



# 前交叉韧带重建术后重返运动相关因素的研究进展

钱 驿<sup>1</sup>, 周敬滨<sup>1,2\*</sup>, 贺 忱<sup>1</sup>, 高 奉<sup>1</sup>, 果 森<sup>1</sup>

**摘要:** 本文旨在综述近年来关于前交叉韧带重建术后重返运动的相关报道成果, 归纳与分析重要的相关因素。前交叉韧带重建术后重返运动是运动医学普遍关注和争议的问题, 本文从重返运动时间、下肢肌力和功能恢复情况、手术相关因素、心理因素、不可调整的背景因素入手讨论影响前交叉韧带重建术后重返运动的具体因素, 以期制定合理的前交叉韧带治疗策略, 让患者能够更安全、更快速地重返目标水平的运动。

**关键词:** 前交叉韧带重建; 重返运动; 运动表现

中图分类号: G804 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2020)03-0007-07

DOI: 10.12064/ssr.20200302

## Research Progress on Factors Related to Return to Play after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

QIAN Yi<sup>1</sup>, ZHOU Jingbin<sup>1,2\*</sup>, HE Chen<sup>1</sup>, GAO Feng<sup>1</sup>, GUO Sen<sup>1</sup>

(1. National Institute of Sports Medicine, Beijing 100061, China; 2. Medical School of Chinese PLA, Beijing 100853, China)

**Abstract:** This paper aims to review the recent reports regarding returning to play after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction and to analyze the important Influencing factors. Returning to play after anterior cruciate ligament reconstruction is a common concern as well as a controversial issue in sports medicine. This paper summed up related factors in five points, including re-entry time, lower limb muscle strength and functional recovery, surgery-related factors, psychological factors, and unadjustable background factors, in order to develop reasonable ACL treatment strategies allowing the patients to return to the target level of the sports more safely and quickly.

**Key Words:** anterior cruciate ligament reconstruction; return to play; athletic performance

## 0 前言

前交叉韧带 (Anterior Cruciate Ligament, ACL) 损伤是常见的下肢运动损伤, 其带来的膝关节不稳定和疼痛等问题, 可能导致患者不再参与运动。前交叉韧带重建手术能够帮助患者重返运动。然而, 重返伤前的运动水平可能会带来 ACL 再损伤和对侧 ACL 损伤<sup>[1]</sup>。

有能力重返伤前的竞技运动, 即成功安全的重返运动<sup>[2-3]</sup>。然而, Ardern 等在 2014 年系统性综述和荟萃分析中发现, 虽然 81% 的患者在 ACL 重建术后重返了某种形式的运动, 但仅 65% 的患者回到了伤前的运动水平, 仅 55% 回到了竞技运动水平<sup>[4]</sup>。重返

运动的影响因素涉及方方面面, 包括神经肌肉系统、运动机制、心理准备和技巧学习等<sup>[2-3]</sup>。为了安全地重返运动, 制定合理的重返运动计划必不可少。许多研究探索了 ACL 重建术后重返运动的指标, 且对重返运动提出了指导, 但是预测重返运动结局的因素和参数仍存有争议<sup>[5-9]</sup>。参考 Kaplan 的分类方式, 相关因素可分为可调整的因素和不可调整的背景因素。可调整的因素主要包括康复、手术、心理三方面的内容<sup>[5]</sup>。康复方面, 包括重返运动的时间、下肢肌力及功能的恢复情况。手术方面包括移植物的选择及术式的选择等。心理学方面, 包括恐惧、不自信和习得性无助等。不可调整的背景因素有年龄、性别、

收稿日期: 2020-03-17

基金项目: 科技冬奥国家重点研发项目(2018YFF0301100)。

第一作者简介: 钱驿, 男, 博士, 住院医师。主要研究方向: 运动康复。E-mail: 930699203@qq.com。

\* 通讯作者简介: 周敬滨, 男, 博士, 主任医师。主要研究方向: 运动创伤的手术治疗与康复。E-mail: jingbinzhou@163.com。

作者单位: 1. 国家体育总局 运动医学研究所, 北京 100061; 2. 解放军医学院, 北京 100853。



体重、伤前的运动类型、位置和水平等。

本综述回顾近 5 年来 ACL 重建术后重返运动的相关报道,在 PubMed 和 MEDLINE 上以“return to play”或“return to sport”和“anterior cruciate ligament”为关键词检索文献,总结 ACL 重建术后重返运动的影响因素,为临床制定 ACL 重建术后重返运动的决策提供证据学的指导和帮助。

## 1 重返运动的时间

时间是重返运动的首要参考指标。Burgi 等的系统综述中,纳入了 209 篇相关研究,其中 178 篇(85%)报道将时间作为重返运动的标准。1986—1989 年的所有报道(88 篇)中时间是判断允许重返运动的唯一指标,1990 年后 50%(90 篇)的报道,将时间作为重返运动的唯一指标<sup>[10]</sup>。其余研究中,时间都是判断是否可以重返运动的指标之一。参考 Burgi 等纳入的报道,重返运动的时间从 6 个月之内到大于 12 个月不等<sup>[10]</sup>。虽然重返运动的时间没有绝对标准,但 Grindem 等对运动水平 I 级的患者进行了 2 年随访的研究,发现 ACL 重建术后 9 个月内,每推迟 1 个月重返运动,再损伤率将降低 51%<sup>[11]</sup>。9 个月之后,推迟重返赛场运动,再损伤率不再随重返时间变化。Hildebrandt 等认为,应将目前的术后 4~6 个月重返运动时间调整为术后 9 个月<sup>[12]</sup>。不过,Zhu 等尝试了 3 种不同速度的康复方案,在膝关节活动度、肌肉恢复情况、膝关节功能方面,术后 6 个月的恢复正常活动的康复方案组优于术后 1 年恢复正常活动的康复方案组,术后 3 个月恢复正常活动的康复方案组出现了显著较其他组更大的隧道扩大<sup>[13]</sup>。

虽然许多研究并没有详细说明决定重返运动时间的因素,但还是有部分研究在根据某些因素对重返运动时间进行调整<sup>[14-15]</sup>。首先,回到不同的运动水平,需要的恢复时间不同,如术后 4 个月开始慢跑等运动水平 I 级的活动,术后 6 个月开始不限制运动<sup>[16]</sup>。其次患者术后的评估结果,包括膝关节疼痛、肿胀、活动度受限、不稳,肌力、功能测试与主观评估。Bodkin 等发现,ACL 术后 5~9 个月,每间隔 1.97 个月,主观功能和下肢对称性指数会显著提高<sup>[17]</sup>。同时,术后 5~8 个月,伸膝力量也会显著提高。术后 9 个月时,许多患者仍有部分功能不足,需要进一步观察,观察间隔建议为 2 个月,但功能表现不决定重返运动的时间。最后,患者的手术因素和不可调整的因素也会影响重返运动的时间,如年龄、可修复的半月板损伤、三度以上的其他韧带损伤、使用的移植物(自体肌腱或人工韧带)、力线畸形等<sup>[3]</sup>。最近,King 等的研究中,所有患者

都是术后半年以后再重返运动,结果发现重返运动的时间和 ACL 再损伤无关<sup>[16]</sup>。

现行的 ACL 重建术后根据时间线的康复方案设计很多,但有相当一部分案例并没有提到重返运动的问题<sup>[18]</sup>。临床上对重返运动的时间的预估不可或缺,但各种各样的变量都会对重返运动的时间产生影响<sup>[19]</sup>。临床上使用过的重返运动的时间为术后 3~12 个月不等,部分除了时间以外,还需要医生的批准或达到特定的指标。总之,时间是决定重返运动的必要指标。

## 2 下肢肌力及功能的恢复情况

ACL 重建术后的全身生物力学异常持续长达 9 个月,下肢功能障碍持续长达 18~26 个月<sup>[20-21]</sup>。许多专家认为重返竞技运动需要通过综合评估测试<sup>[22]</sup>。目前,重返运动前的下肢肌力及功能的恢复情况主要分三方面,肌力、运动表现功能和主观功能<sup>[14,16,23-25]</sup>。不是所有的患者都能接受下肢肌力及功能的恢复情况评估,如果有持续的肿胀、疼痛、不稳或者活动度严重受限,可能就不适宜进行测试,尤其是跳跃试验<sup>[14]</sup>。重返运动前的下肢肌力及功能的恢复情况不仅仅用作能否重返运动的指标,有时也只作为重返运动后结果的预测因素<sup>[15,23]</sup>。部分研究显示通过重返运动前的测试与评估能减少 ACL 移植物再断裂的风险,但不能减少远期膝关节损伤和 ACL 再损伤风险,且会增加对侧 ACL 损伤的风险<sup>[26-27]</sup>。对综合测试结果的解读,除了单项的通过与否外,Sousa 等采取了 7 种测试,4 种肌力测试和 3 种跳跃测试,通过 6 种测试算通过综合测试<sup>[14]</sup>。

ACL 重建术后,整个下肢动力链都会受到影响,和损伤、移植物取材及心理相关,其中主要相关肌肉是腘绳肌和股四头肌,这两者都常作为自体移植物的取材来源<sup>[10-12,28-29]</sup>。无论使用什么移植物,这两种肌肉的功能都会受到影响。在 ACL 重建术后患者有持续的股四头肌功能不良情况<sup>[30]</sup>。肌力的恢复情况常常作为能否回归无限制运动的判定指标。肌力的评价方式主要包括等速和等长肌力测试,测试结果常用下肢对称指数(Limb Symmetry Index, LSI)表示,即患侧肌力与健侧肌力的比值。根据测试的肌肉不同,可称为股四头肌指数和腘绳肌指数。常用重返运动的满意值为 80%、85%和 90%,各满意值对于重返运动的安全性尚待进一步研究。ACL 损伤后,还会出现下肢屈伸肌力的不均衡<sup>[31]</sup>。因此,腘绳肌与股四头肌的肌力比值也是常用的参考指标,通常男性大于 62.5%,女性大于 55%<sup>[10]</sup>。此外,传统的腿围是



一个间接、简单的反映肌肉力量的测量指标,常用的腿围指标为两侧差值不超过 1 cm 或 2 cm。Iwame 等发现 ACL 术后 6 个月时的股四头肌力与术前的肌力大小相关<sup>[32]</sup>。Bodkin 等发现下皮质脊髓束的兴奋度越低,股四头肌力量越差,激活阈值高于 50.5% 时获得满意的膝关节肌力的可能性下降 62%<sup>[33]</sup>。

相较健康人群,ACL 重建术后患者的变向运动和跳跃功能都会在一段时间内变差<sup>[34]</sup>。从临床观察角度来说,最常用的功能测试是跳跃测试<sup>[35]</sup>。跳跃测试的形式很多:单脚跳、三连跳、垂直跳、交叉跳、6 m 计时跳、横跳等<sup>[11,36]</sup>。无论哪种跳跃测试,结果的解读方式也是两侧对比,即患侧和健侧结果相比的指数,常用临界值为 90%,少数研究也使用过 80% 和 85%<sup>[10,14,25,28]</sup>。每一种跳跃测试的侧重点有所差别,因此经常是三到四种一起用。Nawasreh 等对单脚跳、三连跳、交叉跳、6 m 计时跳及两种主观功能评估的结果对重返运动率的影响进行了比较,发现 6 m 计时跳对结果的预测能力最强。最近,Niederer 等评估发现意外跳起着陆试验测量结果和跳落试验及交叉跳试验的结果都有很好的一致性,它是通过测量单脚着陆时峰值应力(Peak Ground Reaction Force, pGRF)来反映下肢运动功能的试验。研究发现 ACL 术后双下肢都受到影响,Niederer 等认为它能提供较跳跃测试更多的信息<sup>[20]</sup>。

除了跳跃着陆的功能,对运动员来说,灵敏、本体感觉、有氧活动耐力、动作质量等也很重要<sup>[10]</sup>。灵敏方面可以通过 T 试验进行评估,或通过其他评价方式判定。本体感觉可以通过 Y 平衡测试、星形平衡偏移测试、演示平衡或协调、动觉动作训练系统等进行评估。有氧耐力可通过乳酸有氧/无氧阈值试验或跑步机测试(如以 8 km/h 的速度跑 10 min)进行评估。动作质量的评估包括落地错误评分系统、单腿支撑下肢力线控制评估。利用三维动作捕捉系统,可以进行维尔体育测试(Vail Sport Test)<sup>[37]</sup>,其与 IKDC(International Knee Documentation Committee)主观评分量表的测试结果有相当的一致性,可重复性好,可以作为检验是否准备好重返运动的有效测试。

ACL 重建术后,患者更容易受到疲劳影响。非疲劳状态下的下肢功能可能达到正常水平,但随着疲劳的积累,患者较正常人功能状态下滑得更明显<sup>[38]</sup>。ACL 重建术后,运动员会产生一种膝关节保护的运动机制。但是,这种机制会在疲劳后消失,疲劳测试也应该加入重返运动的系列测试中<sup>[39]</sup>。

主观功能主要指通过一系列量表获得的患者综合的主观临床感受,常用的量表有 ACL 伤后重返运动评分(ACL-Return to Sport after Injury Score)、膝关

节结果调查-日常生活活动量表(Knee Outcome Survey-Activities of Daily Living Subscale, KOS-ADLS)、感知功能的整体分级量表(Global Rating Scale of Perceived Function, GRS)、IKDC 主观评分、自我整体打分(Global Rating Scale, GRS)<sup>[14,16,25,28]</sup>。King 等发现,术后随访时的 ACL 伤后重返运动评分与重返运动中水平相关,IKDC 与重返运动弱相关<sup>[16]</sup>。

总之,下肢肌力及功能的恢复情况对 ACL 术后重返运动有重大影响,同时影响下肢恢复情况的因素繁多,下肢情况评价体系繁杂,研究之间存在异质性,目前尚无统一的临床实践标准<sup>[40]</sup>。主要的下肢肌力及功能的恢复情况应包含肌力、运动表现功能和主观功能三方面内容,并结合心理及其他因素,可能需要个性化的评价体系。

### 3 手术相关因素

手术影响预后的因素有很多,如移植物的选择、固定位置及方式的选择、合并的术式等。但是手术因素对重返运动的影响存在争议。Kosy 等发现重建术的类型可能和重返运动表现无关<sup>[41]</sup>。Della 等发现 ACL 翻修术后,手术因素与重返运动不相关<sup>[42]</sup>。但是,在移植物方面,不同自体移植物对重返运动的各个方面都有影响。Hughes 等进一步比较了自体腘绳肌腱、股四头肌肌腱和髌骨腱骨移植物在术后 5~15 个月期间对患者的影响。发现术后 5~8 个月期间,接受自体股四头肌肌腱移植物的患者的股四头肌力显著小于接受腘绳肌腱和髌骨腱骨移植物的患者,达到回归跑步和回归运动的比例也都比接受自体髌骨腱骨移植物的患者的比例小,但到术后 9~15 个月时,接受 3 种移植物的患者在回归运动和股四头肌力上都无差异<sup>[43]</sup>。Sugimoto 等发现使用髌骨腱骨做移植物的患者术后 6~9 个月时的股四头肌力比使用腘绳肌腱的患者小 12.2%,腘绳肌力高 31.7%<sup>[44]</sup>,但腿围恢复、膝关节活动度和伸髌力量,则没有显著差异。功能测试方面,ACL 重建术后 9 个月,用自体髌骨腱骨移植物的运动员术后比用自体腘绳肌腱作移植物的运动员术后跳跃时的离心和向心阶段的下肢对称性以及负重对称性都较低<sup>[45]</sup>。运动参与情况方面,Webster 等的随机对照研究发现,使用髌腱移植物的患者术后每周运动参与高于使用腘绳肌腱移植物的患者(73%与 48%)<sup>[46]</sup>。造成这些差异的原因可能是研究的内在异质性,如观察指标和观察时间点不同。

Lai 等发现使用韧带加强重建系统能让患者更早地重返运动,但同时会增加 ACL 翻修的风险<sup>[47]</sup>。Frangie 等认为额外的缝合带加强技术能保护 ACL



的重塑过程,提高 ACL 移植物的早期强度,可能增加早期重返运动的安全性<sup>[48]</sup>。Berdis 等利用富血小板血浆 (Platelet-Rich Plasma, PRP) 和多孔胶原载体在 ACL 重建时进行生物学强化,术后 2 年随访时,92% 的患者能回到伤前的竞技运动水平<sup>[49]</sup>。

#### 4 心理因素

心理因素在运动员重返运动中至关重要。Sandon 等的 10 年随访中,49% 的足球运动员没有再回到球场,其中 32% 是因为恐惧心理<sup>[50]</sup>。主要的干扰心理因素是对再损伤的恐惧 (76.7%), 还有对患膝缺乏信心、抑郁、缺乏兴趣或动力等因素。而 Ardern 的系统性综述发现,没能重返运动的患者中,28% 是由于术后的膝关节缺乏信心,24% 是由于担心再受伤,22% 是由于膝关节功能差<sup>[3]</sup>。担心再次受伤,包括对相同损伤或其他损伤的担心,以及对术后膝关节的不自信是常见的 ACL 重建术后重返运动的心理方面的主诉。此外,心理因素还和患者重返运动后的表现及重返运动的快慢相关。生活方式改变、焦虑、恐惧都和重返运动表现相关<sup>[41]</sup>。Bodkin 等的系统性综述中,36.6% 的患者没能达到之前的运动表现,其中,64.7% 的患者都是心理学因素导致<sup>[17]</sup>。运动员对再损伤的恐惧越小,越容易回到伤前的运动水平<sup>[44]</sup>。运动员重返运动的心理准备更好,更可能回到伤前的运动水平、回归运动也更快,可能获得更好的运动水平<sup>[51]</sup>。

Burland 等的研究指出,患者在 ACL 重建术后 3 个月到重返运动期间会发生习得性无助,其与神经兴奋性和股四头肌力都相关,影响整个下肢功能<sup>[52]</sup>。心理因素还包括康复的依从性,ACL 翻修术后,每达成一个依从目标,重返运动的可能性增加 68%<sup>[42]</sup>。

常用的心理评估量表有 Tampa 运动恐惧量表 (Tampa Scale for Kinesiophobia)、医院焦虑抑郁量表 (Hospital Anxiety and Depression Scale)、ACL 伤后重返运动量表、膝关节自我效能量表 (Knee Self-Efficacy Scale)<sup>[17]</sup>。需要注意的是,心理学量表在翻译的时候要注意语言表达与修饰等问题。ACL 伤后重返运动量表是一个有很强适应性,可有效可靠地评估足球运动员的相关心理学指标<sup>[53]</sup>,但目前缺乏关于中文版的相关研究。

Furman 认为,在制定重返运动的康复方案时,要优先考虑神经学和心理学方面的因素<sup>[54]</sup>。在术后的康复过程中,加入心理干预,可以提高重返运动的患者比例。高自我效能、高内在控制和低恐惧也和重返运动率的提高相关<sup>[55-56]</sup>。

#### 5 不可调整的背景因素

性别对 ACL 损伤有影响。Ardern 等发现 ACL 重建术后,虽然男性和女性在重返运动率上无显著差异,但男性患者更倾向于回到伤前的运动水平或是竞技运动水平,而且男性术后运动生涯更长(男性平均 10 年,女性平均 4 年)<sup>[4,57]</sup>。

年龄方面,年轻患者在 ACL 重建术后重返运动率比高龄患者高,更可能重返之前的运动水平,但是,20 岁以下的患者在 ACL 重建术后,ACL 再损伤率为 35%,再断裂风险是 20 岁以上的 6.3 倍<sup>[4,16,58-59]</sup>。Saper 等建议,推迟青少年运动员 ACL 翻修术后回归运动的时间<sup>[60]</sup>。年龄越大,患肢股四头肌力的恢复情况越差<sup>[32]</sup>。

除了特殊运动需求,体重多数情况下是可以调整的,但受到术前体重、身高等因素的影响。ACL 翻修术后,BMI 较高对重返运动有负面影响<sup>[42]</sup>。体重小于 90 kg 的澳洲足球运动员有更大的可能重返之前的运动水平<sup>[59]</sup>。

ACL 损伤常伴随半月板损伤、软骨损伤和其他膝关节结构的异常。合并需要处理内侧半月板损伤和外侧半月板损伤都会降低重返运动的可能<sup>[6]</sup>。内侧髁软骨的高度损伤(3~4 级)也会降低重返运动的可能<sup>[6]</sup>。

术前的运动情况会影响患者术后是否再运动。术前的运动水平 (Marx 活动水平量表评分) 越高,术后重返运动的可能越高<sup>[6]</sup>。更多的伤前运动经验和更丰富的运动经历都能增加重返运动的可能<sup>[47]</sup>。在橄榄球运动中,球员的位置不同,重返运动的比例也不同,线锋的比例最低,而跑卫和接球手重返运动后的表现水平相对较低,防守球员受到前交叉韧带重建的影响是最小的<sup>[6]</sup>。

此外,学术水平、ACL 损伤家族史等因素会对重返运动有影响。学术等级水平高的学生术后重返运动竞技水平比例更高<sup>[62]</sup>。有 ACL 损伤家族史的患者重返运动后对侧 ACL 损伤的可能更大<sup>[47]</sup>。

#### 6 结论与展望

ACL 重建术后重返运动是一个综合且个体化的问题。不同的患者人群对运动的理解和需求不同。重返运动的时间基本在术后 1 年内。重返运动的时间受下肢功能恢复情况、手术情况、背景因素和医生的判断等因素影响,因此重返运动的时间是可变的。重返运动前对下肢功能恢复情况进行综合评估能够帮助患者安全重返运动,也是预测回归运动后结果的方式。综合评估时,关注肌力、活动功能和主观功能,但评估标准存在争议。手术因素方面对重返运动的影响主要在于移植物的选择,3 种自体移植物各有优劣,新的手术方式的加入可能对重返运动有积极作用。心



理因素对重返运动的影响很大,需要在康复过程中注意。此外,还有很多不可调整的背景因素,对这些因素的了解可以帮助医生制定计划,同时预估预后。

ACL重建术后重返运动的研究重点包括重返运动的比例、重返运动后的安全或再损伤风险、重返运动后的表现等。目前尚无统一有效的术后重返运动的标准,还需通过进一步临床研究,了解重返运动的相关因素,制定综合有效的治疗和评价体系。

### 参考文献:

- [1] Maletis G. B., Inacio M. C., Funahashi T. T. Risk factors associated with revision and contralateral anterior cruciate ligament reconstructions in the Kaiser Permanente ACLR registry[J]. *Am. J. Sports Med.*, 2015, 43(3):641-647.
- [2] Bien D. P., Dubuque T. J. Considerations for late stage acl rehabilitation and return to sport to limit re-injury risk and maximize athletic performance[J]. *Int. J. Sports Phys. Ther.*, 2015,10(2):256-271.
- [3] Ardem C. L., Webster K. E., Taylor N. F., et al. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play[J]. *Br. J. Sports Med.*, 2011, 45(7):596-606.
- [4] Ardem C. L., Taylor N. F., Feller J. A., et al. Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2014, 48(21):1543-1552.
- [5] Kaplan Y., Witvrouw E. When Is It Safe to Return to Sport After ACL Reconstruction? Reviewing the Criteria [J]. *Sports Health*, 2019, 11(4):301-305.
- [6] Ardem C. L., Glasgow P., Schneiders A., et al. 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy, Bern[J]. *Br. J. Sports Med.*, 2016, 50(14):853-864.
- [7] Dijkstra H. P., Pollock N., Chakraverty R., et al. Return to play in elite sport: a shared decision-making process [J]. *Br. J. Sports Med.*, 2017, 51(5):419-420.
- [8] Kyritsis P., Bahr R., Landreau P., et al. Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture[J]. *Br. J. Sports Med.*, 2016,50(15):946-951.
- [9] Thomee R., Kaplan Y., Kvist J., et al. Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction[J]. *Knee Surg. Sports Traumatol Arthrosc*, 2011, 19(11):1798-1805.
- [10] Burgi C. R., Peters S., Ardem C. L., et al. Which criteria are used to clear patients to return to sport after primary ACL reconstruction? A scoping review[J]. *Br. J. Sports. Med.*, 2009, 53:1154-1161.
- [11] Grindem H., Snyder-Mackler L., Moksnes H., et al. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study[J]. *Br. J. Sports Med.*, 2016, 50(13):804-808.
- [12] Hildebrandt C, Muller L, Zisch B, et al. Functional assessments for decision-making regarding return to sports following ACL reconstruction. Part I: development of a new test battery[J]. *Knee Surg. Sports Traumatol Arthrosc*, 2015, 23(5):1273-1281.
- [13] Zhu W., Wang D., Han Y., et al. Anterior cruciate ligament (ACL) autograft reconstruction with hamstring tendons: clinical research among three rehabilitation procedures[J]. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol*, 2013, 23(8): 939-943.
- [14] Sousa P. L., Krych A. J., Cates R. A., et al. Return to sport: Does excellent 6-month strength and function following ACL reconstruction predict midterm outcomes? [J]. *Knee Surg. Sports Traumatol Arthrosc*, 2017, 25(5): 1356-1363.
- [15] Sonnery-Cottet B., Saithna A., Cavalier M., et al. Anterolateral Ligament Reconstruction Is Associated With Significantly Reduced ACL Graft Rupture Rates at a Minimum Follow-up of 2 Years: A Prospective Comparative Study of 502 Patients From the SANTI Study Group [J]. *Am. J. Sports Med.*, 2017, 45(7):1547-1557.
- [16] King E., Richter C., Jackson M., et al. Factors Influencing Return to Play and Second Anterior Cruciate Ligament Injury Rates in Level 1 Athletes After Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: 2-Year Follow-up on 1432 Reconstructions at a Single Center[J]. *Am. J. Sports Med.*, 2020, 48(2):812-824.
- [17] Bodkin S. G., Rutherford M. H., Diduch D. R., et al. How Much Time Is Needed Between Serial "Return to Play" Assessments to Achieve Clinically Important Strength Gains in Patients Recovering From Anterior Cruciate Ligament Reconstruction?[J]. *Am. J. Sports Med.*, 2020, 48(1):70-77.
- [18] Forrester L. A., Schweppe E. A., Popkin C. A. Variability in rehabilitation protocols following pediatric anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction[J]. *Phys. Sport Med.*, 2019, 47(4):448-454.
- [19] Flagg K. Y., Karavatas S. G., Thompson S. J., et al. Current criteria for return to play after anterior cruciate ligament reconstruction: an evidence-based literature review [J]. *Ann. Transl. Med.*, 2019, 7(7):252.
- [20] Niederer D., Giesche F., Janko M., et al. Unanticipated jump-landing quality in patients with anterior cruciate li-



- gament reconstruction: How long after the surgery and return to sport does the re-injury risk factor persist?[J]. Clin. Biomech (Bristol, Avon), 2019, 72:195-201.
- [21] King E., Richter C., Franklyn-Miller A., et al. Whole-body biomechanical differences between limbs exist 9 months after ACL reconstruction across jump/landing tasks[J]. Scand. J. Med. Sci. Sports, 2018, 28(12):2567-2578.
- [22] Wilke C., Grimm L., Hoffmann B., et al. Functional Testing as Guideline Criteria for Return to Competition after ACL Rupture in Game Sports[J]. Sportverletz Sport-schaden, 2018, 32(3):171-186.
- [23] Webster K. E., McPherson A. L., Hewett T. E., et al. Factors Associated With a Return to Preinjury Level of Sport Performance After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery[J]. Am. J. Sports Med., 2019, 47(11):2557-2562
- [24] Beischer S., Hamrin S. E., Thomee C., et al. Young athletes return too early to knee-strenuous sport, without acceptable knee function after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Knee Surg. Sports Traumatol Arthrosc, 2018, 26(7):1966-1974.
- [25] Nawasreh Z., Logerstedt D., Cummer K., et al. Do Patients Failing Return-to-Activity Criteria at 6 Months After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Continue Demonstrating Deficits at 2 Years?[J]. Am. J. Sports Med., 2017, 45(5):1037-1048.
- [26] Webster K. E., Hewett T. E. What is the Evidence for and Validity of Return-to-Sport Testing after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery? A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. Sports Med., 2019, 49(6):917-929.
- [27] Losciale J. M., Zdeb R. M., Ledbetter L., et al. The Association Between Passing Return-to-Sport Criteria and Second Anterior Cruciate Ligament Injury Risk: A Systematic Review With Meta-analysis[J]. J. Orthop. Sports Phys. Ther., 2019, 49(2):43-54.
- [28] Nawasreh Z., Logerstedt D., Cummer K., et al. Functional performance 6 months after ACL reconstruction can predict return to participation in the same preinjury activity level 12 and 24 months after surgery[J]. Br. J. Sports Med., 2018, 52(6):375.
- [29] Hannon J. P., Wang-Price S., Garrison J. C., et al. Normalized Hip and Knee Strength in Two Age Groups of Adolescent Female Soccer Players[J]. J. Strength Cond. Res., 2019.
- [30] Niederer D., Kalo K., Vogel J., et al. Quadriceps Torque, Peak Variability and Strength Endurance in Patients after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Impact of Local Muscle Fatigue[J]. J. Mot. Behav., 2020, 52(1): 22-32.
- [31] Kaeding C. C., Leger-St-Jean B., Magnussen R. A. Epidemiology and Diagnosis of Anterior Cruciate Ligament Injuries[J]. Clin. Sports Med., 2017, 36(1):1-8.
- [32] Iwame T., Matsuura T., Okahisa T., et al. Factors correlating with recovery of quadriceps strength after double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon autografts[J]. Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol, 2020, 30(2):307-312.
- [33] Bodkin S. G., Norte G. E., Hart J. M. Corticospinal excitability can discriminate quadriceps strength indicative of knee function after ACL-reconstruction[J]. Scand. J. Med. Sci. Sports, 2019, 29(5):716-724.
- [34] King E., Richter C., Franklyn-Miller A., et al. Back to Normal Symmetry? Biomechanical Variables Remain More Asymmetrical Than Normal During Jump and Change-of-Direction Testing 9 Months After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction[J]. Am. J. Sports Med., 2019, 47(5):1175-1185.
- [35] Neeter C., Gustavsson A., Thomee P., et al. Development of a strength test battery for evaluating leg muscle power after anterior cruciate ligament injury and reconstruction[J]. Knee Surg. Sports Traumatol Arthrosc, 2006, 14(6):571-580.
- [36] Cesar G. M., Tomasevicz C. L., Burnfield J. M. Frontal plane comparison between drop jump and vertical jump: implications for the assessment of ACL risk of injury[J]. Sports Biomech, 2016, 15(4):440-449.
- [37] Hannon J., Wang-Price S., Swank C., et al. The validity and reliability of the Vail Sport Test as a measure of performance following anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Phys. Ther. Sport, 2019, 38:162-169.
- [38] van Melick N., van Rijn L., Nijhuis-van D. S. M., et al. Fatigue affects quality of movement more in ACL-reconstructed soccer players than in healthy soccer players[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2019, 27(2):549-555.
- [39] Connell R., Paton B., Milne R. Return to play following anterior cruciate ligament reconstruction: incorporating fatigue into a return to play functional battery. Part A: treadmill running[J]. BMJ Open Sport Exerc. Med., 2019, 5(1):e375.
- [40] Marshall N. E., Keller R. A., Dines J., et al. Current practice: postoperative and return to play trends after ACL reconstruction by fellowship-trained sports surgeons[J]. Musculoskelet Surg, 2019, 103(1):55-61.
- [41] Kosy J. D., Phillips J., Edordu A., et al. Failure to Return to Preinjury Activity Level after Hamstring Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Factors Involved and Considerations in Goal Setting[J]. Indian J. Orthop., 2019, 53(6):714-720.
- [42] Della V. F., Andriolo L., Ricci M., et al. Compliance



- in post-operative rehabilitation is a key factor for return to sport after revision anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Knee Surg. Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28(2):463-469.
- [43] Hughes J. D., Burnham J. M., Hirsh A., et al. Comparison of Short-term Biodex Results After Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Among 3 Autografts[J]. *Orthop. J. Sports Med.*, 2019, 7(5):1810895054.
- [44] Sugimoto D., Heyworth B. E., Yates B. A., et al. Effect of Graft Type on Thigh Circumference, Knee Range of Motion, and Lower Extremity Strength in Pediatric and Adolescent Males following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction[J]. *J. Sport Rehabil.*, 2019:1-26.
- [45] Miles J. J., King E., Falvey E. C., et al. Patellar and hamstring autografts are associated with different jump task loading asymmetries after ACL reconstruction[J]. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 2019, 29(8):1212-1222.
- [46] Webster K. E., Feller J. A., Hartnett N., et al. Comparison of Patellar Tendon and Hamstring Tendon Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A 15-Year Follow-up of a Randomized Controlled Trial[J]. *Am. J. Sports Med.*, 2016, 44(1):83-90.
- [47] Lai C., Feller J. A., Webster K. E. Fifteen-Year Audit of Anterior Cruciate Ligament Reconstructions in the Australian Football League From 1999 to 2013: Return to Play and Subsequent ACL Injury[J]. *Am. J. Sports Med.*, 2018, 46(14):3353-3360.
- [48] Frangie R., Warth R. J., Harner C. D. Editorial Commentary: Will Suture Tape Augmentation Prove to Be the Answer to Anterior Cruciate Ligament Graft Remodeling, Ultimate Strength, and Safe Return to Play?[J]. *Arthroscopy*, 2020, 36(2):490-491.
- [49] Berdis A. S., Veale K., Fleissner P. J. Outcomes of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Biologic Augmentation in Patients 21 Years of Age and Younger [J]. *Arthroscopy*, 2019, 35(11):3107-3113.
- [50] Sandon A., Engstrom B., Forssblad M. High Risk of Further Anterior Cruciate Ligament Injury in a 10-Year Follow-up Study of Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Soccer Players in the Swedish National Knee Ligament Registry[J]. *Arthroscopy*, 2020, 36(1):189-195.
- [51] Ardern C. L., Osterberg A., Tagesson S., et al. The impact of psychological readiness to return to sport and recreational activities after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Br. J. Sports Med.*, 2014, 48(22):1613-1619.
- [52] Burland J. P., Lepley A. S., DiStefano L. J., et al. Alterations in physical and neurocognitive wellness across recovery after ACLR: A preliminary look into learned helplessness[J]. *Phys. Ther. Sport.*, 2019, 40:197-207.
- [53] Sala-Barat E., Alvarez-Diaz P., Alentorn-Geli E., et al. Translation, cross-cultural adaptation, validation, and measurement properties of the Spanish version of the anterior cruciate ligament-return to sport after injury (ACL-RSI-Sp) scale[J]. *Knee Surg. Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28(3):833-839.
- [54] Furman T., Silvers-Granelli H. Return to Play After an Anterior Cruciate Ligament Injury: Prioritizing Neurological and Psychological Factors of the Decision-Making Algorithm[J]. *Am. J. Orthop. (Belle Mead NJ)*, 2018, 47(12).
- [55] Everhart J. S., Best T. M., Flanigan D. C. Psychological predictors of anterior cruciate ligament reconstruction outcomes: a systematic review[J]. *Knee Surg. Sports Traumatol Arthrosc*, 2015, 23(3):752-762.
- [56] Thomee R., Kaplan Y., Kvist J., et al. Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction[J]. *Knee Surg. Sports Traumatol Arthrosc*, 2011, 19(11):1798-1805.
- [57] Lindanger L., Strand T., Molster A. O., et al. Return to Play and Long-term Participation in Pivoting Sports After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction[J]. *Am. J. Sports Med.*, 2019, 47(14):3339-3346.
- [58] Te W. S., van der Sluis A., van den Akker-Scheek I., et al. Psychosocial factors influencing the recovery of athletes with anterior cruciate ligament injury: a systematic review[J]. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 2013, 23(5):527-540.
- [59] Lai C., Feller J. A., Webster K. E. Playing Performance After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Among Australian Football League Players From 1999 to 2013 [J]. *Am. J. Sports Med.*, 2019, 47(7):1550-1556.
- [60] Saper M., Pearce S., Shung J., et al. Outcomes and Return to Sport After Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Adolescent Athletes[J]. *Orthop. J. Sports Med.*, 2018, 6(4):1809812308.
- [61] Wise P. M., Gallo R. A. Impact of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction on NCAA FBS Football Players: Return to Play and Performance Vary by Position[J]. *Orthop. J. Sports Med.*, 2019, 7(4):1810888480.
- [62] Bauer M., Feeley B. T., Gallo R. A. Effect of Academic Grade Level on Return to Athletic Competition After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction[J]. *J. Pediatr. Orthop.*, 2019, 39(4):198-201.

(责任编辑:刘畅)