

·临床研究·

慢性腰痛患者深层多裂肌EMG信号时频特征变化*

张珊珊¹ 吴文² 韩秀兰¹ 李婷婷¹ 孙一律¹ 王楚怀^{1,3}

摘要

目的:采用表面肌电(sEMG)分析系统结合丝电极观察慢性腰痛(cLBP)患者与健康对照者腰部深层多裂肌的肌电活动,比较二者的EMG信号时域和频域特征,探讨腰痛深层多裂肌功能状态变化。

方法:选取22例cLBP患者(10男12女)和30例健康对照者(15男15女)采用一次性无菌针头导入不锈钢丝电极(直径0.16mm)至L4水平深层多裂肌后完成改良BST动作,采集多裂肌最大随意收缩时的EMG信号,比较两组平均肌电值(AEMG)、均方根值(RMS)、中位频率(MF)、平均功率频率(MPF)及其频率的特征差异。

结果:cLBP腰部深层多裂肌EMG信号时域指标AEMG、RMS明显低于健康对照组($P < 0.001$);频域指标MF、MPF明显高于对照组($P < 0.05$),MFs、MPFs绝对值明显低于对照组($P = 0.001/0.001$)。

结论:最大等长收缩运动中,cLBP患者腰部深层多裂肌电活动异常,可能是持续疼痛刺激引起多裂肌募集能力降低,耐力代偿性增加。

关键词 慢性腰痛;深层多裂肌;表面肌电;丝电极;时频特征

中图分类号:R741.0, R493 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2019)-06-0642-06

Time-frequency analysis of EMG signals of the deep lumbar multifidus in patients with chronic low back pain/ZHANG Shanshan, WU Wen, HAN Xiulan, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2019, 34(6): 642—647

Abstract

Objective: To explore time-frequency changes of electromyography (EMG) signals of the deep multifidus (DM) at the level of fourth lumbar vertebrae (L4) using the surface electromyography system and fine-wire electrodes in patients with chronic low back pain (cLBP).

Method: Twenty-two patients with chronic low back pain (male, 10, female, 12) and thirty healthy controls (male, 15, female, 15) were recruited. To study the DM, nylon coated 12cm long and 0.16mm in diameter fine-wire electrodes with 5mm nude tip were inserted into DM via a hypodermic needle(25 gauge,60mm long). EMG signals of maximum isometric voluntary contraction of the DM were collected. The data were analyzed with independent samples t-test to compare time-frequency changes of EMG activity of the lumbar multifidus.

Result: Compared with healthy controls,cLBP group showed significant decrease in AEMG and RMS($P < 0.001$), but increased in MF and MPF ($P < 0.05$). Significant differences of time-domain parameters were found between bilateral DM of both groups ($P < 0.05$). There were also statistically significant differences between the two groups in MF slope (MFs) and MPF slope (MPFs), where cLBP group demonstrated higher value than healthy control group ($P = 0.001/0.001$).

Conclusion: The findings reveal that cLBP alters the neuromuscular activation patterns of the DM, lowers its recruit ability and increases its endurance.

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

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2019.06.004

*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);广东省医学科研基金(A2018021)

1 中山大学附属第一医院康复医学科,广州,510080; 2 南方医科大学珠江医院康复医学科; 3 通讯作者

作者简介:张珊珊,女,住院医师; 收稿日期:2017-10-31

ty, Guangzhou, 510080

Key word chronic low back pain; deep multifidus; surface electromyography; fine-wire electrode; time-frequency feature

表面肌电图(surface electromyography, sEMG)不仅可在静止状态下记录神经肌肉活动生物电信号,还可在各种运动过程中持续观察肌肉活动的变化,故又称“动态肌电图”。sEMG对局部肌肉活动水平和功能状态反应敏感且特异性较好,已广泛应用于康复医学、运动医学等方面的神经肌肉功能检查^[1]。然而,sEMG记录的是表面电极下表层肌肉群肌电反应的总和,通常无法准确记录某一块肌肉的肌电活动,尤其是无法记录深部肌肉的电活动。多裂肌与腰椎紧密连接,是腰部椎旁肌群中最大和最内侧的肌肉,以深层肌纤维为主,绝大部分被表层竖脊肌覆盖,仅L5/S1很小部分为浅层纤维。腰部深层多裂肌萎缩和功能失调影响脊柱稳定性,是慢性腰痛(chronic low back pain, cLBP)的发生、进展及复发的关键因素。研究发现,腰部多裂肌对L4/5节段稳定性的贡献高达2/3,其中以深部多裂肌为主;深层多裂肌受损是腰部功能紊乱的潜在和本质问题^[2]。

目前sEMG针对腰部多裂肌的功能分析主要集中于L5/S1这一小块浅层多裂肌,采集的肌电明显受周围竖脊肌、臀大肌等肌电的干扰,结果存在明显偏差。因此,如何应用sEMG系统记录腰部深层多裂肌在放松和收缩时的生物电活动,以便对腰痛神经肌肉功能状态和活动水平进行客观准确的评定,是一个亟需解决的问题。本研究首次采用sEMG分析系统结合丝电极观察cLBP患者与健康对照组腰部深层多裂肌的肌电活动,比较二者EMG信号时域和频域的变化特征,探讨腰痛与维持腰椎稳定的深层多裂肌功能状态之间的内在联系机制。

1 资料与方法

1.1 研究对象

通过病房招募及广告征集方式选取单侧cLBP患者22例(男10例,女12例);年龄平均为(35.05±7.66)岁,受教育年限平均(12.71±2.43)年,体质指数BMI平均(21.67±2.12)。纳入标准:①腰痛病程≥3个月,无双下肢症状,并经腰椎MRI等影像学检查

筛选;②年龄在20—50岁,疼痛强度VAS评分为3—6分,并未经药物及康复治疗;③BMI在国际标准的±20%范围内;④无腰部外伤和手术史,无骨刺,无风湿和感染性疾病;⑤无严重脊柱侧凸;⑥无先天疾患、精神或神经系统疾病及严重心、肝、肾疾病。

选择与cLBP组性别、年龄、教育程度及BMI相匹配的健康对照者30例(男15例,女15例),其中年龄平均为(32.35±7.19)岁,受教育年限平均为(13.71±1.86)年,体质指数BMI平均为(20.79±2.25);两组间年龄、教育程度及BMI均无显著性差异($P>0.05$)。纳入标准包括:①BMI在标准的±20%范围内;②近1个月内无疼痛经历,未服用解热镇痛类、镇静催眠类药物;③无腰部外伤和手术史;④无严重心、肝、肾疾病及其他严重的躯体疾病。两组排除易出血体质、孕妇及女性行经者。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[2017]034号),所有受试者均签署了知情同意书。

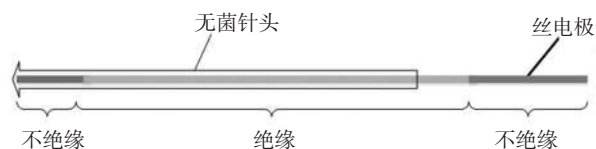
1.2 方法

1.2.1 改良丝电极准备:选取不锈钢漆包线为丝电极,直径0.16mm,较为柔软且有一定刚度;低阻抗,高灵敏度,对输出脉冲波、中低频波没有影响。对丝电极进行改良以测量深层多裂肌肌电,并尽可能地排除表层肌群电活动的干扰:前端5mm除漆不绝缘以导电采集肌肉运动单位电位,中间部分完全绝缘(不处理)以避免表层竖脊肌等肌电干扰,末端2—3cm除漆不绝缘以导电连接肌电信号采集器。

丝电极置于一次性无菌注射针头内(图1),通过针头导入至L4节段双侧多裂肌,以记录cLBP患者及健康受试者腰部深层多裂肌电活动。每条通道包括2个记录电极和1个地电极(即每个受试者双侧共有4个记录电极和2个地电极),其中记录电极采用0.5mm×60mm针头,丝电极长12—13cm;地电极采用0.6mm×30mm针头,丝电极长7—8cm。

1.2.2 植入丝电极至L4多裂肌:受试者俯卧于治疗床上,双臂放松置于躯干两侧,以L4棘突水平为中心向外侧旁开2cm处为多裂肌电记录点,两记录电

图1 改良丝电极置于无菌针头内示意图



极相距 0.5—1cm,地电极在记录电极外侧 4—5cm 处(图2)。试验开始前 5min,于电极定位皮肤表面涂抹一层厚厚的复方利多卡因软膏局部麻醉,以减轻针头刺破皮肤时疼痛。

皮肤用酒精消毒后,双侧记录电极于定位处垂直进针 3—5cm 导入丝电极至 L4 水平多裂肌,触及横突时将针头稍退 0.5cm,待超声确定位置后退出针头(退出前测量皮肤外置丝电极长度,退出后再次测量皮肤外置丝电极长度,保证丝电极未移位)。双侧地电极于定位处垂直进针 2.0cm 导入丝电极,稍退 0.3—0.5cm 后退出针头(同样在退出前、后测量皮肤外置丝电极长度以保证丝电极未移位)。胶布固定皮肤外置丝电极后,采用鳄鱼夹电极线一端连接丝电极导电末端,一端连接肌电图机金属电极。

1.2.3 数据采集:采用绍兴 UMI-SE-I 型表面肌电分析系统对受试者 L4 多裂肌的肌电活动进行检测(室温约 25℃)。原始 EMG 信号记录的取样率>3000Hz,分辨率为 0.1μV,通频带宽为 15—1000Hz,共模抑制比>110db,噪音<1μV。

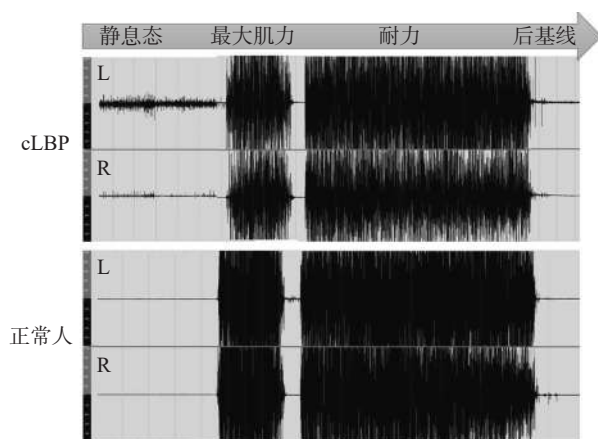
采集受试者腰部深层多裂肌放松和收缩时的肌电信号数据,具体步骤如下:①静息态:采集受试者多裂肌放松时的肌电值,持续 30s。②肌力测试:嘱受试者进行多裂肌最大随意等长收缩,即以最大力

图2 丝电极采集腰痛深层多裂肌电活动示意图



量做改良 BST 运动:嘱受试者双肘伸直,双臂向前向上伸出,用力挺胸抬头,使头胸离开床面,同时膝关节伸直,双下肢尽力抬离床面,持续 5s,休息 10s,共记录 3 次,取平均值。③耐力测试:休息 2—3min 后,嘱受试者以最大力量做改良 BST 运动,持续 30s(图3)。

图3 受试者腰部深层多裂肌放松和收缩时的肌电信号数据



采用视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)对针头刺破皮肤、肌肉收缩时疼痛强度进行评分(0—10 分,其中 0 分为无痛,10 分为无法忍受的疼痛),并询问受试者是否伴酸、麻、沉、胀等不适感。

1.3 数据分析

将试验过程中贮存在随机存取存储器的肌电信号经光纤传输至计算机,对 EMG 信号进行 FFT 获得肌电频谱或功率谱,提取多裂肌静息时电信号幅值及收缩时平均肌电值(average electromyography, AEMG)、均方根值(root mean square, RMS)、中位频率(median frequency, MF)及平均功率频率(mean power frequency, MPF),并分析出中位频率斜率(median frequency slope, MFs)与平均功率频率斜率(mean power frequency slope, MPFs)。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 13.0 软件对研究对象的一般资料、VAS 评分、肌电信号变化进行统计分析,以均数±标准差表示。采用独立样本 *t* 检验比较 cLBP 患者与正常对照组深层多裂肌静息状态下肌电幅值及收缩时 AEMG、RMS、MF、MPF 及其斜率的差异,并采用配对 *t* 检验分析 cLBP 痛侧与非痛侧多裂肌 EMG 差

异。为了进一步分析疼痛持续时间及疼痛强度对多裂肌电信号的影响,选取腰痛持续时间、VAS评分与AEMG作相关性分析。所有数据统计结果均以 $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

2 结果

2.1 疼痛感知

cLBP患者疼痛强度VAS评分平均为 (4.10 ± 1.04) 、持续时间平均为 (6.52 ± 5.12) 年。所有受试者均顺利完成试验,均符合入组标准。针头刺破皮肤引起的疼痛,cLBP的VAS评分 (3.81 ± 1.29) 高于正常对照组 (2.45 ± 0.89) ($P < 0.001$);多裂肌最大等长收缩时丝电极引起的疼痛,cLBP的VAS评分 (3.17 ± 1.90) 也明显高于正常对照组 (0.77 ± 0.48) ($P < 0.001$)。部分受试者在进针时伴有轻度酸胀感,针头退出后基本消失;且针头退出后疼痛明显减轻,绝大多数受试者无疼痛、仅有轻微异物感。试验完成拔出丝电极后,受试者异物不适感完全消失,无其他不适。

2.2 静息状态下多裂肌肌电的比较

静息状态下,cLBP患者深层多裂肌电幅度平均为 $(2.04 \pm 1.24) \mu V$,正常受试者肌电幅度平均为 $(0.33 \pm 0.29) \mu V$,两组间肌电幅度差异有显著性意义 ($P < 0.05$)。cLBP痛侧多裂肌肌电幅度 $(3.52 \pm 2.19 \mu V)$ 显著高于非痛侧 $(0.64 \pm 0.48 \mu V)$ ($P < 0.05$)。

2.3 腰痛多裂肌EMG信号时频特征变化

与健康受试者相比,cLBP患者深层多裂肌时域指标AEMG、RMS的差异有显著性意义,其中cLBP患者多裂肌AEMG、RMS明显低于健康受试者 ($P < 0.05$)。频域指标MF、MPF、MFs及MPFs的差异有显著性意义,其中cLBP组MF、MPF显著高于正常对照组,MFs及MPFs绝对值明显低于对照组 ($P < 0.05$),表1。

2.4 cLBP痛侧与非痛侧多裂肌EMG信号时频指标的差异性

cLBP痛侧与非痛侧多裂肌AEMG、RMS的差异无显著性意义 ($P > 0.05$),但双侧MF、MPF的差异有显著性意义,其中痛侧MF、MPF高于非痛侧 ($P < 0.05$),表2。

2.5 腰痛持续时间、疼痛强度对多裂肌功能的影响

表1 腰痛深层多裂肌肌电时频特征分析 ($\bar{x} \pm s$)

参数	cLBP	健康受试者	<i>t</i>	<i>P</i>
AEMG平均值	421.26±176.73	771.23±161.50	6.21	0.000 ^①
RMS平均值	236.6±46.91	332.86±75.89	4.10	0.000 ^①
MF平均值	187.71±29.67	169.13±26.30	-2.27	0.028
MPF平均值	200.00±26.20	184.63±22.51	-2.16	0.036
MFs平均值	0.06±0.06	0.17±0.13	3.55	0.001
MPFs平均值	0.05±0.05	0.14±0.10	3.58	0.001

注:独立样本*t*检验,平均值=(左+右)/2,① $P < 0.001$

表2 cLBP痛侧与非痛侧多裂肌EMG活动差异性分析 ($\bar{x} \pm s$)

	痛侧	非痛侧	<i>t</i>	<i>P</i>
AEMG	389.97±186.65	463.92±209.65	-1.35	0.190
RMS	276.49±143.99	259.09±84.32	-0.54	0.592
MF	199.33±34.48	176.10±32.66	3.39	0.003 ^①
MPF	210.10±29.60	189.90±29.13	3.49	0.002 ^①

注:配对*t*检验,① $P < 0.05$

cLBP深层多裂肌AEMG值与疼痛强度VAS评分有显著负相关($r = -0.45, P = 0.03$),即疼痛越剧烈,AEMG下降越明显。cLBP深层多裂肌AEMG值与疼痛持续时间无明显相关关系($r = -0.17, P = 0.60$)。

3 讨论

sEMG是一种客观、实时、易被受试者接受的神经肌肉功能检查方法,能获得较大范围内的EMG信号,可反映运动过程中肌肉生理、生化等方面的改变。本研究基于我们课题既往研究结果,sEMG分析系统结合改良丝电极是一种可选择性评估单一靶向深层肌肉活动水平和功能状态的有效方法,能够可靠、灵敏地检测出腰部深层多裂肌的电活动,反映其放松和收缩时肌电活动变化^[9]。本研究采用sEMG结合改良丝电极检测cLBP患者腰部深层多裂肌EMG信号的时频特征变化,发现在最大随意等长收缩过程中,cLBP深层多裂肌电活动异常,AEMG与RMS显著降低,MF与MPF明显升高,提示可能是疼痛引起多裂肌募集能力降低,耐力代偿性增加。

cLBP主要是由于腰椎间盘退变或突出引起相应节段的神经肌肉功能受损,本研究选取的是伴有L4/5椎间盘退变或突出的cLBP患者,因此,L4多裂肌的EMG信号的时频特征可反映该平面多裂肌功能状态变化,也可间接反映该节段神经根的受损情况。我们发现,cLBP患者静息状态下深层多裂肌电幅值增大,且痛侧明显高于非痛侧,提示持续疼痛刺

激引起腰部肌肉内在的收缩-放松功能失调:不仅表层竖脊肌紧张痉挛^[4],深层多裂肌也处于持续的轻度收缩状态,进一步证明了局部稳定肌失衡是引起腰痛的重要病因。

时域分析刻画的是时间序列肌电信号的振幅变化特征,与运动单位募集数量的多少、类型及同步化程度有关,在一定程度上可反映肌力的大小。本研究结果发现最大随意收缩时cLBP患者L4深层多裂肌AEMG、RMS明显低于正常对照组,可能是cLBP患者多裂肌明显萎缩^[5-7],导致收缩时实际参与运动的肌纤维数量减少、体积变小;也可能是疼痛刺激使深层多裂肌募集延迟,未能在短时间内达到最大等长收缩,表现为力量明显减退。AEMG与疼痛强度VAS评分呈明显负相关,提示AEMG减低很可能是由于疼痛刺激使多裂肌收缩受到影响,在时间维度上表现为EMG信号振幅下降。cLBP患者多裂肌激活延迟导致协调控制功能出现障碍,腰椎稳定性降低,从而引起周围组织韧带、关节等进一步损伤,加重疼痛^[8-9]。

L4/5节段深层多裂肌对维持腰椎稳定性及控制腰椎活动起到最重要的作用。既往研究表明,在对称性运动过程中,双侧多裂肌是对称收缩的^[10]。我们既往研究结果也证实:健康人群双侧多裂肌在BST运动中是对称收缩的,最大肌力和耐力均等^[3]。与既往结果示“痛侧多裂肌激活程度显著低于非痛侧^[11]”不同,我们的研究显示cLBP患者双侧多裂肌收缩时AEMG、RMS无明显差异,说明cLBP深层多裂肌主要表现为一种整体的肌肉萎缩,可能与慢性疼痛使运动受到限制、腰部核心稳定肌形态和收缩功能受到影响有关^[10]。这一结果提示,即使在疼痛刺激下姿势不对称、非对称性运动过程中深层多裂肌在持续收缩时仍存在一定的对称性收缩,而到底cLBP患者深层多裂肌对称性/非对称性收缩因素对腰部肌肉功能改变有多大影响,且随着疾病进展这种比例存在着怎样的变化,都需在后续的研究中进一步探讨。

频域分析的是肌电信号在不同频率分量的变化,反映肌肉疲劳和神经肌肉功能变化。深层肌肉的作用是维持身体的平衡和稳定,多裂肌作为腰部最重要的深层核心肌群,其耐力特性与脊柱的整体

功能密切相关。耐力下降的情况下,肌肉更容易疲劳,肌电频谱变化特点能客观地评价腰部深层多裂肌的疲劳情况。既往多数研究发现,腰痛患者竖脊肌和L5/S1浅层多裂肌耐力下降,痛侧腰脊旁肌MF、MPF明显小于健侧^[4,12]。然而,本研究频域分析显示cLBP患者深层多裂肌MF、MPF明显高于正常对照组,MFs及MPFs绝对值显著降低,提示疼痛刺激下随着肌肉活动持续时间的延长或肌肉活动次数增加,多裂肌代偿性激活,可能是纳入患者以青中年为主、深层肌肉功能处于代偿期有关。此外,cLBP双侧多裂肌电活动有显著性差异,痛侧MF、MPF明显高于非痛侧,这一结果进一步验证了上述“疼痛引起MF、MPF代偿性升高”的设想。

多裂肌属于慢收缩肌纤维,以低频电位活动为主,主要作用是保持耐力;持续最大随意等长收缩时,肌肉由无氧供能过渡到有氧供能的时间越短,I型肌纤维被募集比例就越大。MPFs的下降与腰部肌肉的慢肌构成比和面积百分比有关,一般慢肌纤维越多、面积百分比越大,MPFs下降越慢。多裂肌收缩时以慢收缩I型肌纤维募集为主,cLBP患者慢/快肌纤维的比例发生改变,慢收缩I型纤维的募集增加,且募集顺序也可能随着改变,最终导致两组间肌肉耐力上的差异。有学者应用sEMG技术分析发现动态运动负荷过程中慢性非特异性LBP患者双侧L5/S1的MPF均值明显低于正常人^[13]。本研究发现,与正常对照组相比,cLBP患者MPFs绝对值显著变小,是否提示腰痛在一定时间、一定年龄范围内可引起深层多裂肌慢肌纤维百分比改变及其所占面积相对增加?这在后续研究中还需要进一步深入分析。

综上所述,本研究首次采用sEMG分析系统结合改良丝电极检测cLBP患者深层多裂肌EMG信号的时频特征变化,发现其最大等长收缩过程中时域指标AEMG、RMS显著降低,频域指标MF、MPF明显升高,提示cLBP深层多裂肌电活动存在明显异常,这些肌电信号特征为建立客观有效的cLBP诊断和疗效评价提供了新的研究线索。本研究进一步验证了sEMG结合丝电极是一种评估单一靶向深层肌肉电活动的有效工具,可准确记录到深部肌肉的肌电信号特征变化以掌握其神经肌肉功能受损情况,较传统的表面电极记录L5/S1浅层纤维更能准

确地反映深层多裂肌的功能状态,具有明显的临床应用价值。新评估技术的开发和应用,可以评价腰痛患者核心稳定肌肉功能和生物力学特性,寻找疾病的早期诊断指标、预测腰痛发生与结局,进而为cLBP患者提供更针对性、更有效的治疗。当然由于这是一种新的检测技术,且样本量相对较小,所得结果仍需进一步验证;且尚不能排除是由于多裂肌募集能力降低引起腰痛,两者之间的相关关系目前可能无法确定。下一步研究可进一步增大样本量,并将cLBP按病因、发病年限及临床表现分成不同亚型,以准确判别不同类别腰痛患者深层多裂肌的功能状态变化。同时,如何根据所检测到的深层椎旁肌的功能变化进行针对性的康复治疗 and 运动训练,并将其作为一个客观指标进行疗效评价及功能转归预测,也是后期研究的重要方向。

参考文献

- [1] Farina D, Holobar A, Merletti R, et al. Decoding the neural drive to muscles from the surface electromyogram[J]. Clin Neurophysiol, 2010, 121(10):1616—1623.
- [2] Macdonald DA, Dawson AP, Hodges PW. Behavior of the lumbar multifidus during lower extremity movements in people with recurrent low back pain during symptom remission [J]. J Orthop Sports Phys Ther, 2011, 41(3):155—164.
- [3] 张珊珊, 吴文, 许轶, 等. 不同性别健康人群腰部深层多裂肌 EMG 差异[J]. 中国康复医学杂志, 2018, 33(4):413—418.
- [4] 吴文, 黄国志, 刘湘江. 表面肌电图用于腰椎间盘突出疗效评定研究[J]. 中华物理医学和康复杂志, 2002, 4(9): 551—553.
- [5] Kamaz M, Kireşi D. CT measurement of trunk muscle areas in patients with chronic low back pain[J]. Diagn Interv Radiol, 2007, 13 (3):144—148.
- [6] Hides J, Gilmore C, Stanton W, et al. Multifidus size and symmetry among chronic LBP and healthy asymptomatic subjects[J]. Man Ther, 2008, 13 (1):43—49.
- [7] Demoulin C, Crielaard JM, Vanderthommen M. Spinal muscle evaluation in healthy individuals and low-back-pain patients: a literature review[J]. Joint Bone Spine, 2007, 74(1): 9—13.
- [8] Suehiro T, Mizutani M, Ishida H, et al. Individuals with chronic low back pain demonstrate delayed onset of the back muscle activity during prone hip extension[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2015, 25(4):675—680.
- [9] Silfies SP, Squillante D, Maurer P, et al. Trunk muscle recruitment patterns in specific chronic low back pain populations[J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2005, 20(5):465—473.
- [10] Danneels LA, Vanderstraeten GG, Cambier DC, et al. A functional subdivision of hip, abdominal, and back muscles during asymmetric lifting[J]. Spine, 2001, 26(5):E114—121.
- [11] Freeman MD, Woodham MA, Woodham AW. The role of the lumbar multifidus in chronic low back pain: a review [J]. PMR, 2010, 2(2):142—146.
- [12] 穆景颂, 倪朝民, 夏清, 等. 表面肌电在腰椎间盘突出症患者功能评定中的应用[J]. 中国康复理论与实践, 2010, 16(3): 266—269.
- [13] 王健, 方红光, Kankaanpää M. 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.