

·临床研究·

闭链与开链运动对髌股疼痛综合征 股四头肌作用的表面肌电图研究

缪 萍¹ 王楚怀^{2,3} 潘翠环¹ 许 轶² 于 瑞¹

摘要

目的:利用表面肌电图(sEMG)对髌股疼痛综合征(patellofemoral pain syndrome, PFPS)患者双足半蹲伴或坐位伸膝动作下股四头肌进行评估,比较不同开链与闭链动作对股四头肌的作用差异。

方法:PFPS病例组及正常对照组各30例,分别在双足半蹲以及坐位伸膝动作时检测股外侧肌(vastus lateralis, VL)及股内斜肌(vastus medialis oblique, VMO)表面肌电图,分析时域、频域指标,比较其平衡关系。

结果:病例组双足半蹲动作与坐位伸膝动作时各肌电指标的VL/VMO比值在时域、频域指标均有显著性差异,在坐位单侧完全伸膝动作时VL/VMO肌电比值大于双足半蹲动作且 >1 。

结论:VL、VMO表面肌电指标在双足半蹲动作时较坐位单侧完全伸膝动作时更接近平衡,提示适当屈膝时的闭链运动能够更有选择性地激发VMO,这为PFPS的康复治疗的动作选择提供参考。

关键词 髌股疼痛综合征;闭链运动;开链运动;表面肌电图

中图分类号:R741.0, R493 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2015)-12-1238-05

Effects of closed-kinetic chain and open-kinetic chain exercise on quadriceps femoris in patients with patellofemoral pain syndrome: a surface EMG study/MIAO Ping,WANG Chuhuai,PAN Cuihuan, et al// Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2015, 30(12): 1238—1242

Abstract

Objective:To investigate the different effects of closed-kinetic chain and open-kinetic chain exercise on the imbalance between vastus lateralis (VL) and vastus medialis oblique (VMO) of patients with patellofemoral pain syndrome (PFPS) by surface EMG(sEMG) study.

Method:Thirty patients with PFPS were selected to the study group, while 30 healthy matched subjects were enrolled as the control group. VL and VMO activities were recorded with sEMG during double-leg semisquat (DS) and fully knee extension in sitting position(KS). All the sEMG datas were collected and analyzed on extracting frequency and time domain indexes.

Result:The differences in the time and frequency domain indexes of VL and VMO were significant for the study group. The VL/VMO ratio of all the indexes were significantly higher in the test of DS than in the test of KS ($P<0.05$) for both study group and control group, the ratio of VL/VMO sEMG was >1 .

Conclusion:Exercise in DS could promote more balanced VL and VMO activation than in KS. The finding indicated that more selective VMO activation obtained in closed kinetic chain exercises at 60°knee flexion. This may be of importance in designing training programs aimed toward control of the patellofemoral joint.

Author's address Department of Rehabilitation Medicine, the Second Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou,510260

Key word patellofemoral pain syndrome; open kinetic chain; close kinetic chain; surface electromyography

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2015.12.008

1 广州医科大学附属第二医院康复科,广州,510260; 2 中山大学附属第一医院康复科; 3 通讯作者

作者简介:缪萍,女,主治医师,讲师; 收稿日期:2014-09-11

髌股疼痛综合征(patellofemoral pain syndrome, PFPS)是成人膝关节疼痛就诊的常见原因,主要表现为髌后或髌周的疼痛,尤其是上下楼梯、下蹲、屈膝久坐等容易诱发病状。在普通人群中的发生率约25%,在运动员中发生率高达60%,女性的发病率高于男性^[1-2]。导致该病发生发展最重要的生物力学机制是股四头肌功能失衡^[3]。在屈伸膝过程股内斜肌(vastus medialis oblique, VMO)不足以对抗股外侧肌(vastus lateralis, VL)对髌骨向外的牵拉力,导致髌骨在股骨髁间滑动时运动轨迹异常,髌股关节面的压力也发生相应改变,造成髌骨软骨的病理改变,产生髌股关节疼痛和功能障碍^[4]。因此在PFPS的保守治疗中,如何增强股内斜肌力量,重建股四头肌的平衡是治疗的重点之一。虽然物理治疗方法被广为运用,但其有效性的证据尚不充分。在PFPS的康复治疗中,无论是开链还是闭链运动都是常用的方法,对于开、闭链运动哪一种更加有效和安全,缺乏量化和客观的评价依据,既往的研究存在许多争议^[5-6]。

表面肌电图(surface electromyography, sEMG)具有无创性、敏感性、客观性等优点,可以在一定程度上量化的反映肌肉活动水平和功能状态,为进一步研究上述问题提供了有利的工具。本研究拟采用sEMG技术对PFPS病例组与正常对照组进行临床对照研究,在双足半蹲和坐位伸膝动作下检测两组受试者的VL、VMO的表面肌电信号并进行分析,探索PFPS患者各种表面肌电指标的特征及变化规律,比较开链与闭链动作对股四头肌的作用差异,为指导PFPS患者合理的运动治疗提供依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

受试对象分为PFPS病例组及正常对照组,每组各30例,来源为到中山大学附属第一医院黄埔院区康复科就诊的患者及自愿参加本研究的志愿者。所有受试者参加实验前均签署了知情同意书。病例组入选标准:年龄小于50岁,符合PFPS诊断标准^[7]且病史在2个月以上,VAS评分3—7分。排除标准:有重大的膝关节手术外伤史,膝关节半月板或韧带损伤,下肢严重畸形,合并其他脏器疾病不能耐受实验

者。病例组中单膝受累者的患侧膝或双膝受累者的症状较重的一侧膝关节为测试对象。对照组入选标准:选择年龄、性别、体重指数与病例相当的正常者。所有受试者均签署知情同意书。正常对照组随机选择左侧或右侧膝关节作为测试对象。两组受试者的基本情况差异无显著性,具有可比性(表1)。

表1 两组受试者一般资料比较

	年龄(岁)	身高(cm)	体重(kg)	性别(例)	
				男	女
病例组	31.30±6.87	165.23±9.30	60.60±12.49	16	14
对照组	28.70±5.84	164.50±8.46	59.03±10.74	14	16
<i>t</i>	1.579	0.32	0.512	0.606	
<i>P</i>	0.12	0.75	0.604	0.797	

1.2 试验设备

芬兰ME3000P型四导联表面肌电图仪、可接收信号的便携式电脑、量角器、长直尺、沙袋。

1.3 实验方法

1.3.1 闭链动作测试:采用双足半蹲动作:双脚自然分立,与肩同宽,双膝关节屈曲60°,双足尖向前,双眼平视前方,上身保持直立,保持重心居中,双手自然置于身体两侧。实验过程以量角器实时监测屈膝角度维持在60°,保持静态动作1min,同时测试受试者VL及VMO表面肌电信号。

1.3.2 开链动作测试:采用坐位伸膝动作:坐于股四头肌训练椅上,上半身保持直立,双眼平视前方,双手背于身后。受试者被要求尽全力伸膝,过程中研究助手不停用口语提示(开始!坚持!用力伸!),并用长直尺监测肢体离地面位置,保持静态动作1min即停止实验。

1.3.3 表面肌电信号采集、处理:测量电极粘贴于肌腹并和肌纤维的走行方向平行。对每个受试者同时记录VL、VMO表面肌电信号。先观察肌电信号基线平稳3—5s后,嘱受试者执行相应动作并持续记录表面肌电信号,至动作测试完成,基线回归平稳时为止。利用MegaWin2.3信号处理软件进行信号频谱分析处理,截取1min静态动作下的表面肌电信号,分别提取频域指标平均功率频率(mean power frequency, MPF)以及时域指标:均方根振幅(root mean square, RMS)、积分肌电值(integrated EMG, IEMG)作为观察指标。

1.4 统计学分析

全部数据采用SPSS18.0统计学软件包进行统计分析。正态分布数据用均数±标准差表示;统计学分析分为两个层面:①受试者VMO与VL的平衡情况分析比较;②比较不同动作VL/VMO肌电指标比值。均为受试者的自身对照,故采用自身配对 t 检验。 $P<0.05$ 认为差异有显著性意义。

2 结果

2.1 VL、VMO的平衡情况分析

病例组无论在双足半蹲动作还是坐位伸膝动作

下,VMO与VL的频域或时域指标均差异均有显著性意义($P<0.05$),且VMO指标值小于VL。而对照组在双足半蹲动作时,VMO与VL各指标无显著性差异,在坐位伸膝时VMO各指标值均小于VL,差异有显著性意义(表2)。

2.2 不同动作VL/VMO肌电指标比值比较

无论是病例组还是对照组,不同动作的时域或频域指标VL/VMO比值均有显著性差异,且坐位单侧完全伸膝动作时各指标VL/VMO比值较双足半蹲动作大(表3)。

表2 VL、VMO的各肌电指标值比较

($\bar{x}\pm s$)

	病例组(30例)			对照组(30例)		
	MPF(Hz)	RMS(μ V)	IEMG(μ Vs)	MPF(Hz)	RMS(μ V)	IEMG(μ Vs)
VL ^①	68.14±6.38	103.31±44.54	8.02±3.45	68.30±7.64	99.25±31.14	7.83±2.48
VMO ^①	65.57±4.96 ^③	85.02±41.19 ^③	6.72±3.20 ^③	66.53±7.56	104.10±48.75	8.27±3.02
VL ^②	92.51±11.90	163.28±80.12	12.23±6.04	95.47±15.51	150.30±51.17	11.33±3.90
VMO ^②	74.48±8.09 ^③	111.88±47.60 ^③	8.49±3.51 ^③	82.87±10.28 ^③	118.70±67.37 ^③	9.03±5.09 ^③

①双足下蹲动作;②坐位伸膝动作;③VMO与VL的表面肌电指标差异有显著性意义($P<0.05$),且VMO指标值小于VL

表3 不同动作间VL/VMO肌电指标比值比较

($\bar{x}\pm s$)

	病例组(30例)			对照组(30例)		
	MPF(Hz)	RMS(μ V)	IEMG(μ Vs)	MPF(Hz)	RMS(μ V)	IEMG(μ Vs)
双足半蹲	1.060±0.113	1.224±0.450	1.123±0.433	1.035±0.131	1.095±0.457	1.083±0.460
坐位伸膝	1.251±0.168	1.532±0.520	1.521±0.554	1.160±0.183	1.548±0.714	1.507±0.647
t	-5.168	2.050	2.063	-3.320	-3.169	-3.208
P	0.000	0.047	0.041	0.002	0.003	0.002

3 讨论

本研究利用表面肌电图对PFPS病例组和正常对照组双足半蹲或坐位伸膝动作时的股四头肌功能进行评估,比较开链与闭链动作对股四头肌的作用差异。正常对照组的VL、VMO的肌电活动在双足半蹲时表现出平衡的状态,表明其肌纤维的活化程度、募集情况都相当,从而产生的肌肉收缩力也相对平衡。在屈伸膝过程中,VMO对髌骨产生向内的牵拉力以制衡VL向外的分力,使髌骨沿着正常的运动轨迹在股骨髌间滑动,从而保持膝关节维持稳定,避免髌股关节面压力的异常。而PFPS患者无论在双足半蹲或坐位伸膝动作时的表面肌电信号都表现出VL与VMO不平衡。VL的运动单位募集和活化程度要高于VMO,而且耐疲劳程度也高于VMO,故在sEMG的时域、频域指标上均显示出差异。因此如何在康复治疗中针对性的强化VMO功能,使VL和VMO达到相对的平衡对PFPS患者的康复尤为

重要。双足半蹲动作及伸膝直腿抬高动作都是临床常用的方法,这两个动作的膝关节角度不同,运动方式分属闭链和开链动作,它们对VL、VMO产生的作用也有所不同。在开、闭链动作的比较中,由于双足半蹲与坐位伸膝动作时膝关节负荷不同,相应的股四头肌收缩力也不同,故VL、VMO表面肌电各时域和频域指标的原始数值不具可比性。为客观反映这两个动作对VL、VMO平衡情况的影响,本研究采用各指标的VL/VMO比值进行比较。结果发现不论是正常对照组还是PFPS病例组,坐位伸膝动作VL/VMO各指标比值均大于双足半蹲动作,且大于1。说明双足半蹲动作较坐位伸膝动作更有利于建立股四头肌平衡,提示适当屈膝的闭链运动能够更有选择性地激发VMO。

在PFPS患者康复治疗中,开、闭链运动都被用于股四头肌强化训练,对于开、闭链运动哪一种更有益于膝关节肌肉的协调控制与肌力强化存在许多争

议。有学者认为小角度屈膝的开链运动有利于髌骨的稳定,而且对髌股关节产生的压力较小,不容易加重髌股关节的损伤,推荐以开链动作作为增强膝关节肌肉的方法,尤其是适合那些体重较大的患者^[8]。有研究发现闭链运动联合髌带肌群训练能有效减少 PFPS 的疼痛症状^[9]。有学者比较了两种闭链运动和一种开链运动,发现开链运动不能选择性强化 VMO,反而更加利于 VL 的激发^[2]。还有人认为开、闭链运动都可以促进膝关节的稳定,两者无明显差别^[10]。一项前瞻性的临床实验认为开链和闭链运动对 PFPS 患者康复都有效,但闭链更优^[5]。本研究的结果提示在重建股四头肌平衡的训练中,闭链运动优于开链运动,其原因可能有以下几个方面:①闭链运动是离心性收缩而开链运动是向心性收缩,股四头肌离心性的收缩较向心性收缩具有更高的效率^[11],且闭链运动更加符合我们在日常生活中下肢活动的模式;②两者引起的本体反馈不同(可能源于闭链运动有体重负重和压力),双足下蹲可以促进多关节的本体感觉和肌肉的协同运动^[12];③开链运动时,股四头肌对胫骨产生一个向前的剪切力会对膝关节造成损害。而闭链运动时,由于腘绳肌的协同收缩,使胫股关节受到的剪切力较小;④两种运动时,髌股关节面的接触面积和压力不同。闭链运动时,随着屈膝关节角度的增大,髌股关节压力也增大,但是这增大的压力也被髌股关节面的接触面积增大所分散。而相反的,在开链运动时,随着伸膝角度越大,小腿的重力和肢体远端负荷的力臂增大,关节压力增大,但髌股关节接触面积并没有相应增大;⑤开、闭链运动时股四头肌各组份激发时间不同,闭链运动时股四头肌各部分激发较开链时更加同步,开链运动时,VMO 最晚激发,因此认为闭链运动能够在动作的初始提供更加平衡的激活^[6]。开、闭链运动时,股四头肌各部分有不同的激活机制,包括启动时间和募集程度。闭链运动有利于提高股 VL 与 VMO 的同步性并相对增强 VMO 的运动单位募集,因而能重建股四头肌平衡,更有利于 PFPS 康复治疗。

因此在 PFPS 的运动治疗上,双足半蹲动作应优于坐位伸膝动作。那么下蹲时应如何选择合适的屈膝角度呢?由于 VMO 以较大的角度附于髌骨之上,与股骨长轴成 45°—65°角,在伸膝时,髌骨位于

股骨滑车的上部,这使得 VMO 成角更大,因此有学者认为 VMO 对髌骨向内的牵引力主要在伸膝的最后 20°完成^[13]。但这只是从解剖角度的推论,事实上,在伸膝时,VL 的肌力增幅可能较 VMO 更为明显,而且足以抵消 VMO 因成角增大而增加的作用,这反而加重了两者间的不平衡。而屈膝角度过大时,股四头肌的力量在增大,但同时髌骨与股骨的接触面积减小,因此压力较大,容易造成髌骨关节的损伤,引起炎症和疼痛。因此过小和过大的屈膝角度都不适合 PFPS 患者。Tang SF^[12]的研究表明 60°屈膝时最有利于选择性激发 VMO。本研究采用 60°屈膝的双足下蹲动作,未发现患者有症状加重或引起其他不适,且基本能够耐受动作强度,在表面肌电信号各指标也能较好的显示肌肉的功能情况。但是参与本研究的患者 VAS 疼痛指数均在 7 分以下,故对症状特别严重的患者是否适宜此动作持谨慎态度。

本实验采用的测量动作虽然分别属于开闭、链动作,但其负荷和屈膝角度不同,故不同角度的屈膝动作以及不同的负荷强度、负荷时间对 PFPS 患者的治疗作用和安全性有待进一步的对比研究以明确,开、闭链运动的疗效差别还应该有待于更加周密可靠的前瞻性随机对照临床研究来进一步证实。

本研究结果提示,与完全伸膝开链动作相比,适当屈膝时的闭链动作能够更有选择性地激发 VMO,这为 PFPS 的康复治疗的动作选择提供了参考。

参考文献

- [1] Giles LS, Webster KE, McClelland JA, et al. Does quadriceps atrophy exist in individuals with patellofemoral pain? A systematic literature review with meta-analysis[J]. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 2013, 43: 766—776.
- [2] Irish SE, Millward AJ, Wride J, et al. The effect of closed-kinetic chain exercises and open-kinetic chain exercise on the muscle activity of vastus medialis oblique and vastus lateralis[J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 2010,24:1256—1262.
- [3] Lankhorst NE, Bierma-Zeinstra SM, van Middelkoop M. Risk factors for patellofemoral pain syndrome: a systematic review [J]. The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy, 2012,42(2):81—94.
- [4] 张志杰,冯亚男,朱毅,等. 髌股疼痛综合征的病因机制及治疗研

- 究新进展[J]. 中国康复医学杂志,2012,27(4):384—386.
- [5] Witvrouw E, Lysens R, Bellemans J, et al. Open versus closed kinetic chain exercises for patellofemoral pain. A prospective, randomized study[J]. The American Journal of Sports Medicine, 2000,28(5):687—694.
- [6] Stensdotter AK, Hodges P, Ohberg F, et al. Quadriceps EMG in open and closed kinetic chain tasks in women with patellofemoral pain[J]. Journal of Motor Behavior, 2007, 39:194—202.
- [7] 曲绵域,于长隆. 实用运动医学[M]. 第4版.北京:北京大学医学出版社,2003.795—801.
- [8] Felicio LR, Saad MC, Liporaci RF, et al. Correlation between trochlear groove depth and patellar position during open and closed kinetic chain exercises in subjects with anterior knee pain[J]. Journal of Applied Biomechanics, 2012, 28: 335—342.
- [9] Ismail MM, Gamaleldein MH, Hassa KA. Closed kinetic chain exercises with or without additional hip strengthening exercises in management of patellofemoral pain syndrome: A randomized controlled trial[J]. European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine,2013,49(5):687—698.
- [10] Dixon J, Howe TE. Activation of vastus medialis oblique is not delayed in patients with osteoarthritis of the knee compared to asymptomatic participants during open kinetic chain activities[J]. Man Ther, 2007, 12: 219—225.
- [11] Sacco Ide C, Konno GK, Rojas GB, et al. Functional and EMG responses to a physical therapy treatment in patellofemoral syndrome patients[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2006, 16(2):167—174.
- [12] Tang SF, Chen CK, Hsu R, et al. Vastus medialis obliquus and vastus lateralis activity in open and closed kinetic chain exercises in patients with patellofemoral pain syndrome: an electromyographic study[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2001, 82: 1441—1445.
- [13] Lin F, Wang G, Koh JL, et al. In vivo and noninvasive three-dimensional patellar tracking induced by individual heads of quadriceps[J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 2004,36(1):93—101.
- (上接第1222页)
- [4] Page SJ, Szaflarski JP, Eliassen JC, et al. Cortical plasticity following motor skill learning during mental practice in stroke[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2009, 23(4):382—388.
- [5] Fugl-Meyer AR, Jääskö L, Leyman I, et al. The post-stroke hemiplegic patient. 1. a method for evaluation of physical performance[J]. Scand J Rehabil Med, 1975, 7(1):13—31.
- [6] Lee CC, Jack CR Jr, Riederer SJ. Mapping of the central sulcus with functional MR: active versus passive activation tasks[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 1998, 19(5):847—852.
- [7] Weiller C, Jüptner M, Fellows S, et al. Brain representation of active and passive movements[J]. Neuroimage, 1996, 4(2): 105—110.
- [8] Puce A, Constable RT, Luby ML, et al. Functional magnetic resonance imaging of sensory and motor cortex: comparison with electrophysiological localization[J]. J Neurosurg, 1995, 83(2):262—270.
- [9] Tombari D, Loubinoux I, Pariente J, et al. A longitudinal fMRI study: in recovering and then in clinically stable subcortical stroke patients[J]. Neuroimage, 2004, 23(3):827—839.
- [10] Yetkin FZ, Mueller WM, Hammeke TA, et al. Functional magnetic resonance imaging mapping of the sensorimotor cortex with tactile stimulation[J]. Neurosurgery, 1995, 36(5): 921—925.
- [11] Cramer SC, Nelles G, Benson RR, et al. A functional MRI study of subjects recovered from hemiparetic stroke [J]. Stroke, 1997, 28(12):2518—2527.
- [12] Seitz RJ, Höflich P, Binkofski F, et al. Role of the premotor cortex in recovery from middle cerebral artery infarction [J]. Arch Neurol, 1998, 55(8):1081—1088.
- [13] Dum RP, Strick PL. Motor areas in the frontal lobe of the primate[J]. Physiol Behav, 2002, 77(4—5):677—682.
- [14] Loubinoux I, Dechaumont-Palacin S, Castel-Lacanal E, et al. Prognostic value of fMRI in recovery of hand function in subcortical stroke patients[J]. Cereb Cortex, 2007, 17(12): 2980—2987.
- [15] Rehme AK, Eickhoff SB, Wang LE, et al. Dynamic causal modeling of cortical activity from the acute to the chronic stage after stroke[J]. Neuroimage, 2011, 55(3):1147—1158.
- [16] Dong Y, Winstein CJ, Albistegui-DuBois R, et al. Evolution of fMRI activation in the perilesional primary motor cortex and cerebellum with rehabilitation training-related motor gains after stroke: a pilot study[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2007, 21(5):412—428.
- [17] Johansen-Berg H, Dawes H, Guy C, et al. Correlation between motor improvements and altered fMRI activity after rehabilitative therapy[J]. Brain, 2002, 125(Pt 12):2731—2742.
- [18] Ward NS, Brown MM, Thompson AJ, et al. Neural correlates of motor recovery after stroke: a longitudinal fMRI study[J]. Brain, 2003, 126(Pt 11):2476—2496.
- [19] Calautti C, Leroy F, Guineestre JY, et al. Sequential activation brain mapping after subcortical stroke: changes in hemispheric balance and recovery[J]. Neuroreport, 2001, 12 (18):3883—3886.
- [20] 陈自谦,倪萍,肖慧,等.脑缺血性卒中患者运动功能康复的功能性磁共振成像研究[J].中华物理医学与康复杂志,2006,(12): 838—843.