

- [24] Molnar-Szakacs I, Iacoboni M, Koski L, et al. Action observation in the pars opercularis: Evidence from 58 subjects studied in fMRI [J]. Cognitive Neuroscience Society, 9th Annual Meeting Proceedings, 2002, F118.
- [25] Aziz-Zadeh L, Iacoboni M, Zaidel E, et al. Left hemisphere motor facilitation in response to manual action sounds [J]. Eur J Neurosci, 2004, 19:2609—2612.
- [26] Liberman AM, Mattingly IG. The motor theory of speech perception—revised[J]. Cognition, 1985, 21:1—36.
- [27] Sundara M, Namasivayam AK, Chen R. Observation—executing matching system for speech: a magnetic stimulation study[J]. Neuroreport, 2001, 12(7):1341—1344.
- [28] Watkins KE, Strafella AP, Paus T. Seeing and hearing speech excites the motor system involved in speech production [J]. Neuropsychologia, 2003, 41:989—994.
- [29] Fadiga L, Craighero L, Buccino G, et al. Speech listening specifically modulates the excitability of tongue muscles: a TMS study[J]. Eur J Neurosci, 2002, 15:399—402.
- [30] Watkins KE, Paus T. Modulation of motor excitability during speech perception: the role of Broca's area [J]. J Cogn Neurosci, 2004, 16:978—987.
- [31] 孔莉. 大脑高级皮质功能可塑性的认知神经心理学研究进展 [J]. 中国康复医学杂志, 2006, (8):723—724.
- [32] Wilson SM, Iacoboni M. Neural responses to non-native phonemes varying in producibility: evidence for the sensorimotor nature of speech perception [J]. Neuroimag, 2006, 33(1):316—325.
- [33] Meister IG, Wilson SM, Deblieck C, et al. The essential role of premotor cortex in speech perception [J]. Curr Biol, 2007, 17(19):1692—1696.
- [34] 林枫, 江钟立. 词汇联想网络分析在言语康复治疗中的应用前景 [J]. 中国康复医学杂志, 2008, (4):378—381.

· 综述 ·

表面肌电图在腰痛康复评价中的应用

俞晓杰¹ 王颖¹

腰痛是临床上常见的顽固性疾病之一。腰痛多由脊柱的力学紊乱和运动异常引起,其发病因素包括生理、心理、环境和职业等多个方面。腰痛在我国乃至全世界都是普遍存在的。流行病学结果显示 10%—17% 的成年人每年至少有一次腰痛发作^[1]。与腰痛相关的病损是 64 岁以下人群中活动受限的最常见原因。因此腰痛带来了巨大的社会和经济负担。随着表面肌电图(surface electromyography, sEMG)监测和反馈训练技术的发展和运用,sEMG 已成为腰痛综合征的一种重要的康复评定和辅助治疗手段。在研究腰痛脊柱生物力学和肌肉的运动控制方面具有广阔的应用前景。

1 腰痛的表面肌电信号检测

1.1 测试指征、目的和记录部位

sEMG 信号是神经肌肉系统在随意性和非随意性活动时的生物电变化经表面电极引导、放大、显示和记录所获得的一维电压时间序列信号^[2]。在临床或科研中,为了更好地利用 sEMG 信号研究腰痛患者的肌肉活动,首先需要选择具有测试指征的研究对象,也就是应当选择怀疑存在肌肉功能障碍、肌肉痉挛或是肌肉活动模式异常,以及体检发现存在姿势异常、肌张力过高、激发点和肌力不平衡的腰痛患者作为测试对象。测试的目的主要包括评价姿势和动态运动对于腰部肌肉活动的影响;鉴别可能引起疼痛的腰部和骨盆带肌肉的异常活动模式(例如肌张力水平过高、肌肉活动持续时间过长和肌肉活动失衡等);以及评价腰部的肌肉疲劳度等。选择记录部位的依据主要是根据病史和体格检查的结果,通常选择疼痛部位以下的肌肉、在力学上与症状相关的肌肉(拮抗肌或辅助肌),以及当被触诊、牵拉或抗阻力运动时症状再现的肌肉进行检测。一般多从以下肌肉中确定最佳的记录部位:竖脊肌(胸段、腰段)、多裂肌、背阔肌、腹直肌、腹外斜肌、

腹内斜肌、臀大肌、臀中肌和腘绳肌^[3]。

1.2 测试方案

sEMG 检测需要为患者制定相应的肌肉活动测试方案。通常选择病史和临床检查发现的能够加重和减轻疼痛的相关运动程序进行检测。每个运动任务至少进行 3—5 次,以评价反应的一致性。也可能需要更多次的重复,以评价症状再现时的 sEMG 反应。

腰痛患者常常存在坐位或特定姿势下疼痛加剧的表现,因此对腰痛患者进行姿势分析是 sEMG 测试非常重要的内容。Dankaerts 等^[4]研究了非特异性腰痛患者在坐位情况下表面肌肉激活模式的改变,结果发现不同亚组的腰痛患者与正常对照组之间在非支持坐位过程中存在 sEMG 活动的差异。用最大随意收缩进行标准化时,应该采用的躯干姿势还没有一致的结论。Fiebert 等^[5]认为竖脊肌的最大电活动产生在从完全俯卧位伸展腰部的过程中。但是此结果可能无法包括所有无痛受试者和腰痛患者,并且由于变异较大而已经受到质疑^[6]。当检测负荷情况和姿势之间的关系时,产生了许多有意义的观察结果。Shirado 等^[7]检测了在不同等长负荷状态下的躯干和颈部姿势之间的关系,并且发现在仰卧位躯干屈曲过程中当颈部屈曲并且骨盆维持在后倾位时,腹部 sEMG 活动的增加最大。在俯卧位测试时,竖脊肌活动也是在颈部屈曲并且骨盆稳定的情况下增加最大。这些结果表明颈和骨盆的排列能够影响躯干屈肌和伸肌在等长运动过程中的 sEMG 活动。因此,当使用 sEMG 来记录功能性活动或神经肌肉再学习时的竖脊肌或腹肌活动时,临床医师能够预期最大的

¹ 上海交通大学医学院附属仁济医院康复医学科,上海市东方路 1630 号, 200127

作者简介:俞晓杰,男,住院医师,硕士

收稿日期:2008-03-31

sEMG 反应正常情况下将发生在最大颈部屈曲和骨盆稳定的情况下。此姿势可能对于减小腰椎前凸是最佳的, 并且能够最有效地募集前部或后部的躯干肌。类似的观察结果对于在功能训练过程中利用躯干角度和负荷关系优化肌肉激活策略具有重要意义。

腰部主动活动范围(active range of motion, AROM)的分析是腰痛 sEMG 测试中最常使用的方法。AROM 是指在患者颈、上部躯干和臀部放松的情况下进行腰部主动的前屈、后伸、侧屈和旋转运动, 其中以前屈运动最为重要。前屈运动包括躯干离心性下降、躯干全范围屈曲的维持和躯干向心性回复中立位 3 个时相, 每时相大约 3s, 完成整个前屈运动总共约 9s。信号分析中所介绍的屈曲-放松反应和向心/离心比率就是以前屈运动为基础的。此外, 可以对腰痛患者的功能活动进行分析, 包括步行、下蹲、从地面提举重物、搬运重物, 以及其他在家庭、工作和体育活动中可能加重或减轻症状的特定活动。

2 腰痛的表面肌电信号分析

通过记录 sEMG 活动能够反映腰部在特定姿势或运动状态下的功能状况。腰痛的 sEMG 信号分析的基本参数是振幅、频率和时间。积分平均值或均方根(RMS)是研究腰痛患者在肌肉非疲劳状态下的肌肉活动情况的常用振幅指标。RMS 常作为首选, 因为它直接与 EMG 信号的电功率有关^[8]。一般多从以下几方面对从腰痛患者检测的 sEMG 信号进行分析。

2.1 sEMG 静息振幅分析

在正常情况下, 基线静息活动应该是稳定和相对静止的。当在负重姿势下, 姿势肌倾向于显示低水平的活动(大约为 2—10 μ V RMS)。腰痛患者常常可以在脊旁肌中触诊到紧张的肌束, sEMG 检测可以发现肌束紧张的区域存在静息肌肉活动的异常升高。DeVocht 等^[9]观察了是否脊椎矫正治疗能够对腰部紧张肌束区域的肌电活动产生影响, 以研究脊椎矫正与脊柱功能障碍之间的关系。结果显示, 脊椎矫正治疗后的静息 EMG 水平通常是下降的。在一些病例中也观察到在治疗过程中 sEMG 活动增加, 然后再下降到比治疗前低的水平。

2.2 肌肉收缩过程中的 sEMG 振幅和对称性分析

Robinson 等^[10]的研究显示慢性腰痛患者与正常受试者相比, 在重复屈曲-伸展负荷过程中腰部肌肉产生较少的积分 sEMG 活动。当需要在不同肌肉或个体之间进行比较时, 应该对 sEMG 信号振幅大小进行标准化。常用以下两种方法进行标准化: ①用标准徒手肌力测试进行最大随意等长收缩(MVIC)时振幅的百分率进行标准化(测试活动振幅/MVIC 振幅 \times 100); ②用特定的用力强度、躯干角度和身体姿势进行的某亚极量收缩的百分率进行标准化。左/右侧脊旁肌运动过程中的振幅对称性是肌肉收缩过程 sEMG 信号分析的重要方面。通过观察 sEMG 振幅的对称性可以帮助发现肌力的不平衡。Marras 等^[11]报告腰部肌肉的非对称性是 LBP 发生一个重要危险因素。

2.3 腰脊旁肌屈曲-放松反应和向心/离心比率分析

屈曲放松反应是在躯干完全屈曲过程中观察到的腰脊旁肌电活动静止的一种正常现象。当患者开始屈曲运动时, 腰部脊旁肌活动增加。然而, 随着腰椎后部结构的紧张, 使腰部活动减小。当达到腰部全范围屈曲时, 腰脊旁肌活动下降到最小值^[12]。屈曲-放松反应异常或缺失的特征是在正常屈曲运动过程中持续存在较高水平的 sEMG 活动。一般认为腰痛患者在全屈曲过程中的 sEMG 活动增加可能是一种代偿性反应, 以改善脊柱稳定性, 以及降低运动过程中疼痛^[13]。虽然与腰痛患者肌肉功能相关的机制还不清楚, 但是随着肌肉功能不良增加, 会导致脊柱和周围结构的力学分布异常。一般可以将屈曲-放松反应简单地描述为存在、部分存在或缺失。Marshall 等^[14]对于腰痛患者运动干预后屈曲-放松反应改变的研究显示, 在 12 周运动干预后屈曲-放松反应的主动成分没有改变, 而躯干完全屈曲时的放松相中的活动量有接近 67% 的改变。而 Ritvanen 等^[15]的研究认为 1 个月的正骨治疗和物理治疗对于屈曲-放松现象没有作用。

在躯干屈曲运动过程中, 一般将腰脊旁肌向心/离心比率大于 2.0 为正常。向心/离心比率的计算方法为从前屈返回过程中(向心)的峰振幅除以前屈时躯干下降过程中(离心)的峰振幅。向心/离心比率小于 1.8 时可以认为脊旁肌活动异常。在慢性腰痛患者中竖脊肌的屈曲-放松比率下降^[16]和伸展-屈曲比率下降^[17]是常见的异常。这表明慢性腰痛患者的躯干和髋关节之间的神经肌肉协调可能是异常的。

2.4 在躯干侧屈和旋转运动过程中脊旁肌活动对称性分析

在躯干侧屈和旋转运动时, 应该观察到左/右侧的交互对称性模式。假定运动范围和运动速度相等, 那么一般将交互非对称性大于 35% 认为是异常的表现。在交互运动过程中, 一侧的活动明显占优势是一种异常表现。在单侧运动中左/右侧相似水平的共同收缩也是一种异常表现。在没有疼痛或功能障碍的受试者中也可能观察到这种相似水平的左/右侧共同活动, 但是此类受试者常常存在一定程度的椎间关节活动度异常。一般在慢性功能障碍患者中更容易发现矢状面屈曲和伸展运动的异常。检测时应以观察屈伸运动为主, 侧屈和旋转运动为辅。Pirouzi 等^[18]的研究证明慢性腰痛患者在进行标准化躯干旋转任务时存在肌肉募集增加。

2.5 腰脊旁肌、腹肌、臀肌和腘绳肌协调活动分析

前屈运动过程中的运动链肌肉的正常活动顺序依次是腰脊旁肌、臀大肌、腘绳肌、腓肠肌/比目鱼肌, 而从屈曲回复站立位时观察到的顺序相反。慢性腰痛时可能看到失平衡和肌肉募集顺序的改变。开始时间定义为肌电振幅达到基线均值以上 2 个标准差时的潜伏期。持续时间定义为在开始和基线恢复之间的时间量。Thomas 等^[19]研究了慢性腰痛患者在发生突然下肢振动时, 躯干肌(包括腹横肌、腹内斜肌、腹外斜肌、腹直肌和多裂肌)反应相对于主要运动肌(腓骨长肌)启动的时间顺序, 以及与正常受试者之间的差异。结果显示躯干肌(除多裂肌)存在先于肢体运动的前馈活动方式, 而与正常受试者之间没有发现显著性差异。

2.6 腰部肌肉的疲劳度分析

sEMG 信号的频率改变与肌肉功能的疲劳程度有关, 常用平均功率频率(mean power frequency, MPF) 和中位频率

(median frequency,MF)来定量描述每个信号功率谱曲线的转移或者各种频率分量的相对变化^[20]。大量证据显示,在重复收缩过程中,RMS值的强度逐渐减弱,而sEMG频率谱发生特征性的向低频转移。Dolan等^[21]的研究显示,在亚极量重复提举过程中从T10和L3竖脊肌记录的中位频率稳步下降,sEMG总功率谱显示最大改变发生在5—30Hz频率带。频率分析提供了研究竖脊肌肌肉疲劳的一个有意义的线性指标。有人认为腰部的肌电疲劳度应该被包括在神经肌肉分析中,因为sEMG信号的频谱分析是在收缩过程中募集的运动单位的功率分布的反映^[22]。Takahashi等^[23]评价了腰痛患者和正常受试者在力学负荷下维持直立站立的能力,结果显示腰痛患者存在竖脊肌中位频率的显著改变,这表明腰痛患者发生背部肌肉疲劳可能是引起疼痛的原因。田强等^[24]评价了8h驾驶的工作负荷对腰部竖脊肌和胫骨前肌肌肉疲劳状态的影响,结果显示8h驾驶工作负荷能够引起腰部竖脊肌明显的疲劳反应且两侧不对称;长期长时间驾驶能够导致腰腿部肌肉疲劳的慢性累积。

2.7 腰痛康复治疗的疗效分析

观察治疗过程中特定肌肉和运动的sEMG活动水平的改变,以评价康复治疗的疗效,反应神经肌肉系统的电生理学改变。疗效评价时建议使用标准化程序。也就是检测最大徒手肌力测试或标准化的亚极量收缩过程中的肌电振幅值作为参照。将运动过程中测试的平均振幅除以参照收缩振幅,再乘以100进行标准化。Marshall等^[25]研究了腰痛患者12周体操球训练前后的神经肌肉功能改变,结果显示竖脊肌疲劳度和屈曲-放松反应都有显著改善。

腰痛是临床上功能障碍和工作能力下降的一个主要原因^[26]。肌肉功能异常和运动能力受限可能参与慢性腰痛的发生和发展^[27]。因此,对于腰痛患者肌肉功能障碍的评价和研究,以及各种干预治疗结果的研究已经受到广泛的关注。以往对于腰痛患者的康复评价主要采用疼痛和功能障碍问卷调查、肌力和耐力测试、功能活动能力测试、日常生活活动和工作能力评价,以及自我治疗有效性评价等,而这些评价方法不足以对神经肌肉功能进行深入分析。而表面肌电图为研究腰痛患者的神经肌肉功能缺陷提供了一种有广阔应用前景的评价方法。

参考文献

- [1] Cunningham LS, Kelsey JL. Epidemiology of musculoskeletal impairments and associated disability [J]. *Am J Public Health*, 1984, 74(6):574—579.
- [2] 王健,金德闻. 康复医学领域的表面肌电应用研究[J]. *中国康复医学杂志*,2006,21(1):6—7.
- [3] Glenn SK, Jeffrey RC, Steven LW, et al. Clinical applications in surface electromyography [M]. Maryland:Aspen Publishers, 1998.321—345.
- [4] Dankaerts W, O'Sullivan P, Burnett A, et al. Altered patterns of superficial trunk muscle activation during sitting in nonspecific chronic low back pain patients: importance of subclassification[J]. *Spine*, 2006,31(17):2017—2023.
- [5] Fiebert I, Keller CD. Are "passive" extension exercises really passive[J]? *J Orthop Sports Phys Ther*, 1994,19(2):111—116.
- [6] Mirka GA. The quantification of EMG normalization error[J]. *Ergonomics*, 1991,34(3):343—352.
- [7] Shirado O, Ito T, Kaneda K, et al. Electromyographic analysis of four techniques for isometric trunk muscle exercises[J]. *Arch*

- Phys Med Rehabil*,1995,76(3):225—229.
- [8] Hogrel JY. Clinical applications of surface electromyography in neuromuscular disorders[J]. *Neurophysiol Clin*, 2005, 35(2):59—71.
- [9] DeVocht JW, Pickar JG, Wilder DG. Spinal manipulation alters electromyographic activity of paraspinal muscles: a descriptive study[J]. *J Manipulative Physiol Ther*, 2005,28(7):465—471.
- [10] Robinson ME, Cassisi JE, O'Connor PD, et al. Lumbar iEMG during isotonic exercise: chronic low back pain patients versus controls[J]. *J Spinal Disord*,1992,5(1):8—15.
- [11] Marras WS, Lavender SA, Leurgans SE, et al. The role of dynamic three-dimensional trunk motion in occupationally-related low back disorders. The effects of workplace factors, trunk position, and trunk motion characteristics on risk of injury[J]. *Spine*, 1993,18(5):617—628.
- [12] Neblett R, Mayer TG, Gatchel RJ, et al. Quantifying the lumbar flexion-relaxation phenomenon: theory, normative data, and clinical applications[J]. *Spine*, 2003,28(13):1435—1446.
- [13] Quint U, Wilke HJ, Shirazi-Adl A, et al. Importance of the intersegmental trunk muscles for the stability of the lumbar spine. A biomechanical study in vitro [J]. *Spine*,1998,23(18):1937—1945.
- [14] Marshall P, Murphy B. Changes in the Flexion Relaxation Response Following an Exercise Intervention[J]. *Spine*,2006,31(23):E877—E883.
- [15] Ritvanen T, Zaproudina N, Nissen M, et al. Dynamic surface electromyographic responses in chronic low back pain treated by traditional bone setting and conventional physical therapy [J]. *J Manipulative Physiol Ther*,2007,30(1):31—37.
- [16] Geisser ME, Haig AJ, Wallbom AS, et al. Pain-related fear, lumbar flexion, and dynamic EMG among persons with chronic musculoskeletal low back pain[J]. *Clin J Pain*, 2004,20(2):61—69.
- [17] Sihvonen T, Partanen J, Hänninen O. Averaged (rms) surface EMG in testing back function [J]. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 1988,28(6):335—339.
- [18] Pirouzi S, Hides J, Richardson C, et al. Low back pain patients demonstrate increased hip extensor muscle activity during standardized submaximal rotation efforts [J]. *Spine*, 2006,31(26):E999—E1005.
- [19] Thomas, Greenhaff P. Does electromyographic trunk muscle response to a sudden lower limb perturbations differ with chronic LBP[J]. *Med Sci Sports Exerc*,2007,39(5):S268.
- [20] 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.
- [21] Dolan P, Mannion AF, Adams MA. Fatigue of the erector spinae muscles. A quantitative assessment using "frequency banding" of the surface electromyography signal [J]. *Spine*, 1995,20(2):149—159.
- [22] Dimitrova NA, Dimitrov GV. Interpretation of EMG changes with fatigue: facts, pitfalls and fallacies [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2003,13:13—36.
- [23] Takahashi I, Kikuchi S, Sato K, et al. Effects of the mechanical load on forward bending motion of the trunk: comparison between patients with motion-induced intermittent low back pain and healthy subjects [J]. *Spine*,2007,32(2):73—78.
- [24] 田强,黄力平,于诗情,等. 8h驾驶工作对中年出租车驾驶员腰腿部肌肉sEMG变化的影响[J]. *中国康复医学杂志*,2008,23(1):19—22.
- [25] Marshall PW, Murphy BA. Evaluation of functional and neuromuscular changes after exercise rehabilitation for low back pain using a Swiss ball: a pilot study [J]. *J Manipulative Physiol Ther*, 2006,29(7):550—560.
- [26] Rissanen A, Heliövaara M, Alaranta H, et al. Does good trunk extensor performance protect against back-related work disability[J]? *J Rehabil Med*, 2002,34(2):62—66.
- [27] Geisser ME, Haig AJ, Wallbom AS, et al. Pain-related fear, lumbar flexion, and dynamic EMG among persons with chronic musculoskeletal low back pain [J]. *Clin J Pain*, 2004, 20(2): 61—69.