

不同振动条件下的正常人体下肢肌肉表面肌电分析*

张园园¹ 潘化平¹ 许光旭^{2,3} 张文通² 朱 奕² 曹 蓉² 杜 梅²

摘要

目的:通过施加不同条件下的局部振动刺激,探讨局部振动刺激对于正常人体下肢主要肌肉群的影响。利用表面肌电(sEMG)分析的方法探寻局部振动刺激最佳的振动频率与位置。

方法:正常男大学生10名,年龄(23.0 ± 1.7)岁,身高(173.5 ± 4.5)cm,体重(70.4 ± 8.2)kg。分别于屈膝30°半蹲位接受频率为10—50Hz的振动刺激,并采集振动前,振动中的表面肌电。选取左腿股直肌(REC)、半腱肌(SEM)、左腿胫骨前肌(TA)与腓肠肌内侧头(MG)作为试验检测肌肉,分别以左胫骨前肌远端和跟腱为振动刺激点。分析不同条件的振动刺激激活下肢肌群的表面肌电特征。

结果:各种振动条件刺激均引起小腿肌肉放电增加($P < 0.05$)。胫骨前肌的肌电值在两种刺激位置下且在不同频率间差异均有显著性意义($P < 0.05$),但30Hz、40Hz、50Hz间差异无显著性意义。腓肠肌的肌电值在胫前肌刺激位置下各频率间差异无显著性意义,跟腱刺激点下各种频率间均存在显著性差异($P < 0.05$),但30Hz、40Hz、50Hz间差异无显著性意义。各种振动条件刺激对大腿肌肉肌电值影响均无显著性意义。

结论:不同条件的小腿局部振动刺激均引起小腿肌肉放电增加,未对大腿肌肉产生显著影响。频率30—50Hz为正常人体小腿肌肉最佳的振动刺激频率。振动刺激作用在肌腱位置能有效引起肌肉兴奋,跟腱较胫前肌肌腱位置更易激活小腿肌肉肌群。

关键词 振动刺激;表面肌电;均方根振幅;频率;谐振

中图分类号:R337, R244 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2013)-12-1093-04

Analysis of surface electromyogram of lower limb muscles of normal humans under different vibration conditions/ZHANG Yuanyuan, PAN Huaping, XU Guangxu, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2013, 28(12): 1093—1096

Abstract

Objective: To explore the influence of vibration stimulation on normal humans lower limbs major muscles under different local vibration stimulation conditions, and to determine the best vibration frequency and location by surface electromyogram(sEMG) analysis.

Method: Ten normal male college students [age (23.0 ± 1.7)years, height (173.5 ± 4.5)cm, weight (70.4 ± 8.2)kg] were involved in this study. All of them were in squat (knee flexion 30°) position, accepted the vibration stimulations with 10—50Hz frequencies and sEMG were collected. Left rectus femoris and semitendinosus, left anterior tibial muscle and the medial head of gastrocnemius were selected for detection, the vibration stimulation point was on the surface of distal of left anterior tibial muscle and achilles tendon, respectively. The sEMG characteristics under different vibration stimulations on lower limbs major muscles were analyzed.

Result: The calf muscles were activated significantly under different vibration conditions ($P < 0.05$). The sEMG values of anterior tibial muscle were significantly different with vibration frequency increasing ($P < 0.05$). However, there was no significant difference among 30Hz, 40Hz and 50Hz on the two positions ($P > 0.05$). The gas-

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2013.12.003

*基金项目:国家自然科学基金资助项目(81071604)

1 南京医科大学附属江宁医院康复医学科,南京,211010; 2 南京医科大学第一附属医院康复医学科; 3 通讯作者

作者简介:张园园,女,住院医师; 收稿日期:2013-01-31

trocnemius EMG values were not significantly different with vibration frequency increasing($P > 0.05$), as the vibration location was on the distal of left anterior tibial muscle. But on the achilles tendon the sEMG values of gastrocnemius were significantly different with vibration frequency increasing($P < 0.05$), and there was no significant difference among 30Hz, 40Hz and 50Hz($P > 0.05$). The thigh muscles were not activated significantly under different vibration conditions($P > 0.05$).

Conclusion: The calf muscles were activated significantly under different vibration conditions, but the thigh muscles were not activated significantly. The vibration frequency at 30—50Hz might be the best activated frequency for calf muscles. The vibration stimulation on tendon position could effectively cause muscle excited, and achilles tendon was more likely to activate the calf muscles than the anterior tibial muscle.

Author's address Dept. of Rehabilitation Medicine, Jiangning Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing, 211010

Key word vibration stimulation; surface electromyogram; root mean square; frequency; resonance

振动刺激作为一种新兴的物理方法,在国外已经应用在运动训练和康复治疗等多个领域。但是目前国内对其研究和开发利用仍不是很多,且国内外诸多研究均采用间接振动如全身振动方式(whole body vibration, WBV),关于全身振动训练对于人体肌肉的影响也有较多报道^[1]。而直接的局部肌肉振动对于整体肌肉群的影响研究较少。本研究采用课题组自制的多频振动仪,运用表面肌电测量技术,探讨不同刺激位置下同振幅不同频率的振动刺激对正常男青年下肢肌群的影响,为振动训练的临床应用提供理论指导。

1 对象与方法

1.1 研究对象

在校男大学生 10 名志愿参加了本研究的测试,基本情况:年龄(23.0 ± 1.7)岁,身高(173.5 ± 4.5)cm,体重(70.4 ± 8.2)kg。受试者均身体健康,近期无剧烈运动史,无下肢关节损伤史,无运动系统神经系统疾病。

1.2 研究方法

1.2.1 试验器材:①振动系统:采用课题组自主研发的便携振动仪,仪器振动频率范围为 0—100Hz,振幅为 5mm。②EMG 系统:采用 Noraxon MyoSystem1400(美国)表面肌电图测试和分析系统。采用一次性银/氯化银电极,电极粘贴方法参照欧洲联盟推荐标准进行电极定位、固定。

1.2.2 试验方案:10 名被测试者分别在屈膝 30°半蹲位下接受不同频率的振动刺激,并采集振动前、振动时的表面肌电信号。选取被测试者左腿股直肌

(rectus femoris, REC)、半腱肌(semi-tendinosus, SEM)、左下肢胫骨前肌(tibialis anterior, TA)与左腓肠肌内侧头(the medial head of the gastrocnemius muscle, MG)作为检测肌肉,右侧下肢同样位置也粘贴电极作为参考。选取左侧胫前肌远端和跟腱近端作为振动刺激点。

振动参数:基于前期实验结果^[2],选用 10—50Hz 5 个振动频率,此频率范围内较易引起肌肉兴奋,且麻木不适症状较少。**姿势控制:**测试者上体自然竖直,双手自然下垂,双脚分开 10cm,双膝屈膝 30°半蹲,重心在两腿之间。

被测试者接受测试顺序从 10—50Hz 渐进进行。每种频率刺激 30s,休息 30s,一种刺激位置下为一组。每组重复 2 次。每组间休息 5min。

1.2.3 肌电数据采集与处理:每组表面肌电信号采集前均行抗干扰测试^[2-3],在肌电信号平稳情况下采用连续采集的方式,并选用表面肌电均方根(root mean square, RMS)值计算,RMS 值代表肌肉激活程度^[4]。最后结果均采用两次测量所得均值计算。

1.3 统计学分析

所得数据采用 SPSS 16.0 软件进行统计学处理。数据资料采用方差分析和 LSD 检验,对组内的差异性进行多重比较分析。计量数据符合正态分布以均数 $\pm$ 标准差表示。

2 结果

2.1 不同的振动刺激对胫骨前肌的诱发激活特征

两种刺激点下受试者胫骨前肌在各频率下的表面肌电值均显著高于相应的静态基础值($P <$

0.01)。两种位置下 30Hz、40Hz 与 50Hz 间均无显著性差异($P > 0.05$);其余各种频率间均存在显著性差异($P < 0.01$)。见表1。

2.2 不同的振动刺激对腓肠肌的诱发激活特征

两种刺激点下受试者腓肠肌各频率下的表面肌电值均显著高于相应的静态基础值($P < 0.05$)。胫骨前肌刺激点下各频率间肌电值无显著差异($P > 0.05$)。跟腱刺激点下各种频率间均存在显著性差异($P < 0.05$),但 30Hz、40Hz 与 50Hz 间均无显著性差异($P > 0.05$)。见表2。

2.3 不同的振动刺激对大腿前侧股直肌的诱发激活特征

两种刺激点下受试者股直肌各频率下的表面肌电值与相应的静态基础值均无显著差异($P > 0.05$)。见表3。

2.4 不同的振动刺激对股后侧肌群半腱肌的诱发激活特征

两种刺激点下受试者半腱肌各频率下的表面肌电值与相应的静态基础值均无显著差异($P > 0.05$)。见表4。

表1 不同刺激位置下胫骨前肌的表面肌电 RMS 值

($\bar{x} \pm s, \mu V$)

刺激点	M ₀	10(Hz)	20(Hz)	30(Hz)	40(Hz)	50(Hz)	P
胫前肌点	4.1 ± 1.2	11.9 ± 5.6	22.8 ± 10.5	36.0 ± 12.3 ^①	38.3 ± 16.5 ^①	36.7 ± 20.3 ^①	< 0.01
跟腱点	3.4 ± 1.3	8.3 ± 4.3	15.4 ± 7.3	33.5 ± 11.0 ^②	34.3 ± 15.6 ^②	32.5 ± 18.8 ^②	< 0.01
P	0.36	0.38	0.08	0.42	0.33	0.32	

频率 30Hz、40Hz、50Hz 间比较: ① $P > 0.05$; ② $P > 0.05$

表2 不同刺激位置下腓肠肌的表面肌电 RMS 值

($\bar{x} \pm s, \mu V$)

刺激点	M ₀	10(Hz)	20(Hz)	30(Hz)	40(Hz)	50(Hz)	P
胫前肌点	3.1 ± 1.1	8.4 ± 4.3	12.1 ± 5.6	13.6 ± 8.5	12.7 ± 7.5	13.5 ± 7.1	< 0.05
跟腱点	4.1 ± 1.5	10.3 ± 5.3	15.8 ± 4.4	21.7 ± 7.4 ^①	24.3 ± 6.5	26.4 ± 6.6	< 0.05
P	0.34	0.45	> 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	

表3 不同刺激位置下大腿前侧股直肌的表面肌电 RMS 值

($\bar{x} \pm s, \mu V$)

刺激点	M ₀	10(Hz)	20(Hz)	30(Hz)	40(Hz)	50(Hz)	P
胫前肌点	22.8 ± 8.2	21.9 ± 9.6	22.8 ± 10.5	27.0 ± 12.3	33.3 ± 16.5	27.0 ± 16.3	> 0.05
跟腱点	21.3 ± 7.3	18.3 ± 9.2	19.4 ± 11.9	23.5 ± 11.0	30.3 ± 14.3	29.5 ± 10.3	> 0.05
P	0.41	0.33	0.35	0.25	0.18	0.22	

表4 不同刺激位置下半腱肌的表面肌电 RMS 值

($\bar{x} \pm s, \mu V$)

刺激点	M ₀	10(Hz)	20(Hz)	30(Hz)	40(Hz)	50(Hz)	P
胫前肌点	6.1 ± 1.2	9.9 ± 5.6	10.8 ± 8.5	12.0 ± 5.3	14.3 ± 6.5	13.0 ± 10.3	> 0.05
跟腱点	5.4 ± 1.1	8.3 ± 4.2	10.4 ± 6.5	15.3 ± 3.5	14.3 ± 5.4	17.5 ± 5.6	> 0.05
P	0.55	0.45	0.61	0.35	0.75	0.33	

3 讨论

振动训练作为一种新兴的改善神经肌肉系统功能的物理训练方法,已在国内外引起广泛研发及应用热潮。振动刺激配合力量运动训练具有提高运动能力,增强爆发力^[5]的作用,被用来训练运动员,从而更快提高成绩;合适频率的振动刺激还可以促进骨痂形成,利于骨折愈合^[6],并且可以增加健康人和骨质疏松症者的骨密度^[7-8],因而在骨科也有一定应用价值;振动刺激还可以改善平衡和步态^[9],增强患者步行稳定性,从而降低跌倒的风险,提高患者自身安

全性;振动刺激还可以增加局部皮肤的血流量^[10],刺激体内激素分泌^[11],减轻肥胖者的体重^[12],因此具有改善血液循环,改善内分泌,增加新陈代谢的作用。但也有研究表明,经过9个月的全身振动和力量训练,绝经妇女的运动功能明显增加,但平衡能力并没有在所有测试者身上发生显著变化^[13]。对比分析发现:不同的研究方案在振动设置上,以及研究对象上存在差异,这可能是导致研究结果差异的原因之一。因此本研究利用电生理的方法,探讨不同频率的局部振动刺激对下肢肌肉群的影响。以明确局部

的直接振动刺激最佳的刺激位置与频率,用以指导局部振动刺激在康复训练中的合理使用。

表面肌电图的分析方法有时域分析和频域分析两种方法。本研究主要分析时域方面的RMS。RMS指一段时间内所有振幅的均方根值,用于描述这段时间内肌电的平均变化特征。对正弦波来说,RMS值是峰值的0.707倍,或者是峰—峰值的0.354倍。RMS值被认为是时域中最可靠的参数,是放电有效值,其大小决定于表面肌电增幅值变化,用于估计产生收缩力的大小^[14]。因此肌肉的表面肌电均方根振幅大小可以用来代表振动刺激对于肌肉的影响程度。

下肢关键肌群,对步行动作的完成发挥着重要作用。表1示振动对小腿胫骨前肌的诱发激活程度达到安静值的5—10倍左右。两种刺激位置下胫骨前肌表面肌电值均随频率增加呈增加趋势,且两种刺激位置下胫骨前肌的表面肌电值无显著性差异。说明这两种位置上的振动刺激均能引起胫骨前肌的肌肉兴奋。其中,频率为30—50Hz的振动对于胫骨前肌肌肉的影响最大,且频率间差异无显著性。说明频率30—50Hz是激活胫骨前肌肉的较好选择。

表2示腓肠肌的肌电值在两种刺激位置下也呈现递增趋势,但跟腱刺激位置下腓肠肌表面肌电值呈明显增加趋势,这种差异考虑和振动刺激位置有关。由于振动位于胫骨前肌,传导到腓肠肌的振动作用减弱,而且腓肠肌较胫前肌肥厚,振动响应困难。说明局部振动对于直接受刺激的肌肉影响较大。在跟腱刺激时,频率为30—50Hz的振动对于腓肠肌的影响最大,且频率间无显著性差异。因此频率30—50Hz也是激活腓肠肌的较好选择。

以上结果提示,在这两种位置上振动刺激,均能有效引起肌肉的收缩兴奋。原因可能为此处富含高尔基腱器官,能感受振动张力的变化,将振动刺激传到肌腹,引起肌肉的收缩反应。因此建议使用肌腱与肌腹连接处作为振动刺激位置。

在两种位置下,胫骨前肌与腓肠肌的肌电值均随频率呈增加趋势,但30—50Hz增加不明显,考虑原因可能与振动传输的衰减有关。随着频率增高,能被传输到人体的振动减少^[15]。导致随着频率增加,人体肌肉接收到的振动负荷并未增加,且随着振动频率的增加,测试者多数感觉振动局部明显麻木

不适。这符合前期实验结果^[2]。也是本实验未采用50Hz以上频率振动刺激的原因。

表3和表4示大腿前侧肌群股直肌和后侧肌群半腱肌在不同条件下的振动刺激和无振动刺激时比较,分析发现两组表面肌电值均无显著差异,说明直接小腿振动并未对大腿前后肌肉群产生影响,在跨过膝关节处就基本衰减到忽略不计。进一步验证了直接局部振动刺激对于肌肉影响的局限性。这相比全身振动训练会引起全身不适,脊柱四肢等关节容易损伤的特点,具有减少振动暴露损伤的优越性,而且局部振动刺激可以根据需要刺激特定的肌肉,减少了对身体其他肌肉不必要的刺激,提高了能量利用效率,符合生物谐振规律^[16]。因此建议不能耐受全身振动训练者,或者训练目标为特定一组肌肉群者可以选择局部直接振动刺激。

由于个体的差异性,振动训练实施时仍需要考虑性别、年龄、关节角度、刺激位置、频率、时间等因素。并根据情况适时调整,建立适合个人训练和治疗目的最佳的振动刺激方案,即能量利用效率最高的生物谐振方案^[16]。但是目前局部振动刺激在刺激时间、强度梯度和改善肌肉间的协调功能方面,还有很多尚不明确的地方。

直接振动刺激可以根据需要有效刺激特定的肌肉,相比全身振动训练减少了人体的振动暴露,值得在运动训练及康复治疗中开发和推广应用。在振动刺激位置上,建议使用肌腱与肌腹连接处,且跟腱较胫前肌肌腱刺激位置更易诱发激活小腿前后肌肉群。其中在正常人体能耐受的10—50Hz的刺激频率范围内,30—50Hz的振动刺激对正常人体小腿肌肉影响最大,可能为人体肌肉的最佳的振动兴奋刺激频率范围。

参考文献

- [1] Issurin VB. Vibrations and their applications in sport. A review[J]. J Sports Med Phys Fitness, 2005, 45(3):324—336.
- [2] 张园园,许光旭,张文通,等.人体肌肉振动激活频率的初步研究[J].中华物理医学与康复杂志,2012,34(4):241—244.
- [3] 李玉章.不同振动模式中小腿肌肉的诱发激活特征比较研究[J].天津体育学院学报,2010,(4):336—339.
- [4] 吴冬梅,孙欣,张志成,等.表面肌电信号的分析和特征提取[J].中国组织工程研究与临床康复,2010,(14):8073—8076.
- [5] Karatrantou K, Gerodimos V, Dipla K, et al. Whole-body vi-

(下转第1145页)