

# 适应膝关节肌力变化：是重建前交叉韧带后康复治疗的基本原则

陈建(武汉体育学院体能中心、武汉体育学院健康科学学院, 湖北省武汉市 430079)

## 文章亮点:

- 1 此问题的已知信息: 切取腓绳肌腱会导致术后的屈膝肌力和胫骨内旋肌力的降低, 从而影响膝关节的稳定性和功能活动水平。前交叉韧带重建后康复方案目前尚无统一的标准和方法, 存在着许多争议。前交叉韧带重建后的疗效可以综合临床和等速肌力测试的结果进行综合评定。
- 2 文章增加的新信息: 采用文献分析法重点探讨了前交叉韧带重建后膝关节肌力的变化及康复的研究进展。腓绳肌重建前交叉韧带移植表现出典型的塑形阶段, 人类重塑持续时间相比其他动物实验研究更长。故在实施康复训练程序时应遵循个体化、渐进性、全面性三大原则, 在基本康复训练原则的基础上根据个体功能水平及时做出相应的调整, 充分体现个性化训练。国内外研究均表明前交叉韧带重建术肌力康复始于重建手术之前, 以尽早开始肌肉收缩的再训练从而最大程度地防止肌肉萎缩。
- 3 临床应用的意义: 前交叉韧带重建康复手段的研究主要集中在等速与等张练习、开链与闭链练习、激进康复程序与保守康复程序的对比等方面, 问题主要集中在康复手段的更细化和科学化以及早期康复训练的“度”的把握上。

## 关键词:

组织构建; 组织工程; 前交叉韧带; 肌力; 腓绳肌; 电-机械延迟; 肌力康复

## 主题词:

前交叉韧带; 膝关节; 肌力

## 摘要

**背景:** 前交叉韧带重建后早期如何干预以减少肌力下降和切取腓绳肌腱后对屈膝肌电-机械延迟的影响是一个值得研究的方向。

**目的:** 采用文献分析法重点对前交叉韧带重建后膝关节肌力的变化及康复的进展进行了综述分析。

**方法:** 以“Anterior Cruciate Ligament; hamstring; Muscle Strength”和“前交叉韧带; 肌力; 腓绳肌; 电-机械延迟”为中英文检索词, 计算机检索 2000 年 1 月至 2014 年 1 月 PubMed 数据库及万方医学网相关文献。选择与前交叉韧带重建后肌力的改变、评价方法及重建后肌力康复相关的文献。最终纳入 34 篇文献进行探讨。

**结果与结论:** 研究表明: 切取腓绳肌腱会导致术后的屈膝肌力和胫骨内旋肌力的降低, 从而影响膝关节的稳定性和功能活动水平。综合临床和等速肌力测试的结果, 可以对前交叉韧带重建后的疗效进行综合评定, H/Q 比率(屈/伸比)的改变能够用于指导前交叉韧带损伤后的康复。前交叉韧带重建后移植塑形过程比其他动物实验研究更长, 肌腱松弛度是影响电机械延迟的重要因素之一。在基本康复训练原则的基础上根据个体功能水平及时做出相应的调整, 充分体现个性化训练。国内外研究均表明前交叉韧带重建肌力康复始于重建手术之前, 以尽早开始肌肉收缩的再训练从而最大程度地防止肌肉萎缩。存在的问题主要集中在康复手段的更细化和科学化以及早期康复训练的“度”的把握上。

陈建. 适应膝关节肌力变化: 是重建前交叉韧带后康复治疗的基本原则[J]. 中国组织工程研究, 2014, 18(38): 6184-6188.

## An adaptation to changes in knee muscle strength is a basic principle for rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction

Chen Jian (Center of Physical Fitness, School of Health Science, Wuhan Institute of Physical Education, Wuhan 430079, Hubei Province, China)

## Abstract

**BACKGROUND:** How to improve reduced muscle strength and the electromechanical delay of the knee flexor at early stage after anterior cruciate ligament reconstruction is worth studying.

**OBJECTIVE:** To review the research development of muscle strength change and rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction.

**METHODS:** A computer-based search of PubMed and Wanfang databases was performed for articles related to muscle strength change after anterior cruciate ligament reconstruction, elevation methods, muscle function rehabilitation published from January 2000 to January 2014. The keywords were “anterior cruciate ligament; hamstring; muscle strength; electromechanical delay” in English and Chinese. Finally 34 articles were included in result analysis.

**RESULTS AND CONCLUSION:** Removal of the hamstring tendon can decrease muscle strength of the involved

陈建, 男, 1973 年生, 湖北省咸宁市人, 汉族, 2014 年武汉体育学院毕业, 博士, 副教授, 主要从事运动损伤的治疗与康复研究。

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2014.38.020  
[http://www.crter.org]

中图分类号:R318

文献标识码:A

文章编号:2095-4344

(2014)38-06184-05

稿件接受: 2014-08-22

knee flexor and tibial internal rotation strength, then affect the involved knee stability and functional ability. Based on the clinical signs and isokinetic testing results, we can assess the clinical effects after anterior cruciate ligament reconstruction. The change of H/Q ratio can be used to guide the rehabilitation after anterior cruciate ligament injury. Graft remodeling process after anterior cruciate ligament reconstruction has a longer period than other animal experimental studies, and tendon relaxation degree is an important factor influencing electromechanical delay. Based on the basic rehabilitation principles, the rehabilitation training is adjusted timely according to the individual functional level to fully embody the individualized training. Both domestic and foreign researches indicate that the rehabilitation process begins before anterior cruciate ligament reconstruction, in order to start training of muscle contraction as early as possible to maximize prevent muscle atrophy. The problems are mainly concentrated in the more refined and scientific rehabilitation methods and the degree of early rehabilitation training.

**Subject headings:** anterior cruciate ligament; knee joint; muscle strength

Chen J. An adaptation to changes in knee muscle strength is a basic principle for rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2014;18(38):6184-6188.

## 0 引言 Introduction

目前,国内外关于前交叉韧带重建手术技巧和重建方式的研究取得了很大的进展,重建的手术日渐成熟。然而前交叉韧带重建后的最终疗效却不仅仅取决于精确和成功的手术,术后合理的康复训练也是不容忽视的一个环节。研究一致认为:前交叉韧带重建后膝关节屈伸肌力和胫骨内旋肌力均会下降,自体腘绳肌重建术后屈膝机电-机械延迟显著增加;术后应针对不同手术方式采取相应的康复程序,肌力康复是恢复膝关节功能的重点。而术后早期如何干预以减少肌力下降和切取腘绳肌腱后对屈膝机电-机械延迟的影响是一个值得研究的方向。文章旨在对目前国内外前交叉韧带重建后肌力的变化、评价和康复手段进行总结与分析,以指导前交叉韧带重建后正确地进行肌肉力量康复训练,提高患者功能活动水平和生活质量。

## 1 资料和方法 Data and methods

**1.1 资料来源** 由第一作者检索2000年1月至2014年1月PubMed数据库及万方医学网。英文检索词为“Anterior Cruciate Ligament; hamstring; Muscle Strength”,中文检索词为“前交叉韧带;肌力;腘绳肌;电-机械延迟”。

### 1.2 纳入与排除标准

**纳入标准:** ①与前交叉韧带重建后肌力的改变相关的文献。②与前交叉韧带缺损后肌力的评价方法相关的文献。③与前交叉韧带重建后肌力康复的时间相关的文献。④前交叉韧带重建后肌力康复方法相关的文献。

**排除标准:** 重复性研究。

**1.3 质量评价** 共检索到文献127篇,其中中文文献27篇,英文文献100篇,经过标题和摘要筛选,排除与研究目的相关性差及重复的文献,最终纳入34篇进行探讨。

## 2 结果 Results

### 2.1 前交叉韧带重建后肌力变化与评价的研究进展

**2.1.1 前交叉韧带重建后肌力的改变** 过去认为自体腘绳肌腱重建前交叉韧带后,腘绳肌腱组织能够再生并可恢复良好的功能,因此对腘绳肌的功能影响很小。但最近越

来越多的研究表明:切取腘绳肌腱会导致术后的屈膝肌力和胫骨内旋肌力的降低,从而影响膝关节的稳定性和功能活动水平<sup>[1-2]</sup>。有研究表明,前交叉韧带重建后前3周患侧股四头肌体积即减小25%-33%<sup>[3]</sup>,骨髁腱移植患者腘绳肌体积下降2%-3%,而半腱肌股薄肌移植患者腘绳肌体积下降7%-8%,且股薄肌体积呈持久下降(术后3周、15周和1年分别下降22%,37%,44%)。

Nakamura等<sup>[4]</sup>进一步研究了单纯切取半腱肌和同时切取半腱肌股薄肌重建前交叉韧带后对患侧屈膝肌力和胫骨内旋肌力的影响,结果表明:在屈膝90°时,半腱肌腱移植组和半腱肌腱加股薄肌腱移植组比较,两组的患侧屈膝肌力恢复在产生峰力矩的屈膝角度时较差;双膝屈肌峰力矩比值和屈膝90°时的屈肌力矩,两组间无显著差异。Adachi等<sup>[5]</sup>研究表明,两组患者的峰力矩值和总功与正常膝关节无显著差异,但切取的腘绳肌腱越多,主动屈膝角度丧失越大,而且峰力矩角度变得越小,表明切取腘绳肌腱后导致屈膝末端时腘绳肌肌力的减弱(屈膝角度越大,峰力矩越小)。有研究表明:慢性前交叉韧带损伤患者损伤侧下肢股四头肌和腘绳肌峰力矩值显著降低<sup>[6]</sup>,离心腘绳肌/离心股四头肌比率、向心腘绳肌/离心股四头肌比率均显著大于健侧下肢;然而,患侧下肢离心腘绳肌/向心股四头肌比率与健侧相近。这表明前交叉韧带损伤后,股四头肌的离心肌肉活动比其向心肌肉活动受到的影响更大。

Keays等<sup>[7]</sup>对不同移植物重建前交叉韧带术后肌肉力量、关节稳定性、关节活动范围、关节功能水平及关节退变的效果进行了6年随访的研究,结果表明半腱肌重建术后有较高的同侧再伤发生率,可能因为肌力下降致本体感觉功能障碍。Tadokoro等<sup>[8]</sup>报道了用磁共振(magnetic resonance imaging, MRI)评价腘绳肌腱重建前交叉韧带后2年腘绳肌腱再生情况,并测定等速腘绳肌肌力和股四头肌肌力,结果发现,尽管MRI显示75%以上的患者有半腱肌腱再生,但不论腘绳肌腱是否有再生,手术侧下肢的等速腘绳肌肌力和股四头肌肌力均显著低于健侧下肢。Ristanis等<sup>[9]</sup>应用表面肌电图对比研究了自体

腓绳肌重建前交叉韧带术后2年腓绳肌肌电变化后发现,与健侧相比患侧股二头肌和半腱肌电机械延迟(electromechanical delay, EMD)明显增加,屈膝肌的神经肌肉控制能力下降,从而影响运动员在急停急转时膝关节的稳定性。Ristanis等<sup>[10]</sup>也观察了自体腓绳肌重建前交叉韧带术后2年患者疲劳状态下电机械延迟的表现,结果显示疲劳导致患侧股二头肌和半腱肌电机械延迟增加,但对股二头肌和半腱肌收缩同步性没有影响。Georgoulis等<sup>[11]</sup>研究了采用髌腱重建前交叉韧带患者术后伸膝肌电机械延迟,结果较术前没有变化。Muraoka等<sup>[12]</sup>研究表明肌腱松弛度是影响电机械延迟的重要因素之一。

**2.1.2 前交叉韧带缺损后肌力的评价方法** 目前,如何量化前交叉韧带重建后膝关节肌力变化成为制定康复程序的重要依据之一。已有的研究表明综合临床和等速肌力测试的结果,可以对前交叉韧带重建后的疗效进行综合评定,通过了解采用不同移植物重建前交叉韧带后的肌力缺陷情况来指导移植物供区的选择,更重要的是可据此调整术后康复计划,以纠正这些肌力不平衡,或将肌力不平衡降到最小程度<sup>[13]</sup>。Eitzen等<sup>[14]</sup>研究表明前交叉韧带损伤后等速力量评价应用特殊角度力矩值的曲线比传统应用峰力矩更能反映患者功能水平,因为前交叉韧带损伤后股四头肌力量下降在屈膝小于45°范围内更严重。

Hamstring/Quadriceps比率(H/Q, 屈/伸比)的改变能够用于指导前交叉韧带损伤和手术后的康复,为提高前交叉韧带损伤后膝关节的稳定性提供理论依据。恢复或改变前交叉韧带损伤及韧带重建人群的H/Q比率,对运动员恢复高水平的运动能力和预防再损伤具有重要意义<sup>[15]</sup>。

近些年有学者提出了H/Q功能比率:动态肌力控制比率(dynamic control ratio, DCR)的概念,计算H/Q比率时,应当用膝关节动态运动中各个不同角度对应的离心腓绳肌肌力/向心股四头肌肌力比率来代表伸膝功能,向心腓绳肌肌力/离心股四头肌肌力比率代表屈膝功能,因为在动态运动过程中,当主动肌处于向心性收缩时拮抗肌为离心性收缩。这种H/Q比率符合实际运动中的膝关节功能,更能反映膝关节屈肌和伸肌的协同收缩模式,前交叉韧带损伤患者术前与术后的肌力控制比率尚无正常值标准<sup>[16]</sup>。

Svensson等<sup>[17]</sup>采用MRI连续观察髌腱移植重建前交叉韧带术后髌腱再生情况,结果显示术后6年供区髌腱仍未恢复正常组织。Ristanis等<sup>[9]</sup>却发现半腱肌股薄肌重建前交叉韧带术后2年MRI显示取腱部位肌腱已完全再生,但腱组织性质可能发生改变而导致肌肉收缩延迟。

从以上研究结果可以看出,自体腓绳肌重建前交叉韧带术后患侧膝关节肌力明显下降,但评定指标、测试时间、测试结果均有所差异。如何在术后早期选择特异性的指标及评价手段进行分析还有待进一步研究。

**2.2 前交叉韧带重建后肌力康复的研究进展** 前交叉韧带重建后康复方案目前尚无统一的标准和方法,存在着许多

争议。作者认为由于重建时使用的材料及方法不同,故术后康复训练的措施也不尽相同。而无论何种方法,其功能练习的核心是如何解决前交叉韧带重建后“移植物和骨隧道良好的长入与尽早恢复关节功能及运动能力”这个矛盾,前交叉韧带重建后移植物腱骨愈合需经过4个阶段:缺血坏死、血管重建、细胞增殖和塑型成熟期。但腱骨愈合过程受移植物类型、骨道状况、患者年龄等诸多因素影响。

Janssen等<sup>[18]</sup>研究了自体腓绳肌重建前交叉韧带术后移植物塑形过程,结果表明:腓绳肌重建前交叉韧带移植物表现出典型的塑形阶段,一直持续2年尚未完成(图1),人类重塑持续时间相比其他动物实验研究更长。故在实施康复训练程序时应遵循个体化、渐进性、全面性三大原则,在基本康复训练原则的基础上根据个体功能水平及时做出相应的调整,充分体现个性化训练。

前交叉韧带重建后多年仍存在患侧肌力缺失10%-20%<sup>[3]</sup>,从而影响患者功能活动和生活质量水平,因而促进肌力恢复是前交叉韧带重建后的重要康复目标之一。但前交叉韧带重建后肌力康复的开始时间、手段与方法、恢复运动的时机等尚无公认的标准程序。

Shelbourne<sup>[19]</sup>研究了不同髌腱宽度及术前股四头肌力量对自体同侧骨髌腱骨移植重建前交叉韧带术后肌力恢复的影响,结果表明髌腱宽度越小及术前股四头肌力量越弱的患者术后肌力恢复越差,尤其在术后第1年更为明显。

**2.2.1 前交叉韧带重建后肌力康复的开始时间** 目前,国内外研究均表明前交叉韧带重建术肌力康复始于重建手术之前,术前肌肉等长收缩练习能够使患者术后较快掌握不同肌肉的等长收缩练习方法,以尽早开始肌肉收缩的再训练从而最大程度地防止肌肉萎缩,但当前存在的分歧主要集中在早期训练的“度”的把握上<sup>[20]</sup>。Sekir等<sup>[21]</sup>对自体髌腱移植重建前交叉韧带术后等速训练开始时间早晚进行了对比研究,早期开始组自术后第3周开始屈膝40°-100°范围内股四头肌和腓绳肌向心性等速练习,晚期开始组则在术后第9周开始同样程序的等速力量训练,包括6种不同角速度[30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 (°)/s],每种速度重复8次,组间休息20 s,于术后1, 2, 3, 4, 12个月分别测试等速肌肉力量、IKDC评分,结果表明等速训练可以安全有效地恢复患侧肌力和功能活动水平。

**2.2.2 前交叉韧带重建后肌力康复的手段** 国外有研究表明:前交叉韧带术后3周即开始进行持续12周的离心性力量训练<sup>[3]</sup>,MRI测量股四头肌和臀大肌横断面结果显示离心训练组股四头肌和臀大肌的肌肉体积增大25%,而标准康复组增大8%,1年后离心训练组较标准康复组股四头肌体积大50%,离心训练组中移植为半腱肌和股薄肌患者股四头肌和臀大肌肌肉体积分别增大27%和22%,而移植

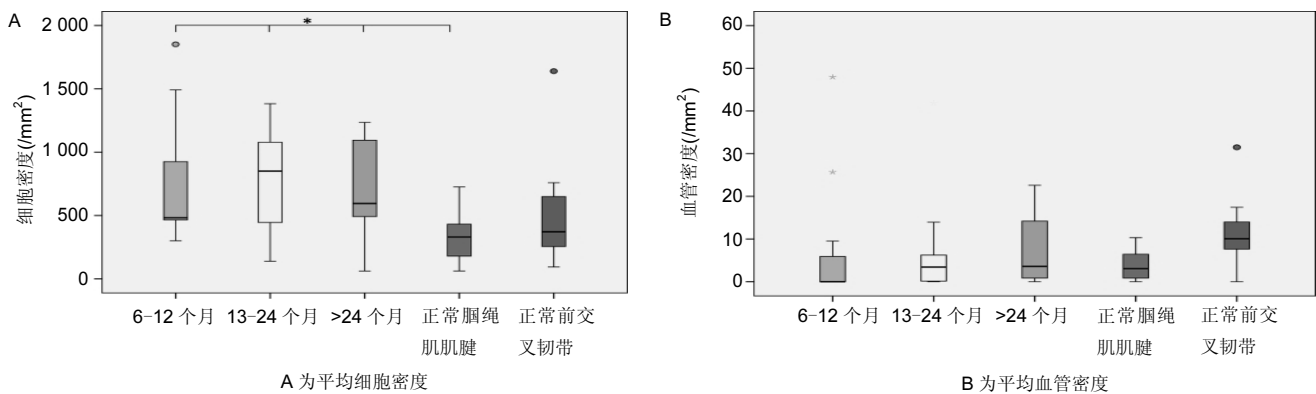


图1 自体腘绳肌腱重建前交叉韧带后细胞密度和血管密度与正常腘绳肌肌腱及正常前交叉韧带比较<sup>[18]</sup>

物为髌骨腱骨患者股四头肌和臀大肌肌肉体积分别增大20%和29%，出现这种差异的原因可能与髌骨腱骨移植患者在完成下肢离心练习时更多地腕伸肌参与以避免膝关节的疼痛有关。

Shelbourne<sup>[22]</sup>认为前交叉韧带重建后关节活动度和肌肉力量恢复方面，自体对侧移植术后较自体同侧移植术后恢复更容易。股四头肌单独收缩可引起胫骨前移，增加静力性稳定结构的张力，牵拉重建的韧带，增大髌股关节应力，久之会造成移植腱的松弛，所以一定要重视进行股四头肌和腘绳肌的联合收缩。而腘绳肌单独收缩可以防止运动中胫骨过度前移造成前交叉韧带张力增加，对于保护重建韧带，提高关节稳定性及恢复运动功能具有重要作用。Tagesson等<sup>[23]</sup>随机对照对比研究了开放链与闭合链练习对前交叉韧带损伤后股四头肌力量训练的效果，结果表明开放链在提高等速肌肉力量方面效果明显较闭合链要好。但有实验证明：全范围的股四头肌开放链训练在膝关节屈曲30°至完全伸直范围内都会引起胫骨向前偏移，并对移植物产生过大的拉力，造成移植物损伤，故在重建手术早期不能采用，主要用于后期的训练。Tsaklis等<sup>[24]</sup>比较了前交叉韧带重建后等张力量训练和等速力量训练的效果，将45位男运动员随机分成3个康复训练组，术后第1个月康复程序相同，第2个月开始A组仅进行等张力量练习，B组仅进行等速力量练习，C组为等张加等速力量练习，术后3个月分别测试膝上10 cm围度，股四头肌等张、等长力量，股内侧头EMG，屈伸膝肌等速力量，结果显示：术后3个月3组在以上指标较术前都有明显提高，且C组较A组和B组有显著改善膝关节功能作用。Feil等<sup>[25]</sup>比较了两种不同的神经肌肉电刺激疗法对前交叉韧带重建后膝关节康复的效果，结果表明神经肌肉电刺激结合康复训练能加速术后膝关节功能恢复。也有研究比较了神经肌肉训练和传统力量训练对前交叉韧带重建后前6个月膝关节功能的影响，结果除了在临床膝关节评分(cincinnati knee score, CKS)和疼痛目测类比分法(visual analogue scale, VAS)方面，神经肌肉训练组较传统力量训练组有显著效果外，而在平衡、本体感觉和肌力等方面没有差异<sup>[26-27]</sup>。

### 3 讨论 Discussion

国内关于自体腘绳肌腱重建前交叉韧带术后肌力的康复的研究不多<sup>[28-31]</sup>，陶莉等<sup>[32]</sup>研究了等速肌力评定及训练系统对前交叉韧带重建后患者肌力的影响，证实通过等速训练进行系统的康复治疗可使膝关节前交叉韧带重建后的患者短期(6个月)达到健侧屈伸肌力水平，并能达到运动水平。李云霞等<sup>[33]</sup>观察了自体腘绳肌腱重建前交叉韧带术后两种不同康复程序的效果，显示自体腘绳肌肌腱重建膝关节前交叉韧带术后早期康复可以改善膝关节功能，但是并非越激进越好，应以适度康复为原则。

综上所述，目前的国内外研究均表明前交叉韧带重建术肌力康复始于重建手术之前，康复手段的研究主要集中在等速与等张练习、开链与闭链练习、激进康复程序与保守康复程序的对比等方面<sup>[34]</sup>，当前存在的问题主要集中在康复手段的更细化和科学化以及早期康复训练的“度”的把握上。因此，如何根据患者自身肌力变化特征合理地选择康复手段值得进一步研究。

**作者贡献:** 综述设计、资料收集及成文为本文作者，本文作者对文章负责。

**利益冲突:** 文章及内容不涉及相关利益冲突。

**伦理要求:** 没有与相关伦理道德冲突的内容。

**学术术语:** 等张练习-肌肉进行收缩缩短和放松交替进行的力量练习方法叫做等张练习，又称为动力性练习，如负重蹲起、卧推、挺举等。

**作者声明:** 文章为原创作品，无抄袭剽窃，无泄密及署名和专利争议，内容及数据真实，文责自负。

### 4 参考文献 References

- [1] Armour T, Forwell L, Litchfield R, et al. Isokinetic evaluation of internal/external tibial rotation strength after the use of hamstring tendons for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2004; 32(7): 1639.
- [2] Tadokoro K, Matsui N, Yagi M, et al. Evaluation of hamstring strength and tendon regrowth after harvesting for anterior Cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2004; 32(7): 1644.

- [3] Gerber JP, Marcus RL, Leland ED, et al. The Use of Eccentrically Biased Resistance Exercise to Mitigate Muscle Impairments Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Short Review. *sportshealth*. 2009;1(1):31-38.
- [4] Nakamura N, Horibe S, Sasaki S, et al. Evaluation of active knee flexion and hamstring strength after anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendons. *Arthroscopy*. 2002;18(6):598.
- [5] Adachi N, Ochi M, Uchio Y, et al. Harvesting hamstring tendons for ACL reconstruction influences postoperative hamstring muscle performance. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2003;123(9):460.
- [6] Gibson A, Lambert M, Durandt J, et al. Quadriceps and hamstrings peak torque ratio changes in persons with chronic anterior cruciate ligament deficiency. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2000;30(7):418.
- [7] Keays SL, Bullock-Saxton JE, Keays AC, et al. A 6-Year Follow-up of the Effect of Graft Site on Strength, Stability, Range of Motion, Function, and Joint Degeneration After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med*. 2007;35(5):729-738.
- [8] Tadokoro K, Matsui N, Yagi M, et al. Evaluation of hamstring strength and tendon regrowth after harvesting for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2004;32(7):1644.
- [9] Ristanis S, Tsepis E, Giotis D, et al. Electromechanical Delay of the Knee Flexor Muscles Is Impaired After Harvesting Hamstring Tendons for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med*. 2009;37(11):2179-2186.
- [10] Ristanis S, Tsepis E, Giotis D, et al. Knee flexor muscle responses under fatigue after harvesting the hamstrings for anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin J Sport Med*. 2011;21(4):288-293.
- [11] Georgoulis AD, Ristanis S, Papadonikolakis A, et al. Electromechanical delay of the knee extensor muscles is not altered after harvesting the patellar tendon as a graft for ACL reconstruction: implications for sports performance. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2005;13:437-443.
- [12] Muraoka T, Muramatsu T, Fukunaga T, et al. Influence of tendon slack on electromechanical delay in the human medial gastrocnemius in vivo. *J Appl Physiol*. 2004;96(2):540-544.
- [13] 刘晓鹏, 安华, 于长隆应用等速肌力测试评价膝前交叉韧带断裂重建术后康复的效果[J]. *中国运动医学杂志*, 2008, 27(3): 286-289.
- [14] Eitzen I, Eitzen TJ, Holm I, et al. Anterior Cruciate Ligament - Deficient Potential Copers and Noncopers Reveal Different Isokinetic Quadriceps Strength Profiles in the Early Stage After Injury. *Am J Sports Med*. 2010;38(3):586-593.
- [15] 高凯, 王予彬, 王惠芳. 前交叉韧带损伤与重建术后的等速肌力评价[J]. *中国康复医学杂志*, 2006, 21(5): 467-469.
- [16] Desnica Bakrac N. Dynamics of muscle strength improvement during isokinetic rehabilitation of athletes with ACL rupture and chondromalacia patellae. *J Sports Med Phys Fitness*. 2003;43(1):69.
- [17] Svensson M, Kartus J, Ejerhed L, et al. Does the Patellar Tendon Normalize After Harvesting Its Central Third?. *Am J Sports Med*. 2004;32(1):34-38.
- [18] Janssen RP, van der Wijk J, Fiedler A, et al. Remodelling of human hamstring autografts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011;19:1299-1306.
- [19] Shelbourne KD, Johnson BC, Johnson. Effects of Patellar Tendon Width and Preoperative Quadriceps Strength on Strength Return After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Ipsilateral Bone-Patellar Tendon-Bone Autograft. *Am J Sports Med*. 2004;32(6):1474-1478.
- [20] 许树柴, 王盛贤, 刘军. 前交叉韧带重建后康复方案选择的若干争议[J]. *中国中医骨伤科杂志* 2008, 16(9): 67-69.
- [21] Sekir U, Gur H, Akova B. Early Versus Late Start of Isokinetic Hamstring-Strengthening Exercise After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Patellar Tendon Graft. *Am J Sports Med*. 2010;38(3):492-500.
- [22] Shelbourne KD, Klotz C. What I have learned about the ACL: utilizing a progressive rehabilitation scheme to achieve total knee symmetry after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sci*. 2006;11:318-325.
- [23] Tagesson S, Oberg B, Good L, et al. A Comprehensive Rehabilitation Program With Quadriceps Strengthening in Closed Versus Open Kinetic Chain Exercise in Patients With Anterior Cruciate Ligament Deficiency. *Am J Sports Med*. 2008;36(2):298-307.
- [24] P Tsaklis, G Abatzides. ACL rehabilitation program using a combined isokinetic and isotonic strengthening protocol. *Isokinetics and Exercise Science*. 2002;10:211-219.
- [25] Feil S, Newell J, Minogue C, et al. The Effectiveness of Supplementing a Standard Rehabilitation Program With Superimposed Neuromuscular Electrical Stimulation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med*. 2011;39(6):1238-1247.
- [26] Risberg MA, Holm I, Myklebust G, et al. Neuromuscular Training Versus Strength Training During First 6 Months After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Clinical Trial. *Physical Therapy*. 2007;87(6):737-750.
- [27] Mandelbaum BR, Silvers HJ, Watanabe DS, et al. Effectiveness of a Neuromuscular and Proprioceptive Training Program in Preventing Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes. *Am J Sports Med*. 2005;33(7):1003-1010.
- [28] Nomura Y, Kuramochi R, Fukubayashi T. Evaluation of hamstring muscle strength and morphology after anterior cruciate ligament reconstruction. *Scand J Med Sci Sports*. 2014.
- [29] Dauty M, Menu P, Fouasson-Chailloux A, et al. Muscular isokinetic strength recovery after knee anterior cruciate ligament reconstruction revision: preliminary study. *Ann Phys Rehabil Med*. 2014;57(1):55-65.
- [30] Vairo GL, Miller SJ, Sherbondy PS, et al. Standing flexion deficits predict self-reported outcomes in women after ipsilateral hamstring anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2013;29(11):1796-1803.
- [31] McRae S, Leiter J, McCormack R, et al. Ipsilateral versus contralateral hamstring grafts in anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized trial. *Am J Sports Med*. 2013;41(11):2492-2499.
- [32] 陶莉, 冯华, 郭险峰, 等. 前交叉韧带重建后患者的等速肌力训练和疗效评定[J]. *中国康复医学杂志*, 2008, 23(11): 990-993.
- [33] 李云霞, 陈世益, 翟伟韬, 等. 自体腘绳肌腱重建前交叉韧带术后两种康复程序效果比较[J]. *中国康复医学杂志*, 2008, 23(1): 16-18.
- [34] 葛杰, 周谋望, 敖英芳, 等. 关节镜下膝前交叉韧带重建后的康复[J]. *中国康复医学杂志*, 2003, 18(12): 743-747.