

单侧痛腰椎间盘突出症的表面肌电信号特征

陈文敏¹, 肖玲玲¹, 李慧慧², 张广宇¹

1. 江西理工大学, 江西 赣州 341000; 2. 中国科学院深圳先进技术研究院, 广东 深圳 518055

【摘要】目的:探索单侧痛腰椎间盘突出症(LDH)患者和健康者的表面肌电图的特征差异。**方法:**从多裂肌、腹外斜肌和腹横肌收集表面肌电信号的数据,22例右侧痛LDH患者,12例左侧痛LDH患者和22例健康者,受试者在专业人员指导下进行站立,然后尽可能地弯曲,保持完全弯曲再笔直站立,执行5次。使用归一化肌电均方根值(RMS),平均功率频率(MPF)作为分析基础。**结果:**单侧疼痛LDH组与健康者在多块肌肉的各项变量均有显著性差异,此外LDH组的平均RMS和MPF值均低于健康组。**结论:**腰椎肌肉的表面肌电信号的RMS和MPF可以作为LDH患者风险的预测因子。同时结合常用的视觉模拟量表进行临床疼痛研究,通过客观测量值来探讨患者的主观反应,随着单侧痛LDH患者主观疼痛值增大,肌电信号的特征值减小,这将有损于患者的康复。

【关键词】表面肌电信号;腰椎间盘突出症;均方根值;平均功率频率

【中图分类号】R681.57;R337.5

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)10-1022-05

Comparison of surface electromyography features between healthy controls and lumbar disc herniation patients with unilateral pain

CHEN Wenmin¹, XIAO Lingling¹, LI Huihui², ZHANG Guangyu¹

1. Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China; 2. Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China

Abstract: Objective To quantitatively compare the differences in surface electromyography (sEMG) features between the healthy and lumbar disc herniation (LDH) patients with unilateral pain. **Methods** The sEMG data were collected from the multifidus muscles, external oblique muscles and transverse abdominal muscles. Twenty-two LDH patients with right-sided pain, 12 LDH patients with left-sided pain and 22 healthy controls participated in this experiment. Subjects firstly stood under the guidance of a professional, and then bend as far as possible, and keep fully flexed and stand again, performing 5 times. The normalized EMG root mean square (RMS) and mean power frequency (MPF) were used as the base for analysis. **Results** Significant differences between the unilateral pain LDH group and the healthy group were found. Furthermore, the mean RMS and MPF of LDH group were lower than those of the healthy group. **Conclusion** The RMS and MPF of the sEMG signal of lumbar muscle can be used as predictors of the risk of LDH patients. The most frequently used visual analog scale was used for analyzing the pain in clinical research, and objective measurements are used to explore the patient's subjective response. With the increase of subjective pain score of LDH patients with unilateral pain, the eigenvalue of sEMG signal decreases, which might benefit to patients in rehabilitation.

Keywords: surface electromyography; lumbar disc herniation; root mean square; mean power frequency

前言

【收稿日期】2017-06-25

【基金项目】国家自然科学基金(61401454);国家863计划(2015AA-043203);广东省科技计划项目(2014B010111008)

【作者简介】陈文敏,硕士研究生,研究方向:医学信号处理,电子与通信工程,E-mail: 2403591445@qq.com

【通信作者】肖玲玲,副教授,研究方向:信号处理,控制理论及应用,E-mail: gzxll@aliyun.com

随着现代生活压力的增大,亚健康人群逐渐增多,慢性疾病是当今困扰人们健康的主要病症,它的特点是:病程长,不可逆,并发症多,致残、致死率高、经济负担重。腰椎病又称下背痛,是指一组以下背、腰骶、臀部疼痛和不适为主要症状的疼痛综合征。全球疾病研究中心于2015年发表在医学权威期刊LANCET(柳叶刀)的文章分析表明,1999~2013年全球188个国家301种急性和慢性疾病流行率,发现在每个国家导致残疾率最高十大原因中排在第一位的

为下背痛和重度抑郁症^[1]。腰椎间盘突出症(Lumbar Disc Herniation, LDH)发生在从事体力劳动的年轻男性,长期疼痛会导致腰椎肌肉功能受损,患者工作能力下降^[2]。表面肌电图(又称动态肌电图)检查在评价肌肉功能状态方面具有良好的特异性、可靠性和灵敏性,同时检测过程具有无创性、实时性和多靶点测量的优点。可动态、无创观察腰椎肌旁不同生理、病理状态下电生理活动情况,实时反应肌肉的功能状态以及活跃程度^[3-5]。

本研究分析了健康者和单侧痛LDH出患者的多裂肌、腹外斜肌和腹横肌的表面肌电(surface Electromyography, sEMG)信号差异。具体的实验方法是:采集的信号进行最大随意收缩(Maximum Voluntary Contraction, MVC)^[6],即每次实验前先让测试者肌肉做最大强度的等长收缩,通常需要重复最大等长收缩多次,每次动作保持3~5 s。每个动作分别完成5次,同时记录腰背部sEMG信号。

1 资料与方法

1.1 对象

本研究中,我们招募了34例来自深圳市龙岗中心医院单侧LDH患者,22例右侧疼痛,12例左侧疼痛;22例来自深圳市中国科学院先进技术研究院自愿参加实验的健康者(表1)。LDH患者纳入标准如下:经磁共振成像(MRI)或计算机断层扫描(CT)诊断为脊髓L₄~L₅或L₅~S₁椎间盘突出症;LDH组的年龄和性别与健康组相符;22例健康对照组没有历史腰痛或进行过手术。排除标准如下:腰痛主要由内脏疾病(如心血管病、血液病)引起。该研究获得了中国科学院深圳先进技术研究院批准。

表1 受试者资料比较

Tab.1 Comparison of the clinical data of subjects






Item	Right-sided pain	Left-sided pain	Healthy
Female/male	13/9	5/7	12/10
Age/years	43.36±10.67	42.25±11.78	40.56±4.76

1.2 主动训练模式

在进行实验前,完成视觉模拟量表(Visual Analogue Scale, VAS)问卷调查(表2),提供自我评价^[7-8]。运动疗法是物理治疗的一种方法,是腰痛患者欧洲指导方针的首推方法。实验中,每个受试者在专业人员指导下进行锻炼5次,一开始站立然后向前弯曲到最大程度并立即回复,每种动作至少完成5次连续实验。

表2 视觉模拟量表问卷表

Tab.2 Visual analogue scale questionnaire

Visual analogue scale					
Symptom					
Fraction	0	1-2	3-4	5-6	7-8

1.3 sEMG信号的采集

本次实验采用MP150型四导联表面肌电图仪。16个模拟数据采集通道,配有无无线基本模块EMG2-R的Biopac系统和3个无线EMG模块BioNomadix来获取sEMG信号,它连接到安装有用于记录接受数据的软件包Acknowledge v.4.2d的计算机上。新生儿心电电极,统一室内温度及空气湿度。在这项研究中,包括2个背部通道和4个腰部通道(图1)。将sEMG电极片按照肌肉的走向进行安放,皮肤表面存在角质层,电阻率可达到100 kΩ~1 MΩ^[9]。在测定时需要使用砂片和酒精擦拭掉油脂和角质层以提高输入信号的质量^[10]。电极片距离为2 cm,参考电极放置在脊背部的中间,其中,测量多裂肌、腹外斜肌、腹横肌sEMG信号经过10~500 Hz的带通滤波器滤波并放大后,通过1 000 Hz采样频率转换为数字信号。在本文中,使用归一化肌电均方根值(Root Mean Square, RMS)、平均功率频率(Mean Power Frequency, MPF)来比较单侧疼痛LDH患者和健康者之间的肌电信号。

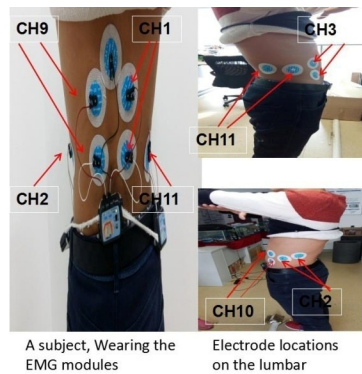


图1 表面肌电信号的位置

Fig.1 Electrode locations for collecting the surface electromyography (sEMG) signal

1.4 统计分析

使用SPSS.19.0软件包用于统计分析,进行独立样本 t 检验以比较健康组和LDH组的差异。 $P<0.05$ 时有显著性差异。

2 结果

通过比较发现健康组的肌电信号RMS、MPF均值均高于单侧疼痛的LDH组(图2);右侧疼痛的LDH组

和健康组的多裂肌、腹外斜肌和腹横肌时域和频域指标均有显著性差异,左侧疼痛的LDH组除腹横肌MPF外其他指标与健康组有统计学差异,数据见表3。

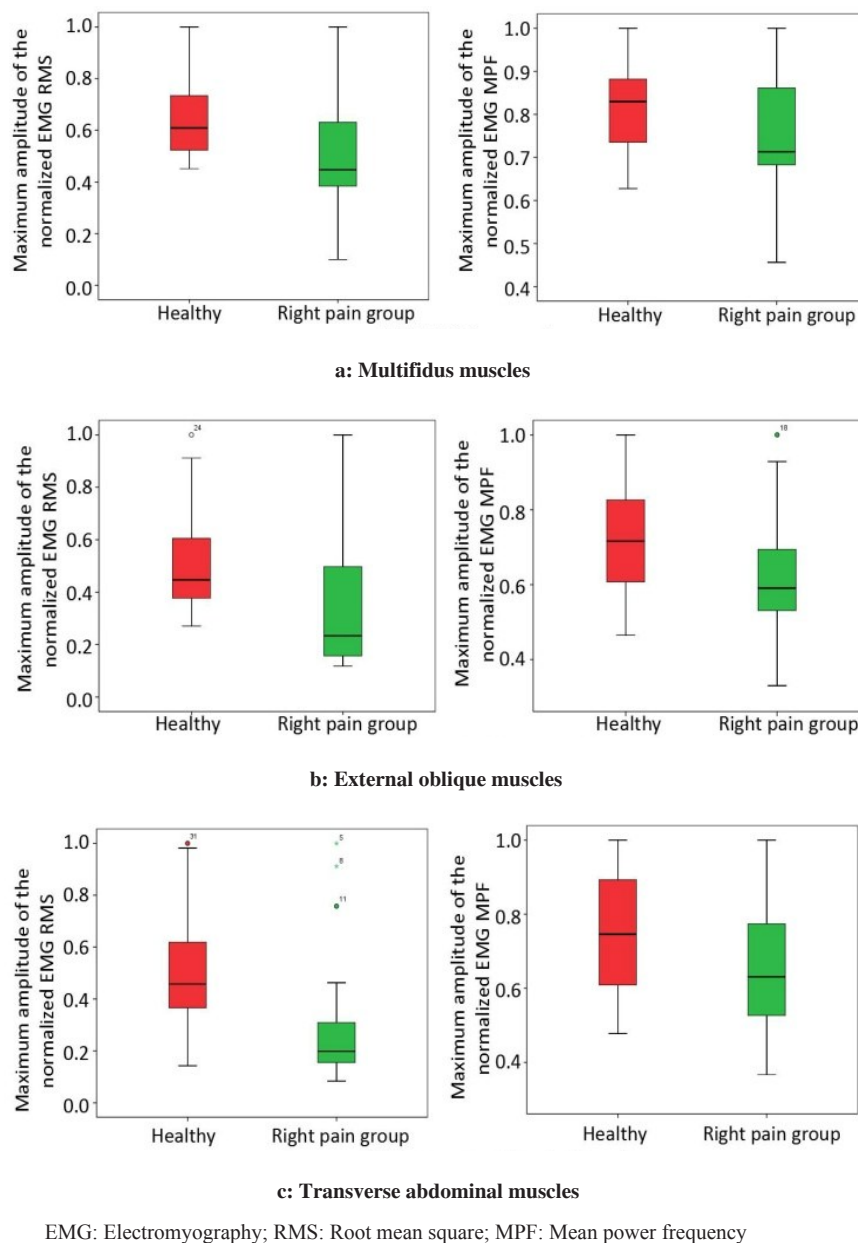


图2 健康组和右疼痛组最大幅度归一化RMS、MPF值
Fig.2 Maximum amplitude of the normalized RMS and MPF values in the healthy group and right-sided pain group

比较所有受试者的幅值与视觉模拟疼痛量表之间的关系:视觉模拟量表是最常用的疼痛量表,取决于患者的主观反应。此外,视觉模拟量表反映了他们的症状程度^[11]。在目前研究中,我们使用图3中箱体图,探讨了与临床研究视觉模拟量表相对应的RMS特征量化值。对于单侧痛LDH患者对应的视觉模拟量表的较高等级与较低的最大幅度归一化

RMS值相关。可以观察到,随着VAS的增加,多裂肌、腹外斜肌和腹横肌的归一化EMG RMS的最大振幅减少(图3)。表明腰椎肌肉的归一化最大幅度可用于评估LDH患者的定量疼痛。结果证明LDH患者的疼痛程度影响腰背部肌肉运动。根据上述结果,与健康组相比LDH患者的RMS MPF有统计学意义。

表3 多裂肌、腹外斜肌和腹横肌肌电信号的变化

Tab.3 sEMG signal changes in multifidus muscles, external oblique muscles and transverse abdominal muscles

Group		Multifidus muscles		External oblique muscles		Transverse abdominal muscles	
		RMS	MPF	RMS	MPF	RMS	MPF
Right-side	Healthy	0.648±0.158	0.817±0.103	0.528±0.203	0.717±0.138	0.524±0.221	0.751±0.165
	Pain	0.503±0.234	0.736±0.143	0.345±0.252	0.603±0.177	0.305±0.255	0.650±0.149
	P value	0.021	0.036	0.021	0.021	0.004	0.039
Left-side	Healthy	0.758±0.177	0.835±0.089	0.744±0.168	0.794±0.126	0.724±0.158	0.784±0.142
	Pain	0.550±0.242	0.729±0.147	0.574±0.218	0.684±0.133	0.406±0.217	0.656±0.174
	P value	0.025	0.043	0.043	0.049	0.000	0.061

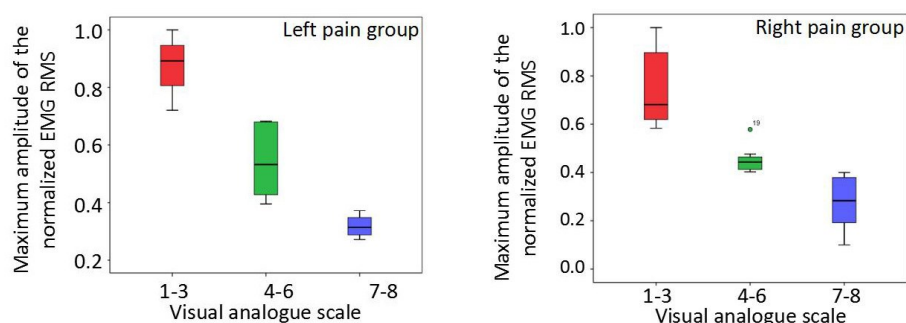


图3 左右侧疼痛的模拟量表

Fig.3 Visual analogue scale in left and right-sided pain group

3 讨论

运动疗法与传统的物理疗法、手术治疗等手段相比,具有伤害性小、有效性强、特异性高等特点。在所有运动中健康者的肌肉特征值均大于患者的,结论与王康玲等^[12]研究表明LDH患者采用桥式运动时,竖脊肌、多裂肌健侧平均肌电值均大于痛侧,即桥式训练有益于腰痛患者是相符的。同时也验证了Danneels等^[13]在研究不同运动下腰痛患者多裂肌肌电活动时的发现:与健康组比较,在进行协同性锻炼时患者的多裂肌肌电活动较低。

腰椎稳定肌是腰椎稳定性维持的三大关键性系统之最,分布于腰椎局部和躯干整体部位的具有维持腰椎稳定性和实现腰椎保护的肌群。根据维稳功能的不同,主动系统肌群通常被分为位于躯干背部表层和收缩力矩较大的整体稳定肌以及位于腰部深层的局部稳定肌两类,其中以腰椎多裂肌和腹横肌的作用最为突出^[14]。到目前为止,对于LDH患者的sEMG的研究主要集中在躯干或竖脊肌上^[15]。多裂肌和腹横肌的同步使用很少被考虑。我们的研究从多裂肌、腹横肌和腹外斜肌同时捕获sEMG,这是多块肌肉的协同配合。从sEMG信号中可以获取肌

肉激活的活动信息,采集受试者完成某种特定动作时的多路肌电信号,从采集的肌电信号中提取肌肉协同信息^[16]。RMS是指一段时间内瞬间肌电图振幅平方的平均平方根,是放电的有效值。RMS值跟肌电信号的能量直接联系,其在实际应用中常常被用于体现产生肌电的能量。sEMG信号的频谱曲线形状变化,总结出频率参数与肌肉疲劳有关,如观察信号的MPF^[17],中位频率及高频成分与低频成分的比值等。但最常用的是参数是MPF和中位频率^[18]。MPF是反应信号频率特征的生物物理指标,其高低与外周运动单位动作电位的传导速度、参与活动的运动单位类型以及其同步化程度有关^[19]。肌电分析对康复疗效的评估已有多项研究^[20-21]。

【参考文献】

- [1] VOS T, BARBER R, BELL B, et al. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 301 acute and chronic diseases and injuries in 188 countries, 1990-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013[J]. Lancet, 2015, 386(9995): 743-800.
- [2] AHERN D K, FOLLIICK M J, COUNCIL J R, et al. Comparison of lumbar paravertebral EMG patterns in chronic low back pain patients and non-patient controls[J]. Pain, 1988, 34(2): 153-160.

- [3] KANKAANPÄÄ M, TAIMELA S, WEBBER C L, et al. Lumbar paraspinal muscle fatigability in repetitive isoinertial loading: EMG spectral indices, Borg scale and endurance time[J]. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1997, 76(3): 236-242.
- [4] KANKAANPÄÄ M1, TAIMELA S, LAAKSONEN D, et al. Back and hip extensor fatigability in chronic low back pain patients and controls [J]. Arch Phys Med Rehabil, 1998, 79(4): 412-417.
- [5] ROY S H, DE LUCA C J, EMLEY M, et al. Spectral electromyographic assessment of back muscles in patients with low back muscles in patients with low back pain undergoing rehabilitation[J]. Spine, 1995, 20(1): 38-48.
- [6] MERLETTI R, BOTTER A, TROIANO A, et al. Technology and instrumentation for detection and conditioning of the surface electromyographic signal: state of the art[J]. Clin Biomech, 2009, 24(2): 122-134.
- [7] FIGUEIREDO R R, AZEVEDO A A, OLIVEIRA P M, et al. Correlation analysis of the visual-analogue scale and the tinnitus handicap inventory in tinnitus patients [J]. Braz J Otorhinolaryngol, 2009, 75(1): 76-79.
- [8] HAWKER G A, MIAN S, KENDZERSKA T, et al. Measures of adult pain: visual analog scale for pain (VAS pain), numeric rating scale for pain (NRS pain), mcgill pain questionnaire (MPQ), short-form mcgill pain questionnaire (SF-MPQ), chronic pain grade scale (CPGS), short form-36 bodily pain scale (sf-36 bps), and measure of intermittent and constant osteoarthritis pain (ICOAP)[J]. Arthritis Care Res, 2011, 63(Suppl 11): S240-S252.
- [9] BOTTIN A. Impedance of the skin-electrode interface in surface EMG recordings[J]. ISEK 2002, 2002: 246-247.
- [10] BURBANK D P, WEBSTER J G. Reducing skin potential motion artefact by skin abrasion[J]. Med Biol Eng Comput, 1978, 16(1): 31-38.
- [11] AVERBUCH M, KATZPER M. Assessment of visual analog *versus* categorical scale for measurement of osteoarthritis pain[J]. J Clin Pharmacol, 2004, 44(4): 368-372.
- [12] 王康玲, 王楚怀, 许轶, 等. 非特异性下腰痛患者不同桥式运动时腰肌表面肌电信号的变化[J]. 中国康复理论与实践, 2014, 20(9): 877-880.
- WANG K L, WANG C H, XU Y, et al. Non-specific low back pain patients with different bridge movement of the lumbar muscle surface changes in myoelectric signals[J]. Chinese Rehabilitation Theory and Practice, 2014, 20(9): 877-880.
- [13] DANNEELS L A, COOREVITS P L, COOLS A M, et al. Differences in electromyographic activity in the multifidus muscle and the iliocostalis lumborum between healthy subjects and patients with sub-acute and chronic low back pain[J]. Eur Spine J, 2002, 11(1): 13-19.
- [14] WAGNER H, ANDERS C, PUTA C, et al. Musculoskeletal support of lumbar spine stability[J]. Pathophysiology, 2005, 12(4): 257-265.
- [15] HOSEINPOOR T S, KAHRIZI S, MOBINI B. Trunk extensor muscle fatigue influences trunk muscle activities[J]. Work, 2015, 51(4): 793-797.
- [16] TING L H, MCKAY J L. Neuromechanics of muscle synergies for posture and movement[J]. Curr Opin Neurobiol, 2007, 17(6): 622-628.
- [17] STULEN F B. A technique to monitor localised muscular fatigue using frequency domain analysis for the myoelectric signal[D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1980.
- [18] MERLETTI R, GULISASHVILI A, LO CONTE L R. Estimation of shape characteristics of surface muscle signal spectra from time domain data[J]. IEEE Trans Biomed Eng, 1995, 42(8): 769-776.
- [19] 齐瑞, 严隽陶, 房敏, 等. 脑卒中偏瘫患者肱二、三头肌表面肌电特征的研究[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2006, 28(6): 399-401.
- QI R, YAN J T, FANG M, et al. Stroke hemiplegia patients with brachialis, triceps muscle surface electrical characteristics of the study [J]. Chinese Journal of Physical Medicine and Rehabilitation, 2006, 28(6): 399-401.
- [20] 缪芸, 倪朝民, 夏清, 等. 膝部损伤后膝关节功能障碍患者股四头肌的表面肌电信号研究[J]. 中国康复理论与实践, 2009, 15(11): 1065-1067.
- LIAO Y, NI C M, XIA Q, et al. Knee injury after knee dysfunction in patients with quadriceps muscle EMG signal [J]. Chinese Rehabilitation Theory and Practice, 2009, 15(11): 1065-1067.
- [21] 欧阳静明, 王楚怀, 王子领, 等. 太极拳特定动作下股内侧肌和股外侧肌表面肌电特征的研究[J]. 中国康复理论与实践, 2009, 15(11): 1068-1070.
- OUYANG J M, WANG C H, WANG Y L, et al. Taiji Quan specific exercise under the medial femoral and lateral femoral muscle surface electromyographic characteristics of the study [J]. Chinese Rehabilitation Theory and Practice, 2009, 15(11): 1068-1070.

(编辑:薛泽玲)