

## 核心稳定性训练降低落地动作前交叉韧带损伤的风险

薛博士<sup>1</sup>, 林昌瑞<sup>1</sup>, 郑亮亮<sup>1</sup>, 杨辰<sup>2</sup>, 周志鹏<sup>1</sup><https://doi.org/10.12307/2024.280>

投稿日期: 2023-02-27

采用日期: 2023-04-08

修回日期: 2023-05-22

在线日期: 2023-06-17

中图分类号:

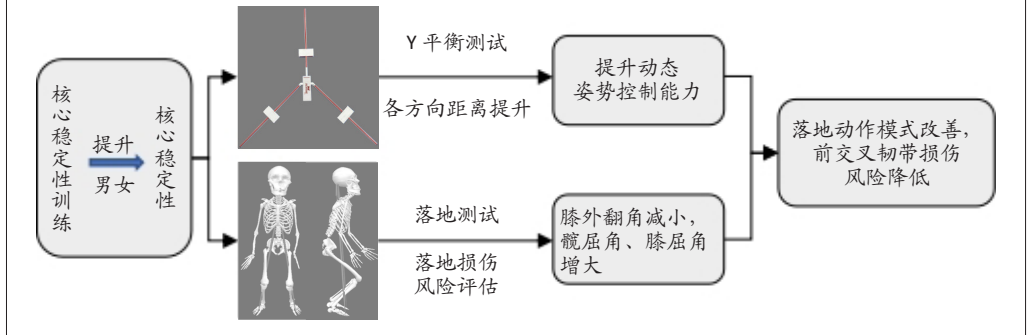
R496; R318; R681

文章编号:

2095-4344(2024)16-02467-06

文献标识码: A

文章快速阅读: 核心稳定性降低前交叉韧带损伤风险



文题释义:

**动态姿势控制能力:** 是指在运动过程中, 身体通过本体感觉、神经肌肉控制等功能对抗外界干扰以维持身体平衡的能力。动态姿势控制能力不足可对下肢动作模式产生不良影响, 增大下肢损伤风险。

**核心稳定性:** 是指核心区稳定性, 主要反映了核心区肌肉耐力及其神经肌肉控制能力, 在人体动力链中为力的传递与控制发挥着重要作用。核心稳定性可通过躯干核心区肌肉耐力测试来评估, 如躯干屈肌耐力、伸肌耐力、侧桥肌群耐力测试。

摘要

**背景:** 研究表明, 动态姿势控制能力较差可能导致运动时产生异常的动作模式, 进而可能增大下肢关节及前交叉韧带的损伤风险, 而躯体核心的稳定是良好动态姿势控制能力的基础。

**目的:** 探讨核心稳定性训练对大学生动态姿势控制能力及落地动作损伤风险的影响, 并对比不同性别训练效果差异。

**方法:** 招募35名(男=19, 女=16)大学生为试验对象, 对其进行6周核心稳定性训练, 分析训练前后Y平衡测试、躯干伸肌耐力测试、躯干屈肌耐力、侧桥肌群耐力测试和落地错误评分系统(LESS)测试结果的差异。

**结果与结论:** ①6周核心稳定性训练可提高男女大学生的躯干伸肌耐力( $P < 0.001$ )、屈肌耐力( $P < 0.001$ )和侧桥肌群耐力( $P < 0.001$ ); ②核心稳定性训练可提高男女大学生Y平衡测试前向测试距离( $P=0.026$ )、后内向距离( $P < 0.001$ )、后外向距离( $P=0.005$ )和综合得分( $P < 0.001$ ); ③经过6周核心稳定性训练, 男女大学生LESS评分均显著下降( $P < 0.001$ ), 同时可增大触地时刻膝关节( $P < 0.001$ )、髋关节屈曲角( $P < 0.001$ ), 减小触地时刻膝关节外翻角( $P < 0.001$ ), 并可增大最大屈膝角( $P < 0.001$ )和减小最大膝外翻角( $P < 0.001$ ); ④结论: 核心稳定性训练可提高动态姿势控制能力并改善落地动作模式, 提示可能有助于降低前交叉韧带损伤风险; 核心稳定性训练在提高躯干屈肌耐力、侧桥肌群耐力、改善动态姿势控制能力以及降低前交叉韧带损伤风险方面无性别差异。

**关键词:** 核心训练; 动态姿势控制; 落地动作; 前交叉韧带损伤; 核心稳定性

## Core stability training reduces risk of anterior cruciate ligament injury in landing movements

Xue Boshi<sup>1</sup>, Lin Changrui<sup>1</sup>, Zheng Liangliang<sup>1</sup>, Yang Chen<sup>2</sup>, Zhou Zhipeng<sup>1</sup><sup>1</sup>Shandong Sport University, Jinan 250102, Shandong Province, China; <sup>2</sup>Nanjing Sport Institute, Nanjing 210114, Jiangsu Province, China

Xue Boshi, Master candidate, Shandong Sport University, Jinan 250102, Shandong Province, China

**Corresponding author:** Zhou Zhipeng, PhD, Professor, Shandong Sport University, Jinan 250102, Shandong Province, China

Abstract

**BACKGROUND:** Studies have shown that poor dynamic postural control may lead to abnormal movement patterns during exercise, which may increase the risk of lower limb joint and anterior cruciate ligament injury. The stability of the body core is the basis of good dynamic postural control.

**OBJECTIVE:** To investigate the effects of core stability training on dynamic postural control and risk of injury in landing movements, and to compare the differences in training effects between genders.

**METHODS:** Thirty-five college students (male=19, female=16) were recruited for 6 weeks of core stability training. The results of the Y balance test, trunk extensor endurance test, trunk flexor endurance test, lateral bridge endurance test, and landing error scoring system were analyzed before and after training.

**RESULTS AND CONCLUSION:** The 6-week core stability training could improve trunk extensor endurance ( $P < 0.001$ ), flexor endurance ( $P < 0.001$ ), and lateral abdominal muscle endurance ( $P < 0.001$ ). Core stability training could improve forward distance ( $P=0.026$ ), backward inward distance ( $P < 0.001$ ), backward outward distance ( $P=0.005$ ) and comprehensive score ( $P < 0.001$ ) of Y balance test for male and female college students. Landing error scoring system scores

<sup>1</sup> 山东体育学院, 山东省济南市 250102; <sup>2</sup> 南京体育学院, 江苏省南京市 210114

第一作者: 薛博士, 男, 1996年生, 河南省周口市人, 汉族, 山东体育学院在读硕士, 主要从事运动损伤与运动康复生物力学的研究。

通讯作者: 周志鹏, 博士, 教授, 山东体育学院, 山东省济南市 250102

<https://orcid.org/0009-0004-8052-0942> (薛博士); <https://orcid.org/0000-0002-8424-5050> (周志鹏)

基金资助: 国家级大学生创新创业训练计划项目(201910457006), 项目负责人: 周志鹏

引用本文: 薛博士, 林昌瑞, 郑亮亮, 杨辰, 周志鹏. 核心稳定性训练降低落地动作前交叉韧带损伤的风险[J]. 中国组织工程研究, 2024, 28(16):2467-2472.



of both male and female college students significantly decreased after 6 weeks of core stability training ( $P < 0.001$ ) while increasing knee ( $P < 0.001$ ) and hip flexion angles ( $P < 0.001$ ), decreasing knee valgus angle ( $P < 0.001$ ) at the moment of touchdown, and could increase the maximum knee flexion angle ( $P < 0.001$ ) and decrease the maximum knee valgus angle ( $P < 0.001$ ). It is concluded that core stability training improves dynamic postural control and improves landing movement patterns, suggesting that it may help reduce the risk of anterior cruciate ligament injury. There are no sex differences in core stability training in terms of increased trunk flexor endurance, lateral bridge muscle group endurance, improved dynamic postural control, and reduced risk of anterior cruciate ligament injury.

**Key words:** core training; dynamic postural control; landing movement; anterior cruciate ligament injury; core stability

**Funding:** National College Student Innovation and Entrepreneurship Training Plan Project, No. 201910457006 (to ZZP)

**How to cite this article:** XUE BS, LIN CR, ZHENG LL, YANG C, ZHOU ZP. Core stability training reduces risk of anterior cruciate ligament injury in landing movements. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2024;28(16):2467-2472.

## 0 引言 Introduction

前交叉韧带损伤是下肢最常见的运动损伤之一，大多发生在足球、篮球等运动中的冲击性落地动作（如跳跃落地、急停起跳、落地侧切等）的支撑减速阶段<sup>[1-4]</sup>，且在执行相同高损伤风险的运动时，女性前交叉韧带发生首次损伤的概率是男性的2-10倍<sup>[5-6]</sup>。然而无论男女，前交叉韧带损伤后即便接受了重建手术等积极性治疗，膝关节稳定性依然显著降低<sup>[7]</sup>，且发生二次损伤以及罹患膝骨关节炎等继发性损害的风险也均明显增加<sup>[8]</sup>。

动态姿势控制能力较差可能导致运动时产生异常的动作模式，进而可能增大下肢关节及前交叉韧带的损伤风险<sup>[9]</sup>，而躯体核心的稳定是良好动态姿势控制能力的基础。KIBLER等<sup>[10]</sup>在研究中指出，核心稳定性对姿势控制和肌肉发力发挥着重要作用。核心稳定性不足无法为远端环节提供稳定支撑<sup>[11-12]</sup>，使得下肢神经肌肉主动控制能力下降，进而导致错误的落地动作模式，最终增加落地时的下肢损伤风险<sup>[13-16]</sup>。尤其女性较男性前交叉韧带更为松弛且下肢Q角较男性亦更大<sup>[3]</sup>，在跳跃落地过程中，核心稳定性不足易导致女性较男性存在更小的髋屈角和较大的膝内外翻角度，这也可能是女性前交叉韧带损伤风险较高的原因之一<sup>[17-18]</sup>。

目前，核心稳定性训练已被广泛用于下肢损伤预防与康复。研究表明，核心稳定性训练可改善躯干的神经肌肉控制能力<sup>[13, 19]</sup>，如ZAZULAK等<sup>[20]</sup>在研究中指出，提高核心稳定性可以减小髋关节内旋力矩，这可能避免支撑腿在落地支撑过程中膝关节过度外翻，进而减轻膝关节负荷。然而，对于核心稳定性训练是否可改善动态姿势控制能力和下肢落地动作模式来降低前交叉韧带损伤风险仍不明确。此外，在男女之间运动模式存在差异的情况下，核心稳定性训练在改善下肢落地动作模式及损伤风险方面是否存在相同效果亦仍不明确。

因此，该研究旨在通过对男女大学生开展为期6周的核心稳定性训练，通过评估核心稳定性、动态姿势控制能力以及落地动作模式，明确核心稳定性训练是否可以改善动态姿势控制能力以及落地动作模式并降低前交叉韧带损伤风险，同时对比男女训练效果差异，从而为今后的损伤预防训练方案的选择提供理论参考。

## 1 对象和方法 Subjects and methods

**1.1 设计** 不同性别训练对比观察。使用双因素重复测量方差分析，观察时间与性别两个自变量对因变量各指标的影响。

**1.2 时间及地点** 试验于2020年10-12月在山东体育学院完成。

**1.3 对象** 依据前人研究<sup>[21]</sup>，按照80%的统计效能(1-β)，I类误差α设为0.05，计算每组最小样本量为15人。此次研究招募山东体育学院大学生19名男性受试者，年龄(20.2±2.0)岁，身高(175.0±4.7)cm，体质量(72.9±10.4)kg，腿长(94.1±3.3)cm；招募16名女性受试者，年龄(21.8±1.5)岁，身高(164.3±4.8)cm，体质量(55.8±7.2)kg，腿长(88.7±3.5)cm。

该研究经北京体育大学伦理委员会审批通过(2020134H)，所有受试者自愿参加试验，并签署知情同意书。所有受试者无严重的心血管系统疾病（如心脏病、高血压等）和呼吸系统疾病（如哮喘、不明原因的呼吸困难等），无脊柱、下肢损伤史。

**1.4 试验方案** 对受试者进行为期6周的核心稳定性训练，在干预训练前后分别进行Y平衡测试、落地动作错误评分系统(landing error scoring system, LESS)测试、核心稳定性测试(躯干伸肌耐力测试、躯干屈肌耐力测试、侧桥肌群耐力测试)。

**1.4.1 平衡测试** Y平衡测试要求受试者双手叉腰以优势侧脚站在测试套件上，对侧脚尽可能远地依次向前、后内、后外侧方向推动测试板，熟练掌握测试动作后，每个方向需成功(双手不离腰、身体无明显晃动)完成3次测试，记录测试中的最好成绩，见图1。



图注：从左至右分别是前向、后内向、后外向距离测试

图1 | 受试者进行Y平衡测试

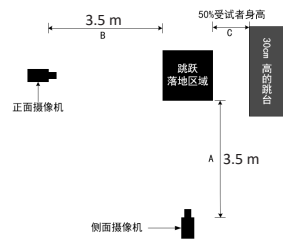
Figure 1 | Y balance test conducted by subjects

**1.4.2 LESS测试** LESS作为可靠的筛查工具，常用于评估跳跃动作中前交叉韧带损伤的风险<sup>[22]</sup>，通过17个得分项对受试者的动作模式进行评价，得分越高说明落地动作模式越差，下肢损伤风险越高<sup>[23]</sup>。得分共分为4个等级：LESS得分≤4代表动作优秀，4 < LESS得分≤5代表动作良好，5 < LESS得分≤6代表动作一般，LESS评分 > 6代表落地动作很差<sup>[24]</sup>。

LESS落地动作测试场地如图2所示，包括30cm高的起跳台、着陆区以及2台高速摄像机(离地高度1.4m)4个模块。



测试要求受试者从跳台跳落至跳跃落地区后，立即做最大用力向上起跳，然后自然落地。使用2台拍摄频率为50帧/s的高速摄像机同步采集测试动作视频信息。熟练掌握测试动作后，完成3次有效数据的采集，见图3。



图注：2台摄像机到跳跃落地区的距离分别为A=3.5 m、B=3.5 m；跳台到跳跃落地区的距离为C=受试者50%身高

图2 | 落地错误评分系统测试场地示意图

Figure 2 | Schematic diagram of the testing site for the landing error scoring system

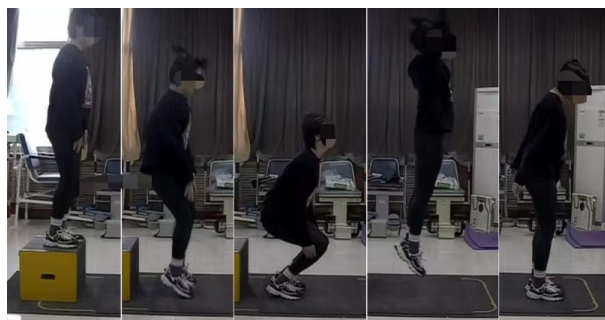


图3 | 落地错误评分系统测试中受试者的落地测试动作(侧面镜头拍摄)

Figure 3 | Landing test actions for landing error scoring system (side shot)

1.4.3 核心稳定性测试 核心稳定性测试包括躯干伸肌、屈肌、侧桥肌群耐力测试，各肌群测试1次，每次测试间隔5 min，记录各肌群测试时所能维持的最大时间，该测试方法的信度系数可以达到0.97以上<sup>[25]</sup>。具体测试方法见图4。



图注：从左至右依次为躯干伸肌、屈肌、侧桥肌群耐力测试

图4 | 受试者核心稳定性测试动作

Figure 4 | Core stability test actions

(1) 躯干伸肌耐力测试：受试者俯卧位，髂前上棘及以上部位露出床缘，脚踝固定。要求上肢交叉放置胸前保持躯干与地面平行，直至无法维持。

(2) 躯干屈肌耐力测试：受试者坐位屈膝、屈髋，双脚固定。要求上肢交叉放于胸前保持头部、躯干连线与水平面约呈60°夹角，直至无法维持。

(3) 侧桥肌群耐力测试：受试者取随机一侧侧卧位，下方肩关节外展并屈肘90°，同侧脚为支撑脚，对侧脚放在支撑脚上，头部、躯干、下肢、支撑脚尽力保持在一条直线上，直至无法维持。

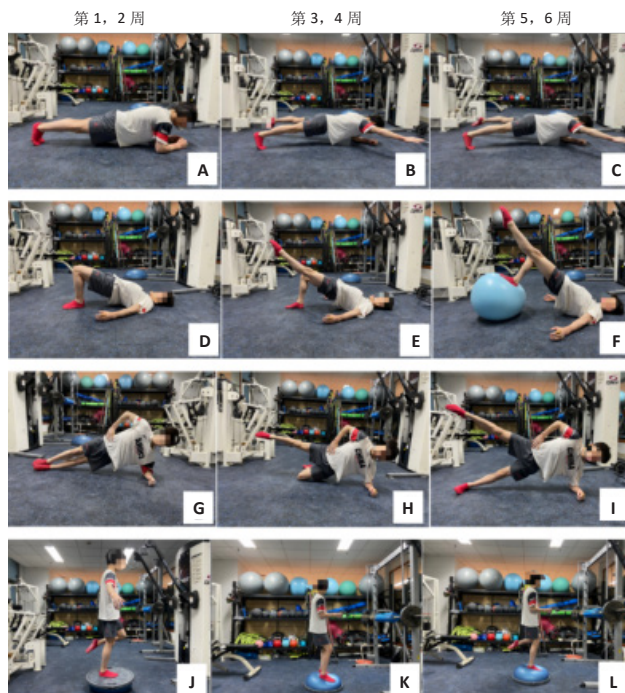
1.4.4 核心稳定性训练方案 参考《美国国家体能协会核心训练指南(修订版)》和《核心区训练》中的核心稳定性训练方法<sup>[26-27]</sup>，将其训练动作归纳为平板支撑、仰卧挺髋、侧体支撑腿外展、波速球站立划船共4类动作。每一类动作分3个等级难度，采用渐进性的训练方法。以往研究指出，6

周的核心稳定性训练干预可取得较好的训练效果<sup>[28]</sup>，因此，此次研究中，每2周进行1次难度进阶，共干预6周。训练频率为1周3次，每次30 min，组间休息1 min。训练计划和内容见表1和图5。

表1 | 核心稳定性训练计划

Table 1 | Core stability training plan

时间	训练项目	组数	训练量	
第1, 2周	a. 标准平板支撑	4	第1周 40 s 第2周 50 s	
	d. 标准臀桥	4	15 次 20 次	
	g. 标准侧体支撑	4	35 s 40 s	
	j. 波速球反立单腿站	4	20 s 25 s	
	第3, 4周	b. 单臂画圆平板支撑	4	第3周 35 s 第4周 40 s
		e. 单腿臀桥	4	15 次 20 次
h. 屈膝侧体支撑腿外展		4	15 次 20 次	
k. 站姿波速球单手划船(4.5 kg)		4	10 次 15 次	
第5, 6周	c. 单臂单腿平板支撑	4	第5周 35 s 第6周 40 s	
	f. 瑞士球单腿臀桥	4	15 次 20 次	
	i. 直膝侧体支撑腿外展	4	15 次 20 次	
	l. 波速球单脚站单手划船(4.5 kg)	4	10 次 15 次	



图注：图A为标准平板支撑；B为单臂画圆平板支撑；C为单臂单腿平板支撑；D为标准臀桥；E为单腿臀桥；F为瑞士球单腿臀桥；G为标准侧体支撑；H为屈膝侧体支撑腿外展；I为直膝侧体支撑腿外展；J为波速球反立单腿站；K为站姿波速球单手划船(4.5 kg)；L为波速球单脚站单手划船(4.5 kg)

图5 | 受试者核心稳定性训练动作

Figure 5 | Core stability training movements

1.4.5 数据处理 Y平衡测试结果以受试者下肢长(髌前上棘到内踝的最短距离)进行标准化，标准化处理后的综合值=(前向距离+后内向距离+后外向距离)/(下肢长×3)×100%<sup>[28]</sup>。将高速摄像机采集的LESS测试视频数据导入到电脑，使用Kinovea软件分析落地动作视频，记录受试者在落地动作中矢状面和冠状面关节运动学指标，包括触地时刻及屈膝最大时刻的膝屈角、髌屈角、膝外翻角和躯干侧倾角

等指标。核心稳定性指标为躯干伸肌、屈肌、侧桥肌群耐力测试中分别所维持的最长时间。

1.5 主要观察指标 ①核心稳定性测试结果；②Y平衡测试结果；③落地动作测试结果；④落地动作测试关节角度结果。

1.6 统计学分析 使用 SPSS 27.0 软件对所有数据进行统计学分析，使用双因素重复测量方差分析观察时间与性别两个自变量对因变量的影响。若时间与性别对因变量存在交互效应，则使用 Bonferroni 调整的事后检验进行组间、组内的两两比较；若不存在交互效应则分析时间与性别的主效应，并计算两两比较效果量 (Cohen's *d*) 评价临床效果意义，其评价标准为：效果大 ( $d \geq 0.8$ )、效果中 ( $0.8 > d \geq 0.5$ )、效果小 ( $0.5 > d \geq 0.2$ )<sup>[29]</sup>。使用 2x3 卡方检验，分析训练前后不同损伤风险等级人数占比。所有数据使用  $\bar{x} \pm s$  的形式表示，显著性水平  $\alpha=0.05$ 。该文章的统计学方法已经山东体育学院统计学专家审核。

## 2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 试验选入的男女受试者共 35 名，训练试验过程无脱落，全部进入结果分析。

2.2 核心稳定性测试结果比较 见表 2。双因素方差分析结果显示，只有躯干伸肌耐力在时间与性别间存在交互效应，事后检验结果显示，男女在训练后躯干伸肌耐力均明显增加 ( $P < 0.001$ , Cohen's  $d=-0.929$ )；双因素方差分析结果也显示，躯干屈肌耐力时间主效应显著，不论男女训练后均显著增加 ( $P < 0.001$ , Cohen's  $d=-0.749$ )；而侧桥肌群耐力时间、性别主效应均显著，不论男女训练后均显著增加 ( $P < 0.001$ , Cohen's  $d=-1.648$ )，且无论训练前后，男性均显著高于女性 ( $P=0.002$ , Cohen's  $d=0.732$ )。

表 2 | 受试者核心稳定性测试结果比较 ( $\bar{x} \pm s$ , 男 =19, 女 =16, s)  
Table 2 | Comparison of core stability test results among subjects

指标	性别	训练前	训练后	P 值		
				时间	性别	时间 * 性别
躯干屈肌耐力	男	84.1±36.3 <sup>a</sup>	110.3±35.4	0.001	0.161	0.279
	女	60.6±45.5 <sup>a</sup>	103.4±35.0			
躯干伸肌耐力	男	84.7±34.7 <sup>a</sup>	110.3±47.8	-	-	0.027
	女	79.8±42.8 <sup>a</sup>	136.1±43.2			
侧桥肌群耐力	男	58.4±20.3 <sup>a</sup>	98.2±26.9	0.001	0.002	0.364
	女	41.3±17.8 <sup>ab</sup>	74.0±15.7 <sup>b</sup>			

表注：与训练后相比，<sup>a</sup> $P < 0.05$ ；与男性相比，<sup>b</sup> $P < 0.05$ 。“-”代表无数据

2.3 平衡测试结果比较 见表 3。双因素方差分析结果显示，Y 平衡测试中 3 个方向距离以及综合值在时间与性别间均不存在显著的交互效应，仅存在显著的时间主效应，即 Y 平衡测试的前向 ( $P=0.026$ , Cohen's  $d=-0.418$ )、后内向 ( $P=0.001$ , Cohen's  $d=-0.731$ )、后外向 ( $P=0.005$ , Cohen's  $d=-0.541$ ) 距离和综合值 ( $P=0.001$ , Cohen's  $d=-0.663$ )，不论男女在训练后均显著增加。

2.4 落地动作测试结果比较 见表 4, 5。双因素方差分析结果显示，落地动作测试得分在时间与性别间不存在显著的交互效应，只存在显著的时间主效应，即不论男女，训练后落

表 3 | 受试者 Y 平衡测试 3 个方向距离及综合值结果比较

( $\bar{x} \pm s$ , 男 =19, 女 =16, %)

Table 3 | Comparison of distance and comprehensive value results in three directions of Y balance test among subjects

指标	性别	训练前	训练后	P 值		
				时间	性别	时间 * 性别
前向距离	男	58.9±6.9 <sup>a</sup>	64.7±13.9	0.026	0.279	0.505
	女	63.1±6.8 <sup>a</sup>	66.3±7.0			
后内向距离	男	94.2±11.3 <sup>a</sup>	104.3±11.5	0.001	0.587	0.168
	女	94.9±12.5 <sup>a</sup>	99.9±9.5			
后外向距离	男	97.4±13.6 <sup>a</sup>	106.7±12.4	0.005	0.832	0.071
	女	100.2±10.8 <sup>a</sup>	102.4±8.1			
综合值	男	83.7±9.8 <sup>a</sup>	91.8±11.1	0.001	0.972	0.128
	女	86.1±8.8 <sup>a</sup>	89.5±6.9			

表注：与训练后相比，<sup>a</sup> $P < 0.05$

表 4 | 受试者落地动作测试 LESS 得分比较 ( $\bar{x} \pm s$ , 男 =19, 女 =16)

Table 4 | Comparison of landing error scoring system scores in landing movement tests among subjects

性别	训练前	训练后	P 值		
			时间	性别	时间 * 性别
男	6.3±1.9 <sup>a</sup>	4.6±1.2	0.001	0.468	0.441
女	6.8±1.3 <sup>a</sup>	4.6±1.0			

表注：与训练后相比，<sup>a</sup> $P < 0.05$ 。LESS：落地错误评分系统

表 5 | 落地动作测试训练前后不同损伤风险等级人数占比 [n=35, n(%)]

Table 5 | Proportion of people with different injury risk levels before and after landing test training

时间	损伤风险等级				$\chi^2$ 值	P 值
	差	一般	良好	优秀		
训练前	23 <sup>a</sup> (88)	5(33)	5(36)	2 <sup>a</sup> (13)	26.3	0.001
训练后	3(12)	10(67)	9(64)	13(87)		

表注：与训练后相比，<sup>a</sup> $P < 0.05$

地动作测试得分均明显降低 ( $P=0.001$ , Cohen's  $d=1.173$ )，见表 4；卡方检验结果显示，在训练前后不同损伤风险等级的人数占比存在显著性差异 ( $P=0.001$ )，多重比较结果显示，训练后落地动作测试“差”的人数显著减少，而“优秀”的人数明显增加，见表 5。

2.5 落地动作测试关节角度结果比较 见表 6。双因素方差分析结果显示，落地动作测试中所有关节角度在时间与性别间均不存在显著的交互作用。触地时刻膝屈角、髌屈角、膝外翻角均只有时间主效应显著，躯干侧倾角时间、性别主效应均不显著，其中膝屈角 ( $P=0.001$ , Cohen's  $d=-1.309$ )、髌屈角 ( $P=0.001$ , Cohen's  $d=-0.947$ )，不论男女在训练后均显著增加，而膝外翻角在训练后则显著降低 ( $P=0.001$ , Cohen's  $d=0.645$ )，躯干侧倾角男女在训练后均有降低趋势 ( $P=0.085$ , Cohen's  $d=0.303$ )，但差异无统计学意义；最大屈膝时刻膝屈角、髌屈角只存在显著的时间主效应，而膝外翻角存在显著的时间、性别主效应，其中膝屈角 ( $P=0.001$ , Cohen's  $d=-0.752$ )、髌屈角 ( $P=0.001$ , Cohen's  $d=-0.902$ ) 不论男女训练后均显著增加，膝外翻角男女在训练后均显著降低 ( $P=0.001$ , Cohen's  $d=0.839$ )，且无论训练前后女性均大于男性 ( $P=0.001$ , Cohen's  $d=0.574$ )，见表 6。

2.6 不良事件 此次试验训练过程中所有受试者均未发生跌倒、拉伤等运动损伤不良事件。



表 6 | 触地时刻与屈膝最大时刻不同性别受试者膝关节、髌关节角度测试结果比较 (x±s, 男=19, 女=16, \*)

Table 6 | Comparison of knee joint and hip joint angle test results at touchdown time and maximum knee flexion time among subjects of different sexes

指标	性别	训练前	训练后	P 值		
				时间	性别	时间 * 性别
触地时刻	男	22.2±5.7 <sup>a</sup>	31.8±7.5	0.001	0.946	0.271
膝屈角	女	23.5±4.7 <sup>a</sup>	30.6±5.5			
触地时刻	男	40.8±8.2 <sup>a</sup>	49.3±9.0	0.001	0.676	0.703
髌屈角	女	42.3±6.4 <sup>a</sup>	49.7±5.4			
触地时刻	男	1.7±3.0 <sup>a</sup>	0.2±0.7	0.001	0.224	0.257
膝外翻角	女	3.1±3.8 <sup>a</sup>	0.4±1.1			
触地时刻	男	1.7±2.1	1.2±1.3	0.085	0.591	0.859
躯干侧倾角	女	1.5±1.9	0.9±1.1			
最大屈膝时刻	男	90.6±15.5 <sup>a</sup>	102.5±19.2	0.001	0.130	0.356
膝屈角	女	80.1±17.6 <sup>a</sup>	98.3±15.8			
最大屈膝时刻	男	85.2±16.5 <sup>a</sup>	107.4±22.0	0.001	0.113	0.489
髌屈角	女	78.8±19.9 <sup>a</sup>	102.1±21.7			
最大屈膝时刻	男	8.1±6.2 <sup>a</sup>	3.3±5.7	0.001	0.001	0.254
膝外翻角	女	16.5±7.1 <sup>ab</sup>	8.8±7.1 <sup>b</sup>			

表注: 与训练后相比, <sup>a</sup>P<0.05; 与男性相比, <sup>b</sup>P<0.05

### 3 讨论 Discussion

**3.1 核心稳定干预训练效果分析** 试验结果表明, 经过 6 周核心稳定性训练, 男女躯干屈肌、伸肌及侧桥肌群耐力均明显增高, 提示核心稳定性得到改善, 除躯干伸肌耐力女性较男性提升更为明显外, 男女之间训练效果没有明显差异。分析核心稳定性提高的原因可能是: 一方面训练中的平板支撑和侧桥支撑类动作中肌肉的静力性等张收缩运动可以提高腹直肌、竖脊肌、腹外斜肌等肌肉激活水平<sup>[28]</sup>, 肌肉进行等长收缩时支配肌纤维的神经元需要在长时间内保持持续兴奋状态, 使得神经元的兴奋性和稳定性得到提高, 并使核心肌群工作时神经系统发挥更好的作用, 整体上提高了核心肌群工作时的耐力适应性; 另一方面训练中的动力性收缩可募集更多的核心肌群肌纤维参与工作<sup>[30]</sup>、提高核心区肌群的神经控制水平, 向心收缩时神经肌肉兴奋和收缩交替进行, 使得神经肌肉的本体感觉和协调性得到改善。以上两个方面可能是此次研究中核心肌群工作时稳定性提高的主要原因。

此次研究认为核心稳定训练效果男女之间没有明显差异的原因是, 3 个反映核心稳定性的躯干肌群耐力, 经过核心稳定性训练后男女均显著提高, 且唯一存在时间与组别交互效应的躯干伸肌耐力, 在训练后男女亦均显著提高。此外, 虽然侧桥肌群无论训练前后男性均高于女性, 但经过训练后男女亦均显著提高。因此研究认为核心稳定训练在男女之间训练效果上不存在差异。而无论训练前后, 男性侧桥肌群耐力均显著高于女性的原因可能是, 此次研究招募的受试者群体本身的差异, 即女性侧桥肌群耐力本身弱于男性。此外, 值得注意的是, 从结果上看女性在训练后躯干伸肌耐力较男性提升更为明显, 提示女性躯干伸肌耐力可能更易得到提升, 但这还有待后续进一步地研究论证。

**3.2 核心稳定性训练对动态姿势控制能力的影响** 姿势控制能力是指人体保持身体平衡或对抗外界干扰的反应能力, 是人体感觉、运动系统与外界环境之间复杂的相互作用过程。姿势控制能力较差会导致落地动作模式异常, 并可增大落地

动作中运动损伤的发病风险<sup>[31-32]</sup>。Y 平衡测试动作需要核心控制和本体感觉同时参与, 常用于动态姿势控制能力的评估<sup>[33-34]</sup>。并且以往研究表明, Y 平衡测试中下肢在 3 个方向上所能达到的距离越远说明受试者的动态姿势控制水平越高<sup>[28, 33]</sup>。经过 6 周的核心稳定性训练, 受试者在 Y 平衡测试中得分提高, 表明动态姿势控制能力得到提升, 分析提高的原因可能与核心肌群力量、耐力提升有关。有研究证明, 核心区肌肉力量、耐力与 Y 平衡测试得分呈正相关, 且伸髌肌群、屈膝肌群力量越大则 Y 平衡测试前向距离越大, 髌外展肌群力量越大则后内向后距离越大, 髌伸肌群力量越大则后外向距离越大<sup>[35]</sup>。通过 6 周训练, 受试者躯干屈肌、伸肌、腰方肌、腹内外斜肌等核心肌群力量、耐力的改善, 提升了在执行 Y 平衡测试任务时的躯干和下肢的稳定性, 反映出动态姿势控制能力增加。一项关于职业女子篮球的研究指出 Y 平衡测试综合得分越低, 下肢损伤的风险越大, 当综合得分小于受试者 94% 腿长时, 下肢损伤风险可增大至 6.5 倍<sup>[36]</sup>。此次研究结果显示, 男女大学生在训练后 Y 平衡测试综合得分虽然低于 94%, 但较训练前均显著提高, 提示核心稳定性训练可能通过提高动态姿势能力的方式降低了落地动作过程中下肢损伤风险。

**3.3 核心稳定性训练对落地动作模式的影响** 训练后男女 LESS 测试得分明显降低, 且训练后损伤风险等级“差”的人数占比明显降低, “优秀”的人数占比显著增加, 表明训练后落地动作模式改善, 提示可能有助于降低前交叉韧带损伤风险。其原因可能是训练提高了核心稳定性和动态姿势控制能力, 从而改善落地时的躯干控制能力, 增大屈髌和屈膝运动幅度, 降低膝外翻幅度, 有利于更好地落地缓冲和降低地面冲击力, 从而有助于降低下肢前交叉韧带的损伤风险。

良好的落地动作模式往往体现在落地瞬间采用较为“柔软”的着地技巧, 如采用更大的屈膝和屈髌角, 并在落地后充分地屈曲、屈髌来缓冲吸收地面冲击能量, 从而达到降低下肢损伤风险的目的<sup>[37]</sup>。触地时刻和最大屈膝时较大的屈膝角不仅有利于缓冲地面反作用力, 也有助于股二头肌更好地激活, 从而可加强对胫骨平台向后的拉力, 有助于减小前交叉韧带的负荷及损伤的风险。此次研究结果显示, 训练后男女在触地时刻和缓冲阶段最大屈膝时刻的屈膝角度都明显增大, 分析其原因可能与训练后屈髌角度增大有关。有研究表明屈髌角度越大股二头肌的激活水平越高<sup>[38]</sup>, 而股二头肌跨过膝关节, 因此屈髌的同时也会使膝关节屈曲角度增大。此外, 在着地早期阶段, 较大的膝外翻角被认为是预测前交叉韧带损伤风险的因素<sup>[12]</sup>。此次研究结果显示, 经过核心稳定性训练后, 男女触地时刻和屈膝最大时刻的膝外翻角均显著减小, 这与 JEONG 等<sup>[12]</sup>的研究结果一致, 并且他在研究中指出, 着地阶段膝关节外翻角与股内外侧肌的激活比呈负相关<sup>[12]</sup>。此次研究分析认为, 6 周的核心稳定性训练改善了神经肌肉控制模式, 并可能增大了股内侧肌与股外侧肌的激活比, 从而降低膝关节外翻角。综上所述, 核心稳定性训练可能通过增大触地时刻和最大屈膝时刻的屈膝角度以及减小膝外翻角来降低前交叉韧带损伤风险。

触地时刻躯干侧倾角对下肢的落地动作模式也有重要影响,较小的躯干侧倾角保证了人体重力沿着正常的动力链向下传递,避免重心偏移导致膝关节冠状面上压力不平衡<sup>[39-40]</sup>,从而降低了膝关节的损伤风险。训练后触地时刻躯干侧倾角有所减小,分析其改善的原因可能是核心稳定性训练提升了双侧核心肌群(尤其是侧桥肌群)耐力和神经肌肉控制能力的对称性。一方面,此次试验干预训练中的侧体支撑、瑞士球臀桥等静力性收缩运动可长时间激活躯干两侧肌群,而波速球等非稳定性支撑训练可进一步改善核心肌群的神经肌肉控制能力,提升侧桥肌群的耐力;另一方面,躯干深层小肌肉群的肌肉功能可得到很好的锻炼,增强了在落地过程中躯干小肌群的稳定支持作用。结合此次研究中男女在训练后躯干侧倾角减小,研究认为6周的核心稳定性训练可能通过增加核心肌群神经肌肉控制能力、减小躯干侧倾角来改善下肢落地动作模式,从而降低落地动作过程中前交叉韧带损伤风险。

**3.4 研究不足与展望** 此次研究具有一定局限性,一方面在数据采集过程中,缺少地面反作用力等动力学和核心肌群表面肌电数据的收集,在后续的研究中可以增加表面肌电和地面反作用力信息的采集,更加全面、准确地分析神经肌肉的协调作用和生物力学特征对下肢损伤风险的影响;此外,研究受试者均为普通在校大学生,研究结果可能与专业运动员等特殊人群结果不完全一致,实际意义的普适性不足,将来可以对不同运动水平和不同运动项目的运动员进行研究。

**结论:** ①核心稳定性训练可提高动态姿势控制能力并改善落地动作模式,提示可能有助于降低前交叉韧带损伤风险;②核心稳定性训练在提高躯干屈肌耐力、侧桥肌群耐力、改善动态姿势控制能力以及降低前交叉韧带损伤风险方面无性别差异。

**作者贡献:** 周志鹏和杨辰完成了试验设计,薛博士和林昌瑞完成试验测试、干预训练及数据处理分析,薛博士完成了论文撰写和文章校对,周志鹏、杨辰和郑亮亮完成论文指导与文章校对。所有作者都已阅读和认可最终版本的论文,并同意作者署名顺序。试验为单盲评估。

**利益冲突:** 文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

**开放获取声明:** 这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

**版权转让:** 文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

**出版规范:** 文章撰写遵守了《观察性临床研究报告指南》(STROBE指南)。文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。文章经小同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

#### 4 参考文献 References

[1] RICHARDSON MC, WILKINSON A, CHESTERTON P, et al. Effect of Sand on Landing Knee Valgus During Single-Leg Land and Drop Jump Tasks: Possible Implications for ACL Injury Prevention and Rehabilitation. *J Sport Rehabil.* 2020;30(1):97-104.

[2] 陈连旭,付立功.前交叉韧带断裂和重建的临床流行病学分析[J].中国组织工程研究,2016,20(24):3602-3608.

[3] RODRIGUEZ K, SONI M, JOSHI PK, et al. Anterior Cruciate Ligament Injury: Conservative Versus Surgical Treatment. *Cureus.* 2021;13(12):e20206.

[4] HARATO K, MORISHIGE Y, KOBAYASHI S, et al. Biomechanical features of drop vertical jump are different among various sporting activities. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022;23(1):331-337.

[5] HEWETT TE, MYER GD, FORD KR, et al. Mechanisms, prediction, and prevention of ACL injuries: Cut risk with three sharpened and validated tools. *J Orthop Res.* 2016;34(11):1843-1855.

[6] MARMURA H, BRYANT DM, GETGOOD AM. Infographic. Sex differences and ACL injuries. *Br J Sports Med.* 2021;55(22):1313-1314.

[7] NOVAES M, CARVALHO A, SAUER JF, et al. Postural control during single leg stance in individuals with clinical indication for combined reconstruction of the anterior cruciate and the anterolateral ligaments of the knee: a cross-sectional study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022;23(1):383-393.

[8] WELLSANDT E, GARDINIER ES, MANAL K, et al. Decreased Knee Joint Loading Associated With Early Knee Osteoarthritis After Anterior Cruciate Ligament Injury. *Am J Sports Med.* 2016;44(1):143-151.

[9] PLETCHER ER, DEKKER TJ, LEPHART SM, et al. Sex and Age Comparisons in Neuromuscular And Biomechanical Characteristics of the Knee in Young Athletes. *Int J Sports Phys Ther.* 2021;16(2):438-449.

[10] KIBLER WB, PRESS J, SCIASCIA A. The role of core stability in athletic function. *Sports Med.* 2006;36(3):189-198.

[11] PAPPAS E, SHIYKO MP, FORD KR, et al. Biomechanical Deficit Profiles Associated with ACL Injury Risk in Female Athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(1):107-113.

[12] JEONG J, CHOI DH, SHIN CS. Core Strength Training Can Alter Neuromuscular and Biomechanical Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury. *Am J Sports Med.* 2021;49(1):183-192.

[13] DUCHENE Y, GAUCHARD GC, MORNIEUX G. Influence of sidestepping expertise and core stability on knee joint loading during change of direction. *J Sports Sci.* 2022;40(9):959-967.

[14] OTSUKI R, DEL BEL MJ, BENOIT DL. Sex differences in muscle activation patterns associated with anterior cruciate ligament injury during landing and cutting tasks: A systematic review. *J Electromyogr Kinesiol.* 2021;60:102583.

[15] HEWETT TE, FORD KR, XU YY, et al. Utilization of ACL Injury Biomechanical and Neuromuscular Risk Profile Analysis to Determine the Effectiveness of Neuromuscular Training. *Am J Sports Med.* 2016;44(12):3146-3151.

[16] HEWETT TE, FORD KR, XU YY, et al. Effectiveness of Neuromuscular Training Based on the Neuromuscular Risk Profile. *Am J Sports Med.* 2017;45(9):2142-2147.

[17] SINSURIN K, VACHALATHITI R, JALAYONDEJA W, et al. Altered Peak Knee Valgus during Jump-Landing among Various Directions in Basketball and Volleyball Athletes. *Asian J Sports Med.* 2013;4(3):195-200.

[18] KIM H, SON S, SEELEY MK, et al. Functional Fatigue Alters Lower-extremity Neuromechanics during a Forward-side Jump. *Int J Sports Med.* 2015;36(14):1192-1200.

[19] CANNON J, CAMBRIDGE EDJ, MCGILL SM. Increased core stability is associated with reduced knee valgus during single-leg landing tasks: Investigating lumbar spine and hip joint rotational stiffness. *J Biomech.* 2021;116:110240-110240.

[20] ZAZULAK BT, HEWETT TE, REEVES NP, et al. Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: a prospective biomechanical-epidemiologic study. *Am J Sports Med.* 2007;35(7):1123-1130.

[21] SASAKI S, TSUDA E, YAMAMOTO Y, et al. Core-Muscle Training and Neuromuscular Control of the Lower Limb and Trunk. *J Athl Train.* 2019;54(9):959-969.

[22] LIMROONGREUNGRAT W, MAWHINNEY C, KONGTHONGSUNG S, et al. Landing Error Scoring System: Data from Youth Volleyball Players. *Data Brief.* 2022;41:107916.

[23] HANZL KOV L, H BERT-LOSIER K. Clinical Implications of Landing Distance on Landing Error Scoring System Scores. *J Athl Train.* 2021;56(6):572-577.

[24] PADUA DA, MARSHALL SW, BOLING MC, et al. The Landing Error Scoring System (LESS) Is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: The JUMP-ACL study. *Am J Sports Med.* 2009;37(10):1996-2002.

[25] MCGILL SM, CHILDS A, LIEBENSON C. Endurance times for low back stabilization exercises: clinical targets for testing and training from a normal database. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999;80(8):941-944.

[26] 杰弗里·M.威拉德逊.王轩译.美国国家体能协会核心训练指南(修订版)[M].北京:人民邮电出版社,2019:42-50.

[27] VERSTEGEN M, WILLIAMS P. Core performance: the revolutionary workout program to transform your body and your life. New York:Rodalie Press. 2004:62-135.

[28] 林昌瑞.核心稳定性训练对姿势控制及落地动作前交叉韧带损伤风险的影响[D].济南:山东体育学院,2020.

[29] COHEN J. A power primer. *Psychol Bull.* 1992;112(1):155-159.

[30] STONE MH, HORNSBY WG, SUAREZ DG, et al. Training Specificity for Athletes: Emphasis on Strength-Power Training: A Narrative Review. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2022;7(4):102-121.

[31] MAO M, YIN Y, LUO D, et al. Evaluation of dynamic postural control during single-leg landing tasks using initial impact force, landing leg stiffness and time to stabilisation. *Sports Biomech.* 2021;1-14. doi: 10.1080/14763141.2020.1833969.

[32] KAWAGUCHI K, TAKETOMI S, MIZUTANI Y, et al. Dynamic Postural Stability Is Decreased During the Single-Leg Drop Landing Task in Male Collegiate Soccer Players With Chronic Ankle Instability. *Orthop J Sports Med.* 2022;10(7):23259671221107343.

[33] COUGHLAN GF, FULLAM K, DELAHUNT E, et al. A comparison between performance on selected directions of the star excursion balance test and the Y balance test. *J Athl Train.* 2012;47(4):366-371.

[34] PLSKY P, SCHWARTKOPF-PHIFER K, HUEBNER B, et al. Systematic Review and Meta-Analysis of the Y-Balance Test Lower Quarter: Reliability, Discriminant Validity, and Predictive Validity. *Int J Sports Phys Ther.* 2021;16(5):1190-1209.

[35] LEE DK, KIM GM, HA SM, et al. Correlation of the Y-Balance Test with Lower-limb Strength of Adult Women. *J Phys Ther Sci.* 2014;26(5):641-643.

[36] PLSKY PJ, RAUH MJ, KAMINSKI TW, et al. Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2006;36(12):911-919.

[37] 薛博士,王凌志,程羽翔,等.核心稳定性训练对冲击性落地动作下肢损伤风险的影响[C]//第十二届全国体育科学大会论文摘要汇编——墙报交流(体能训练分会).2022:177-178.

[38] 张帆,王长生,袁艳,等.不同屈膝角度与g值全身振动刺激对下肢肌肉影响的研究[J].北京体育大学学报,2014,37(11):86-91+99.

[39] CHIJIMATSU M, ISHIDA T, YAMANAKA M, et al. Landing instructions focused on pelvic and trunk lateral tilt decrease the knee abduction moment during a single-leg drop vertical jump. *Phys Ther Sport.* 2020;46:226-233.

[40] SONG Y, LI L, HUGHES G, et al. Trunk motion and anterior cruciate ligament injuries: a narrative review of injury videos and controlled jump-landing and cutting tasks. *Sports Biomech.* 2023;22(1):46-64.

(责任编辑: WZH, ZN, WL, LWJ)