

全身振动结合运动训练对前交叉韧带重建术后患者早期康复的影响

张莉 许建文 黄浪 陶广林 廖媚

广西医科大学第一附属医院康复医学科, 南宁 530021

通信作者: 张莉, Email: zhangli6576@outlook.com

【摘要】 目的 探讨全身振动结合运动训练对关节镜下前交叉韧带(ACL)重建术后患者的早期康复的影响。**方法** 选取符合纳入标准的 60 例 ACL 重建术后患者,按照随机数字表法将其分为对照组和治疗组,每组 30 例。对照组采用 ACL 重建术后康复治疗方案进行早期康复训练,每次 30~40 min,每日 1 次,每周 5 d,疗程 10 周。治疗组在对照组基础上,从术后第 2 周开始,每次增加 8~10 min 的全身振动训练,振动频率从 10 Hz 开始逐渐增加至 30Hz。术前及术后 10 周,采用 Lysholm 膝关节评分量表、PC708 静态平衡评定系统对两组患者进行评定。**结果** 术前,两组患者 LKS 评分比较,两组患者睁眼、闭眼状态下静态平衡指标比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。与组内术前比较,两组患者 LKS 评分均增高($P<0.05$)。与对照组术后 10 周比较,治疗组 LKS 评分[(75.51±7.27)分]较高($P<0.05$)。与组内术前比较,对照组术后 10 周睁眼状态下压力中心 X 轴、覆盖 90%椭圆区域面积、LFS 指数有所改善($P<0.05$)。治疗组术后 10 周睁眼状态下、两组患者术后 10 周闭眼状态下各项静态平衡指标均较组内治疗前改善($P<0.05$)。与对照组术后 10 周比较,治疗组术后 10 周睁眼及闭眼状态下各项静态平衡指标均较为优异($P<0.05$)。**结论** ACL 重建术后,早期进行全身振动结合运动训练可以改善 ACL 重建术后患者的静态稳定性和关节功能。

【关键词】 前交叉韧带重建术; 全身振动; 运动治疗; 早期康复

基金项目: 广西壮族自治区医药卫生科研课题(Z2016657)

Funding: The Medical Scientific Research Program of Guangxi Zhuang Autonomous Region(Z2016657)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.02.013

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)的主要功能是防止胫骨前移,维持膝关节前后方向活动的稳定性,同时还有一定的维持侧方稳定和旋转稳定的作用^[1]。ACL 损伤是膝关节常见损伤之一,严重影响膝关节的稳定性和关节功能。ACL 重建术后的康复治疗方案较多,与移植物、手术方式、患者病情等有一定相关性^[2]。关节镜重建技术的发展使患者能够安全地参与早期术后康复。有研究报道,患膝早期负重并不会影响韧带的稳定性^[3]。近年来,全身振动治疗(whole body vibration, WBV)作为一种神经肌肉康复训练方法,WBV 在治疗神经系统及骨关节系统病损、促进运动训练等方面有广泛的应用^[4-7]。本研究在术后 2 周即开展 WBV 训练,并增加了在振动平板上进行运动训练^[8-11],旨在观察其早期应用的疗效。报道如下。

对象与方法

一、研究对象

选取 2017 年 1 月至 2018 年 12 月在我院诊断为单纯 ACL

断裂,并采用关节镜下 ACL 腓绳肌钉袢系统重建术的患者 60 例。纳入标准:①单侧 ACL 断裂,不伴其他韧带、半月板损伤;②双下肢无其他骨关节及软组织病损;③年龄 18~55 岁;④入选患者签署知情同意。排除标准:①肿瘤患者;②有视觉障碍或神经系统、耳鼻喉系统疾患,影响平衡功能者;③体内有金属支架植入或其他植入物者;④有出血倾向或血栓形成者;⑤孕期;⑥因其他系统疾病或依从性差而不能完成本研究的康复训练及功能评定者。采用随机数字表法将入选患者分为对照组和治疗组,每组 30 例。两组患者性别、年龄、病程等资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,详见表 1。

二、治疗方法

对照组采用 ACL 重建术后康复治疗方案^[12]进行早期康复训练,主要包括:术前关节活动度训练、直腿抬高训练、重心转移及步态训练等。若患侧膝关节稳定性好,无异常步态,则功能锻炼时,膝关节限位支具无需锁定。术后早期(1~4 周)进行关节活动度训练、股四头肌功能锻炼、膝关节限位支具保护下

表 1 两组患者一般资料

组别	例数	平均年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	性别(例)		术侧(例)		平均病程 (d, $\bar{x}\pm s$)
			男	女	左膝	右膝	
对照组	30	43.12±4.51	16	4	10	10	22.44±3.51
治疗组	30	43.20±4.36	13	7	11	9	22.50±3.45

站立训练(术后 1 周患肢支具伸膝位 0° 锁定、免负重触地,术后 2 周部分负重,术后 4 周双下肢均匀负重)。肌力强化阶段(5 周开始)进行患肢独站训练、闭链肌力训练、踏板练习、步行训练、功率自行车等。康复治疗中,采用局部冷敷、弹力绷带来减轻关节肿胀。治疗每次约 30~40 min,每日 1 次,每周 5 d,疗程 10 周。

治疗组在对照组基础上,从第 2 周开始增加 WBV^[10]。振动频率从 10 Hz 开始逐渐增加至 30 Hz。在振动平板上的训练项目主要包括:静蹲训练(由屈膝 0°~45° 开始,至术后 6 周屈膝 90°),左右重心转移训练(由患肢部分负重开始,至术后 6 周双下肢交替踏步),弓步练习。每个项目 1 min,间隔 1 min 休息时间,训练时间 8~10 min,每日 1 次,每周 5 d,疗程 10 周。注意事项:患肢需佩戴支具,扶支架保护,在患肢部分负重阶段给予支持,防止摔倒,根据患者是否出现不适,调整振动频率及训练时间。

三、评定方法

两组患者分别于术前及术后 10 周进行功能评定。

1. 膝关节功能评定:采用 Lysholm 膝关节评分量表(Lysholm knee score, LKS)进行评定,内容包括跛行(5 分)、支撑(5 分)、上楼梯(10 分)、下蹲(5 分)、不稳定性(25 分)、膝关节交锁(15 分)、疼痛(25 分)、肿胀(10 分)。总分 0~100 分,分数越高,关节功能越好^[13]。

2. 站位平衡功能评定:采用 PC708 静态平衡训练系统进行评定,患者足部踩在传感器中央相应区域,双上肢自然下垂,眼睛平视前方显示器中心标记点,保持身体站立位。记录患者睁眼和闭眼状态下的静态平衡数据,指标包括足底压力中心在 X 轴上摆动幅度的平均值、足底压力中心在 Y 轴上摆动幅度的平均值、覆盖 90% 椭圆区域面积、功能表面区域的轨迹长度

(length in function of surface, LFS) 指数^[14]。

四、统计学方法

采用 SPSS 20.0 版软件进行统计学分析,计量资料采用 ($\bar{x}\pm s$) 形式表示,采用 *t* 检验。计数资料用频数表示,采用 χ^2 检验。 $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

结 果

一、两组患者术前、术后 10 周 LKS 评分比较

术前,两组患者 LKS 评分比较,差异无统计学意义 ($P>0.05$)。与组内术前比较,两组患者 LKS 评分均增高 ($P<0.05$)。与对照组术后 10 周比较,治疗组 LKS 评分较高 ($P<0.05$)。详见表 2。

表 2 两组患者术前、术后 10 周 LKS 评分比较(分, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	术前	术后 10 周
对照组	30	49.27±5.39	68.23±7.18 ^a
治疗组	30	49.61±5.28	75.51±7.27 ^{ab}

注:与组内术前比较,^a $P<0.05$;与对照组术后 10 周比较,^b $P<0.05$

二、两组患者术前、术后 10 周睁眼状态下静态平衡指标比较

术前,两组患者睁眼、闭眼状态下静态平衡指标比较,差异无统计学意义 ($P>0.05$)。与组内术前比较,对照组术后 10 周睁眼状态下压力中心 X 轴、覆盖 90% 椭圆区域面积、LFS 指数有所改善 ($P<0.05$)。治疗组术后 10 周睁眼状态下、两组患者术后 10 周闭眼状态下压力中心 X 轴、压力中心 Y 轴、覆盖 90% 椭圆区域面积、LFS 指数均较组内治疗前改善 ($P<0.05$)。与对照组术后 10 周比较,治疗组术后 10 周睁眼及闭眼状态下各项静态平衡指标均较为优异 ($P<0.05$)。详见表 3、表 4。

表 3 两组患者术前、术后 10 周睁眼状态下静态平衡指标比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	压力中心 X 轴 (mm)	压力中心 Y 轴 (mm)	覆盖 90% 椭圆 区域面积(mm ²)	LFS 指数
对照组					
术前	30	7.00±0.75	50.60±4.42	420.45±8.75	1.35±0.17
术后 10 周	30	5.41±0.62 ^a	42.13±4.36	412.36±6.21 ^a	1.25±0.16 ^a
治疗组					
术前	30	7.02±0.85	50.63±4.00	421.02±8.14	1.36±0.25
术后 10 周	30	4.54±0.65 ^{ab}	37.25±4.21 ^{ab}	402.12±6.36 ^{ab}	1.15±0.13 ^{ab}

注:与组内术前比较,^a $P<0.05$;与对照组术后 10 周比较,^b $P<0.05$

表 4 两组患者术前、术后 10 周闭眼状态下静态平衡指标比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	压力中心 X 轴 (mm)	压力中心 Y 轴 (mm)	覆盖 90% 椭圆 区域面积(mm ²)	LFS 指数
对照组					
术前	30	8.00±0.98	52.34±5.00	470.65±27.58	13.24±1.31
术后 10 周	30	6.25±0.65 ^a	44.21±4.32 ^a	436.36±16.32 ^a	11.21±1.02 ^a
治疗组					
术前	30	8.02±1.01	52.36±5.00	472.12±27.24	13.26±1.21
术后 10 周	30	5.06±0.54 ^{ab}	39.36±3.41 ^{ab}	403.12±16.14 ^{ab}	6.12±0.74 ^{ab}

注:与组内术前比较,^a $P<0.05$;与对照组术后 10 周比较,^b $P<0.05$

讨 论

关节镜下 ACL 重建具有手术创伤小、手术时间短、术后恢复快等优点,是改善 ACL 损伤后关节不稳的首选方法^[15]。有研究表明,ACL 损伤利用自体腘绳肌肌腱移植,可以增加受损膝关节的本体感觉能力,有助于恢复关节的结构和稳定性^[16-17]。但目前尚未确定何种移植植物能够完全取代 ACL 的功能。部分 ACL 损伤患者虽经手术或保守治疗恢复了膝关节的力学稳定,但仍存在膝关节不稳、膝关节本体感觉功能下降^[18]、神经肌肉功能及运动水平难以复原^[19]等问题。国内外许多研究展示了运动治疗对 ACL 重建后的康复效果^[12,14,20]。常规的运动治疗方案重视恢复患者关节活动度及运动功能。然而,除生物力学功能之外,ACL 还存在丰富的本体感受器和神经支配功能,参与膝关节的本体感觉和神经肌肉控制^[21-22]。良好的本体感觉是获得准确高效的功能性运动的基础,并在肌张力调节、肌肉控制方面发挥作用。Lephart 等^[23]认为,运动训练必须以刺激关节和肌肉感受器为目标,渗透到康复活动的早期,根据患者的进步逐渐增加训练难度,增强关节本体感觉意识,重建肌肉反射性稳定状态,阻止运动损伤的再发生。

WBV 借助振动平台,将机械振动由足底传导至膝关节感受器,甚至全身。在振动过程中,骨骼肌、肌腱、韧带感受张力压力变化刺激,周围神经将冲动传入中枢神经系统,感受姿势运动在空间中的变化情况,下传神经支配信号,对全身肌肉特别是下肢肌肉进行紧张度的调节和控制,以维持姿势和身体平衡。另外 WBV 对于减轻关节疼痛^[24]、缓解肿胀^[25]、增强肌力^[26]等方面也有积极的作用。

研究结果显示,观察组压力中心 X 轴、压力中心 Y 轴、覆盖 90% 椭圆区域面积、LFS 指数均明显低于对照组。结合 LKS 评定结果^[27-29],证明早期 WBV 结合运动治疗可以改善 ACL 重建术后患者的静态稳定性和关节本体功能,患者治疗过程中适应性好,症状体征改善明显。

Malempati 等^[30]指出,ACL 患者恢复受伤腿部的肌肉力量和神经肌肉控制,同时保持静态稳定性是后期康复的基础。本研究采用 PC708 平衡测试训练系统,定量评估患者静态平衡能力,特别是覆盖 90% 椭圆区域面积、LFS 指数可以较好地反映 ACL 重建术后患者平衡能力的动态变化,且具有良好的效度与信度^[14]。有研究发现,低振动频率 (<20 Hz) 会引起肌肉松弛,而中等频率的振动频率 (>50 Hz) 会导致未经训练的受试者肌肉酸痛或水肿^[31]。也有研究发现,振动频率在 30 Hz 时,股外侧肌的活跃度较 40~50 Hz 时更强^[32]。因此,本研究将治疗频率由小剂量逐渐增加至 30 Hz,结果发现患者的耐受性好、无明显不良反应。对于 ACL 重建术后的患者来说,若不能协调髌-膝-踝关节的运动,膝关节可能会受到异常应力的影响,导致韧带二次损伤或移植失败的风险增高^[33]。WBV 能引起神经肌肉强直性振动反射,使肌肉产生不自主持续性收缩,募集更多的运动单位,从而达到训练肌肉、提高最大肌力的效应^[34]。因此,振动平板上行静蹲、提踵、重心转移等运动,可以增强髌-膝-踝的协调性和训练效果。

早期实施高效的康复治疗措施是减少医疗费用、提高患者生活质量的关键环节^[35]。本研究为早期康复计划的实施提供了新思路,今后可深入追踪该治疗方案对患者的远期效果、设

置无膝关节损伤的正常对照组、利用动态平衡功能方法进行评估等,进一步验证并观察疗效。

参 考 文 献

- [1] Beard DJ, Dodd CA, Trundle HR, et al. Proprioception enhancement for anterior cruciate ligament deficiency. A prospective randomised trial of two physiotherapy regimes [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1994, 76(4): 654-659.
- [2] 秦爽,钱菁华.前交叉韧带损伤康复的研究进展 [J]. *中国运动医学杂志*, 2017, 36(9): 834-839. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6710.2017.09.018.
- [3] Wright RW, Haas AK, Anderson J, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation: Moon guidelines [J]. *Sports Health*, 2015, 7(3): 239-243. DOI: 10.1177/1941738113517855.
- [4] 吴博,张雷,庞文君,等.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 [J]. *中国康复医学杂志*, 2016, 31(4): 421-425. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2016.04.009.
- [5] Wilk KE, Arrigo CA. Rehabilitation principles of the anterior cruciate ligament reconstructed knee: twelve steps for successful progression and return to play [J]. *Clin Sports Med*, 2017, 36(1): 189-232. DOI: 10.1016/j.csm.2016.08.012.
- [6] 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. DOI: 10.1249/01.MSS.0000069752.96438.B0.
- [7] Cardinale M, Bosco C. The use of vibration as an exercise intervention [J]. *Exerc Sport Sci Rev*, 2003, 31(1): 3-7. DOI: 10.1097/00003677-200301000-00002.
- [8] Moeyy, A, Olyaei, G, Hadian, M, et al. A comparative study of whole body vibration training and conventional training on knee proprioception and postural stability after anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Br J Sports Med*, 2008, 42(5): 373-378. DOI: 10.1136/bjism.2007.038554.
- [9] Fu CL, Yung SH, Law KY, et al. The effect of early whole-body vibration therapy on neuromuscular control after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial [J]. *Am J Sports Med*, 2013, 41(4): 804-814. DOI: 10.1177/0363546513476473.
- [10] Berschin G. 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.
- [11] Choi W, Han D, Kim J, et al. Whole-body vibration combined with treadmill training improves walking performance in post-stroke patients: a randomized controlled trial [J]. *Med Sci Monit*, 2017, 14(23): 4918-4925. DOI: 10.12659/msm.904474.
- [12] Malempati C, Jurjans J, Noehren B, et al. Current rehabilitation concepts for anterior cruciate ligament surgery in athletes [J]. *Orthopedics*, 2015, 38(11): 689-696. DOI: 10.3928/01477447-20151016-07.
- [13] Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1985, 19(198): 43-49.
- [14] 蒋拥军,李克军,王雪冰.平衡促进训练对膝关节前交叉韧带损伤重建术后患膝本体感觉的影响 [J]. *中国康复医学杂志*, 2011, 26(3): 251-253. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2011.03.011.
- [15] 董伊隆,钱约男,刘良乐,等.有限开链加闭链运动对前交叉韧带重建术后功能恢复的意义 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2016, 38

- (4);292-296.DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2016.04.012.
- [16] 马燕红,程安龙,白跃宏,等.膝前交叉韧带重建术后本体感觉促进训练对膝关节位置觉的影响[J].中国组织工程研究与临床康复,2005,9(10):16-17.DOI:10.3321/j.issn:1673-8225.2005.10.007.
- [17] 罗文明,刘儒森,王修超,等.关节镜下半腱肌和股薄肌双束重建前交叉韧带后膝关节的本体感觉的功能评定[J].中国组织工程研究与临床康复,2009,13(11):2162-2164.
- [18] 付常喜,陈现超.本体感觉训练对前交叉韧带损伤重建术后患者运动功能的影响研究[J].中国学校体育(高等教育),2017,4(7):82-86.
- [19] 吴术红,刘毅,张亦南.前交叉韧带重建后本体感觉的改变及康复[J].中国组织工程研究与临床康复,2009,13(50):9962-9965.DOI:10.3969/j.issn.1673-8225.2009.50.034.
- [20] Cervenka JJ, Decker MN, Ruhde LA, et al. Strength and stability analysis of rehabilitated anterior cruciate ligament individuals[J]. Int J Exerc Sci, 2018, 11(1):817-826.
- [21] 王少杰,夏春.前交叉韧带的神经分布[J].中国微创外科杂志,2007,7(9):919-921.DOI:10.3969/j.issn.1009-6604.2007.09.040
- [22] 吴华,杨翼,顾旭东,等.本体感觉强化训练对前交叉韧带重建后功能恢复的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2014,36(4):291-294.DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2014.04.013.
- [23] Lephart SM, Henry TJ. The physiological basis for open and closed kinetic chain rehabilitation for the upper extremity[J]. J Sport Rehab. 1996,5(1):71-87.
- [24] Park YG, Kwon BS, Park JW, et al. Therapeutic effect of whole body vibration on chronic knee osteoarthritis[J]. Ann Rehabil Med, 2013, 37(4):505-515.DOI:10.5535/arm.2013.37.4.505.
- [25] Klyscz T, Ritter-Schempp C, Jünger M, et al. Biomechanical stimulation therapy as physical treatment of arthrogenous venous insufficiency[J]. Hautarzt, 1997, 48(5):318-322. DOI:10.1007/s001050050589.
- [26] Tsuji T, Yoon J, Aiba T, et al. Effects of whole-body vibration exercise on muscular strength and power, functional mobility and self-reported knee function in middle-aged and older Japanese women with knee pain[J]. Knee, 2014, 21(6):1088-1095. DOI: 10.1016/j.knee.2014.07.015.
- [27] Risberg MA, Holm I, Steen H, et al. Sensitivity to changes over time for the IKDC form, the Lysholm score, and the Cincinnati knee score. A prospective study of 120 ACL reconstructed patients with a 2-year follow-up[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 1999, 7(3):152-159. DOI: 10.1007/s001670050140.
- [28] Celik D, Coşkunsu D, Kiliçog lu O. Translation and cultural adaptation of the Turkish Lysholm knee scale: ease of use, validity, and reliability[J]. Clin Orthop Relat Res, 2013, 471(8):2602-2610. DOI: 10.1007/s11999-013-3046-z.
- [29] Briggs KK, Lysholm J, Tegner Y, et al. The reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm score and tegner activity scale for anterior cruciate ligament injuries of the knee: 25 years later[J]. Am J Sports Med, 2009, 37(5):890-897. DOI: 10.1177/0363546508330143.
- [30] Malempati C, Jurjans J, Noehren B, et al. Current rehabilitation concepts for anterior cruciate ligament surgery in athletes[J]. Orthopedics, 2015, 38(11):689-696. DOI: 10.3928/01477447-20151016-07.
- [31] Rittweger J, Mutschelknauss M, Felsenberg D. Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole-body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise[J]. Clin Physiol Funct Imaging, 2003, 23(2):81-86. DOI: 10.1046/j.1475-097x.2003.00473.x.
- [32] Cardinale M, Lim J. Electromyography activity of vastuslateralis muscle during whole-body vibrations of different frequencies[J]. J Strength Cond Res, 2003, 17(3):621-624. DOI: 10.1519/1533-4287(2003)017<0621.
- [33] Paterno MV, Kiefer AW, Bonnette S, et al. Prospectively identified deficits in sagittal plane hip-ankle coordination in female athletes who sustain a second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport[J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2015, 30(10):1094-1101. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2015.08.019.
- [34] Costantino C, Bertuletti S, Romiti D. Efficacy of whole-body vibration board training on strength in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled study[J]. Clin J Sport Med, 2018, 28(4):339-349. DOI: 10.1097/JSM.0000000000000466.
- [35] Mather RC 3rd, Koenig L, Kocher MS, et al. Societal and economic impact of anterior cruciate ligament tears[J]. J Bone Joint Surg Am, 2013, 95(19):1751-1759. DOI: 10.2106/JBJS.L.01705.

(修回日期:2020-12-28)

(本文编辑:凌琛)