

文章编号: 1004-7220(2025)02-0278-06

# 非接触性前交叉韧带损伤患者急性期健侧下肢等速肌力和单腿跳跃动作肌肉活动特征分析

冉 静, 罗小兵, 许 杰, 游亮亮  
(四川省骨科医院, 成都 610041)

**摘要:**目的 将非接触性前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)损伤患者急性期健侧下肢的等速肌力指标和表面肌电(surface electromyography, sEMG)信号与健康人群进行对比,为 ACL 损伤患者健侧下肢继发性 ACL 断裂的预防提供理论依据。**方法** 以 21 名 ACL 急性期患者(ACL 损伤组)和 21 名健康人(对照组)作为实验对象,进行髋屈、伸、内收、外展和膝屈、伸等速肌力测试,采集单腿跳跃动作时股内侧肌、股外侧肌、半腱肌、股二头肌、臀大肌 sEMG 信号,通过独立样本  $t$  检验分析两组之间相对峰力矩、拮抗肌比率、均方根振幅、共收缩指数等指标之间的差异。**结果** ACL 损伤患者健侧下肢的伸膝( $P=0.040$ )和伸髋肌力( $P=0.041$ )降低。在单腿跳跃落地动作中,在预激活阶段表现出较低的股内侧肌激活( $P=0.014$ ),在反应阶段表现出较低的股内侧肌( $P=0.030$ )和臀大肌( $P=0.022$ )激活。此外,股二头肌-半腱肌的共激活水平也降低( $P=0.020$ )。**结论** ACL 损伤患者健侧下肢功能在损伤早期就出现变化,这可能提示了 ACL 损伤患者面临较大对侧下肢损伤风险的原因。

**关键词:** 前交叉韧带损伤; 等速肌力; 表面肌电; 单腿跳跃

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2025.02.004

## Analysis on Characteristics of Isokinetic Muscle Strength of the Healthy Lower Limb and Muscle Activity During Single-Leg Jumping Movements in Patients with Acute Non-Contact Anterior Cruciate Ligament Injury

RAN Jing, LUO Xiaobing, XU Jie, YOU Liangliang  
(Sichuan Province Orthopedic Hospital, Chengdu 610041, China)

**Abstract: Objective** The isokinetic muscle strength indicators and surface electromyography (sEMG) signals of the healthy lower limb side of patients with non-contact anterior cruciate ligament (ACL) injury in the acute phase were compared with those of healthy individuals, so to provide a theoretical basis for the prevention of secondary ACL rupture in the healthy lower limb side of patients with ACL injury. **Methods** 21 patients with ACL injury in the acute phase (ACL injury group) and 21 healthy individuals (control group) were subjected to isokinetic muscle strength tests for hip flexion, extension, adduction, abduction, and knee flexion, and sEMG signals of the vastus medialis, vastus lateralis, semitendinosus, biceps femoris, and gluteus maximus were collected during the single-leg jumping movements. The differences between the two groups in relative peak torque, antagonist

收稿日期: 2024-08-04; 修回日期: 2024-10-24

基金项目: 四川省体育局竞技体育科研项目 (SCTY2402JTY)

通信作者: 罗小兵, 主任医师, E-mail: 2393692151@qq.com

muscle ratio, root mean square amplitude, and co-contraction index were analyzed by independent sample *t*-test.

**Results** The extension of the knee ( $P=0.040$ ) and hip flexion strength ( $P=0.041$ ) were lower in the healthy lower limb side of patients with ACL injury. In the single-leg landing action, there were lower activation of the vastus medialis muscle in the pre-activation phase ( $P=0.014$ ), lower activation of the vastus medialis ( $P=0.030$ ) and gluteus maximus ( $P=0.002$ ) in the reaction phase, and also lower co-activation levels of the biceps femoris-semitendinosus ( $P=0.020$ ). **Conclusions** At the early stage of injury, the function of the healthy lower limb side of patients with ACL injury changes, which may indicate why these patients face a greater risk of contralateral lower limb injury.

**Key words:** anterior cruciate ligament injury; isokinetic muscle strength; surface electromyography; single-leg jumping

前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 损伤是常见的膝关节运动损伤。一项基于美国明尼苏达州的研究发现,该州每年每 10 万人中就有 68.6 人发生 ACL 损伤<sup>[1]</sup>,尤其常见于足球、篮球、曲棍球等运动的人群<sup>[2-3]</sup>。不但 ACL 损伤患者的运动和生活受到影响,也给医疗卫生系统带来沉重的负担<sup>[4-5]</sup>。ACL 损伤按照其损伤发病机制可分为接触性损伤和非接触性损伤两大类,而 72% 的 ACL 损伤发生在非接触情况下<sup>[6]</sup>。ACL 损伤患者与普通人群相比拥有较高的二次损伤的风险,受伤概率可达 46.7%,且对侧下肢的损伤率接近损伤侧的 2 倍<sup>[7]</sup>。ACL 损伤的风险因素除了解剖、激素、环境和生物力学等因素外<sup>[8-9]</sup>,多数非接触性 ACL 损伤患者还经常表现出肌肉力量和运动模式的改变<sup>[10-11]</sup>,这也可能导致膝关节的稳定性受到影响,从而增加下肢损伤的风险。而神经肌肉的控制和下肢的运动模式可以通过干预手段进行改善<sup>[12]</sup>,表明非接触性 ACL 损伤在一定程度上可以被预防。有研究将 ACL 损伤运动员健侧下肢的力量与健康运动员进行比较,发现前者健侧下肢的股四头肌力量显著下降。但目前针对 ACL 损伤患者健侧下肢肌电活动的研究鲜有报道,本文对急性期 ACL 损伤患者健侧下肢肌肉力量和肌电活动同时开展研究。

非接触性 ACL 损伤患者在急性期,其健侧可能已经发生改变形成代偿。本文对其进行等速肌力测试和单腿跳跃着陆时表面肌电 (surface electromyography, sEMG) 测试,并通过病例对照方法与健康人进行对比,分析 ACL 损伤患者的健侧下肢与健康对照组等速肌力和 sEMG 指标的差异,总结急性期 ACL 损伤患者健侧下肢肌肉的功能特征,为健侧下肢继发性 ACL 断裂的预防提供理论依据。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

实验对象病例组为四川省骨科医院膝关节运动损伤科收治的 21 名 ACL 断裂急性期的患者。纳入标准:① 年龄 18~45 岁,不限性别;② 受伤方式为非接触性损伤;③ 核磁共振检查提示 ACL 断裂;④ 病程在 1 个月以内的急性期患者;⑤ 未做 ACL 重建手术。排除标准:① 既往同侧膝关节韧带手术的患者;伴有后交叉韧带、内侧或外侧副韧带损伤;② 同侧髌关节、对侧髌关节或对侧膝关节损伤;③ 有严重的痛风、类风湿性关节炎,以及有严重的基础疾病且控制不佳,膝关节感染史等;④ 健侧腿无法完成单腿跳跃着陆测试动作的患者。

根据病例的性别、年龄、身体质量指数 (body mass index, BMI) 和伤前的活动水平进行 1:1 匹配,即对于每名 ACL 损伤组的受试者,选择 1 名与其性别相同、年龄相差 2 岁、BMI 相差  $1 \text{ kg/m}^2$  以内、Tegner 评分相差 1 分以内的健康受试者作为对照组,为 ACL 损伤组患者匹配对照组受试者的同侧下肢。病例组受试者从受伤到测试的中位时间为 21(9, 25) d。比较发现,两组受试者年龄、BMI、Tegner 评分差异无统计学意义(见表 1)。本研究经过四川省骨科医院伦理委员会同意,入选所有患者均签署知情同意书。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 等速肌力测试** 使用等速肌力测试仪 (IsoMed 2000, D&R Ferstl 公司,德国) 对实验对象进行髌关节屈、伸、内收、外展的等速肌力测试以及膝关节屈、伸等速肌力测试。在等速肌力测试系统中建立测试方案:选择髌关节(屈/伸、内收/外展)

表1 受试者基本信息

Tab. 1 Basic information of subjects

参数	ACL 损伤组 ( $n=21$ )	对照组 ( $n=21$ )	$P$
年龄/岁	28.1±7.0	27.8±6.8	0.877
BMI/( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ )	23.3±2.2	23.4±2.5	0.912
Tegner 评分	4.1±1.0	4.2±0.76	0.733

和膝关节(屈/伸),打开重力补偿,设定角速度为 $60^\circ/\text{s}$ ,重复次数5次。正式开始前工作人员需对受试者说明测试中关节活动范围和发力方式,并让受试者尝试3~5次,受试者掌握要领后测试正式开始。测试过程中测试者始终给予受试者口头鼓励,每次测试需给予受试者一定休息时间,一般为1 min。工作人员确认采集数据有效后,保存数据,结束测试。

### 1.2.2 单腿跳跃落地测试

(1) 电极片的粘贴。将受试者所测肌肉位置表面的体毛剃除;然后,用酒精反复擦拭皮肤,去除需要粘贴电极区域表面汗渍、油脂,从而降低电阻对肌电信号的干扰,电极片粘贴位置参考 SENIAM 手册,电极片粘贴在股内侧肌(髌前上棘与内侧韧带前缘关节间隙之间80%的位置)、股外侧肌(距离髌骨外侧上方的前脊柱线的2/3处)、股二头肌(坐骨结节与胫骨外上髁之间连线的中点)、半腱肌(坐骨结节和胫骨骨节中间连线的50%处)、臀大肌(骶椎和大转子之间的连线上1/2的位置)收缩时肌腹隆起最高处,并与肌纤维走行方向保持一致。参考电极贴在正负极旁边,正负极电极片的同心圆之间距离为2 cm;然后利用肌贴固定肌电测试仪的参考电极和电极片,以防止在测试过程中出现脱落而对肌电信号的采集和传导造成影响。

(2) 测试动作。膝关节伸肌最大等长收缩(maximum voluntary contraction, MVC)测试:患者呈坐位,坐于测试椅上,身体稍向后倾斜,使用仪器皮带固定骨盆,膝关节屈曲 $90^\circ$ ,在此角度用力伸膝最大用力保持5 s,大腿保持中立无旋转,记录最大等长收缩肌电原始数据,测试3次,每次测试间隔30 s。

膝关节屈肌 MVC 测试:患者呈坐位,坐于测试椅上,身体稍向后倾斜,使用仪器皮带固定骨盆,并用仪器固定大腿,膝关节屈曲 $90^\circ$ ,在此角度屈膝最大用力保持5 s,记录 MVC 肌电原始数据,测试3次,每次测试间隔30 s。

髌关节伸肌 MVC 测试:患者呈俯卧位,髌关节

处于 $0^\circ$ 伸展,外展 $30^\circ$ 位置,膝关节屈曲大约 $90^\circ$ ,固定受试者的上半身,在股骨远端施加向下的阻力,受试者逐渐增加臀部伸展力,直到在1~2 s内达到最大作用力保持5 s,记录肌电原始数据,测试3次,每次测试间隔30 s。

单腿跳跃落地测试:受试者站在1个30 cm高的木箱上,被要求进行单腿跳跃着陆到测力台上,距离相当于本人腿长度(髌前上棘到内踝)的80%<sup>[13]</sup>,参与者需要保证起跳腿落地保持3 s平衡才算成功,期间受试者另一侧下肢和双上肢不能触碰地面。受试者需成功完成动作3次,每次之间休息至少1 min。

(3) sEMG 信号采集。采用表面肌电测试仪(Noraxon 公司,美国)记录 MVC 测试和单腿跳跃落地测试过程中目标肌群的 sEMG 信号,采集频率为2 kHz。应用测力台(Bertec 公司,美国)对地面反作用力相关指标进行采集,采集频率为200 Hz。通过三维动作捕捉系统(Qualysis 公司,瑞典)同步触发进行数据采集。

### 1.2.3 实验指标

(1) 等速肌力测试评价指标。相对峰力矩:各个关节肌肉峰值力矩与体重的比值;拮抗肌比率:各关节主动肌与拮抗肌的相对峰值力矩比值,如伸肌肌力/屈肌肌力、外展肌力/内收肌力。

(2) sEMG 测试评价指标。所有肌电数据先使用 Noraxon 软件进行全波整流和窗宽为50 ms的均方根平滑处理。然后导出数据为 EXCEL 文件,进行指标计算。触地时刻定义为垂直地面反作用力首次超过10 N的时刻<sup>[14]</sup>。研究表明,神经肌肉的预活动可能是 ACL 损伤的一个危险因素,在触地后的短时间内是 ACL 损伤最容易发生的时期。因此,本文将肌电数据分为预激活阶段(触地前100 ms)和反应阶段(触地后250 ms)。

① 均方根振幅: MVC 测试的数据被用来进行数据的标准化,故均方根振幅指标被表示为 MVC 的百分比(%MVC)。

② 共收缩指数(co-contraction index, CCI):本研究通过预激活阶段(触地前100 ms)和反应阶段(触地后250 ms)的平均肌电活动来计算 CCI,参考 Rudolph 等<sup>[13]</sup>使用的公式:

$$\text{CCI} = \text{EMGS} / \text{EMGL} \times (\text{EMGS} + \text{EMGL})$$

其中,EMGL为主动激活更高肌肉的活动水平,EMGS为主动激活更低的肌肉的活动水平。本文计算了屈伸肌群CCI,包括股内侧肌-半腱肌(VM-ST)、股外侧肌-股二头肌(VL-BF);以及内侧肌群和外侧肌群CCI,包括股内侧肌-股外侧肌(VM-VL)、股二头肌-半腱肌(BF-ST)。

**1.2.4 数据分析** 运用SPSS 22.0软件进行统计学处理。各组数据进行正态性检验,符合正态分布,以(平均值±标准差)表示。所有指标数据均采用独立样本*t*检验,显著性水平定义为 $P < 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 相对峰力矩

ACL损伤组和对照组膝关节屈肌,髌关节屈肌、内收肌、外展肌相对峰力矩差异没有统计学意义。ACL损伤组髌关节伸肌的相对峰力矩显著低于对照组( $P = 0.040$ ),膝关节伸肌的相对峰力矩显著低于对照组( $P = 0.041$ ),见图1。

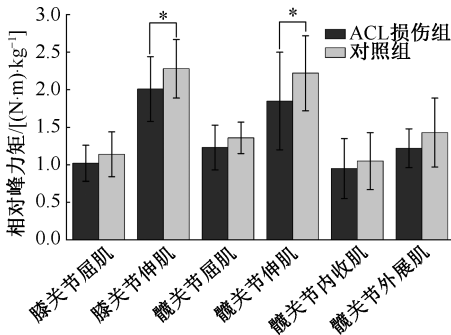


图1 相对峰力矩比较(\* $P < 0.05$ )

Fig. 1 Comparison of relative peak torques

### 2.2 拮抗肌比率

ACL损伤组和对照组膝关节和髌关节拮抗肌肌力比率的差异没有统计学意义(见图2)。

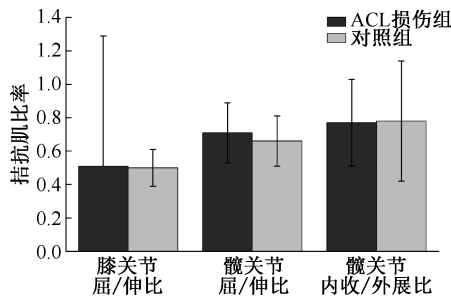


图2 拮抗肌比率比较

Fig. 2 Comparison of antagonistic muscle ratios

### 2.3 均方根振幅

预激活阶段(触地前100 ms),ACL损伤组和对照组股外侧肌、半腱肌、股二头肌、臀大肌均方根振幅差异没有统计学意义。ACL损伤组股内侧肌均方根振幅显著低于对照( $P = 0.014$ ),见图3(a)。

反应阶段(触地后250 ms),ACL损伤组和对照组股外侧肌、半腱肌、股二头肌均方根振幅差异没有统计学意义。ACL损伤组股内侧肌均方根振幅显著低于对照组( $P = 0.030$ ),ACL损伤组臀大肌均方根振幅显著低于对照组( $P = 0.022$ ),见图3(b)。

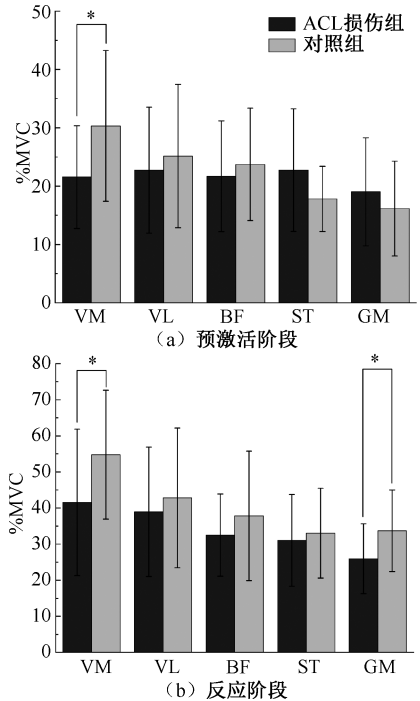


图3 均方根振幅比较(\* $P < 0.05$ )

Fig. 3 Comparison of root mean square amplitudes

(a) Preactivation phase, (b) Reaction phase

注:VM为股内侧肌,VL为股外侧肌,BF为股二头肌,ST为半腱肌,GM为臀大肌。下同。

### 2.4 共收缩指数

预激活阶段(触地前100 ms),ACL损伤组和对照组股内侧肌-半腱肌(VM-ST)、股外侧肌-股二头肌(VL-BF)、股内侧肌-股外侧肌(VM-VL)、股二头肌-半腱肌(BF-ST)CCI差异没有统计学意义[见图4(a)]。

反应阶段(触地后250 ms),ACL损伤组和对照组股内侧肌-半腱肌(VM-ST)、股外侧肌-股二头肌(VL-BF)、股内侧肌-股外侧肌(VM-VL)CCI差异

没有统计学意义; ACL 损伤组的股二头肌-半腱肌 (BF-ST) CCI 低于对照组 ( $P=0.020$ ), 见图 4(b)。

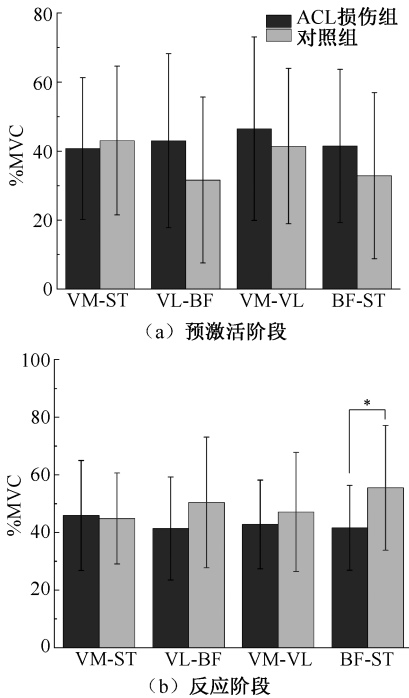


图 4 共收缩指数比较 (\* $P<0.05$ )

Fig. 4 Comparison of co-contraction index (CCI)

(a) Preactivation phase, (b) Reaction phase

### 3 讨论

本文发现, ACL 损伤患者健侧下肢的膝关节伸肌和髌关节伸肌肌力要低于健康对照组, 在单腿跳跃动作中, 预激活阶段(触地前 100 ms) ACL 损伤患者的股内侧肌的激活程度下降, 反应阶段(触地后 250 ms) ACL 损伤组股内侧肌和臀大肌激活程度下降。该结果表明, 在损伤发生后的 1 个月内, ACL 损伤患者健侧下肢的肌肉力量和肌肉的激活模式就已经发生了改变。

本文与 Hannon 等<sup>[15]</sup>研究均发现, ACL 损伤患者健侧下肢股四头肌肌力低于对照组, 但是 Hannon 等<sup>[15]</sup>研究并未发现 ACL 损伤患者伸髌肌力与对照组存在显著差异, 推测原因是研究方法存在不同。Hannon 等<sup>[15]</sup>对膝关节屈伸肌力测试采用等速肌力测试仪, 而髌部力量测试采用手持的等长肌力测试仪。髌部力量薄弱也会导致下肢损伤风险增大。因此, 对于 ACL 损伤患者和 ACL 重建的人群健侧

下肢肌肉力量也应该给予足够的重视, 后续有条件可以对其进行长期随访研究观察长期的变化。Chung 等<sup>[16]</sup>在 ACL 重建患者术后 3、6、12、24 月时均进行等速肌力测试, 发现未受伤肢体的膝关节伸肌肌力相较于对照组存在减弱; 但随着随访时间的延长, 膝关节的伸肌力量逐渐得到了改善。结合本实验结果说明 ACL 损伤患者健侧下肢伸膝肌力下降从受伤后 1 个月内就开始出现, 且一直持续到 ACL 损伤患者重建手术后的很长一段时间。若在恢复运动后仍然没有完全恢复, 可能会引起对侧下肢的损伤。

神经生理学变化是 ACL 损伤的危险因素之一, 单侧下肢膝关节 ACL 的缺失可能会导致未受伤肢体的本体感觉缺陷<sup>[17-18]</sup>, 包括姿势平衡、关节稳定性和肌肉感觉的改变。本文发现, 在预激活阶段(触地前 100 ms) ACL 损伤患者股内侧肌的均方根振幅降低, 而在反应阶段(触地后 250 ms) ACL 损伤组不仅股内侧肌的均方根振幅降低, 臀大肌的均方根振幅也出现降低。ACL 损伤患者在反应阶段比预激活阶段表现出更大的损伤风险, 考虑到下肢整体的动力链, 髌关节肌肉的激活减弱可能会影响整个下肢的功能<sup>[19]</sup>。一项针对女性运动员的研究认为, 在着陆时观察到的膝关节外翻(股骨内旋和内收)可能与近端髌关节肌肉的激活较少有关<sup>[20]</sup>, 结合等速肌力测试的结果, 髌关节力量和肌肉活动改变会增加 ACL 损伤患者健侧下肢损伤的风险。本文同时检测了 ACL 损伤患者在预激活阶段(触地前 100 ms)和反应阶段(触地后 250 ms)的肌肉活动情况, 结果发现 ACL 损伤组股二头肌-半腱肌(BF-ST)的共激活水平要小于对照组, 股四头肌和腓绳肌的协同收缩保证了膝关节的动态稳定性。平衡的腓绳肌和股四头肌的联合收缩会防止胫骨前移, 适当的腓绳肌和股四头肌的内侧和外侧联合收缩可以保护下肢免受膝关节外展载荷。目前关于 ACL 损伤患者健侧下肢肌肉肌电活动的研究鲜有报道, 本文针对 ACL 损伤患者急性期健侧下肢的肌电活动开展了研究。

与健康对照组相比, ACL 损伤患者健侧下肢的股四头肌和臀大肌力量出现了下降, 在单腿跳跃落地动作中表现出较低的股内侧肌和臀大肌激活。此外, ACL 损伤患者健侧下肢的股二头肌-半腱肌

(BF-ST)的共激活水平较低。该结果表明,ACL损伤患者在损伤发生后1个月内,健侧下肢的肌肉力量和肌肉活动模式已经发生了改变,提示ACL损伤患者面临较大对侧下肢损伤风险。

本文只针对ACL损伤患者急性期健侧下肢的肌肉功能开展研究,仅代表这个时期患者的下肢肌肉功能,而患者健侧的肌肉功能可能会随着患者受伤时间的延长而发生变化。目前关于ACL损伤患者受伤和重建之后健侧下肢的肌肉力量和肌电活动文献较少,故后续还可以对受伤时间较长的ACL损伤患者健侧下肢功能进行研究,以全面反映受伤之后健侧下肢肌肉功能的变化,为健侧下肢二次损伤的预防提供更加充分的理论依据。

**利益冲突声明:**无。

**作者贡献声明:**冉静参与论文选题和设计,实验数据采集,撰写论文;罗小兵参与论文选题和设计,修改论文;许杰参与论文设计,实验数据采集;游亮亮参与实验数据采集。

#### 参考文献:

- [ 1 ] SANDERS TL, MARADIT KH, BRYAN AJ, *et al.* Incidence of anterior cruciate ligament tears and reconstruction: A 21-year population-based study [J]. *Am J Sports Med*, 2016, 44(6): 1502-1507.
- [ 2 ] VAUHNİK R, MORRISSEY MC, RUTHERFORD OM, *et al.* Rate and risk of anterior cruciate ligament injury among sportswomen in Slovenia [J]. *J Athl Train*, 2011, 46(1): 92-98.
- [ 3 ] MONTALVO AM, SCHNEIDER DK, SILVA PL, *et al.* What's my risk of sustaining an ACL injury while playing football (soccer)? A systematic review with meta-analysis [J]. *Br J Sports Med*, 2019, 53(21): 1333-1340.
- [ 4 ] MATHER RC, 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.
- [ 5 ] STEWART BA, MOMAYA AM, SILVERSTEIN MD, *et al.* The cost-effectiveness of anterior cruciate ligament reconstruction in competitive athletes [J]. *Am J Sports Med*, 2017, 45(3): 23-33.
- [ 6 ] JOHNSTON JT, MANDELBAUM BR, SCHUB D, *et al.* Video analysis of anterior cruciate ligament tears in professional american football athletes [J]. *Am J Sports Med*, 2018, 46(4): 862-868.
- [ 7 ] CSAPO R, RUNER A, HOSER C, *et al.* Contralateral ACL tears strongly contribute to high rates of secondary ACL injuries in professional ski racers [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2021, 29(6): 1805-1812.
- [ 8 ] EMERSON RJ. Basketball knee injuries and the anterior cruciate ligament [J]. *Clin Sports Med*, 1993, 12(2): 317-328.
- [ 9 ] HEIDT RJ, DORMER SG, CAWLEY PW, *et al.* Differences in friction and torsional resistance in athletic shoe-turf surface interfaces [J]. *Am J Sports Med*, 1996, 24(6): 834-842.
- [ 10 ] HANNON J, WANG-PRICE S, GOTO S, *et al.* Do muscle strength deficits of the uninvolved hip and knee exist in young athletes before anterior cruciate ligament reconstruction? [J]. *Orthop J Sports Med*, 2017, 5(1): 1807731365.
- [ 11 ] KHAYAMBASHI K, GHODDOSI N, STRAUB RK, *et al.* Hip muscle strength predicts noncontact anterior cruciate ligament injury in male and female athletes: A prospective study [J]. *Am J Sports Med*, 2016, 44(2): 355-361.
- [ 12 ] ZEBIS MK, ANDERSEN LL, BRANDT M, *et al.* Effects of evidence-based prevention training on neuromuscular and biomechanical risk factors for ACL injury in adolescent female athletes: A randomised controlled trial [J]. *Br J Sports Med*, 2016, 50(9): 552-557.
- [ 13 ] RUDOLPH KS, AXE MJ, SNYDER-MACKLER L. Dynamic stability after ACL injury: Who can hop? [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2000, 8(5): 262-269.
- [ 14 ] WALSH M, BOLING MC, MCGRATH M, *et al.* Lower extremity muscle activation and knee flexion during a jump-landing task [J]. *J Athl Train*, 2012, 47(4): 406-413.
- [ 15 ] HANNON J, WANG-PRICE S, GOTO S, *et al.* Do muscle strength deficits of the uninvolved hip and knee exist in young athletes before anterior cruciate ligament reconstruction? [J]. *Orthop J Sports Med*, 2017, 5(1): 1807731365.
- [ 16 ] CHUNG KS, HA JK, YEOM CH, *et al.* Are muscle strength and function of the uninjured lower limb weakened after anterior cruciate ligament injury? Two-year follow-up after reconstruction [J]. *Am J Sports Med*, 2015, 43(12): 3013-3021.
- [ 17 ] AROCKIARAJ J, KORULA RJ, OOMMEN AT, *et al.* Proprioceptive changes in the contralateral knee joint following anterior cruciate injury [J]. *Bone Joint J*, 2013, 95B(2): 188-191.
- [ 18 ] ZHANG L, QI J, ZENG Y, *et al.* Proprioceptive changes in bilateral knee joints following unilateral anterior cruciate ligament injury in cynomolgus monkeys [J]. *Med Sci Monit*, 2018(24): 105-113.
- [ 19 ] ZAZULAK BT, PONCE PL, STRAUB SJ, *et al.* Gender comparison of hip muscle activity during single-leg landing [J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2005, 35(5): 292-299.
- [ 20 ] FORD KR, MYER GD, HEWETT TE. Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2003, 35(10): 1745-1750.