



# 足球运动员在急停起跳和侧切动作中 前交叉韧带损伤的生物力学特征研究

## Biomechanics of Lower Extremity of Football Players during Stop Jumping and Cutting Movement Related to Anterior Cruciate Ligament Injury

刘 卉<sup>1</sup>, 张美珍<sup>1</sup>, 李翰君<sup>1</sup>, 曲 毅<sup>1</sup>, 于 冰<sup>2</sup>  
LIU Hui<sup>1</sup>, ZHANG Mei-zhen<sup>1</sup>, LI Han-jun<sup>1</sup>, QU Yi<sup>1</sup>, YU Bing<sup>2</sup>

**摘要:**目的:确定大学生男、女足球运动员在急停起跳和侧切动作中下肢动作的运动学和动力学特点和性别差异,确定有无足球训练对急停起跳和侧切动作中的下肢运动学和动力学的影响。研究方法:对定期参加足球训练的大学生和无训练背景的普通大学生完成急停起跳和侧切动作时的下肢运动学和动力学特征进行采集与分析。结果与结论:多个与 ACL 负荷有关的生物力学指标在性别间、动作间和群体间存在差异。女子足球运动员完成侧切和急停起跳动作时的膝关节屈角较小,足底压力中心更靠近脚尖。足球运动员在完成侧切跑时受到了更大的地面反作用力和膝关节力矩影响。结果说明,不良的落地技术是使女性运动员 ACL 损伤高发的原因,而足球运动员所受外力较大可能是其 ACL 损伤率高于非运动员群体的主要原因。

**关键词:**前交叉韧带;危险因素;生物力学;足球

**Abstract:** Objective: The purposes of this study were to identify the differences in kinematics and kinetics of lower extremity of football male and female players between cutting and stop jump tasks, and between genders. In addition, the influences of football training on kinematics and kinetics of lower extremity in the two athletic tasks were evaluated. Method: College students regularly participating in football training and no training background of the general college students are recruited into study. Their biomechanical data of lower extremity during stop jumping and cutting movement were collected and analyzed. Results and conclusion: Significant differences were found in kinematic and kinetic between genders, tasks, and populations. Compared to male football players, female football players had significantly smaller knee flexion angle and shorter distance between center of pressure and ankle joint center. Football players had significantly higher ground reaction forces and knee moment in the cutting task than in the stop jump task. These results indicate that poor landing techniques may be responsible to the elevated risk for ACL injury in female football players in comparison to their male counterpart, and that increased ground reaction forces due to increased movement speed may be responsible for the elevated risk for ACL injury in football players in comparison to ordinary populations.

**Key words:** anterior cruciate ligament; risk factor; biomechanics; football

中图分类号:G804.6 文献标识码:A

### 1 前言

膝关节前交叉韧带(Anterior cruciate ligament, ACL)断裂是最常见的运动损伤之一。足球运动员是 ACL 损伤的高发人群之一<sup>[1]</sup>。ACL 损伤占男子足球运动员全部损伤的 1.3%,占女子足球运动员全部损伤的 3.7%<sup>[20]</sup>。德国高水平女子足球运动员 ACL 损伤的发病率是每 1 000 比赛小时 2.2 例<sup>[11]</sup>。而 ACL 损伤已居法国青少年女子足球运动员损伤的第一位<sup>[15]</sup>。ACL 损伤运动员平均要休息半年以上<sup>[11]</sup>,这造成了大量的训练和比赛时间的损失。

且,即使通过手术重建 ACL 也不能降低损伤者伤后后遗症的风险<sup>[17]</sup>。这些后遗症极大地影响了伤者的生活质量。

收稿日期:2011-08-30; 修订日期:2011-11-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30870600)。

作者简介:刘卉(1972-),女,天津人,教授,博士,主要研究方向为运动生物力学, E-mail:liuhuibupe@163.com。

作者单位:1. 北京体育大学 运动生物力学教研室,北京 100084;2. 北卡罗来纳大学 人体运动科学中心,北卡罗来纳 27599  
1. Beijing Sport University, Beijing 100084, China; 2. The University of North Carolina at Chapel Hill, North Carolina 27599, U. S. A.

因此,预防 ACL 损伤对运动员来说极为重要,而确定致伤因素则是有效预防损伤的第一步。为了预防 ACL 损伤,研究人员运用各种方法对 ACL 损伤危险因素进行了大量研究。这些研究结果表明,下肢在制动过程中,较小的膝关节屈角、较大的伸膝力矩、较大的膝关节外翻角和外翻力矩,以及较大的地面反作用力都可能增加 ACL 的负荷,从而增加损伤的危险<sup>[1]</sup>。

虽然,现有文献提供了 ACL 损伤的一般危险因素,也指出了不同性别的运动员在某些动作中下肢生物力学特征的不同,但是,不同性别运动员在不同动作中 ACL 损伤的危险因素是否相同,以及不同性别运动员危险因素的不同是如何造成的尚不清楚<sup>[2]</sup>。系统地研究不同 ACL 损伤危险动作中下肢生物力学特征的性别差异,对深入理解 ACL 损伤的危险因素、设计有效的 ACL 损伤危险性评价方法和预防 ACL 损伤的训练方法至关重要。

文献表明,将近 70% 的 ACL 损伤发生在落地或侧切运动瞬间<sup>[11,21]</sup>,因此,本研究的目的是确定大学生男、女足球运动员在急停起跳和侧切动作中下肢动作的运动学和动力学特点和性别差异,并通过与无运动训练背景的普通大学生的对比,确定足球训练对急停起跳和侧切动作中的下肢运动学和动力学的影响。本研究假设:1) 足球运动员在急停起跳和侧切动作中,下肢运动学和动力学特征具有性别差异;2) 足球运动员在急停起跳和侧切动作中,下肢运动学和动力学特征不同;3) 足球运动员和没有运动训练背景的普通大学生在完成两个动作中的下肢运动学和动力学特征不同。

## 2 研究方法

### 2.1 受试者

受试者为无训练背景的普通大学生和定期参加足球训练和比赛的大学生(表 1)。其中,定期参加足球训练的男性受试者为北京体育大学足球专项学生,训练年限在 6 年以上,运动水平在 2 级以上;参加训练的女性受试者为中国人民大学、北京中医药大学和北京师范大学参加北京市大学生女子足球联赛的主力运动员,训练年限在 2 年以上。所有受试者均无 ACL 损伤史,并在测试当天没有任何下肢关节肌肉的疼痛和运动障碍。

表 1 本研究各受试群体基本情况一览表

Table 1 Basic Data of Subjects

	性别 Gender	n	年龄(岁) Age(year)	身高(cm) Height	体重(kg) Weight
足球运动员 Soccer player	男	25	20.8±1.1	176.8±4.9	68.6±7.2
	女	28	21.2±2.6	164.5±5.0	56.2±5.6
普通大学生 Non athletes	男	30	22.6±1.9	173.6±5.5	63.9±12.3
	女	31	21.6±1.4	164.3±4.7	54.9±9.1

### 2.2 数据采集

受试者测试时穿着自备运动鞋和统一的紧身衣,在进行足够的准备活动之后,身上粘贴 12 个反光标志点。反

光标标志点粘贴的位置为左/右肩峰、髂后上棘中点、左/右髂前上棘、左/右股骨大转子、股骨内侧髁、股骨外侧髁、胫骨粗隆、胫骨内踝、腓骨外踝下沿。

完成急停起跳动作时,受试者在离测力台 5~10 m 处开始进行助跑(3~5 步助跑),在距测力台还有一步时,两足分别跳到两块测力台上急停,然后立刻尽全力垂直向上跳起。测试时要求每位受试者以其最大行进速度和尽最大力向上跳(图 1A)。侧切动作要求受试者在离测力台 5~10 m 处开始进行助跑,在测力台上以踢球侧腿为支撑,身体急速侧切沿原运动方向的左前(右腿支撑)45°方向继续奔跑,4 步后缓冲停止奔跑(图 1B)。由于有关 ACL 损伤的流行病学研究没有发现足球运动员踢球腿和非踢球腿之间损伤率的差异<sup>[11,21]</sup>,因此,本研究只对踢球侧腿的支撑动作进行研究。每个受试者每种动作采集 3 次有效数据。



A 受试者急停起跳动作测试图

B 受试者侧切动作测试图

A Stop-jump movement

B Cutting movement

图 1 受试者测试动作示意图

Figure 1 Testing Movement

应用 6 镜头 Qualisys MCU500 红外光点运动捕捉系统(瑞典)对受试者动作运动学指标进行采集,数据采集频率为 100 Hz,采集时间 5 s,标定空间为测力台上方 3.0 m 长×2.5 m 宽×2.5 m 高的范围。应用两台 Kistler 9281CA(瑞士)三维测力台对受试者动作过程中所受地面反作用力及相关指标进行采集与处理。数据采集频率为 1 000 Hz。运动学与动力学数据的采集由 Qualisys 系统进行同步触发。

### 2.3 数据处理

根据标志点坐标建立骨盆坐标系、大腿坐标系和小腿坐标系。骨盆坐标系由右髂前上棘点,左髂前上棘点和髂后上棘中点确定。根据 Bell 等<sup>[3]</sup>的研究数据和骨盆坐标系计算髋关节转动中心坐标。大腿坐标系由股骨内侧髁点、股骨外上侧髁点以及髋关节中心点确定。膝关节转动中心为股骨内外侧髁中点。小腿坐标系由外踝点、内踝点以及膝关节中心点确定。

膝关节角度定义为大腿坐标系和小腿坐标系之间的欧拉角,第 1 次转动围绕 x 轴,获得屈伸角(负角为屈),第 2 次转动围绕 y 轴,获得内收外展角(正角为内收,负角为外展),第 3 次转动围绕 z 轴,获得旋内旋外角(正角为旋内,负角为旋内)。

膝关节三维力矩通过逆动力学方法计算获得(MS3D 7.0 版, MotionSoft, Inc. Chapel Hill, NC 2006)。地面反作

用力 and 膝关节力矩被投影到小腿坐标系, 膝关节力矩标准化为身高与体重乘积的倍数, 地面反作用力标准化为体重的倍数。

2.4 数据分析

采用混合方差分析方法确定性别、动作和群体这 3 个自变量对下肢生物力学力学指标的影响。方程分析的因变量包括受试者脚接触地面后第 1 次地面反作用力峰值时刻<sup>[8]</sup>的地面反作用力前、后方向和上、下方向的冲击峰值, 地面反作用力冲击峰值时的膝关节角、膝关节三维力矩以及地面反作用力压力中心到踝关节中心的水平距离作为因变量。前期研究已表明, 这些力学指标与 ACL 负荷相关<sup>[24]</sup>。自变量中, “动作”为重复测量变量。统计分析

的显著性标准定为一类误差概率不大于 0.05, 所有统计分析都应用 SPSS 16.0 软件完成。

3 结果

方差分析结果表明, 所有力学指标均显著地受到群体 × 动作 × 性别的交互作用影响。因此, 进一步进行重复测量的方差分析检验同一群体不同性别和动作对力学指标的影响, 以及同一性别不同群体和动作对力学指标的影响。统计结果依然发现, 两个因素间的交互作用显著, 因此, 采用了单因素方差分析分别检验群体、性别和动作对力学指标的影响(表 2)。

表 2 本研究地面反作用力首次峰值时的下肢力学指标一览表

Table 2 Biomechanical Characteristics of Lower Extremity at First Peak Ground Reaction Force

	侧切 Cutting		急停起跳 Stop-jump	
	男 female	女 male	男 female	女 male
足球运动员 Soccer player				
地面垂直反作用力(BW) Vertical ground reaction force(BW)	1.510±0.68 <sup>ab</sup>	2.130±1.05 <sup>c</sup>	1.470±0.66 <sup>a</sup>	1.090±0.65 <sup>b</sup>
地面水平向后反作用力(BW) Posterior horizontal ground reaction force(BW)	0.680±0.27 <sup>a</sup>	0.530±0.30 <sup>c</sup>	0.740±0.44 <sup>ab</sup>	0.36±0.23 <sup>b</sup>
膝伸力矩(BH·BW) Knee extension moment (BH·BW)	0.104±0.057 <sup>ab</sup>	0.072±0.066	0.105±0.081 <sup>ab</sup>	0.058±0.058
膝内收力矩(BH·BW) Knee adduction moment (BH·BW)	0.026±0.042	0.024±0.040	0.018±0.028	0.020±0.067
膝旋内旋力矩(BH·BW) Knee internal rotation moment (BH·BW)	0.005±0.007 <sup>c</sup>	0.006±0.005 <sup>c</sup>	0.003±0.005 <sup>b</sup>	0.002±0.009
膝关节屈角(°) Knee flexion angle(°)	-35.050±8.73 <sup>abc</sup>	-29.380±9.28 <sup>c</sup>	-44.520±10.18 <sup>ab</sup>	-36.28±11.75
膝关节内收外展角(°) Knee ab/adduction angle (°)	0.630±3.92 <sup>ac</sup>	-1.780±3.72 <sup>bc</sup>	3.270±5.04 <sup>a</sup>	1.17±5.48 <sup>b</sup>
膝关节外旋角(°) Knee external angle(°)	-3.360±6.19 <sup>c</sup>	-2.640±3.54	-1.700±5.13	-1.670±3.70 <sup>b</sup>
压力中心到踝水平距离(cm) Horizontal distance between center of pressure and center of ankle	-11.200±5.88 <sup>acb</sup>	-5.790±4.22	-7.450±6.32 <sup>ab</sup>	-5.130±7.25
普通人 Non athletes				
地面垂直反作用力(BW) Vertical ground reaction force(BW)	1.840±0.97 <sup>c</sup>	2.080±0.85 <sup>c</sup>	1.300±0.65 <sup>a</sup>	1.550±0.71
地面水平向后反作用力(BW) Posterior horizontal ground reaction force(BW)	0.630±0.37 <sup>ac</sup>	0.480±0.29	0.500±0.33	0.500±0.29
膝伸力矩(BH·BW) Knee extension moment (BH·BW)	0.069±0.067	0.070±0.051	0.053±0.058	0.073±0.054
膝内收力矩(BH·BW) Knee adduction moment (BH·BW)	0.024±0.066	0.015±0.037	0.019±0.022	0.015±0.025
膝旋内旋力矩(BH·BW) Knee internal rotation moment (BH·BW)	0.004±0.009 <sup>c</sup>	0.005±0.006 <sup>c</sup>	0.000±0.007	0.002±0.004
膝关节屈角(°) Knee flexion angle(°)	-30.210±9.83 <sup>c</sup>	-29.540±7.59 <sup>c</sup>	-41.450±14.09	-39.000±9.25
膝关节内收外展角(°) Knee ab/adduction angle (°)	0.170±5.44 <sup>ac</sup>	-2.620±3.89	3.620±6.36 <sup>a</sup>	-1.270±5.16
膝关节外旋角(°) Knee external angle(°)	-2.670±3.56 <sup>c</sup>	-2.990±2.74	-1.740±4.07 <sup>a</sup>	-3.160±3.18
压力中心到踝水平距离(cm) Horizontal distance between center of pressure and center of ankle	-6.610±5.93 <sup>ac</sup>	-5.180±4.91	-4.490±5.31	-5.100±4.88

注:a:与女性相比有显著差异;b:与普通人相比有显著差异;c:与急停起跳动作相比有显著差异。

本研究结果表明, 相比男子足球运动员, 女子足球运动员在侧切着地初期受到较大的地面垂直反作用力和较小的水平向后反作用力, 表现出较小的膝关节伸展力矩和

膝关节屈角, 且着地初期膝关节外翻, 压力中心更靠近脚跟。而在急停起跳动作中, 女子足球运动员相比男子足球运动员表现出较小的垂直和水平向后地面反作用力、较小

的膝关节伸展力矩和膝关节屈角,同时,膝关节内翻角度显著小于男子足球运动员,并也倾向于脚跟落地。

除少数几个指标外,其他各指标在侧切和急停起跳两动作间均存在显著性差异(表2)。总体来说,侧切动作与急停起跳相比在着地初期受试者受到了更大的地面反作用力和膝关节内旋力矩,膝关节内收角度减小,外旋角度增加,但地面压力中心更靠近脚尖。

男子足球运动员和男性普通大学生的数据分析表明(表2),男子足球运动员侧切着地初期受到的垂直地面反作用力较小,膝关节伸展力矩较大,膝关节屈角较大,且倾向于脚尖着地。而在急停起跳着地初期,男子足球运动员则受到了较大的水平向后反作用力、较大的伸膝力矩、较大的膝关节内旋力矩、较大的膝关节屈角,并也倾向于脚尖着地。女子足球运动员相比普通女大学生多数指标并无显著差异,只是普通女生在侧切和急停起跳着地初期膝关节更加外翻和外旋,在急停起跳着地时受到了较大的垂直和水平向后的地面反作用力。

## 4 讨论

### 4.1 性别间差异

本研究的结果支持本研究的第1个假设:足球运动员完成急停起跳和侧切时下肢生物力学特征具有性别差异。本研究结果表明,男、女运动员在完成急停起跳和侧切两个ACL损伤危险动作时的下肢生物力学特点存在显著差异。本研究中,女子足球运动员在两个动作的着地初期获得了显著小于男运动员的水平向后地面反作用力,同时,相应的膝关节伸展力矩也显著小于男运动员。女子足球运动员所受地面向后反作用力较小的原因可能在于制动前身体水平运动速度较小,而较小的地面水平反作用力使得女子足球运动员在制动中对膝关节伸膝力矩的要求也比较小。

男足球运动员着地初期的膝关节屈角显著大于女子足球运动员,且膝关节内收外展角也有显著的性别差异。这一结果支持多数针对足球运动员的研究中的结果<sup>[2,12,19,21,27]</sup>。但也有文献表明<sup>[6,13]</sup>,足球运动员完成侧切动作着地瞬间,下肢运动学指标并无性别差异。在本研究侧切动作中,男运动员着地初期膝关节为内收状态,女运动员则处于外展状态。而在急停起跳动作的着地初期,男、女运动员膝关节均为内收,但男运动员内收角显著大于女运动员。虽然,尸体实验的研究结果证明,单独的膝关节外展并不能造成单独的ACL损伤<sup>[17]</sup>,但如果膝关节在受到较大向前剪切力的同时膝关节外展,则会增加ACL的负荷而导致损伤。

本研究中,女运动员落地时所受地面反作用力的作用点比男运动员要显著靠近脚跟,这说明,女运动员落地时倾向于脚跟着地。Cortes等<sup>[9]</sup>对落地技术的研究虽然没有

发现显著的性别差异,但却发现落地时以脚跟着地的运动员在地面反作用力峰值时刻的膝关节屈角小于前脚落地的运动员,这与本研究的结果是一致的。Burkhart等<sup>[6]</sup>关于ACL损伤的前瞻性研究中发现,脚跟着地技术的运动员在比赛中产生ACL损伤的可能性更大。同时,Lin等<sup>[15]</sup>采用随机生物力学模型模拟计算ACL损伤概率的研究结果表明,模拟中发生ACL损伤的生物力学特征之一就是压力中心更靠近踝关节。前脚着地可以通过增加踝关节运动幅度等途径增加落地缓冲时间,从而减少地面反作用力,并增加垂直地面反作用力降低ACL负荷的作用,这些显然可以降低ACL损伤的危险。将本研究结果与文献相结合可以看出,膝关节屈角、外展角和脚部落地技术的性别差异可能与男、女足球运动员ACL损伤危险性的差异有关。

### 4.2 动作间差异

本研究结果支持本研究的第2个假设:足球运动员完成两个动作时,下肢生物力学特征不同。本研究中,男、女足球运动员完成侧切动作时的地面反作用力显著大于急停起跳动作中的相应指标,女运动员在侧切动作时的膝关节外展角度和外展力矩也显著大于急停起跳动作。这一结果支持<sup>[10]</sup>针对女子足球运动员的研究。男子足球运动员在侧切动作中还增加了膝关节外旋力矩和外旋角,减小了膝关节屈角和内收角度,并使压力中心更靠近脚尖。

在本研究中,侧切动作没有造成受试者膝关节伸力矩和外展力矩的增加。比急停起跳动作,侧切动作可能会通过使完成者着地初期膝关节屈角减小和外展角增加而增加ACL损伤的危险。同时,本研究中,男子足球运动员通过调整脚着地的方式以减少侧切运动着地初期所受到的地面反作用力,但女子足球运动员却由于脚落地方式没有变化而在侧切动作着地初期受到了更大的地面反作用力。本研究中,女子足球运动员完成急停起跳的着地初期膝关节为内收状态,而侧切动作的着地支撑则使她们的膝关节外展,这进一步造成侧切动作对女子足球运动员产生ACL损伤的危险高于男子足球运动员。

### 4.3 群体间差异

本研究结果支持本研究的第3个假设:足球运动员与没有运动训练背景的正常大学生完成急停起跳和侧切动作时下肢的生物力学特征不同。本研究中,女子足球运动员在完成侧切和急停起跳的着地初期膝关节外展和外旋角显著小于正常大学生,并在急停起跳着地初期受到的地面反作用力显著低于正常女大学生。这似乎表明,经过一定的足球训练的女性可以降低ACL损伤的危险。总体来说,本研究中,男子足球运动员的多数指标与正常大学生存在显著差异,但女子足球运动员与正常女大学生相比存在差异的指标较少。造成这种现象的原因可能是,本研究

中的女子足球运动员训练年限较少,训练水平较低。Sigward 和 Powers<sup>[23]</sup>对不同训练年限(2~8 年)的女子足球运动员完成侧切动作时下肢运动学、动力学和肌电数据进行对比研究的结果表明,不同训练年限的女子足球运动员的运动学数据无差异,而初学者表现为较小的膝关节三维力矩和更多的对抗肌的同时收缩(co-contraction)。

本研究中,男子足球运动员与普通男大学生之间的差异比较复杂。一方面,男子足球运动员表现出降低 ACL 损伤危险的技术特征,如着地时膝关节更加屈曲,且前脚落地;而另一方面,男子足球运动员又表现出伸膝力矩较大这一 ACL 损伤的危险特征。进一步分析男子足球运动员在完成不同动作时下肢力学指标与普通大学生的差异可以发现,男子足球运动员在完成侧切动作时受到的垂直地面反作用力显著小于普通男大学生,即男子足球运动员在完成侧切动作时落地更轻,但伸膝发力更大,使其快速蹬伸完成侧切。而在完成急停起跳动作时,男子足球运动员较大的伸膝力矩与其着地初期受到的较大的水平向后反作用力有关。而较大的水平向后反作用力则可能与急停着地前身体水平速度较大有关。Smith 等<sup>[24]</sup>的研究表明,低水平运动员膝关节屈曲幅度大于高水平运动员,而高水平运动员膝关节最大伸膝力矩大于低水平运动员。本研究结果结合文献表明,在完成运动动作时所受外力较大可能是造成足球运动员比非运动员群体 ACL 损伤危险性高的因素之一,而不佳的落地技术可能是导致非运动员群体 ACL 损伤的危险因素。

#### 4.4 对今后研究的建议

由于解剖结构的限制,膝关节在屈曲状态下可以有数度的被动的内收外展运动。由于运动员落地姿势和地面反作用力力矩的作用,运动员在落地过程中会被动产生膝关节内收外展动作,而膝关节外展角度是影响 ACL 负荷的因素之一<sup>[18]</sup>。另外,本研究应用了国际生物力学学会推荐的膝关节角度计算方法<sup>[29]</sup>,在计算过程中,定义绕坐标系 y 轴转动经过的角度为内收外展角,这一角度与解剖学定义稍有差别,但由于同类文献中均采用这种计算方法,因此,出于对数据可比性的考虑,本研究也采用这种定义和计算方法,而且经过与同类文献对比,本研究的膝关节内收外展角的大小在其他文献公布的范围内。

本研究所测膝关节屈角大于文献<sup>[6,25]</sup>中报道的 20°~30°,这是因为,本研究分析的是前、后水平反作用力达到第 1 峰值时刻的膝关节角度,而不是着地的初始时刻。在本研究中,这两个时刻相差 15~25 ms。Krosshaug 等<sup>[13]</sup>发现,女性运动员在着地瞬间和着地后 50 ms 过程中的膝关节屈角均小于男性运动员,这说明,本研究关于膝关节角度在性别间、动作间和群体间差异的分析结果与前人的研究具有可比性。如前所述,ACL 张力最大值时刻出现在脚接触地面后第 1 次地面反作用力峰值时刻<sup>[8]</sup>。因此,本研

究的结果可能更能说明针对 ACL 损伤的下肢力学特点。

本研究对比了不同性别足球运动员完成不同动作时的下肢生物力学特点,并比较了足球运动员和非运动员在完成相同动作时下肢生物力学指标的差异,以此进一步理解足球运动中 ACL 损伤的危险因素,但这种对比分析的结果并不能确定危险因素和损伤之间的因果关系以及危险性的相对大小,因此,需要进一步采用随机生物力学模型的方法模拟计算各危险因素对损伤的影响,以确定影响足球运动员 ACL 损伤概率的力学因素。

本研究已经发现,足球训练可能会改变下肢动作技术而降低 ACL 损伤危险,但训练也可能使完成动作的速度和运动员所受外力增加从而增加 ACL 的负荷。今后的研究可以进一步分析不同训练水平和身体素质对 ACL 损伤危险因素的影响,从而制定针对不同人群的预防 ACL 损伤的训练计划。文献中对从事不同项目训练的运动员 ACL 损伤机制的对比研究还不多见,今后的研究还应该对篮球、排球、武术、体操等跳跃动作较多,同时也是 ACL 损伤高发的项目进行对比研究,以制定针对不同项目人群预防 ACL 损伤的训练方案。

本研究测试了踢球腿在侧切和急停起跳中的运动形式,踢球腿并不一定是侧切和急停起跳动作中的优势腿,这有可能增加了因变量在受试者之间的差异。但是,本研究的主要假设是使用重复实验方法进行验证的,因而,因变量在受试者之间的差异对本研究结果的影响不大。今后的研究可以进一步对比优势腿和非优势腿在侧切支撑过程中的生物力学特征,以了解足球运动员两侧 ACL 损伤的危险因素是否有所不同。

## 5 结论

1. 与男子足球运动员相比,在急停起跳和侧切两个动作中,女子足球运动员落地初期地面反作用力更靠近足跟并且膝关节屈角较小,外展角度较大。这些性别差异均使女子足球运动员 ACL 负荷增加,可能是与女子足球运动员 ACL 损伤危险性较高有关的因素。

2. 与急停起跳相比,足球运动员在完成侧切跑时具有增加 ACL 受力的下肢生物力学特征,应该在训练中引起注意。

3. 与非运动员相比,足球运动员所受外力较大可能是足球运动员 ACL 损伤率高于非运动员群体的主要原因,而下肢技术动作不佳可能是非运动员群体 ACL 损伤的主要原因。

4. 运动训练可能改变下肢运动的生物力学特点,有助于降低 ACL 损伤的危险性。

## 参考文献:

- [1] 刘卉,苏玉林,于冰.非接触性前交叉韧带损伤特点及机制的研究进展[J].医用生物力学,2008,23(3):240-247.

- [2] BEAULIEU M L, LAMONTAGNE M, XU L. Lower limb muscle activity and kinematics of an unanticipated cutting manoeuvre: A gender comparison[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2009, 17: 968-976.
- [3] BEAULIEU M L, LAMONTAGNE M, XU L. Gender differences in time-frequency emg analysis of unanticipated cutting maneuvers[J]. *Med Sci Sports Exe*, 2008, 40(10): 1795-1804.
- [4] BELL A L, PEDERSEN D R, BRAND R A. A comparison of the accuracy of several hip center location prediction methods[J]. *J Biomech*, 1990, 23: 617-621.
- [5] BENJAMINSE A, GOKELER A, FLEISIG G S, *et al*. What is the true evidence for gender-related differences during plant and cut maneuvers? A systematic review [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2011, 19(1): 42-54.
- [6] BODEN B P, DEAN G S, FEAGIN J A J R, *et al*. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury[J]. *Orthopedics*, 2000, 23(6): 573-578.
- [7] BURKHART B, FORD K R, MYER G D, *et al*. Anterior cruciate ligament tear in an athlete: Does increased heel loading contribute to acl rupture? [J]. *N Am J Sports Phys Ther*, 2008, 3(3): 141-144.
- [8] CERULLI G, BENOIT D L, LAMONTAGNE M, *et al*. In vivo anterior cruciate ligament strain behaviour during a rapid deceleration movement; Case report[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2003, 11(5): 307-311.
- [9] CORTES N, ONATE J, ABRANTES J, *et al*. Effects of gender and foot-landing techniques on lower extremity kinematics during drop-jump landings[J]. *J Appl Biomechanics*, 2007, 23(4): 289-299.
- [10] COWLEY H R, FORD K R, MYER G D, *et al*. Differences in neuromuscular strategies between landing and cutting tasks in female basketball and soccer athletes[J]. *J Athlc Train*, 2006, 41(1): 67-73.
- [11] FAUDE O, JUNGE A, KINDERMANN W, *et al*. Injuries in female soccer players; A prospective study in the german national league[J]. *Am J Sports Med*, 2005, 33(11): 1694-1700.
- [12] FORD K R, MYER G D, TOMS H E, *et al*. Gender differences in the kinematics of unanticipated cutting in young athletes[J]. *Med Sci Sports Exe*, 2005, 37(1): 124-129.
- [13] KROSSHAUG T, NAKAMAE A, BODEN B, *et al*. Estimating 3d joint kinematics from video sequences of running and cutting maneuvers—assessing the accuracy of simple visual inspection [J]. *Gait & Posture*, 2007, 26: 378-385.
- [14] LANDRY S C, MCKEAN K A, HUBLEY-KOZEY C L, *et al*. Neuromuscular and lower limb biomechanical differences exist between male and female elite adolescent soccer players during an unanticipated run and crosscut maneuver[J]. *Am J Sports Med*, 2007, 35(11): 1901-1911.
- [15] LE GALL F, CARLING C, REILLY T. Injuries in young elite female soccer players; An 8-season prospective study[J]. *Am J Sports Med*, 2008, 36(2): 276-284.
- [16] LIN C F, GROSS M, JI C, *et al*. A stochastic biomechanical model for risk and risk factors of non-contact anterior cruciate ligament injuries[J]. *J Biomech*, 2009, 42(4): 418-423.
- [17] LOHMANDER L S, ENGLUND P M, DAHL L L, *et al*. The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries; Osteoarthritis [J]. *Am J Sports Med*, 2007, 35(10): 1756-1769.
- [18] MARKOLF K L, BURCHFIELD D M, SHAPIRO M M, *et al*. Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces[J]. *J Orthop Res*, 1995, 13(6): 930-935.
- [19] POLLARD C D, SIGWARD S M, POWERS C M. Gender differences in hip joint kinematics and kinetics during side-step cutting maneuver[J]. *Clin J Sport Med*, 2007, 17(1): 38-42.
- [20] RENSTROM P, LJUNGQVIST A, ARENDT E, *et al*. Non-contact acl injuries in female athletes: An international olympic committee current concepts statement[J]. *Bri J Sports Med*, 2008, 42(6): 394-412.
- [21] ROCHCONGAR P, LABOUTE E, JAN J, *et al*. Ruptures of the anterior cruciate ligament in soccer[J]. *Inter J Sports Med*, 2009, 30(5): 372-378.
- [22] SIGWARD S M and POWERS C M. Loading characteristics of females exhibiting excessive valgus moments during cutting [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2007, 22(7): 827-833.
- [23] SIGWARD S, POWERS C M. The influence of experience on knee mechanics during side-step cutting in females[J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2006, 21(7): 740-747.
- [24] SMITH R, FORD K R, MYER G D, *et al*. Biomechanical and performance differences between female soccer athletes in national collegiate athletic association divisions i and iii[J]. *J Athl Train*, 2007, 42(4): 470-476.
- [25] YU B and GARRETT W E. Mechanisms of non-contact acl injuries[J]. *Bri J Sports Med*, 2007, (41): 47-51.
- [26] YU B, LIN C F, GARRETT W E. Lower extremity biomechanics during the landing of a stop-jump task [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2006, 21(3): 297-305.
- [27] YU B, MCCLURE S B, ONATE J A, *et al*. Age and gender effects on lower extremity kinematics of youth soccer players in a stop-jump task[J]. *Am J Sports Med*, 2005, 33(9): 1356-1364.
- [28] WALDEN M, HAGGLUND M, MAGNUSSON H, *et al*. Anterior cruciate ligament injury in elite football; A prospective three-cohort study[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2011, 19(1): 11-19.
- [29] WU G. ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion- part I: ankle hip and spine[J]. *J Biomech*, 2002, 35(4): 543-548.