,结果以均数±标准差表示,采用单因素测量方差分析;②分析受试者腰腹部肌群在不同动作之间的肌电信号,结果以均数±标准差表示,采用单因素测量方差分析。

2 结果

2.1 不同的振动刺激对竖脊肌的诱发激活特征

从不同频率来看:在平板支撑和V字支撑的情况下,不同频率之间均有显著性差异($P < 0.05$)。频率为15Hz,肌肉的RMS值最高。侧撑的动作,不同频率之间没有显著性差异($P > 0.05$)。从不同动作来看:四种频率的情况下,不同动作之间均有显著性差异($P < 0.05$)。侧撑的动作,肌肉的RMS值最高。见表1。

2.2 不同的振动刺激对腹外斜肌的诱发激活特征

从不同频率来看:在平板支撑和侧撑的情况下,不同频率之间均有显著性差异($P < 0.05$)。其中频率为15Hz,肌肉的RMS值最高。V字支撑的动作,不同频率之间没有显著性差异($P > 0.05$)。从不同动作来看:四种频率的情况下,不同动作之间均有显著性差异($P < 0.05$)。0Hz的情况下,动作为侧撑,肌肉的RMS值最高;在振动的情况下,动作为V字支撑,肌肉的RMS值最高。见表2。

2.3 不同的振动刺激对腹直肌的诱发激活特征

从不同频率来看:三组动作的情况下,不同频率之间均没有显著性差异($P > 0.05$)。从不同动作来看:在0Hz和5Hz的情况下,不同动作之间均有显著性差异($P < 0.05$),其中动作为V字支撑,肌肉的RMS值最高。在频率为10Hz和15Hz的情况下,不同动作之间均没有显著性差异($P > 0.05$)。见表3。

表1 不同振动条件下竖脊肌的表面肌电RMS值 $(\bar{x}\pm s, \mu V)$

运动方式	0Hz	5Hz	10Hz	15Hz	P值
平板支撑	11.83±1.75	19.25±3.20	26.37±4.27	29.10±1.80	0.000
侧撑	60.50±8.31	72.08±8.12	78.56±7.55	90.43±11.05	0.122
V字支撑	16.82±1.39	30.80±6.23	33.58±2.23	40.51±2.58	0.000
P值	0.000	0.000	0.000	0.000	

表2 不同振动条件下腹外斜肌的表面肌电RMS值 $(\bar{x}\pm s, \mu V)$

运动方式	0Hz	5Hz	10Hz	15Hz	P值
平板支撑	45.25±4.22	56.69±6.11	71.45±6.11	78.31±3.92	0.000
侧撑	67.65±7.62	20.86±1.94	122.91±20.75	155.03±27.68	0.006
V字支撑	50.74±5.63	80.45±11.50	148.74±43.62	262.87±108.40	0.060
P值	0.000	0.000	0.000	0.028	

表3 不同振动条件下腹直肌的表面肌电RMS值 $(\bar{x}\pm s, \mu V)$

运动方式	0Hz	5Hz	10Hz	15Hz	P值
平板支撑	84.72±14.88	80.72±11.30	110.15±17.19	125.32±17.98	0.143
侧撑	60.56±12.33	73.33±13.51	193.34±97.16	218.31±114.90	0.337
V字支撑	92.97±16.61	110.03±18.33	195.10±50.83	230.40±74.74	0.121
P值	0.002	0.000	0.103	0.154	

3 讨论

3.1 全身非特异性振动训练治疗慢性下背痛的研究概述

慢性下背痛(chronic nonspecific low back pain, CNLBP)是一类生活中常见的腰部症状,是所有健康问题中最常见、费用最高和造成功能障碍最多的问题之一,且发病呈现年轻化、严重化和逐年增多的趋势。流行病学表明:LBP的发病率高达84%,其中CNLBP为23%,致残率达11%—12%^[8-9]。可见,由此引发的劳动力丧失,将会是一项非常严重的社会经济问题。近年来,对于CNLBP的发生原因进行的研究较多,腰背部伸肌稳定性肌肉的活动性减低,或椎旁肌肉发生痉挛^[10],躯干肌肉训练是治疗慢性下背痛及防止其发作的重要环节^[11]。在临床治疗上,运动疗法(exercise therapy, ET)能够有效改善CNLBP患者腰背部疼痛和功能,是现在循证医学推荐CNLBP患者的临床康复治疗方式^[12-13]。但是,在繁多的运动疗法中,至今还没有足够的证据证明某一种运动疗法优于其他的运动疗法。目前,全身振动训练已作为一种新兴的训练方法,正得到越来越广泛的应用,目前主要应用在竞技和大众体育、康复理疗、航空、美容医学等方面^[14]。其机制主要是一种利用机械振动和外在抗阻负荷刺激机体,以引起肌

肉震荡、中枢神经系统适应,而改善神经肌肉功能的训练方法^[3]。有研究指出,全身振动训练有助于减轻疼痛,如女性纤维肌痛综合征^[15]、年轻患者的肌肉骨骼疼痛^[16]、老年患者的膝骨关节炎^[17]。在振动的平台上进行康复训练,丰富了传统康复治疗训练的内容。有研究指出全身振动训练能显著提高CNLBP患者的腰椎本体感觉^[3]。低频率的全身振动会促进躯干伸肌的肌肉力量,高频率的全身振动则会减少躯干伸肌的肌肉耐力^[18]。在振动台上,不同的动作对腰部肌肉肌电信号值影响不同。在仰卧起坐的动作下,腹部肌肉通常比背部肌肉更加活跃,其中腹外斜肌在对角线仰卧起坐中,活跃度更强^[6]。由此可见,全身振动训练的效果受动作负荷、频率等因素的制约。前人的研究基本集中于振动训练对肌肉或疾病的影响^[19-21],但是关于最佳的振动频率或者运动方式的研究较少。本实验在科学临床研究基础上,将运动疗法和全身振动训练相结合,研究慢性下背痛患者腰腹部肌肉在不同振动条件下的表面肌电信号,以此来看肌肉激活的情况。

3.2 表面肌肉电信号与肌肉活动之间的关系

表面肌电信号是从皮肤表面通过电极引导记录下来的神经肌肉系统活动时的生物电信号,它与肌肉的活动状态和功能状态之间存在着不同程度的关

联性,因而能在一定的程度上反映神经肌肉的活动^[22]。其中指标之一,均方根振幅(RMS)是一段时间内瞬间肌电图振幅平方平均的平方根,是放电有效值,取决于肌肉负荷性因素和肌肉本身的生理、生化过程之间的内在联系^[23],其实际意义是肌电活动的静态特征,可以看出肌肉活动的兴奋程度,判定活动的时间长短以及肌肉的协调模式^[24]。表面肌电应用广泛,例如正常人不同步行方式下腰腹肌肌电信号^[25],基于表面肌电信号变化的慢性下背痛诊断^[26]等等。该技术因其在客观评价腰背肌功能方面具有特异性、可靠性、灵敏性、无创性、实时性和多靶点测量的优点,日益受到康复医学和运动医学研究者的关注^[27-28]。本实验采用表面肌电图测试慢性下背痛患者的腰腹部肌群的肌电信号,以此来评估不同振动条件对腰背肌功能的影响。

3.3 不同振动频率对慢性下背痛患者腰腹部肌群的影响

本研究通过对竖脊肌、腹外斜肌、腹直肌在振动频率(0Hz、5Hz、10Hz、15Hz)和三种运动方式(平板支撑、侧撑、V字支撑)下肌电信号进行采集分析,探究不同振动条件对慢性下背痛患者腰腹部肌群是否产生不同的效果,为临床治疗提供理论依据。研究结果发现:①竖脊肌:频率为15Hz,肌肉的RMS值最高,且在三个动作的情况下,均是如此。②腹外斜肌在平板支撑和侧撑的情况下,频率为15Hz的RMS对比于其他的振动频率具有显著性差异。③腹直肌15Hz情况下,肌肉RMS值最高。在下肢的振动频率中,频率(5Hz—10Hz—15Hz—20Hz—25Hz—30Hz)越高,下肢主要肌肉群的RMS值越高^[29]。Brigitte Wirth等人研究25例健康受试者躯干肌群在振动平台和非振动平台的激活(RMS% mvc)情况,结果显示,振动的增加会引起肌肉活动的增加^[6]。

本实验的研究结果与前人研究的结果相类似。学者Desai和Marsha^[30]在稳定平面与不稳定平面下测试,结果发现健康人群和腰痛患者在不稳定平面下腹直肌、腹外斜肌和竖脊肌的激活率(RMS% mvc)都显著高于稳定平面。在不稳定的平面内,肌肉需要动用更多的能量去维持身体的平衡,因此表面肌电值RMS显示的肌肉放电有效值也会增加。

本研究显示,在频率越高的情况下,平面的稳定性越差,RMS值越高,表明此时募集肌肉越多,因此15Hz对比与低频率5Hz、10Hz来说,15Hz是引起肌肉活动最佳的频率。然而,有研究显示,在桥式运动的情况下,不同振动频率对腰腹部肌肉RMS值的影响不存在显著性差异^[31]。本研究采用单桥运动方式,测试了不同频率,导致了结果的不同。由此可见,影响全身振动训练的效果因素,除了频率、振幅之外,还包括振动训练时人体的姿态、振动方向,以及不同因素之间组合起来的振动条件^[18,32]。

3.4 不同运动方式对慢性下背痛患者腰腹部肌群的影响

运动方式的不同对慢性下背痛患者腰腹部表面肌电信号的影响不同。①竖脊肌在0Hz、5Hz、10Hz和15Hz的情况下,不同的运动方式之间均有显著性差异,其中侧撑的动作,肌肉的RMS值最高。竖脊肌作为脊柱后方的长肌,下起骶骨背面,上达枕骨后方,主要是保持脊柱的稳定性^[2]。在平板支撑和V字支撑的方式中,上半身都处在一个中立位置,竖脊肌无需动用更多的肌肉力量去抵抗重力,维持身体平衡。在侧撑的情况下,竖脊肌为了抵抗一侧身体的重力,需要募集更多的肌肉力量来维持脊柱的中立位置,防止脊柱的侧屈。表面肌电信号采集的竖脊肌放电量,侧撑的动作下,该肌肉的放电量最大。有研究显示,在对非特异性腰痛患者康复训练的同时增加竖脊肌的振动干预,结果表明振动刺激会增加躯干的本体感觉,从而改善腰痛和预防复发^[2]。竖脊肌的放电量增加,侧撑的动作能很好地训练竖脊肌,预防因竖脊肌功能降低而导致的腰痛。②对于腹外斜肌来说,在非振动的情况下,侧撑对该肌肉的RMS值影响最高。腹外斜肌的生理功能特点是使其在负责核心稳定的同时还需要兼顾力量扭矩的传递^[33],侧撑动作下,上肢及下肢均为不稳定动作,身体存在一个扭矩的力量,为了防止该扭矩导致的身体倾斜,相应更多“工作任务”使肌肉反应更为明显。在之前的研究中显示,侧撑的动作比平板支撑的动作能更好地训练到腹外斜肌^[34]。

本实验研究中,在振动的情况下,受试者做V字支撑的动作时,该肌肉的RMS值最高。可见,不同动作的振动对于肌肉的RMS影响不同。考虑的可

能性是V字支撑动作时,腹外斜肌的距离振动台的位置比较于其他动作,更加靠近振动台,振动刺激传递到肌肉中显示的能量最大^[31]。也有可能是慢性非特异性腰痛患者在遇到振动情况下时,腹外斜肌不能更好地承受振动刺激,其他肌肉代偿腹外斜肌的功能,例如竖脊肌、背阔肌等^[31,35]。③V字支撑即身体两端离开地面,所有的力量集中于腰腹部,此动作下的腰腹部肌肉理论上要比一般的动作(侧撑和平板支撑)募集的运动单位更多,表面肌电RMS值更高。腹直肌起自耻骨联合和耻骨嵴,肌纤维向上止于胸骨剑突和第5—7肋软骨前面,其作用为静力支撑,把骨盆拉向胸骨,卷起躯干^[34]。本实验中,在振动和非振动的情况下,腹直肌在V字支撑的动作下RMS值最高,说明V字支撑的动作能较好地激活腹直肌。

3.5 本研究的局限和展望

表面肌电图作为一种非创伤性检查方法,可用于临床监测康复训练效果、指导制定康复训练计划等方面,在有条件的医疗单位值得推广。本研究对于动作的选择还存在一定的局限,例如近年流行的双桥、单桥、动态的核心训练(俯身登山等),未来的研究可以扩大动作的选择范围。全身振动训练的频率选择需要进一步优化,增加不同的振幅等,从而可以让患者根据不同的治疗需求,选出最佳的治疗参数。再者,本实验招募的受试者基本都是在校大学生,年龄为22岁左右,因此实验结果不能完全反映不同年龄层的慢性下背痛患者的情况。后续的研究,可以完善受试者的招募,注意各个年龄层分布比例,可以针对不同年龄层患者的腰部肌肉情况,采取不同的振动训练方式。尽管有这些局限,但是本研究的数据表明腰腹部肌群在不同运动方式下肌肉的激活率不同,对医务人员制定慢性下背痛患者治疗训练方案,提供了一定的临床理论依据。

综上所述,不同振动条件的刺激,对慢性下背痛患者腰腹部肌群影响不同。竖脊肌最佳的振动频率为15Hz,最佳的振动动作为侧撑;腹外斜肌最佳的振动频率为15Hz,最佳的振动动作为V字支撑;腹直肌振动动作为V字支撑,就不同频率而言,虽然腹直肌随着频率的增高,放电量逐渐增加,但是不会对肌肉产生显著性影响。

参考文献

- [1] Issurin VB. Vibrations and their applications in sport. A review[J]. J Sports Med Phys Fitness, 2005, 45(3):324—336.
- [2] Boucher JA, Abboud J, Nougrou F, et al. The Effects of Vibration and Muscle Fatigue on Trunk Sensorimotor Control in Low Back Pain Patients[J]. PLoS One, 2015, 10(8): e0135838.
- [3] 陈炳霖. 全身振动训练对慢性下背痛患者腰部神经肌肉功能影响的研究[D]. 上海:上海体育学院,2016.
- [4] Kramer M, Ebert V, Kinzl L, et al. Surface electromyography of the paravertebral muscles in patients with chronic low back pain[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2005, 86(1):31—36.
- [5] 王丽,刘加海,王健. 表面肌电与腰背功能评价方法研究进展[J]. 中国康复医学杂志,2006,21(1):84—87.
- [6] Perchthaler D, Hauser S, Heitkamp HC, et al. Acute effects of whole-body vibration on trunk and neck muscle activity in consideration of different vibration loads[J]. J Sports Sci Med, 2015, 14(1):155—162.
- [7] 吴冬梅,孙欣,张志成,等. 表面肌电信号的分析和特征提取[J]. 中国组织工程研究,2010,14(43):8073—8076.
- [8] Ivanova JJ, Birnbaum HG, Schiller M, et al. Real-world practice patterns, health-care utilization, and costs in patients with low back pain: the long road to guideline-concordant care[J]. Spine J, 2011, 11(7):622—632.
- [9] Yue YS, Wang XD, Xie B, et al. Sling exercise for chronic low back pain: a systematic review and meta-analysis[J]. PLoS One, 2014, 9(6):e99307.
- [10] Hodges PW, Richardson CA. Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1996, 21(22):2640—2650.
- [11] 朱大梅. 运动疗法对慢性下腰痛的短期疗效观察研究[D]. 苏州:苏州大学,2003.
- [12] Hart L. Exercise therapy for nonspecific low-back pain: a meta-analysis[J]. Clin J Sport Med, 2006, 16(2):189—190.
- [13] 陈威烨,王辉昊,梁非凡,等. 运动疗法治疗下腰痛疗效的Meta分析[J]. 中国循证医学杂志,2015,(11):1317—1321.
- [14] Nordlund MM, Thorstensson A. Strength training effects of whole-body vibration?[J]. Scand J Med Sci Sports, 2007, 17(1):12—17.
- [15] Alentorn-Geli E, Padilla J, Moras G, et al. Six weeks of whole-body vibration exercise improves pain and fatigue in women with fibromyalgia[J]. J Altern Complement Med, 2008, 14(8):975—981.
- [16] Elfering A, Thomann J, Schade V, et al. Stochastic resonance whole body vibration reduces musculoskeletal pain:

- A randomized controlled trial[J]. World Journal of Orthopedics, 2011, 2(12):116—120.
- [17] Avelar NC, Simão AP, Tossige-Gomes R, et al. The effect of adding whole-body vibration to squat training on the functional performance and self-report of disease status in elderly patients with knee osteoarthritis: a randomized, controlled clinical study[J]. J Altern Complement Med, 2011, 17(12):1149—1155.
- [18] Ye J, Ng G, Yuen K. Acute effects of whole-body vibration on trunk muscle functioning in young healthy adults [J]. J Strength Cond Res, 2014, 28(10):2872—2879.
- [19] Abercromby AF, Amonette WE, Layne CS, et al. Vibration exposure and biodynamic responses during whole-body vibration training[J]. Med Sci Sports Exerc, 2007, 39(10): 1794—1800.
- [20] Hazell TJ, Jakobi JM, Kenno KA. The effects of whole-body vibration on upper- and lower-body EMG during static and dynamic contractions[J]. Appl Physiol Nutr Metab, 2007, 32(6):1156—1163.
- [21] Hazell TJ, Kenno KA, Jakobi JM. Evaluation of muscle activity for loaded and unloaded dynamic squats during vertical whole-body vibration[J]. J Strength Cond Res, 2010, 24(7):1860—1865.
- [22] 崔玉鹏,洪峰.表面肌电图在人体运动研究中的应用[J].首都体育学院学报,2005,17(1):102—104.
- [23] 穆景颂,倪朝民.下背痛表面肌电的应用研究[J].安徽医学, 2010,31(3):287—289.
- [24] 李芙蓉,陈月亮,吴新炎.我国优秀短距离速滑运动员直道滑冰腿部肌肉肌电特征研究[J].天津体育学院学报,2014,29(1): 14—18.
- [25] 林彩娜,马超,伍少玲,等.不同步行方式下正常人腰腹肌肌电信号分析[J].中国康复医学杂志,2012,27(1):70—72.
- [26] 王健,方红光,Markku Kankaanpää.基于表面肌电信号变化的慢性下背痛诊断和运动疗效评价[J].航天医学与医学工程, 2005,18(4):287—292.
- [27] Cram JR. The history of surface electromyography[J]. Appl Psychophysiol Biofeedback, 2003, 28(2):81—91.
- [28] Fauth ML, Petushek EJ, Feldmann CR, et al. Reliability of surface electromyography during maximal voluntary isometric contractions, jump landings, and cutting[J]. J Strength Cond Res, 2010, 24(4):1131—1137.
- [29] Ritzmann R, Gollhofer A, Kramer A. The influence of vibration type, frequency, body position and additional load on the neuromuscular activity during whole body vibration [J]. Eur J Appl Physiol, 2013, 113(1):1—11.
- [30] Desai I, Marshall PW. Acute effect of labile surfaces during core stability exercises in people with and without low back pain[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2010, 20(6):1155—1162.
- [31] Kim TH, Choi HS. EMG activities of trunk and lower extremity muscles induced by different intensity of whole body vibration during bridging exercise[J].PTK,2009, 16(4): 16—22.
- [32] 刘卉,凤翔云.不同频率振动训练对下肢爆发力和柔韧性的即时影响研究[J].体育科学,2010,30(12):71—75.
- [33] 聂开迪.不同稳定条件下的平板支撑对浅层核心肌群肌电影响的实验研究[D].成都:成都体育学院,2016.
- [34] 杨浸.复合性核心肌群训练和针对性核心肌群训练方法的对比研究[D].成都:成都体育学院,2013.
- [35] 董煜琳,王雪强,胡静芸.压力生物反馈仪测试腰痛的信度评价[J].中国组织工程研究,2015,19(37):6060—6063.