

文章编号: 1004-7220(2020)06-0685-07

变频振动训练对功能性踝关节不稳的影响

高晓娟^{1#}, 储照伟^{2#}, 李文言³, 侯亚丽¹, 马蕊¹, 李俊平⁴

(1. 郑州大学体育学院(校本部), 郑州 450001; 2. 国家康复辅具研究中心北京市老年功能障碍康复辅助技术重点实验室, 民政部人体运动分析与康复技术重点实验室, 北京 100176; 3. 郑州大学第五附属医院 骨关节康复科, 郑州 450001; 4. 北京体育大学 运动人体科学学院, 北京 100084)

摘要:目的 研究变频振动训练对功能性踝关节不稳(functional ankle instability, FAI)患者下肢肌肉爆发力、平衡能力和踝关节周围肌肉功能的影响,为FAI患者的临床康复训练提供实证依据。方法 共招募26例FAI患者,并随机分为实验组(14人)和对照组(12人),实验组接受8周康复训练及振动干预,对照组仅接受8周康复训练。在训练前后测量和对比受试者患肢单腿纵跳最大功率、平均功率、最大速度和平均速度,立定跳远距离,睁、闭眼单腿站立时间,内侧腓肠肌(medial gastrocnemius, GM)、外侧腓肠肌(lateral gastrocnemius, GL)和胫骨前肌(tibialis anterior, TA)的肌肉收缩时间(t_c),放松时间(t_r)和径向位移(D_m)。结果 实验组受试者患肢单腿纵跳最大功率和最大速度、单腿立定跳远距离和睁、闭眼单腿站立时间均显著提高,且其增幅都高于对照组;实验组受试者所有肌肉 t_c 增幅均低于对照组,但 t_r 和 D_m 并没有呈现规律性。结论 变频振动训练能够有效地提高FAI患者爆发力和平衡能力,促进GL、GM和TA的 t_c 缩短,但对降低肌张力和促进肌肉放松效果尚不明确。

关键词:功能性踝关节不稳; 振动训练; 下肢爆发力; 平衡能力; 肌肉功能

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2020.06.006

Effects of Vibration Training with Adjusted Frequency on Functional Ankle Instability

GAO Xiaojuan^{1#}, CHU Zhaowei^{2#}, LI Wenyan³, HOU Yali¹, MA Rui¹, LI Junping⁴

(1. School of Physical Education, Zhengzhou University (Main Campus), Zhengzhou 450001, China; 2. Beijing Key Laboratory of Rehabilitation Technical Aids for Old-Age Disability, Key Laboratory of Human Motion Analysis and Rehabilitation Technology of the Ministry of Civil Affairs, National Research Center for Rehabilitation Technical Aids, Beijing 100176, China; 3. Department of Bone & Joint Rehabilitation, the Fifth Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 4. School of Sport Science, Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

Abstract: Objective To study the effect of vibration training with adjusted frequency on changes in explosive force of lower limbs, balance and muscle function around ankle joints of patients with functional ankle instability (FAI), so as to provide an empirical basis for rehabilitation training of FAI patients in clinic. **Methods** Twenty-six FAI patients were randomly divided into the experimental group ($n=14$) and the control group ($n=12$). The

收稿日期: 2019-11-15; 修回日期: 2020-01-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(31471133), 中央高校基本科研业务费专项资金资助课题(2018PT003), 中国残疾人联合会研究室资助课题(2016-ZX063)

通信作者: 李俊平, 副教授, E-mail: doctorlj@126.com

#为共同第一作者

experimental group received 8-week rehabilitation training with vibration intervention, while the control group only received 8-week rehabilitation training. Changes in maximum power, average power, maximum speed and average speed of the injured limb during vertical jump with single leg, changes in distances during long jump, changes in time during one-leg standing with eyes open and closed, changes in contract time (t_c), relax time (t_r) and displacement (D_m) of medial gastrocnemius (GM), lateral gastrocnemius (GL) and tibialis anterior (TA) muscles before and after training were measured and compared. **Results** In the experimental group, the maximum power and maximum speed of the injured limb during vertical jump with single leg, the distance during long jump with single leg and the time during one-leg standing with open and closed eyes were significantly improved, and the increase was higher than that of the control group. The increase of t_c of all muscles in the experimental group was smaller than that of the control group, but t_r and D_m did not show any regularity. **Conclusions** Vibration training with adjusted frequency can effectively improve the explosive force and balance ability of lower limbs of FAI patients, and promote the t_c shortening of GL, GM and TA muscles, but whether vibration training with adjusted frequency can reduce muscle tension and promote muscle relaxation is still not clear. **Key words:** functional ankle instability (FAI); vibration training; explosive force; balance ability; muscle function

踝关节扭伤是运动人群最常见的肌骨性损伤之一^[1]。踝关节周围韧带受损后踝关节不稳反复发生继而导致踝关节频繁扭伤,临床上称此为慢性踝关节不稳(chronic ankle instability, CAI)^[2]。除了由踝关节结构病变引起的机械性踝关节不稳(mechanical ankle instability, MAI)以外,超过60% CAI都属于功能性踝关节不稳(functional ankle instability, FAI)^[3]。自1965年Freeman首次提出FAI的概念以来,已有广泛的研究表明,FAI患者存在神经肌肉控制改变、踝关节周围本体感觉敏感性下降、肌群之间肌力不均衡或肌力较差、腓骨肌反应时间延长等症状^[4-5]。长期FAI不仅会使疼痛、软脚和难以控制等后遗症加重,更有可能导致MAI,增加骨性关节炎和关节退行性疾病的发生几率^[6]。

传统FAI的康复训练方式主要包括肌力训练、本体感觉训练、渐进性姿势控制训练等,这些训练在短期内可以有效恢复FAI患者的踝关节功能,但是长期效果并不明确^[5,7]。近年来,振动训练因其安全、无创、耗时短、见效快和运动负荷可调控等特点,已经成为FAI临床治疗和生物力学领域的研究热点^[8]。全身振动训练通过采用多维振动或机械振动刺激,使皮肤、肌肉和关节内的感受器等受到激励,进而激活运动神经元,增强本体感觉和平衡能力,减轻疼痛,增强肌腱、韧带的韧性,减轻关节压力,增加肌肉的力量和爆发力^[9-10]。研究表明,振动训练不仅可以提高患者的平衡能力,还能增强踝

关节背屈、跖屈肌群的肌肉力量,而肌肉力量可以通过评价患者的下肢肌肉爆发力直接得以体现^[11-16]。因此,研究结合FAI患者下肢爆发力、平衡能力及踝关节周围肌肉功能,评估振动训练对恢复FAI患者踝关节功能的效果,具有一定临床价值。

本文通过观察FAI患者下肢爆发力、平衡能力和踝关节周围肌肉功能在振动训练后的变化,评估踝关节功能恢复效果,为FAI患者的临床康复训练方法提供理论和实证依据。同时,研究结果可为踝关节损伤的预防提供参考。

1 对象与方法

1.1 研究对象

本研究由郑州大学运动康复实验室组织,在郑州大学全体在校生范围内招募受试者,并通过前抽屉实验和踝关节内翻应力实验排查解剖结构异常患者^[17]。纳入和排除标准依照国际踝关节联盟共识,按照Gribble等^[18]的方法进行筛选。

共筛选26例FAI男性受试者,按照招募顺序进行编号,采用随机数字表法随机分为实验组(康复训练+振动干预,14人)和对照组(康复训练,12人),两组受试者在年龄、体征和受伤史等方面无显著性差异,受试者的基本特征信息见表1。

1.2 实验方法

所有受试者参加训练前均签署知情同意书。

表1 受试者基本特征信息

Tab.1 Basic information of the subjects

参数	实验组($n=14$)	对照组($n=12$)
年龄/岁	20±0.7	19±1.1
身高/cm	176.6±4.7	178.3±7.2
体质量/kg	69.2±6.8	68.6±6.1
运动年限/年	5.7±2.0	6.2±1.7
首次受伤时间/年	6.3±4.6	6.9±3.5
末次受伤时间/年	1±0.5	0.9±0.7
受伤次数/次	6.0±2.3	5.8±2.4
足踝功能评估	87.6±4.1	79.2±5.8

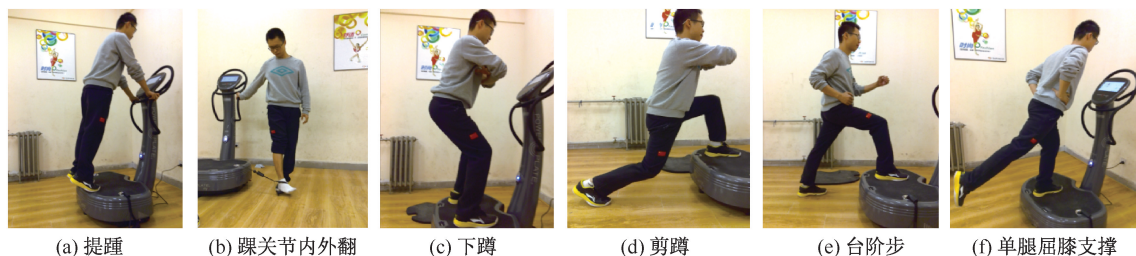


图1 振动训练系列动作

Fig.1 Series of vibration training movements (a) Toe-raise, (b) Ankle varus and valgus, (c) Squats, (d) Cut squat, (e) Up-and-down steps, (f) Supporting with one leg bent

正式训练中,两组康复训练内容与适应性训练要求一致,1周训练2次,共持续8周。振动刺激频率为30~45 Hz,每训练2周后振动刺激频率增加5 Hz,从30 Hz增加到45 Hz^[19]。实验组受试者在振动训练仪(my7™, Power Plate公司,美国)上完成,对照组在无振动的平地上完成,康复训练内容与对照组完全相同。正式训练结束后,再对两组受试者进行后测试。

1.3 测试指标、设备及方法

主要测试指标包括FAI受试者下肢肌肉爆发力、平衡能力和踝关节周围肌肉的功能状态,测试设备及方法如下:

(1) 肌肉爆发力:采用爆发力与速度反馈系统(Tendo Unit V3.6,斯洛伐克)测试。

测试方法:实验前将速度传感器的细绳连接在受试者身上,在受试者进行患肢单腿纵跳过程中,系统直接测得显示数据^[20]。每一患肢测3次,取平均值。

立定跳远测试方法:单脚或双脚原地起跳,丈量起跳线至最近着地点的距离。测试3次,取最好成绩。

(2) 平衡能力:通过健民平衡能力测试系统

为保证训练效果,在正式训练前1周,进行1周2次的适应性训练。实验组和对照组均进行提踵、踝关节内外翻、下蹲、剪蹲、台阶步、单腿屈膝支撑和交叉半蹲的练习,部分动作如图1所示。其中,每个动作持续时间为30 s,动作间歇时间为10 s,所有动作均做3组,组间间歇时间为1 min,对照组在无振动的平地完成。适应性训练结束,对所有受试者进行前测试。

(GMCS-IV型A,中国),采用国际通用的闭眼和睁眼单脚站立测试方法^[21]。测试3次,取最好成绩。

(3) 肌肉功能状态测试:采用肌肉功能状态分析仪(TMG100,斯洛文尼亚)测试肌肉收缩时间(time of contraction, t_c)、放松时间(time of relaxation, t_r)、径向位移(displacement, D_m)。测试的肌肉为内侧腓肠肌(medial gastrocnemius, GM)、外侧腓肠肌(lateral gastrocnemius, GL)和胫骨前肌(tibialis anterior, TA)。

测试方法:受试者仰卧位,在其踝关节下放置1个楔形泡沫,使踝关节周围肌肉充分放松并暴露。位移测量传感器垂直按压在被测肌肉表面,两个电极片中点相距4 cm,采用适宜电流刺激被测肌肉,由分析仪显示相应测量指标。保持实验前、后测试的指标和方法一致,8周后测试与末次训练间隔1 d。

1.4 统计学分析

利用单因素方差分析法对两组受试者在训练前、后的指标进行对比分析;利用独立样本 t 检验对实验组和对照组受试者的指标进行组间对比分析。所有统计学分析运用SPSS 19.0进行处理,显著性水平设为0.05,结果以均数±标准差表示。

2 结果

2.1 变频振动训练对FAI患者下肢爆发力的影响

由8周训练前、后受试者下肢爆发力变化可知,8周训练后,对照组和实验组在患肢单腿纵跳中最大功率和最大速度均有不同程度地提高。其中,实验组受试者纵跳的最大功率和最大速度增幅分别达21.9%和10.6%,而对照组该项指标增幅分别

为12.2%和9.6%。实验组中受试者患肢单腿纵跳的平均功率和平均速度均有提高,增幅分别为13.7%和12.7%,而对照组该项指标分别下降,降幅达19.2%和16.2%(见表2)。

8周训练后,实验组单腿立定跳远增幅达14.4%,而对照组仅为6.9%,但两组结果均无显著性差异。而双腿跳远实验组和对照组训练后增幅均较小(见表3)。

表2 训练前后下肢爆发力变化 (* $P<0.05$)

Tab.2 Changes in explosive force of lower limbs before and after training

参数	实验组				对照组			
	训练前	训练后	t	P	训练前	训练后	t	P
最大功率/W	3 940±1 127	4 804±100.9*	-1.824	0.045	3 784±716	4 246±1 126	-0.907	0.4
平均功率/W	759±61	863±84*	-2.084	0.043	963±274	778±74	-1.537	0.175
最大速度/($m\cdot s^{-1}$)	2.36±0.36	2.61±0.18	-3.308	0.166	2.28±0.31	2.50±0.33	0.616	0.56
平均速度/($m\cdot s^{-1}$)	1.18±0.11	1.33±0.06	-3.394	0.129	1.48±0.40	1.24±0.14	1.296	0.243

表3 训练前后单、双腿立定跳远距离变化

Tab.3 Changes in long distance of standing jump with single and double legs before and after training

动作	实验组				对照组			
	训练前	训练后	t	P	训练前	训练后	t	P
单腿跳	161.11±61.28	184.33±23.62	-1.376	0.206	160.13±24.61	171.25±26.66	-1.607	0.582
双腿跳	233.11±18.14	234.11±13.95	-0.171	0.868	234.63±24.98	238.50±24.35	-0.577	0.152

2.2 变频振动训练对FAI患者平衡能力的影响

由训练前后受试者睁、闭眼单腿平衡站立时间的变化可知,实验组受试者睁眼单腿站立时间较训练前提高了61.2%,而对照组仅提高了45.0%,且

均具有显著性差异($P<0.05$)。实验组闭眼单腿站立时间较训练前提高了31.9%,而对照组仅为21.3%(见表4)。

表4 训练前后睁、闭眼单腿平衡站立时间变化 (* $P<0.05$)

Tab.4 Changes in standing time of one-leg balance with open and closed eyes before and after training

动作	实验组				对照组			
	训练前	训练后	t	P	训练前	训练后	t	P
睁眼	75.16±6.54	121.16±10.51*	-1.141	0.021	54.83±6.77	79.50±5.49*	0.537	0.036
闭眼	13.75±3.28	18.14±2.97	-1.857	0.106	12.75±1.48	15.47±2.62	-2.251	0.055

2.3 变频振动训练对踝关节周围肌肉功能状态的影响

本文中,肌肉的最大径向位移 D_m 指肌肉在接受刺激过程中的最大横向移动,肌肉收缩时间 t_c 指肌肉受刺激后到产生肌肉最大径向位移所用时间10%~90%;肌肉放松时间 t_r 指肌肉放松下降曲线的50%~90%^[22]。

2.3.1 变频振动训练对 t_c 的影响 8周训练后,实验组和对照组GL和TA的 t_c 都有不同程度增加。其中,实验组、对照组GL的 t_c 分别增加了16.8%、

28.6%,实验组、对照组GM的 t_c 分别增加了14.3%、28.0%。不同的是,实验组TA的 t_c 增加了6.3%,对照组反而降低了14.2%(见表5)。

2.3.2 变频振动训练对 t_r 的影响 8周训练后,实验组GM的 t_r 缩短了12.3%,而对照组增加了45.7%,具有显著性差异($P<0.05$)。不同的是,实验组和对照组TA的 t_r 均有所下降,且降幅接近,分别为6.7%和4.2%;而实验组GL的 t_r 提高了8.3%,对照组反而降低了9.3%(见表6)。

2.3.3 变频振动训练对 D_m 的影响 8周训练后,

实验组 TA 的 D_m 增加了 13.5%, 而对照组却减少了 0.3%。值得注意的是, 实验组、对照组 GL 的 D_m 分

别增加了 42.7%、38.4%; 同时, 对照组、实验组 GM 的 D_m 分别增加了 52.31%、26.8% (见表 7)。

表 5 训练前后踝关节肌肉收缩时间变化

Tab.5 Changes in muscle contract time of ankle joint before and after training

肌肉	实验组				对照组			
	训练前	训练后	<i>t</i>	<i>P</i>	训练前	训练后	<i>t</i>	<i>P</i>
TA	19.37±1.91	20.58±6.75	-1.108	0.318	27.86±16.27	23.89±7.04	0.542	0.607
GL	32.35±12.59	37.8±14.07	-0.951	0.385	30.15±15.89	38.78±17.04	-0.181	0.119
GM	22.19±3.59	25.38±4.43	-1.03	0.350	22.82±4.35	29.21±7.22	-2.2	0.07

表 6 训练前后踝关节肌肉放松时间变化 (* $P < 0.05$)

Tab.6 Changes in muscle relax time of ankle joint before and after training

肌肉	实验组				对照组			
	训练前	训练后	<i>t</i>	<i>P</i>	训练前	训练后	<i>t</i>	<i>P</i>
TA	50.64±15.03	47.27±11.59	0.6	0.575	50.07±6.20	47.98±16.22	0.268	0.797
GL	47.93±16.73	51.9±18.26	-0.68	0.527	52.51±28.09	47.61±22.75	0.48	0.648
GM	61.36±33.67	53.82±31.43	0.503	0.636	39.31±14.66	57.29±26.63*	-2.35	0.047

表 7 训练前后踝关节肌肉径向位移变化 (* $P < 0.05$)

Tab.7 Changes in muscle displacement of ankle joint before and after training

肌肉	实验组				对照组			
	训练前	训练后	<i>t</i>	<i>P</i>	训练前	训练后	<i>t</i>	<i>P</i>
TA	3.18±1.05	3.61±1.59	-0.471	0.657	3.9±2.07	3.89±1.51	0.023	0.982
GL	3.37±1.14	4.81±1.60*	-0.378	0.013	5.28±2.53	5.51±1.63	-0.248	0.812
GM	2.04±0.65	2.56±0.79	-1.655	0.159	2.81±1.39	4.28±1.82*	-2.29	0.027

3 讨论与结论

3.1 变频振动训练对 FAI 患者肌肉爆发力的影响

下肢肌肉爆发力是踝关节屈伸肌群功能的重要表现之一, 而纵跳和立定跳远是评价下肢肌肉爆发力最基本的方法^[23]。通过 8 周训练, 实验组受试者患肢单腿纵跳最大功率和最大速度以及单腿立定跳远成绩均显著提高, 且增幅都高于对照组, 表明变频振动训练能够有效地提高受试者下肢爆发力。推测原因如下: ① 由于振动所产生的摆动, 激活了体内已经失活和一些潜在的神经肌肉传导通路, 而阶段性增加的频率反复刺激这些传导通路, 提高了不同肌肉或者肌群间的收缩效率, 从而帮助产生更精确、协调的运动; ② 振动刺激产生加速度, 增加了外界对肌肉本体感受器的刺激量, 而阶段性变化的加速度, 激活更多突触神经传导通路来激发机体的振动-收缩反射, 同时也激活不同兴奋阈值的运动单位, 使得更多的运动

单位得到募集, 从而更好地对肌肉进行神经调节, 调动不同的肌肉来参与运动, 提高肌肉的反应能力和收缩能力^[24]。

3.2 变频振动训练对 FAI 患者下肢平衡能力的影响

下肢平衡能力是 FAI 患者踝关节功能恢复程度的一个重要评判标准。实验组睁眼、闭眼单腿站立时间相较于训练前均有较大提高, 且其增幅远高于对照组, 表明变频振动训练可以显著提高 FAI 患者下肢患侧的平衡能力。该结果与 Cloak 等^[11]的研究成果具有较好一致性。在变频振动训练过程中, 受试者处于不稳定平面上, 再加上振动刺激, 增加了人体自身的不稳定性, 从而刺激本体感受器来更好地控制整体姿态和平衡, 并在此过程中动态地增强了更多不同肌群间的协同作用, 有效地改善神经肌肉调节机能。而阶段性增加的频率使得整个训练处于时间上的不稳定状态, 增大中枢神经发放冲动的频率及强度, 从而同时激

活不同高低阈值的运动单元,提高募集量。但睁眼站立平衡能力提高幅度接近于闭眼平衡能力的两倍,这可能是由于视觉平衡参与平衡控制导致的结果。

3.3 变频振动训练对踝关节周围肌肉功能状态的影响

下肢肌肉功能状态决定了FAI患者踝关节功能稳定性和灵活性,而GM、GL和TA的 t_c 、 t_r 和 D_m 是描述下肢肌肉功能状态的重要参数。实验组和对照组GM、GL的 t_c 都有所增加,但对对照组增幅较大;尽管仅有对照组TA的 t_c 发生下降,但对对照组所有 t_c 仍然高于实验组。TMG测试 t_c 是以收缩最慢肌肉的 t_c 作为最终测试结果。本研究中,所有的训练动作速度均较慢,造成慢肌纤维作为主要刺激对象参与训练运动。尽管振动训练可以募集到更多的肌纤维参与收缩,但慢肌纤维仍然占比较大,最终导致所有的 t_c 都有所增加。虽然这与Sierra-Guzmán等^[25]的结果截然相反,但从实验组和对照组增幅对比结果仍然可以看出,变频振动训练对缩短 t_c 具有促进作用。结果显示, D_m 与 t_c 的结果具有较好一致性,实验组和对照组GM和GL的 D_m 均有增加,而仅有对照组TA的 D_m 发生了下降,但对对照组所有 D_m 仍然高于实验组。实验组和对照组 D_m 不同程度地增大,有可能是由于训练结束后肌肉放松不足发生僵硬程度升高导致。但由实验组和对照组增幅对比分析可知,变频振动训练对降低肌张力效果尚不清晰,这与Cloak等^[11]的研究结果一致。此外,与朱文斐等^[26]的研究结果截然不同,本文发现,变频振动训练和康复训练对 t_r 的缩短不具有较好的一致性,即促进肌肉放松效果不明确。

综上所述,变频振动训练对缩短腓肠肌内、外侧和胫骨前肌的 t_c 具有促进作用,但对降低肌张力和促进肌肉放松效果尚不明确。

3.4 局限性和后续研究

本文的局限性如下:①研究样本量不够充分,但所得到的样本量数据具有较好的一致性,并有一定的代表性;②仅证实了变频振动训练结合康复训练相较于单一康复训练对FAI患者踝关节功能改善的影响,其中“变频”只是狭义地在振动训练过程中进行阶段性调增,并未充分展开频率变化对踝关

节功能改善的影响及机理研究,同时也仍需采用双因素混合模型方差分析法进一步对变频振动、固定频率振动、单一康复训练条件下不同训练时间及强度对改善FAI患者踝关节功能的效果进行研究;③采用单一因素分析法,只研究频率因素的影响,但振幅及加速度等因素同样是振动训练的重要干扰因素,需进一步更全面地开展以上单一因素和耦合因素对FAI患者踝关节功能改善的影响。

综上所述,变频振动训练能够有效地提高FAI患者下肢爆发力和平衡能力;变频振动训练对缩短腓肠肌内、外侧和胫骨前肌收缩时间具有促进作用,但对降低肌张力和促进肌肉放松效果尚不明确。

参考文献:

- [1] GRIBBLE PA, BLEAKLEY CM, CAULFIELD BM, *et al.* Evidence review for the 2016 International Ankle Consortium consensus statement on the prevalence, impact and long-term consequences of lateral ankle sprains [J]. *Br J Sports Med*, 2016, 50(24): 1496-1505.
- [2] 孟强, 美国平, 牛文鑫, 等. 踝关节内翻防护型半刚性踝护具的力学特征 [J]. *医用生物力学*, 2016, 31(6): 483-489. MENG Q, GUO GP, NIU WX, *et al.* Mechanical characteristics of a semi-rigid ankle brace for protecting ankle varus [J]. *J Med Biomech*, 2016, 31(6): 483-489.
- [3] HIRAI D, DOCHERTY CL, SCHRADER J. Severity of functional and mechanical ankle instability in an active population [J]. *Foot Ankle Int*, 2009, 30(11): 1071-1077.
- [4] FREEMAN MA. Instability of the foot after injuries to the lateral ligament of the ankle [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1965, 47(4): 669-677.
- [5] 美国平, 孟强, 牛文鑫, 等. 踝关节扭伤防护及其康复研究进展 [J]. *医用生物力学*, 2016, 31(1): 78-82. GUO GP, MENG Q, NIU WX, *et al.* Research progress of ankle sprains, protection and rehabilitation [J]. *J Med Biomech*, 2016, 31(1): 78-82.
- [6] GOLDITZ T, STEIB S, PFEIFER K, *et al.* Functional ankle instability as a risk factor for osteoarthritis: Using T2-mapping to analyze early cartilage degeneration in the ankle joint of young athletes [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2014, 22(10): 1377-1385.
- [7] MINOONEJAD H, KARIMIZADEH ARDAKANI M, RAJABI R, *et al.* Hop Stabilization training improves neuromuscular control in collegiate basketball players with chronic ankle instability: A randomized controlled trial [J]. *J Sport Rehabil*, 2019, 28(6): 576-583.

- [8] RITTWEGER J. Vibration as an exercise modality: How it may work, and what its potential might be [J]. *Eur J Appl Physiol*, 2010, 108(5): 877-904.
- [9] CLOAK R, NEVILL A, WYON M. The acute effects of vibration training on balance and stability amongst soccer players [J]. *Eur J Sport Sci*, 2016, 16(1): 20-26.
- [10] SIEERA-GUZMAN R, JIMENEZ-DIAZ F, RAMIREZ C, *et al.* Whole-body-vibration training and balance in recreational athletes with chronic ankle instability [J], *J Athl Train*, 2018, 53(4): 355-363.
- [11] CLOAK R, NEVILL A, DAY S, *et al.* Six-week combined vibration and wobble board training on balance and stability in footballers with functional ankle instability [J]. *Clin J Sport Med*, 2013, 23(5): 384-391.
- [12] MARIN PJ, HAZELL TJ. Effects of whole-body vibration with an unstable surface on muscle activation [J]. *J Musculoskelet Neeuronal Interact*, 2014, 14(2): 213-219.
- [13] DONOVAN L, HART JM, SALIBA SA, *et al.* Rehabilitation for chronic ankle instability with or without destabilization devices; A randomized controlled trial [J]. *J Athl Train*, 2016, 51(3): 233-251.
- [14] HYUNG-PIL J, KYSHA H, CHRISTOPHER K, *et al.* Whole body vibration effect on time-to-voluntary measures in persons with chronic ankle instability [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2014, 46(5): 415-416.
- [15] 黄鹏, 吕倩楠, 陈子嫣, 等. 下肢振动训练对功能性踝关节不稳定的影响效果研究 [J]. *当代体育科技*, 2016, 6(1): 10-13.
- [16] 徐珊珊. 机械振动结合短时间小强度康复训练对功能性踝关节不稳的影响[D]. 武汉: 武汉体育学院, 2018.
- [17] 曲绵域, 于长隆. 实用运动医学[M].北京: 北京大学医学出版社, 2003.
- [18] GRIBBLE PA, DELAHUNT E, BLEAKLEY CM, *et al.* Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: A position statement of the International Ankle Consortium [J]. *J Athl Train*, 2014, 49(1): 121-127.
- [19] BORREANI S, CALATAYUD J, MARTIN J, *et al.* Exercise intensity progression for exercises performed on unstable and stable platforms based on ankle muscle activation [J]. *Gait Posture*, 2014, 39(1): 404-409.
- [20] 柳芳. 8周下肢末端释放训练对男子排球运动员原地拦网起跳能力的影响[D]. 北京: 北京体育大学, 2017.
- [21] HAM YW, KIM DM, BAEK JY, *et al.* Kinematic analyses of trunk stability in one leg standing for individuals with recurrent low back pain [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2010, 20(6): 1134-1140.
- [22] KRIZAJ D, SIMUNIC B, ZAGAR T. Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2008, 18(4): 645-651.
- [23] 李崇华. 纵跳、立定跳远与等速测试评价下肢爆发力的相关性研究[D]. 西安: 西安体育学院, 2011.
- [24] 周苏源, 危小焰. 基于振动力量训练的研究进展 [J]. *首都体育学院学报*, 2008, 20(5): 29-31.
- [25] SIERRA-GUZMAN R, JIMENEZ JF, RAMIREZ C, *et al.* Effects of synchronous whole body vibration training on a soft, unstable surface in athletes with chronic ankle instability [J]. *Int J Sports Med*, 2017, 38(6): 447-455.
- [26] 朱文斐, 曹建民, 包大鹏. 振动放松缓解骨骼肌运动性疲劳即时效果研究 [J]. *北京体育大学学报*, 2012, 35(2): 50-53.