

表面肌电信号分析腰椎滑脱术后椎旁肌功能

张 晓 唐 娟 贾云超 阮 智

摘 要 **目的** 探讨表面肌电图(surface electromyography, sEMG)检测退行性腰椎滑脱(degenerative lumbar spondylolisthesis, DLS)患者行后路腰椎椎间融合术(posterior lumbar interbody fusion, PLIF)后椎旁肌功能的变化。**方法** 采用前瞻性研究方法,选取43例符合标准的患者设为DLS组,40例健康同龄人为对照组。测定患者术前和术后3个月椎旁肌的均方根(root mean square, RMS)及中位频率(median frequency, MF)变化,并与对照组比较。**结果** 在保持静止站立状态时,DLS组术后椎旁肌RMS值显著低于术前($P < 0.05$),术前显著高于对照组($P < 0.05$),术后低于对照组,但差异无统计学意义($P > 0.05$)。在抬物伸展动作中,DLS组术前椎旁肌的RMS值明显高于术后($P < 0.05$),术前与对照组无显著变化($P > 0.05$);但术后显著低于对照组($P < 0.05$)。在抬物保持过程中,DLS组术前椎旁肌MF值显著低于对照组($P < 0.05$),术后显著高于术前($P < 0.05$);且术后显著低于对照组($P < 0.05$)。**结论** DLS患者存在明显腰椎旁肌无力及疲劳状况,sEMG分析结果显示,手术显著改善了患者椎旁肌功能。

关键词 退行性腰椎滑脱 后路腰椎椎间融合术 表面肌电图 椎旁肌 神经肌肉功能

中图分类号 R681 **文献标识码** A **DOI** 10.11969/j.issn.1673-548X.2023.08.017

Analysis of Paraspinal Muscle Function after Lumbar Spondylolisthesis Surgery by Surface Electromyography. ZHANG Xiao, TANG Juan, JIA Yunchao, et al. Department of Spinal Surgery and Neurology, The First Affiliated Hospital of Shihezi University, Xinjiang 832008, China

Abstract **Objective** To investigate the changes of paraspinal muscle function after posterior lumbar interbody fusion (PLIF) in patients with degenerative lumbar spondylolisthesis (DLS) by surface electromyography (sEMG). **Methods** A prospective study was done to have 43 eligible patients in the DLS group and 40 healthy peers in the control group. The changes in root mean square (RMS) and median frequency (MF) of paraspinal muscle were measured before and 3 months after surgery, and compared with the control group. **Results** When standing still, the postoperative RMS value of paraspinal muscle in the DLS group was significantly lower than that before preoperation ($P < 0.05$), significantly higher than that in the control group before surgery ($P < 0.05$), and lower than that in the control group after surgery, but the difference was not statistically significant ($P > 0.05$). In the stretching action, the preoperation RMS value of paraspinal muscle in the DLS group was significantly higher than that of postoperation ($P < 0.05$), but there was no significant change before surgery compared with the control group ($P > 0.05$). However, it was significantly lower than the control group after surgery ($P < 0.05$). During lifting and maintaining the action, the MF value of paraspinal muscle in the DLS group before surgery was significantly lower than that in the control group ($P < 0.05$), and postoperative was significantly higher than preoperative ($P < 0.05$); it was significantly lower than the control group after surgery ($P < 0.05$). **Conclusion** Patients with DLS had significant paraspinal muscular weakness and tiredness, and sEMG analysis showed that the operation significantly improved the paraspinal muscle function of patient.

Key words Degenerative lumbar spondylolisthesis; Posterior lumbar interbody fusion; Surface electromyography; Paraspinal muscle; Neuromuscular function

退行性腰椎滑脱(degenerative lumbar spondylolisthesis, DLS)是由于椎体间出现相对滑移而改变了椎体间稳定性,病因以退变性腰椎滑脱最为多见,好发于中老年人,主要临床症状为腰背痛和下肢放射痛,

严重者甚至会表现为间歇性跛行。当腰痛症状保守治疗无效或出现神经受压症状时,需要考虑手术治疗^[1]。目前腰椎后路椎板开窗+椎间盘切除+椎体间植骨融合椎弓根螺钉系统内固定术(posterior lumbar interbody fusion, PLIF)为稳定脊柱的最佳方法,行后正中纵行切口的PLIF术,需要剥离两侧的椎旁肌显露双侧椎板、小关节及横突根部,另外术中较长时间使用撑开器,都会对肌肉组织产生不可避免的损

基金项目:国家自然科学基金资助项目(82060410)

作者单位:832008 石河子大学第一附属医院脊柱外科(张晓、贾云超、阮智),神经内科(唐娟)

通信作者:阮智,电子邮箱:1725660475@qq.com

伤,且术后易发生腰背部僵硬、顽固性酸痛、肌无力以及萎缩等并发症^[2~4]。在以往研究椎旁肌的功能中,运用的多普勒超声对于操作者经验要求较高,CT有辐射暴露的危害,MRI影像学技术成本高、耗时长,肌肉组织活检及组织学等手段因有创性而有局限性^[5~8]。

有研究报道,sEMG的肌电信号对肌肉疲劳和肌肉收缩力的变化非常敏感,有助于客观评价神经肌肉功能变化^[9]。目前sEMG在临床诊断、评估腰背痛患者相关肌肉功能变化、神经肌肉疾病的变化及康复运动治疗方面有较为广泛应用^[10]。目前PLIF术后腰椎旁肌功能变化尚不清楚。因此,本研究将sEMG作为检测术前及术后椎旁肌变化的评估指标,有助于制定有效的术后康复方案,对促进PLIF术后腰椎旁肌功能的有效恢复具有重要意义。

对象与方法

1. 研究对象:本研究取得石河子大学第一附属医院医学伦理学委员会批准(伦理学审批号:KJX-2021-011-02)。将2021年1月~2022年8月在石河子大学第一附属医院脊柱外科接受PLIF治疗的43例退行性腰椎滑脱症患者纳入DLS组,同时选取40例体检的健康同龄人作为对照组。所有患者术前及术后第3个月在门诊均进行了sEMG、腰椎正侧位及曲伸位X线、腰椎计算机断层扫描(CT)和腰椎磁共振成像(MRI1.5T)检查。所有受试者基本临床资料详见表1,组间比较差异无统计学意义($P < 0.05$)。

表1 入选两组受试者的基本资料比较 ($n, \bar{x} \pm s$)

项目	DLS组($n=43$)	对照组($n=40$)	P
年龄(岁)	60.28 ± 11.77	57.10 ± 11.48	0.22
性别			0.94
男性	19	18	
女性	24	22	
体重指数(kg/m^2)	24.62 ± 2.34	25.52 ± 3.04	0.26
手术节段			0.96
L ₃	2	2	
L ₄	28	27	
L ₅	13	11	
滑脱分度			-
I°	17	0	
II°	21	0	
III°	5	0	

2. 患者纳入标准:①明确诊断为退行性腰椎滑脱症合并腰背痛及下肢放射痛;②经非手术治疗无缓解;③有单节段腰椎滑脱;④签署知情同意书。

3. 患者排除标准:①诊断不明确且合并相关腰椎间盘突出疾病患者;②病理性脊柱疾病,如腰部的感染性疾病如结核、化脓性感染、脊柱肿瘤、先天性腰椎畸形致腰椎脊髓受损者和伴有椎体骨折的患者;③既往有腰背部手术史;④术后发现深部组织感染者;⑤影像学资料、表面肌电图数据不足及失访的病例,术后临床随访数据不满3个月的患者。

4. 治疗方法:本次研究的患者均由同组手术医生操作,并使用椎弓根钉和刚性钛合金棒进行椎旁固定,术后佩戴腰部护具3个月,可日常活动,但不进行体育锻炼及体力劳动。

5. 椎旁肌sEMG检测:sEMG检查室的环境温度维持在25~28℃,在测试前获得所有受试者同意并签署知情同意书,详细告知患者测试流程。充分暴露检查部位,使用75%乙醇对局部皮肤重复擦拭,进行脱脂处理以减少皮肤和电极片之间的电阻,待皮肤完全干燥后,再贴电极片。本研究统一采用一次性吸附表面电极片,将3块电极片粘贴在对应肌肉皮肤表面,电极片沿着所测肌肉纤维的长轴方向粘贴在肌腹最饱满的部位。其中测试电极片之间相距2cm,参考电极粘贴在距离测试电极外侧3cm的位置^[11]。

在进行表面肌电图检查前,均采用VAS-LBP和VAS-LP评分法评价患者腰背部疼痛和下肢放射痛的程度。使用肌电图仪(型号:QP-946BK,日本Nihon-Kohden公司)检测术前、术后3个月患者进行拾物动作试验三步中的椎旁肌肉肌电信号变化情况,并通过系统软件进行数据分析^[12]。第一步:被测者保持站立位,双下肢直立,双脚打开与双肩等宽,检测1min,选取中间50s波段的均方根值(root mean aquare of the spectrum,RMS)。第二步:被测者躯干前屈90°,双手握起置于被测者前方重约2kg的四脚凳子,然后被测者躯干伸直并后伸约5s,取躯干伸直时中间3s的RMS值。第三步,被测者双臂均保持水平位置,当其无法处于水平位置时(以双手臂下垂>10°为标准)应立即停止实验,取从30s后开始连续检测1min的中位频率值(median frequency,MF)分别取左右两侧平均值。受试者在休息5min后重复以上实验,最后进行数据分析。上述实验操作及数据采集都由同一个熟练掌握sEMG技术的神经内科医生完成。

6. 统计学方法:应用SPSS 26.0统计学软件对数据进行统计分析,计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,计量数据组内前后比较应用配对 t 检验,两组间

比较使用独立样本 t 检验,计数数据应用 χ^2 检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 抬物实验第一步椎旁肌 sEMG 的分析:术前 DLS 组椎旁肌 RMS 值为 $16.11 \pm 6.86 \mu\text{V}$,术后为 $9.25 \pm 3.56 \mu\text{V}$ 。对照组椎旁肌 RMS 值为 $10.64 \pm 4.29 \mu\text{V}$,通过统计学分析显示,术前 DLS 组椎旁肌 RMS 值均明显高于对照组 ($P < 0.05$);术后 DLS 组椎旁肌 RMS 值明显低于术前水平 ($P < 0.05$);且低于对照组,两组间比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$),详见图 1。

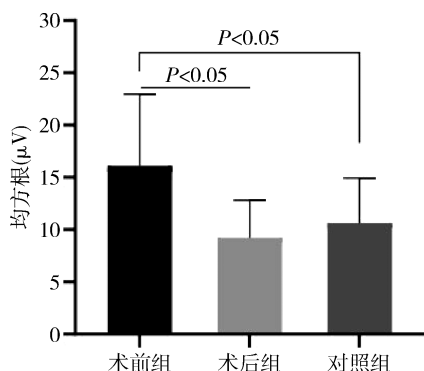


图1 抬物实验第一步中两组椎旁肌 RMS 值的比较

2. 抬物实验第二步椎旁肌 sEMG 的分析:术前 DLS 组椎旁肌 RMS 值为 $43.25 \pm 13.78 \mu\text{V}$,术后为 $25.20 \pm 8.20 \mu\text{V}$ 。对照组椎旁肌 RMS 为 $47.56 \pm 15.95 \mu\text{V}$ 。通过统计学分析表明,术前 DLS 组测定的椎旁肌 RMS 值低于对照组水平,两组差异无统计学意义 ($P > 0.05$);术后 DLS 组椎旁肌 RMS 值明显低于术前 ($P < 0.05$),并明显低于对照组,两组间比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$),详见图 2。

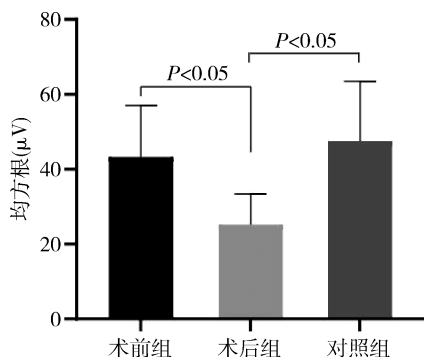


图2 抬物实验第二步椎旁肌 RMS 值比较

3. 抬物实验第三步椎旁肌耐力信号分析:术前 DLS 组患者椎旁肌的 MF 值为 $61.63 \pm 26.09 \text{Hz}$,术后

为 $72.79 \pm 26.76 \text{Hz}$ 。对照组椎旁肌 MF 为 $100.25 \pm 33.32 \text{Hz}$ 。结果显示,术前 DLS 组患者椎旁肌的 MF 数值低于对照组 ($P < 0.05$),术后明显高于术前 ($P < 0.05$),但仍低于对照组,两组间比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$),详见图 3。

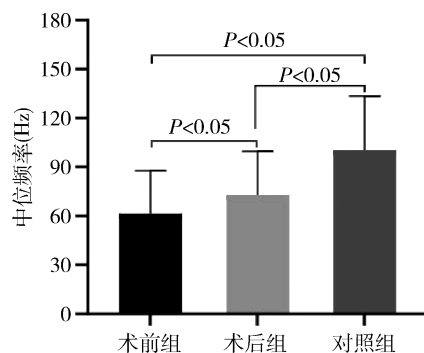


图3 抬物实验第三步椎旁肌耐力肌电信号比较

讨 论

腰椎滑脱症是引起腰背部酸胀痛的原因之一,严重的腰椎滑脱会出现椎间孔狭窄、神经根受压及下肢放射痛^[13]。目前 PLIF 手术是治疗腰椎滑脱症的经典手术方法。既往研究表明,手术可以提高脊柱稳定性^[2]。脊柱稳定性的维持不仅和椎体、椎间关节有关,也和周围椎旁肌群十分相关^[14]。而 PLIF 术可能会造成周围椎旁肌肉组织的破坏,目前鲜有关于 DLS 患者经过 PLIF 手术治疗后腰椎旁肌功能变化的报道。该研究首次利用 sEMG 检测 DLS 患者椎旁肌组织肌电活动变化,目的是探究患者经 PLIF 手术治疗前、后的椎旁肌功能变化。

在 sEMG 的时域分析中,RMS 是评估肌肉收缩活动最常见的参考指标^[15]。在既往研究中,MF 被证明是评估健康受试者和患者椎旁肌肉疲劳的可靠的肌电参数,MF 值是指在骨骼肌收缩运动中肌纤维释放频率的中间数值^[16]。研究显示,DLS 组患者在安静站立状态时其椎旁肌 RMS 水平值高于对照组,这可能与其导致椎旁肌肉处于高度紧张状态相关。此外腰椎滑脱患者常伴随腰背部酸胀痛,疼痛可能会使椎旁肌肉产生保护性收缩,引起椎旁肌群间压力升高,使静息状态站立时肌肉刺激增大。PLIF 手术治疗后患者椎旁肌电活动比术前显著下降,说明手术治疗可以改善腰椎滑脱症患者脊柱的稳定性、缓解腰部疲劳及减轻疼痛。术后 DLS 组患者腰椎旁肌电活动虽仍比对照组低,但无明显差异,这或许是由于手术对椎旁肌剥离所引起肌电活动的减少。

躯干抬物伸展实验结果表明,术后椎旁肌肌电活动比对照组明显下降。所以,当术后腰椎旁肌出现萎缩和脂肪浸润时,有必要进行相应腰椎旁肌群的功能锻炼或电刺激^[17]。这将会对 PLIF 术后患者神经肌肉功能的修复、避免和逆转肌肉萎缩起到重要的作用。

在持物保持状态时,因椎旁肌肉长期以过度紧张状态来维持脊柱的稳定,造成肌肉疲劳程度明显增加^[18]。研究表明,不管椎旁肌是静息还是活动状态,由于肌肉疲劳,肌电图的频谱均会发生向左移动的情况,即频域的 MF 值减小^[19]。本实验表明,患者在持物保持时 MF 值显著低于对照组,说明椎旁肌处于严重疲劳状态,这也是由于长期椎体滑脱或不稳定引起脊柱失衡而导致椎旁肌肉功能下降。术后椎旁肌抗疲劳能力较术前明显提高,但仍低于对照组,这可能与术中操作对椎旁肌的破坏导致其萎缩及肌肉纤维数量减少有关,最终导致术前与对照组没有同样抗疲劳性。

综上所述,本研究结果显示,与同龄的健康人比较,退行性腰椎滑脱症患者在静止站立状态其椎旁肌明显激活,而在躯干抬物伸展活动时椎旁肌的活动性明显下降,在水平抬物时肌肉的疲劳程度较高。手术能明显改善患者在站立时的紧张状态,提高椎旁肌的抗疲劳性。PLIF 术融合滑脱的椎体以恢复脊柱的生理结构,这将会改善椎旁肌肉功能,进而提高椎旁神经肌肉控制能力。此外患者术后的椎旁肌功能与正常人群存在明显差别,因此,对于积极进行术后康复训练来提高患者神经肌肉功能具有重要意义。

参考文献

- Bydon M, Alvi MA, Goyal A. Degenerative lumbar spondylolisthesis: definition, natural history, conservative management, and surgical treatment[J]. *Neurosurg Clin N Am*, 2019, 30(3): 299–304
- Fenton – White HA. Trailblazing: the historical development of the posterior lumbar interbody fusion (PLIF) [J]. *Spine J*, 2021, 21(9): 1528–1541
- Fan S, Hu Z, Zhao F, *et al.* Multifidus muscle changes and clinical effects of one – level posterior lumbar interbody fusion: minimally invasive procedure versus conventional open approach[J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(2): 316–324
- Hartwig T, Streitparth F, Gross C, *et al.* Digital 3 – dimensional analysis of the paravertebral lumbar muscles after circumferential single – level fusion[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2011, 24(7): 451–454
- Junhui L, Zhengbao P, Wenbin X, *et al.* Comparison of pedicle fixation by the Wiltse approach and the conventional posterior open approach for thoracolumbar fractures, using MRI, histological and electrophysiological analyses of the multifidus muscle[J]. *Eur Spine J*,

- 2017, 26(5): 1506–1514
- Duman F, Serarslan Y, Ozturk F, *et al.* Change in the dimensions of the lumbar area muscles after surgery: MRI analysis[J]. *Northern Clinics of Istanbul*, 2020, 7(5): 478–486
- Cho S, Kim S, Ha S, *et al.* Paraspinal muscle changes after single – level posterior lumbar fusion: volumetric analyses and literature review[J]. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 2020, 21(1): 73
- 王伟, 李危石, 陈仲强. 椎旁肌评价方法及其与腰椎疾病相关性的研究进展[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2020, 34(11): 1462–1467
- LARIVIÈRE C, Bilodeau M, Forget R, *et al.* Poor back muscle endurance is related to pain catastrophizing in patients with chronic low back pain[J]. *Spine*, 2010, 35(22): E1178–E1186
- Hu Y, Kwok JW, Tse JY, *et al.* Time – varying surface electromyography topography as a prognostic tool for chronic low back pain rehabilitation[J]. *Spine J*, 2014, 14(6): 1049–1056
- Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst – Klug C, *et al.* Develop recommendations for sEMG sensors and sensor placement procedures[J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2000, 10(5): 361–374
- 李永忠, 朱一霄, 陈文君, 等. 基于表面肌电信号分析的退行性腰椎后凸患者手术前、后椎旁肌肉功能变化研究[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2018, 40(4): 290–295
- Chan AK, Sharma V, Robinson LC, *et al.* Summary of guidelines for the Treatment of Lumbar Spondylolisthesis[J]. *Neurosurgery Clinics of North America*, 2019, 30(3): 353–364
- Palpan FA, García FP, Isla GA. Paraspinal muscle atrophy after posterior lumbar surgery with and without pedicle screw fixation with the classic technique[J]. *Neurocirugia (Astur: Engl Ed)*, 2019, 30(2): 69–76
- Berni KCDS, Dubai – Filho AV, Pires PF, *et al.* Accuracy of the surface electromyography RMS processing for the diagnosis of myelogenous temporomandibular disorder[J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2015, 25(4): 596–602
- Koumantakis GA, Oldham JA. Paraspinal strength and electromyographic fatigue in patients with sub – acute back pain and controls: reliability, clinical applicability, and between – group differences[J]. *World Journal of Orthopedics*, 2021, 12(11): 816–832
- Jung GS, Chang MC, Seo SW, *et al.* Transcutaneous neuromuscular electrical stimulation applied to optimal points on the lower abdomen and lumbar paraspinal region changes gait parameters in patients with lumbar degenerative kyphosis[J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2018, 31(2): 267–274
- Takahashi I, Kikuchi S, Sato K, *et al.* Effects of the mechanical load on forwarding bending motion of the trunk: comparison between patients with motion – induced intermittent low back pain and healthy subjects[J]. *Spine*, 2007, 32(2): E73–E78
- Li W, Liu Y, Zheng C, *et al.* Diagnosis of compressed nerve root in lumbar disc herniation patients by surface electromyography[J]. *Orthopaedic surgery*, 2018, 10(1): 47–55

(收稿日期: 2022 – 08 – 12)

(修回日期: 2022 – 09 – 21)