

全身振动训练对前交叉韧带损伤重建术后患者下肢运动控制的影响

吴 博¹ 张 雷¹ 庞文君¹ 张鸣生^{1,2}

摘要

目的:研究全身振动训练对膝关节前交叉韧带损伤(ACL)重建术后患者下肢肌力和运动控制的影响。

方法:选取符合纳入标准的40例前交叉韧带损伤重建术后患者为研究对象,所有患者术后12周进行常规康复训练。第13周开始将患者用数字法随机分为对照组和试验组,每组20例。对照组继续给予常规康复训练,试验组在对照组的基础上,加入每天1次,每次10min,每周5次,持续4周的全身振动训练。两组患者第12周和第16周,均进行等速肌力测试训练系统膝关节屈伸肌群的峰力矩、拮抗肌比值检测和动态平衡仪中本体感觉评估。

结果:①两组患者膝关节屈伸峰力矩,治疗前后和治疗后组间对比均有显著性差异($P < 0.05$);②两组患者动态平衡测试的平均轨迹误差值,治疗前后和治疗后组间对比有显著性差异($P < 0.05$)。

结论:全身振动训练能够促进ACL重建术后患者的下肢肌力和运动控制的恢复。

关键词 前交叉韧带损伤;全身振动训练;运动控制;等速测试

中图分类号:R686.5, R493 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2016)-04-0421-05

Effects of whole-body vibration training on the motor control of lower limb after anterior cruciate ligament reconstruction surgery/WU Bo, ZHANG Lei, PANG Wenjun, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2016, 31(4): 421—425

Abstract

Objective: To compare the effects of whole-body vibration training (WBVT) with conventional training (CT) program on strength and motor control of lower limb after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction.

Method: Forty patients with ACL reconstruction were randomly divided into WBVT group or CT group. The two groups were treated with the conventional training immediately after ACL-reconstruction for 12 weeks, since the 13th week after ACL reconstruction, the patients in WBVT group were treated with CT program added WBVT 10min per day for 4 weeks. The motor control function was measured with balance system; the peak torque of knee flexion and extension and the antagonistic muscle ratio were measured by ISOMED2000 pre-intervention and post-intervention at the 12th and 16th week.

Result: ① The pre-intervention and post-intervention peak torque of knee flexion and extension had significant difference, the peak torque between the two groups after treating also had significant difference ($P < 0.05$). ② The pre-intervention and post-intervention average trace error(ATE) in dynamic balance test had significant difference, the ATE between the two groups after treating also had significant difference ($P < 0.05$).

Conclusion: WBVT can improve the strength of knee and the lower limb motor control function of patients with ACL reconstruction.

Author's address Department of Rehabilitation Medicine, Guangdong General Hospital, Guangdong Academy of Medical Sciences, Guangzhou, 510080

Key word anterior cruciate ligament; whole-body vibration training; motor control; isokinetic test

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2016.04.009

1 广东省人民医院(广东省医学科学院),510080; 2 通讯作者

作者简介:吴博,男,主管治疗师;收稿日期:2014-12-30

前交叉韧带损伤(anterior cruciate ligament, ACL)重建术后患者膝关节常伴有神经肌肉控制能力减退^[1],导致患者不能参与高强度的运动。临床上增强神经肌肉控制的康复治疗手段很多^[2],常见的方法有常规康复训练、等速肌力训练和强化平衡训练等,但是鲜有利用全身振动训练改善ACL重建术后下肢运动控制的研究^[3]。本研究针对ACL损伤重建术后的患者,采用常规康复训练结合全身振动训练(whole-body vibration training, WBVT),观察该治疗方案对ACL重建术后患者下肢肌力和运动控制的影响,为ACL重建术后患者制定康复训练方案提供客观依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取广东省人民医院2011年5月—2013年5月期间收治的确诊为ACL断裂患者。病例纳入标准:①首次ACL重建,既往患膝无手术史;②单纯ACL断裂,不伴有后交叉韧带及侧副韧带损伤,可合并半月板、软骨损伤;③不伴有血管神经损伤;④术侧无明显病理学改变;⑤无关节粘连,可完成主被动全范围关节活动;⑥患侧的髌、踝关节及对侧下肢功能正常;⑦可进行一般活动,日常生活活动无明显疼痛肿胀;⑧年龄在18—50周岁;⑨已向患者说明本研究的目的和理由,并签署知情同意书者。

排除标准:①合并心脑血管、肝、肾、内分泌和造血系统严重原发性疾病;②因患者原因中途退出康复治疗者;③合并下肢骨折、后交叉韧带及侧副韧带损伤患者;④不能按要求完成评估和康复训练者;⑤情绪及精神异常患者;⑥患者以及其家属依从性差,拒绝完成康复治疗方案。

从符合上述条件患者中选定40例进入试验流程。其中男性29例,女性11例,平均年龄30.7岁;伴有半月板损伤24例,伴有软骨损伤16例。经前期筛查得出符合纳入标准的患者,并签署知情同意书后,进行常规康复治疗。第13周开始将患者用数字法随机分为两组:对照组:常规康复治疗组;试验组:常规康复治疗联合全身振动训练组,每组20例。试验全程指定治疗师进行患者的评估和治疗。治疗前两组患者一般资料无显著性差异($P > 0.05$),见表1。

表1 两组患者的一般资料

组别	例数	年龄(岁)	性别(例)		联合损伤(例)	
			男	女	半月板损伤	软骨损伤
对照组	20	31.15±8.69	14	6	11	9
试验组	20	30.25±9.18	15	5	13	7

1.2 研究方法

1.2.1 对照组:根据前交叉韧带重建术后患者的康复训练流程^[3],进行常规康复治疗,主要包括:术后早期:控制水肿、减轻疼痛,维持关节活动度,肌力训练等。初期:关节活动度训练、增强肌力训练、负重训练、平衡功能和本体感觉训练等。中期:完全负重训练、正常关节活动度训练、强化肌力训练、上下台阶训练、强化平衡功能和本体感觉训练等。后期:继续关节活动度训练、充分负重、强化肌力训练、本体感觉训练,后退下台阶,慢跑等。指定治疗师进行患者的治疗。

1.2.2 试验组:试验组在与对照组相同的训练方法的基础上,从第13周开始增加频率为30Hz,振幅为3mm,时间10min/次的全身振动训练。该训练每日1次,每周5d,共持续4周。训练采用SONIX声波振动运动训练系统进行。患者双足与肩同宽站在振动平台上,双膝弯曲,双手扶持扶手。由于振动对人体各脏器可能产生共振,而且对脑部也有一定的危害,所以在振动仪器上的站立姿势要有严格规定:在下肢弯曲和脊柱生理弯曲的缓冲下,减少振动波对脑的共振,使脑部不会产生伤害^[4]。

1.3 评估方法

1.3.1 等速肌力测试:采用德国D & R公司研制的ISOMED2000等速肌力测试训练系统进行双侧膝关节的屈伸肌力评估。

等速肌力测试方法:开机进行常规校正,靠背75°,坐垫1档,患者坐于测力台上,保持上身正直,嘱双手紧握测力台两侧的把手,背带固定躯干,固定带固定受试大腿远端,激光定位股骨外髁,动力臂旋转轴与膝关节屈伸轴一致,选用3号适配器,并固定于外踝上2cm处。测试前向患者说明方法和要领,并取得患者最大程度的配合,测试时根据机器定位的位置进行去除重力设置。测试中先健侧后患侧,测试记录前先进行3次屈伸运动,测试角速度为60°/s,记录5次屈伸结果。通过测试获得双侧屈伸

峰力矩(peak torque, PT)和双膝关节屈伸肌群的峰力矩和拮抗肌比值。

指标说明:峰值力矩:指应用等速肌力测试训练系统,测量肌肉收缩时的最大力量输出,峰力矩的单位为 $\text{N}\cdot\text{m}$ 。拮抗肌比值(peak torque ratio, PTR):一般以慢速运动时的峰值力矩计算,也可在不同速度、不同测试模式及特定角度下计算,反映拮抗肌肌力平衡情况,间接反映关节稳定性,预测潜在的关节损伤,尤其是膝关节屈/伸肌力比值(H/Q)最具临床意义。

1.3.2 运动控制能力评估:采用意大利 Tecnobody 公司生产的 Pro Kin 254P 平衡反馈治疗仪动态测试模块中的本体感觉评估法进行评估。

本体感觉测试方法:患者单足站立于平衡板上,手放于支撑上,输入一般资料,选择评估本体感觉的菜单,根据训练系统的推荐,默认调节阻力缓冲器为第“5”档,圈数为“5”,指示患者在最短的时间(最长不得超过120s)、根据蓝色曲线的轨迹,控制足部斜板运动,完成5次圆周形运动,电脑自动以图表形式生成结果,记录评估耗时及轨迹误差(average trace error, ATE)的数值。

指标说明:平均轨迹误差,指受试者按要求沿各个方向作环形连续运动时,监测轨迹控制的平均错误率,数值越高,反映本体感觉的功能越差。

1.4 统计学分析

所有数据采用 SPSS 19.0 统计软件处理,计数资料采用 χ^2 检验,计量资料以均数 $\pm$ 标准差形式表示,受试者治疗前后评估指标及组间评估指标的比较采用独立样本 t 检验。

2 结果

2.1 等速肌力测试各项评估指标比较

2.1.1 膝关节屈伸肌群峰力矩组内及组间对比:对照组患者治疗后屈膝峰力矩与治疗前对比,有显著性差异($P<0.05$)。治疗后伸膝峰力矩与治疗前对比,有显著性差异($P<0.05$)。试验组患者治疗后屈膝峰力矩与治疗前对比,有显著性差异($P<0.05$)。治疗后伸膝峰力矩与治疗前对比,有显著性差异($P<0.05$)。治疗后试验组屈膝峰力矩与对照组对比,有显著性差异($P<0.05$)。治疗后试验组伸膝峰

力矩与对照组对比,有显著性差异($P<0.05$)。见表2。

2.1.2 膝关节屈伸比组内及组间对比:试验组治疗前后对比,治疗后H/Q与治疗前对比,有显著性差异($P<0.05$)。对照组治疗前后对比,治疗后H/Q与治疗前对比,差异无显著性意义($P>0.05$)。两组患者治疗后组间对比,治疗后试验组H/Q与对照组对比,差异无显著性意义($P>0.05$)。见表3。

2.2 本体感觉测试指标组间及组内对比

对照组患者治疗后ATE分值与治疗前相比,有显著性差异($P<0.05$)。试验组患者治疗后ATE分值与治疗前相比,有显著性差异($P<0.05$)。两组患者治疗后组间对比,试验组ATE分值与对照组相比,有显著性差异($P<0.05$)。见表4。

表2 两组病例膝关节屈伸肌群峰力矩干预前后的比较 ($\bar{x}\pm s$, $\text{N}\cdot\text{m}$)

组别	干预前		干预后	
	屈膝	伸膝	屈膝	伸膝
对照组	37.39 $\pm$ 15.45	50.6 $\pm$ 29.81	45.84 $\pm$ 13.36 ^①	67.71 $\pm$ 13.56 ^①
试验组	38.20 $\pm$ 15.30	51.3 $\pm$ 27.74	52.36 $\pm$ 8.60 ^{①②}	76.17 $\pm$ 12.53 ^{①②}

组内在干预前后比较:① $P<0.05$;干预后组间相比较:② $P<0.05$

表3 两组病例膝关节屈伸比的比较 ($\bar{x}\pm s$, %)

组别	干预前	干预后
对照组	103 $\pm$ 66	86 $\pm$ 43
试验组	87 $\pm$ 36	65 $\pm$ 32 ^①

组内在干预前后比较:① $P<0.05$

表4 两组病例ATE干预前后动态平衡指标参数对比 ($\bar{x}\pm s$)

组别	干预前	干预后
对照组	0.25 $\pm$ 0.07	0.19 $\pm$ 0.11 ^①
试验组	0.23 $\pm$ 0.05	0.13 $\pm$ 0.07 ^{①②}

组内在干预前后比较:① $P<0.05$;干预后试验组与对照组相比较:② $P<0.05$

3 讨论

虽然ACL重建术恢复了患者膝关节的力学稳定,但部分患者的膝关节神经肌肉功能和本体感觉仍然存在缺陷,导致其整体的平衡功能下降^[5-7]。某些ACL重建术后患者会出现打软腿,上下楼梯不稳,对于步行接触面的突然转变而感到不适和害怕的情况。这些患者不能参与高强度的运动,满足不了运动的需求,但检查患者膝关节的屈伸活动功能,未发现存在严重问题。这些症状中,膝关节的本体

感觉反馈机制在关节功能和稳定中起到了很重要的作用。

全身振动训练是一种神经肌肉训练方法,近年来被作为一种新型的康复手段开发和应用^[8-9]。传动装置将不同频率的机械性振动传导至人体,对人体内多方面的生物系统产生刺激,并使多个器官产生不同程度的生理变化,包括皮肤感受器,肌梭,关节机械性刺激感受器,导致前庭系统、大脑活动和神经传导等改变^[8-10]。WBVT对肌力和做功、软组织柔韧性、平衡、神经肌肉控制、步态参数和骨骼的机械性能等均有影响^[10]。振动疗法主要通过刺激足底的感受外界刺激感受器,而且刺激本体感受器可以促进伸展和皮肤反应性,以此来提高肌力。WBVT中全身的感受器几乎都能够接受到振动负荷的刺激,并同时激活更多的运动单位,可以有效地提高人体的控制能力。van Nes IJ等^[11]在慢性脑卒中偏瘫患者康复的研究中提出,WBVT能提高偏瘫患者进行姿势调整时的控制能力。振动刺激的本质可能是重新调整人体平衡控制的策略,从而改善人体的平衡功能^[12]。在高级中枢方面,Moezy认为WBVT对躯体的作用可能因为“强直性振动反射”和高级皮质的适应性改变从而提高神经肌肉的反应性。同时人体在维持动态平衡时,本体感觉除了来自肌肉、骨膜、关节的本体感受器,更重要是来自韧带的张力变化产生运动觉的反馈^[13]。

本研究结果显示:对照组和试验组的患者治疗后屈伸膝峰力矩与治疗前对比均有提高,且有显著性差异,但试验组在治疗后的效果较对照组更加明显。这可能是因为两组患者在治疗过程中都参与了膝关节的屈伸肌力训练,所以膝关节屈伸肌力都有所改善,但在增加干预后,试验组参加了WBVT训练,而对照组只是继续进行常规的康复训练,因此在肌力的增长方面试验组比对照组更加明显。Issurin^[14]和Torvinen^[15]等研究表明,振动训练能增加肌肉等张收缩和等长收缩力量,与本文结果相似。

郑光新等^[16]研究发现正常膝关节屈伸肌力比值均数范围为61.4—71.4。本研究试验组的患者在治疗后H/Q比率为65.0±32,膝关节的屈伸肌力平衡较治疗前有明显改善。目前研究认为膝关节的屈伸肌力平衡发生改变,是由于ACL的本体感受信息中

断、ACL重建术后的干扰,以及膝关节持续的疼痛和渗出刺激,造成了膝关节感受器在传输过程中高级中枢和运动神经元的控制发生改变^[17]。由于H/Q比率反映膝关节的屈伸肌力的平衡情况,所以我们可以从H/Q比率来指导患者的康复训练^[18],减少运动损伤。

运动控制是指调节和管理动作根本机制的能力。运动控制理论假说多种多样,但肌肉的特性是很多假设的中心内容^[19],肌肉的特性也会影响中枢命令的表达^[20]。本研究结果提示肌力和屈伸肌力比等肌肉特性均改善。本研究运动控制评估中以5次指定路径轨迹为任务导向,要求患者尽可能准和快地完成目标任务来评估下肢运动控制功能。在Pro Kin 254P平衡反馈治疗仪动态测试模块中,把动态测试定义为本体感觉评估。虽然平衡控制是运动控制的重要组成部分,但本文作者认为测试结果能反映部分本体感觉功能,本体感觉评估作为运动控制的一项评估更有意义。因为运动平面设置调节阻力缓冲器为第“5”档时,完成目标任务是需要对抗运动平面提供的各个方向阻力的。本研究结果显示,实验组ATE结果优于对照组且有显著性差异($P < 0.05$)。说明WBVT对下肢运动控制功能有改善,与已测得的肌力结果相符。这可能是由于WBVT有利于改善肌力,改善运动单位启动的同步性和协同肌群的共同收缩,这些方面都能使患者产生更好的平衡控制策略。WBVT可能通过提高反馈及反射改善了运动控制能力,但目前机制尚不明确,本研究并未涉及此机制,以后有待进一步研究。

参考文献

- [1] Lee SJ, Ren Y, Kang SH, et al. Pivoting neuromuscular control and proprioception in females and males[J]. Eur J Appl Physiol, 2014 .
- [2] 陶莉, 冯华, 郭险峰, 等. 前交叉韧带重建术后患者的等速肌力训练和疗效评定. 中国康复医学杂志[J]. 2008. (11): 990—993.
- [3] Berschin G, Sommer B, Behrens A, et al. Whole body vibration exercise protocol versus a standard exercise protocol after ACL reconstruction: A clinical randomized controlled trial with short term follow-up[J]. J Sports Sci Med, 2014, 13(3): 580—589.
- [4] 周桂琴, 尹军. 国内外振动训练在训练学领域比较分析. 武汉

- 体育学院学报,2010,(12): 67—73.
- [5] Ingersoll CD, Grindstaff TL, Pietrosimone BG, et al. Neuromuscular consequences of anterior cruciate ligament injury [J]. *Clin Sports Med*,2008,27(3): 383—404, vii.
 - [6] Ageberg E. Consequences of a ligament injury on neuromuscular function and relevance to rehabilitation - using the anterior cruciate ligament-injured knee as model[J]. *J Electromyogr Kinesiol*,2002,12(3): 205—212.
 - [7] Courtney C, Rine RM, Kroll P. Central somatosensory changes and altered muscle synergies in subjects with anterior cruciate ligament deficiency[J]. *Gait Posture*, 2005, 22(1): 69—74.
 - [8] Delecluse C, Roelants M, Verschueren S. Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training [J]. *Med Sci Sports Exerc.*, 2003, 35(6): 1033—1041.
 - [9] Cardinale M, Bosco C. The use of vibration as an exercise intervention[J]. *Exerc Sport Sci Rev*, 2003, 31(1): 3—7.
 - [10] van den Tillaar R. Will whole-body vibration training help increase the range of motion of the hamstrings[J]. *J Strength Cond Res*, 2006, 20(1): 192—196.
 - [11] van Nes IJ, Geurts AC, Hendricks HT, et al. Short-term effects of whole-body vibration on postural control in unilateral chronic stroke patients: preliminary evidence[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2004, 83(11): 867—873.
 - [12] Bogaerts A, Verschueren S, Delecluse C, Claessens AL, Boonen S. Effects of whole body vibration training on postural control in older individuals: a 1 year randomized controlled trial[J]. *Gait Posture*,2007,26(2): 309—16.
 - [13] Okuda K, Abe N, Katayama Y, et al. Effect of vision on postural sway in anterior cruciate ligament injured knees[J]. *J Orthop Sci*,2005,10(3): 277—283.
 - [14] Issurin VB, Liebermann DG, Tenenbaum G. Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility [J]. *J Sports Sci*,1994,12(6):561—566.
 - [15] Torvinen S, Kannu P, Sievanen H, et al. Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study[J]. *Clin Physiol Funct Imaging*,2002,22(2): 145—152.
 - [16] 郑光新, 邹毅, 周贤丽. 屈、伸膝肌向心性等速肌力测试的正常值研究[J]. *中国康复医学杂志*,1998,(5): 10—14.
 - [17] Bonfim TR, Jansen PCA, Barela JA. Proprioceptive and behavior impairments in individuals with anterior cruciate ligament reconstructed knees[J]. *Arch Phys Med Rehabil*,2003, 84(8): 1217—1223.
 - [18] Desnica BN. Dynamics of muscle strength improvement during isokinetic rehabilitation of athletes with ACL rupture and chondromalacia patellae[J]. *J Sports Med Phys Fitness*,2003,43(1): 69—74.
 - [19] Cheng EJ, Loeb GE. On the use of musculoskeletal models to interpret motor control strategies from performance data[J]. *J Neural Eng*,2008,5(2): 232—253.
 - [20] Todorov E. Direct cortical control of muscle activation in voluntary arm movements: a model[J]. *Nat Neurosci*,2000,3(4):391—398.

(上接第410页)

- heart failure patients[J]. *Clin Sci (Lond)*,2000,98(5):545—551.
- [24] Fuster V, Ryden LE, Cannom DS, et al. 2011 ACCF/AHA/HRS focused updates incorporated into the ACC/AHA/ESC 2006 Guidelines for the management of patients with atrial fibrillation: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines developed in partnership with the European Society of Cardiology and in collaboration with the European Heart Rhythm Association and the Heart Rhythm Society[J]. *J Am Coll Cardiol*,2011,57(11):e101—198.
- [25] Sun XG, Hansen JE, Garatachea N, et al. Ventilatory efficiency during exercise in healthy subjects[J]. *Am J Respir Crit Care Med*,2002,166(11):1443—1448.
- [26] Kleber FX, Vietzke G, Wernecke KD, et al. Impairment of ventilatory efficiency in heart failure - Prognostic impact [J]. *Circulation*,2000,101(24):2803—2809.
- [27] Vora A, Karnad D, Goyal V, et al. Control of heart rate versus rhythm in rheumatic atrial fibrillation: a randomized study[J]. *J Cardiovasc Pharmacol Ther*,2004,9(2):65—73.
- [28] 过常发, 王春生, 丁文军, 等. 心外科手术同期行双极射频消融术治疗房颤[J]. *中华胸心血管外科杂志*,2011,27(12):727—730.
- [29] 王春生, 王邵华, 陈昊, 等. 二尖瓣手术并射频消融迷宫术治疗房颤[J]. *中华胸心血管外科杂志*,2007,23(1):22—24.
- [30] Reed JL, Mark AE, Reid RD, et al. The effects of chronic exercise training in individuals with permanent atrial fibrillation: a systematic review[J]. *Can J Cardiol*,2013,29(12): 1721—1728.