

# 系统运动训练对ACL重建术后膝关节功能影响的临床研究：多中心ACL重建病例研究

梁婷<sup>1</sup>, 赵旭良<sup>1</sup>, 于腾波<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>青岛大学医学部, 山东 青岛

<sup>2</sup>青岛市立医院骨关节外科, 山东 青岛

收稿日期: 2024年5月6日; 录用日期: 2024年5月29日; 发布日期: 2024年6月6日

## 摘要

目的: 研究系统运动训练对ACL重建术后患肢肌力及运动功能恢复的有效性, 观察ACL重建术后患侧肌力与运动功能的关系和变化情况, 为ACL重建术后的临床康复提供研究基础。方法: 在青岛市范围内招募于2021年12月至2024年1月中采用自体腘绳肌腱重建ACL的患者, 根据纳入和排除标准是否进行过规律、系统的等速运动训练选49例等速训练组患者、46例未经等速训练的患者作为对照组。收集患者术后4周、术后8周、术后12周的膝关节功能评分、疼痛VAS评分和等速肌力测试资料, 分析系统运动训练对于ACL重建术后膝关节功能恢复的影响。结果: 患者年龄、性别、身高、体重、BMI等一般资料比较无明显差异( $P > 0.05$ )。两组患者疼痛VAS评分、膝关节活动度、Lysholm膝关节功能评分在术后4周无明显差异, 在术后8周、12周均存在明显差异( $P < 0.05$ ), 等速训练组患者的VAS评分、活动度、膝关节功能评分结果更优。在等速运动训练前后, 患者膝关节伸肌、屈肌的力矩峰值和总功都存在明显增高的趋势, 差异显著( $P < 0.05$ )。结论: ACL重建术后4周~12周期间的系统运动训练能够明显改善ACL重建术后膝关节屈伸肌的运动功能和肌肉平衡, 提高患者术后的肢体控制能力。

## 关键词

前交叉韧带损伤, 等速运动训练, 膝关节

# Clinical Study on the Effect of Systematic Exercise Training on Knee Joint Motor Function after ACL Reconstruction: A Multi-Center ACL Reconstruction Case Study

Ting Liang<sup>1</sup>, Xuliang Zhao<sup>1</sup>, Tengbo Yu<sup>2\*</sup>

\*通讯作者。

文章引用: 梁婷, 赵旭良, 于腾波. 系统运动训练对 ACL 重建术后膝关节功能影响的临床研究: 多中心 ACL 重建病例研究[J]. 临床医学进展, 2024, 14(6): 59-70. DOI: 10.12677/acm.2024.1461745

<sup>1</sup>Medical College of Qingdao University, Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Department of Bone and Joint Surgery, Qingdao Municipal Hospital, Qingdao Shandong

Received: May 6<sup>th</sup>, 2024; accepted: May 29<sup>th</sup>, 2024; published: Jun. 6<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

**Objective:** To study the effectiveness of systematic exercise training on the recovery of muscle strength and motor function of the affected limb after ACL reconstruction, and to observe the relationship and changes of muscle strength and motor function of the affected side after ACL reconstruction, so as to provide a research basis for clinical rehabilitation after ACL reconstruction. **Methods:** Patients with ACL reconstruction using autologous hamstring tendon were recruited from December 2021 to January 2024 in Qingdao, and 49 patients in the isokinetic training group and 46 patients without isokinetic training were selected as the control group according to the inclusion and exclusion criteria of whether or not they had undergone regular and systematic isokinetic exercise training. Knee function scores, pain VAS scores, and isometric muscle strength tests were collected from patients at 4 weeks, 8 weeks, and 12 weeks after surgery to analyse the effect of systematic exercise training on the recovery of knee function after ACL reconstruction. **Results:** There was no significant difference in the comparison of the general information of patients' age, gender, height, weight, and BMI ( $P > 0.05$ ). There was no significant difference in pain VAS score, knee mobility, and Lysholm knee function score between the two groups at 4 weeks postoperatively, and there was a significant difference at 8 and 12 weeks postoperatively ( $P < 0.05$ ), and the patients in the isokinetic training group had a better VAS score, mobility, and knee function score result. After isokinetic training, there was a significant tendency for the peak moment and total work of the knee extensors and flexors of the patients to increase with significant differences ( $P < 0.05$ ). **Conclusion:** Systematic exercise training between 4 and 12 weeks after ACL reconstruction can significantly improve the motor function and muscle balance of knee flexors and extensors, and improve the patients' postoperative limb control ability.

## Keywords

Anterior Cruciate Ligament Injury, Isokinetic Exercise, Knee

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

ACL 是膝关节最容易损伤的韧带, 通常在运动过程中发生损伤[1]。ACL 位于膝关节内部, 韧带中没有血管, 其营养物质主要来源于关节内的滑液和附着在韧带表面的毛细血管供应, ACL 发生撕裂后很难自愈[2]。ACL 损伤不仅会导致患者出现膝关节疼痛、肿胀和活动受限, 还会导致反复的膝关节不稳定、半月板撕裂、软骨损伤[3]。根据最近的流行病学统计, ACL 损伤的发生率一直在增加。仅在美国, 每年就有超过 25 万人患有前交叉韧带损伤[4]。目前自体肌腱重建 ACL 是治疗 ACL 撕裂的首选方法。然而, 术后的康复是巩固手术效果和恢复关节健康的关键[1]。许多患者在术后受到肌肉质量损失和股四头肌自主激活抑制的影响而在最初的康复阶段出现明显的股四头肌无力, 部分患者重建 ACL 术后的力量不足甚

至持续长达三年[5][6]。患者在术侧肢体和未手术肢体之间力量不平衡的情况下重返运动,可能导致膝关节的异常力学改变和功能受限,增加韧带损伤和膝关节骨性关节炎发展的风险[7][8]。

目前关于 ACLR 的隧道路径、移植物的选择有较多研究,但缺乏针对前交叉韧带重建术后重返运动的相关报道[8][9][10]。本研究拟采用患者自述结合膝关节功能评分的判定标准、术后 1 月、术后 3 月的股四头肌等速肌力测试结果,对患者进行随访,并回顾分析病例的临床资料,探讨 ACL 损伤的发病机制以及影响 ACL 重建术预后的相关因素,为今后 ACL 重建患者的预后研究和 ACL 术后辅助重返运动的设备开发提供参考依据和理论基础。

## 2. 研究方法

本研究为前瞻性研究,在 2021 年 12 月至 2024 年 2 月收集了来自青岛大学附属医院、青岛市立医院的前交叉韧带重建患者的病例资料,所有患者均由同一主任医师完成 ACL 重建。根据患者术后 4 周后是否能够坚持进行为期 2 月的等速训练进行分组纳入与排除。遵循的程序符合人体试验伦理学标准,并得到青岛市立医院伦理委员会及会的批准(批件号:2024-KY-012)以及青岛大学附属医院伦理委员会的批准(批件号:QYFY WZLL 28381)。

### 2.1. 一般资料

#### ACL 重建组分为等速训练组、常规康复治疗组

1) 纳入标准: a) 年龄 18~40 岁,性别不限。b) 能够坚持采用等速训练康复治疗的 ACL 重建术后患者纳入等速训练组,未能够进行持续等速训练康复治疗、仅接受常规康复方案的患者纳入对照组。

2) 排除标准: a) 双侧 ACL 损伤患者; b) 合并有其他韧带损伤; c) 合并有下肢骨折患者; d) 存在先天的关节发育异常、下肢畸形的患者; e) 既往有膝关节周围手术史的患者; f) 存在中断训练超过 3 天的患者不得纳入任何分组; g) 合并较多基础疾病,不能参与一般活动者,所有入选患者均能进行等速肌力测试,部分患者在损伤急性期,由于剧烈疼痛、肿胀,膝关节不能耐受主观症状,因而不能主动屈伸活动,应予以排除;合并较多基础疾病患者不能耐受等速肌力测试,也应给予排除。

坚持采用等速训练康复治疗的 ACL 重建术后患者 49 例作为等速训练组,未进行过等速训练康复治疗仅在术后 4 周内进行了常规康复治疗的 ACL 重建术后患者作为对照组,纳入 46 例。最终,49 例患者被纳入等速训练组,46 例患者被纳入对照组。以上 85 例患者的 ACL 重建术均由主任医师主刀完成,韧带来源为自体同侧腘绳肌肌腱,术后未出现感染、髌骨脱位现象等并发症。等速训练组为纳入的于术后 4 周末开始接受等速运动训练的患者。

### 2.2. 病例一般资料

记录每位纳入病例的基本信息:姓名、性别、年龄、身高、体重、联系方式、病例信息(具体诊断、手术时间、康复流程)。

### 2.3. 手术方案

患者麻醉实施成功后取仰卧位,左下肢处于可屈膝 90°位,常规消毒、铺巾,贴护皮膜。充气止血带充至 260 mmHg。自左膝关节间隙水平髌韧带两侧旁各开一 0.8 cm 入口直达关节腔。自外侧入口处置入关节镜,依一定次序检查关节腔,见膝关节髌骨关节面光滑完整,外侧间沟处滑膜皱襞增多,关节腔内滑膜轻度增生,前交叉韧带股骨止点撕裂,后交叉韧带结构尚完整,外侧半月板后角与体部纵行撕裂,内侧半月板完整,膝内其余结构尚完整。清理关节内增生的滑膜。应用刨削器、篮钳将外侧半月板后角体部修整,半月板缝合器缝合两针,探钩探查缝合的半月板牢固。获取自体肌腱:作左膝胫骨结节内侧

一约 3 cm 纵形切口，逐层切开皮肤、皮下组织、浅筋膜、显露鹅足，取腱器取半腱肌、股薄肌肌腱，处理肌腱，编制备用，半腱肌腱双折、股薄肌腱双折后形成 4 股肌腱移植植物，测直径为股骨侧 8 mm，胫骨侧 8 mm。应用刨削器作髁间窝清理术，定位前交叉韧带股骨止点，打入导针，用 4.5 mm 空心钻扩孔，测量股骨隧道深度为 36 mm，选用可调悬吊钛板，股骨隧道用 8 mm 空心钻钻深度为 20 mm。定位胫骨隧道内口，安装胫骨隧道导向器，打入导针，用 8 mm 胫骨钻扩孔。屈膝 90° 位，将编好的肌腱由导针引入，经胫骨隧道拉入股骨隧道，翻转带袢钛板使其固定于股骨髁上，于胫骨隧道处拧入一钉鞘及一枚 6-8X30 mm 螺钉固定。再次被动活动左膝，并作前后抽屉试验，稳定性良好；探查见重建的前交叉韧带张力良好，伸直位无撞击。大量生理盐水冲洗关节腔，清点器无误后撤除关节镜器械，逐层缝合皮肤，缝合后关节腔内注射玻璃酸钠、凝血酶、罗哌卡因，弹力绑带加压包扎后松止血带。术后由 1 名骨科医师、1 名外科护士、1 名麻醉师、1 名护工在患者家属陪同下护送患者安全返回病房。

## 2.4. 康复方案

### 2.4.1. 术后常规康复治疗方案

术后 1 天到 2 周内行股四头肌收缩训练、踝泵训练、关节活动度训练、仰卧位和坐位足跟滑动训练。术后 3 天如无疼痛、肿胀现象，佩戴支具行直腿抬高训练、髋关节外展、后伸练习。患者可根据自身耐受情况，在铰链式膝关节支具和拐杖支撑下行部分负重训练。术后 2~4 周可借助拐杖或助行器行保护下渐进负重练习，在仰卧位行髋关节外展、内收肌群的肌力强化练习，在坐位加强膝关节屈伸肌的主动肌力训练。在患者耐受情况下指导患者循序渐进地进行康复训练，运动后需冰敷 15~20 分钟。

### 2.4.2. 等速运动组康复流程



**Figure 1.** Isokinetic pre-training warm-up exercises  
**图 1.** 等速运动训练前热身练习

术后 4 周内按照医院常规康复流程进行康复训练，术后 4 周开始进行等速运动训练。所有患者在进等速测试或训练前，均由专业的关节外科医师及康复治疗师进行评估，并记录膝关节 ROM、膝关节疼痛评分、Lysholm 膝关节评分，告知患者等速肌力测试及训练过程中的注意事项。在等速肌力测试开始前帮助患者熟悉测试过程，以便患者能很好的配合完成测试。在等速训练前，患者进行 10 分钟的热身训

练(见图 1)。采用适配器位置选择在内踝上方约 5 cm 处[11]。患者在进行等速肌力训练前、训练 4 周后及训练 8 周后分别进行等速肌力测试。患者能正确完成测试动作后, 休息 2 分钟, 然后对研究对象进行膝关节等速肌力测试。测试角度为 0~90 度, 测试速度为 60°/秒, 重复 5 次, 重力补偿。等速肌力训练前后各时间点等速肌力测试方法一致。记录患者峰力矩值、总功、H/Q 比值[12][13]。

## 2.5. 康复治疗指标

### 2.5.1. 疼痛 VAS 评分

要评分范围为 0~10 内的数字, 其中规定数字 0 代表“无疼痛感”, 数字 1, 2, 3 代表患者的“轻微疼痛感”并不对生活产生不利, 数字 4, 5, 6 则代表患者“一般的疼痛程度, 对患者的生活有一定程度的影响, 且该影响以通过休息后减弱”, 数字 7, 8, 9 代表患者的“中度疼痛感, 该疼痛感已经产生比较严重的不利, 导致患者的睡眠受到干扰的程度”, 而数字 10 表示“疼痛的最高级, 使得患者对该疼痛无法忍受”。

### 2.5.2. 膝关节活动度

使用特制的关节角度尺对患者的关节活动进行测量, 将量角器的放于股骨侧, 同时保持手臂与股骨方向保持一致, 外侧和大腿腓骨头的连线为测量的移动臂, 患者尽力伸展和屈曲膝关节 3 次, 关节角度尺测量是二次运动中伸展和屈曲的角度值, 并对三次测量值取均值。

### 2.5.3. Lysholm 评分

通过膝关节 Lysholm 评分表进行评分, 该评分以 100 分为满分, 其中得分越高者代表其膝关节功能性越好。是评价康复治疗和骨科治疗中膝关节的中整体症状和功能状况的参数, 是采取调查统计的方法得出的, 通常包括膝关节的有无疼痛感、肿胀感、有无出现走路障碍、走路是否需要进行辅助、身体关节是否出现不稳定、身体重心下沉是否出现痛苦、爬坡上楼梯是否有障碍, 该评分以 100 分为满分, 其中得分越高者代表其膝关节功能性越好。

### 2.5.4. 峰力矩值

峰力矩值(PT): 是等速过程中肌肉最大收缩时的力矩, 是衡量等速运动过程重要参数之一, 通常在运动中可以采集多次, 本康复训练中使用广州一康 A-8 等速训练仪进行测量受试者的屈伸肌值, 可通过等速仪分析后在界面记录(见图 2)[14]。

### 2.5.5. 腘绳肌与股四头肌峰力矩比值(H/Q 比值)

H/Q 比值为腘绳肌与股四头肌峰力矩比值, 可用来评价膝关节前后稳定性及肌群的协调性, 正常范围约为 50%~60%。膝关节损伤后 H/Q 比值发生改变, 达不到正常范围。H/Q 比值若恢复到正常范围, 则代表膝关节稳定性的提高[15][16]。

## 2.6. 统计学分析

将上述采集的 ACL 重建术后患者的康复训练前、训练 4 周、训练 12 周的数据汇总后使用 SPSS 统计软件进行数据处理和分析。数据中呈现正态分布进行 t 检验; 对于不呈现正态分布的数据采用秩和检验。双侧  $\alpha = 0.05$ ,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。在比较等速训练组和对照组的年龄、身高、体重、BMI、术后时间、疼痛 VAS 评分、膝关节活动度、Lysholm 评分、峰力矩值、H/Q 比值时, 根据其是否满足正态性和方差齐性, 采用两独立样本 t 检验或 Mann-Whitney U 检验; 在比较性别、侧别、H/Q 正常比值的分布等分类变量时, 本研究采用卡方检验的统计方法。对于等速训练组在训练开始时(术后 4 周)、训练 4 周后(术后 8 周)、训练 8 周后(术后 12 周)的 60°/s 伸肌和屈肌峰值力矩、180°/s 的伸肌和屈肌峰值力矩数

据在分析前要进行球形检验, 检验结果  $P > 0.05$ , 则说明这组重复测量数据之间不存在相关性, 测量数据符合 Huynh-Feldt 条件, 采用单因素方差分析; 如果检验结果  $P < 0.05$ , 则说明重复测量数据之间存在相关性, 使用重复测量设计的方差分析模型。

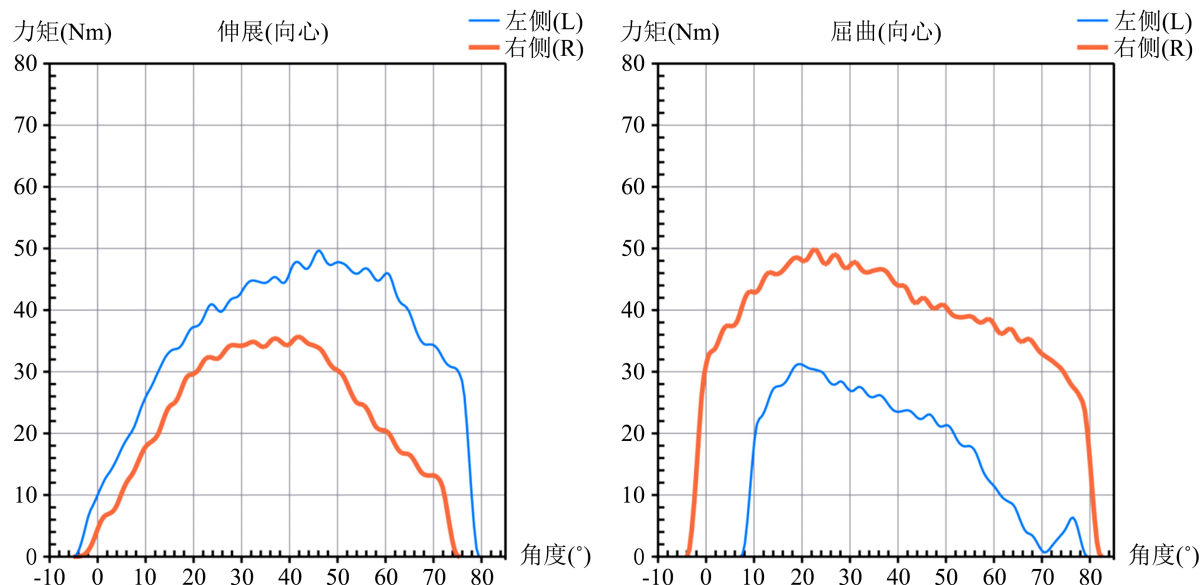


Figure 2. Isokinetic tester curve interface

图 2. 等速测试仪曲线界面

### 3. 结果

#### 3.1. 患者一般情况比较

在本研究纳入的 85 例研究对象中, 最终 79 例在术后 3 月获得随访, 失访率为 5.9%。在 79 例完成随访的患者中, 根据术后 4 周后是否坚持进行了 1 个月以上的等速运动训练, 分为等速训练组(40 例)和对照组(39 例)。其中等速训练组的年龄分布在 18 岁~28 岁, 在基线上等速训练组数据和对照组数据之间没有观察到显著差异( $P > 0.05$ ) (见表 1)。

Table 1. Comparison of general baseline information between isometric training and control groups

表 1. 等速训练组和对照组的一般基线资料比较

	等速训练组	对照组	P 值
年龄(岁)	22.77± 1.93	23.57± 2.92	0.151
身高(cm)	176.47 ± 3.93	175.40 ± 4.76	0.277
体重(kg)	71.21 ± 3.65	70.96 ± 3.24	0.748
BMI (Kg/m <sup>2</sup> )	22.87 ± 0.98	23.08 ± 0.94	0.334
术后评估时间 1 (月)	1.23 (1.13, 1.33)	1.20 (1.13, 1.47)	0.137
术后评估时间 2 (月)	2.43 (2.34, 2.57)	2.31 (2.24, 2.58)	0.324
术后评估时间 3 (月)	3.33 (3.23, 3.47)	3.20 (3.13, 3.47)	0.167

续表

性别	$\chi^2 = 3.67$		0.055
男	27	18	/
女	13	21	/
侧别	$\chi^2 = 3.033$		0.082
左	30	22	/
右	10	17	/

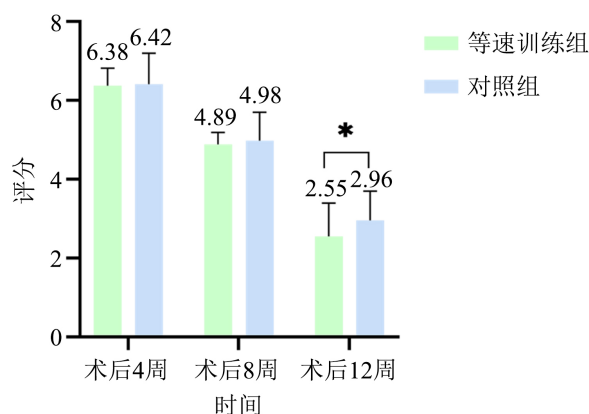
### 3.2. 疼痛 VAS 评分

ACL 重建术后患者膝关节仍然存在不同程度的疼痛, 我们统计分析了两组术后 4 周、术后 8 周、术后 12 周的 VAS 评分(见表 2)。40 名等速训练组患者术后 4 周内平均 VAS 评分为  $6.38 \pm 0.44$ 。对照组术后 4 周内平均 VAS 评分为  $6.38 \pm 0.24$ 。术后 8 周复查时, 等速训练组平均 VAS 评分为  $4.89 \pm 0.30$ , 对照组  $4.98 \pm 0.72$ 。术后 4 周、术后 8 周两组疼痛评分无显著差异, VAS 差值无显著差异( $P > 0.05$ ) (见图 3)。患者康复训练 8 周后, 即术后 12 周, 与对照组相比存在差异。术后 12 周等速训练组平均 VAS 评分为  $2.55 \pm 0.85$ , 对照组  $2.96 \pm 0.74$ 。术后 8 周~12 周的等速训练对于减轻部分患者膝关节的疼痛可能有一定作用。

**Table 2.** Comparison of changes in scores in isometric training and control groups ( $\bar{x} \pm S$ )

**表 2.** 等速训练组和对照组的评分变化比较( $\bar{x} \pm S$ )

	等速训练组	对照组	P 值
术后 4 周(等速训练前)	$6.38 \pm 0.44$	$6.42 \pm 0.78$	0.805
术后 8 周	$4.89 \pm 0.30$	$4.98 \pm 0.72$	0.501
术后 12 周	$2.55 \pm 0.85$	$2.96 \pm 0.74$	0.024
VAS 变化值 1 (VAS <sub>术后 8 周</sub> ~VAS <sub>术后 4 周</sub> )	$1.49 \pm 0.25$	$1.44 \pm 0.22$	0.362
VAS 变化值 2 (VAS <sub>术后 12 周</sub> ~VAS <sub>术后 8 周</sub> )	$2.35 \pm 0.82$	$2.02 \pm 0.30$	0.021



**Figure 3.** VAS scores at 4 weeks postoperatively, 8 weeks postoperatively, and 12 weeks postoperatively in both groups. Pain decreased gradually with postoperative time

**图 3.** 两组患者术后 4 周、术后 8 周、术后 12 周 VAS 评分。随着术后时间的推移, 疼痛逐渐减轻

### 3.3. 膝关节活动度

ACL 重建术后患者通常存在一定程度的关节活动受限, 经过等速康复训练后患者的活动范围能够有所改善。术后 4 周等速训练组和对照组的 ROM 分别为  $85.0 \pm 2.8$ ,  $85.7 \pm 3.8$ , 无显著差异( $P > 0.05$ )。术后 8 周、术后 12 周等速训练组、对照组的 ROM 分别为  $104.7 \pm 9.2$ ,  $95.0 \pm 4.6$ ,  $20.5 \pm 9.3$ ,  $20.0 \pm 10.3$ , 差异有意义( $P < 0.01$ ) (见表 3)。通过比较两组患者术后 4 周、术后 8 周、术后 12 周 ROM 测量值的数据, 我们发现随着术后时间推移, 患者关节活动度逐渐增高。

**Table 3.** Knee isokinetic training group and control group mobility ( $\bar{x} \pm S$ )

**表 3.** 膝关节等速训练组与对照组活动度( $\bar{x} \pm S$ )

	等速训练组	对照组	P 值
术后 4 周(等速训练前) (°)	$85.0 \pm 2.8$	$85.7 \pm 3.8$	0.105
术后 8 周	$104.7 \pm 9.2$	$95.0 \pm 4.6$	<0.01
ROM 差值 1 (ROM <sub>术后 8 周</sub> ~ROM <sub>术后 4 周</sub> ) (°)	$19.7 \pm 8.9$	$9.3 \pm 5.3$	<0.01
术后 12 周	$125.2 \pm 4.4$	$115 \pm 8.5$	0.001
ROM 差值 2 (ROM <sub>术后 12 周</sub> ~ROM <sub>术后 8 周</sub> ) (°)	$20.5 \pm 9.3$	$20.0 \pm 10.3$	0.772

### 3.4. Lysholm 评分

采用 Lysholm 评分评估膝关节整体功能, 分析后发现经过等速运动训练组患者较之前评分明显提高, 膝关节功能改善明显。术后 4 周两组患者评分分别为  $46.17 \pm 5.57$ ,  $47.77 \pm 2.77$ , 两组比较无显著差异( $P > 0.05$ )。术后 8 周两组分别为  $57.50 \pm 3.80$ ,  $52.74 \pm 3.57$ 。术后 12 周两组分别为  $75.03 \pm 3.35$ ,  $70.15 \pm 2.72$ 。术后 8 周、术后 12 周两组 Lysholm 评分有显著意义( $P < 0.001$ )。术后 8 周到术后 4 周的变化值差异有显著意义( $P < 0.001$ ), 而术后 12 周到 8 周的变化值差异无显著意义(见表 4)。

**Table 4.** Isometric training group vs. control group lysholm score ( $\bar{x} \pm S$ )

**表 4.** 等速训练组与对照组 lysholm 评分( $\bar{x} \pm S$ )

	等速训练组	对照组	P 值
术后 4 周	$46.17 \pm 5.57$	$47.77 \pm 2.77$	0.112
术后 8 周	$57.50 \pm 3.80$	$52.74 \pm 3.57$	<0.001
术后 12 周	$75.03 \pm 3.35$	$70.15 \pm 2.72$	<0.001
Lysholm 差值 1 (I <sub>术后 8 周</sub> ~I <sub>术后 4 周</sub> )	$11.32 \pm 6.28$	$4.97 \pm 3.82$	<0.001
Lysholm 差值 1 (I <sub>术后 12 周</sub> ~I <sub>术后 8 周</sub> )	$17.52 \pm 4.95$	$17.41 \pm 4.42$	0.914

### 3.5. 峰力矩值

ACL 重建术患者治疗后存在运动功能减退的情况, 经过等速运动康复训练后患者膝关节肌力有所提升, 采用峰力矩值进行衡量, 对比训练前后数据发现等速训练 4 周后, 训练角速度为  $60^\circ/s$  条件、 $180^\circ/s$  下伸肌和屈肌峰力矩值都呈现显著性差异( $P < 0.05$ )。接受等速训练 8 周患者在  $60^\circ/s$  条件、 $180^\circ/s$  条件下



伸肌和屈肌峰力矩值都呈现显著差异( $P < 0.05$ ) (见表 5)。

**Table 5.** Peak moment values of knee muscle strength after isokinetic training ( $\bar{x} \pm S$ )

**表 5.** 等速训练后膝关节肌力峰力矩值( $\bar{x} \pm S$ )

	伸肌峰力矩值(N*m) (Q)			屈肌峰力矩值(N*m) (H)		
	术后 4 周	术后 8 周	术后 12 周	术后 4 周	术后 8 周	术后 12 周
60°/s	54.53 ± 14.32	72.31 ± 9.7	114.13 ± 19.22	25.15 ± 5.74	31.24 ± 6.74	69.5 ± 12.4
差值	-	7.68 ± 5.63	42.43 ± 9.66	-	6.32 ± 3.76	43.8 ± 7.8
180°/s	46.7 ± 11.4	52.3 ± 13.5	54.32 ± 16.21	28.6 ± 6.62	32.6 ± 5.6	33.7 ± 8.1
差值	-	10.9 ± 1.1	9.3 ± 2.7	-	6.7 ± 2.2	3.9 ± 7.2

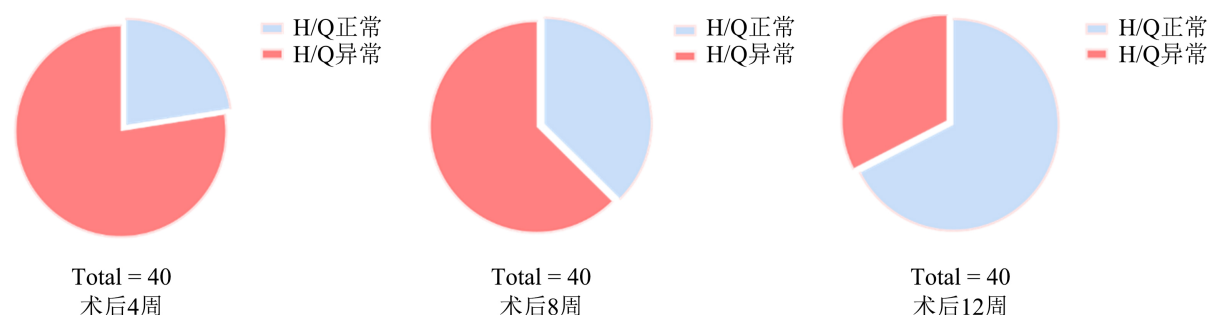
### 3.6. 患侧腓绳肌与股四头肌峰力矩值比值(H/Q 比值)

前交叉韧带重建术患者治疗后仍存在一定程度的关节不稳问题, 正常 H/Q 比值范围约在 50%~60% [17]。对比训练前、等速训练第 4 周、8 周的受试者, 按照 50%~60%程度的 H/Q 进行评估, 详细记录, 分析后发现经过康复治疗患者 H/Q 比值卡方检验有统计学意义( $\chi^2 = 7.68, P = 0.021$ ) (见表 6, 图 4)。

**Table 6.** Distribution of abnormal H/Q numbers before and after isometric training

**表 6.** 等速训练前后的异常 H/Q 人数分布

	术后 4 周	术后 8 周	术后 12 周
H/Q 正常(例)	9	15	27
H/Q 异常(例)	31	25	13



**Figure 4.** Distribution of H/Q numbers at 4, 8 and 12 weeks of isokinetic training

**图 4.** 等速训练 4 周、8 周、12 周 H/Q 人数分布

## 4. 讨论

ACL 重建手术后, 由于肌肉萎缩和关节源性抑制, 患者的下肢力量显著丧失[18] [19]。在手术后的前 12 周, 膝伸肌和屈肌肌肉明显无力, 损害下肢功能和生活质量[10] [15] [20]。ACLR 手术后, 肌肉无力可能持续数年, 并与功能慢性下降、高再损伤风险和关节退化有关[21] [22] [23]。因此, 在康复过程的早期针对肌肉力量减弱进行系统的运动训练是当务之急。

与传统的徒手肌力测试或测力计不同, 等速肌力测试系统能够预先设定肌肉工作的角速度, 保证肌肉工作过程中的等速运动, 从而实现了测试的安全性, 保障受试者在锻炼和康复中的安全[24]。此外, 多

个临床研究已经等速肌力测试系统具有可重复性高、结果相对准确稳定的特点[25] [26]。等速肌力测试系统已经成为评估肌肉力量和疲劳指数的常用手段,然而目前等速肌力训练仍未推广[15]。当前需要更多关于等速训练的临床研究以确证等速训练是否能够有效改善患者的膝关节功能和双侧屈伸肌的平衡恢复情况[25] [27]。本研究就等速运动对 ACL 重建术后的膝关节屈伸肌力和运动功能进行了研究,探索 ACL 术后运动康复方案的优化设计。

根据统计结果可以看出,等速训练对膝关节屈伸肌力恢复以及双侧膝关节前后动态平衡恢复的显著意义。H/Q 值是评价膝关节屈伸肌力平衡和对称性的重要指标,是影响膝关节稳定性的重要因素。国外研究给出的等速向心收缩时 H/Q 的参考值 60(°)/s 时为 0.60~0.69 [28]。国外临床研究前交叉韧带重建术后经过运动训练的患侧等速肌力通常在术后 12 周伸肌的峰力矩值达到 110~150 N\*m,本研究中得到的伸肌峰力矩值测试结果平均值与相关文献的等速肌力范围相符[29] [30]。本研究发现为期 2 月的等速运动训练能够有利于双侧屈肌、伸肌肌肉力量平衡的恢复和膝关节整体功能水平的提高,有利于患者更早地重返日常活动和生活。本研究从多个中心招募 ACL 重建术后病例,根据是否在术后 4 周~12 周进行规律的、系统的等速运动训练分为等速训练组和对照组,结果证明在 ACL 重建术后患者的康复训练中加入系统的等速运动训练能够有效提高膝关节屈伸肌的峰值力矩和肌肉耐力,促进患者回归正常的 H/Q 值。本研究在术后 4 周、术后 8 周、术后 12 周对两组患者进行了疼痛和 Lysholm 评分的分析,结果显示等速训练能够在一定程度上改善患者的疼痛,提高患者下肢肢体控制能力和日常活动功能。

然而,本研究仍存在以下不足之处。首先,本研究没有对非术侧肢体进行等速肌力的评估,忽略了患侧腿与健侧腿膝关节屈伸肌力量和平衡能力的对比。其次,本研究应扩大样本量,收集更多地区的 ACL 重建资料,以探讨其发病特点和康复预后结局。

## 5. 结论

综上所述,在 ACL 重建术后患者的康复训练中加入系统的等速运动训练能够有效改善 ACL 重建术后患者的疼痛,提高膝关节屈伸肌的力量和平衡,促进患者重返健康的运动模式。

## 基金项目

- 1) 山东省重点研发计划项目(2021SFGC0502);
- 2) 青岛市市南区科技局计划项目(2023-2-011-YY)。

## 参考文献

- [1] Brinlee, A.W., Dickenson, S.B., Hunter-Giordano, A., et al. (2022) ACL Reconstruction Rehabilitation: Clinical Data, Biologic Healing, and Criterion-Based Milestones to Inform a Return-to-Sport Guideline. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, **14**, 770-779. <https://doi.org/10.1177/19417381211056873>
- [2] Kotsifaki, R., Korakakis, V., King, E., et al. (2023) Aspetar Clinical Practice Guideline on Rehabilitation after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Consensus Statement*, **57**, 500-514. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106158>
- [3] Beard, D.J., Davies, L., Cook, J.A., et al. (2022) Rehabilitation versus Surgical Reconstruction for Non-Acute Anterior Cruciate Ligament Injury (ACL SNNAP): A Pragmatic Randomised Controlled Trial. *The Lancet*, **400**, 605-615. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01424-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01424-6)
- [4] Jiang, S. (2023) Incidence and Recovery of Anterior Cruciate Ligament Rupture Combined with Posterolateral Tibial Plateau Fracture in the East China Population: A 2-Year Follow-Up Study. Preprint. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3120715/v1>
- [5] Ong, M.T.-Y. (2022) Persistent Quadriceps Muscle Atrophy after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Is Associated with Alterations in Exercise-Induced Myokine Production. *Asia-Pacific Journal of Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation and Technology*, **29**, 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.asmart.2022.05.001>
- [6] 田维思. 前交叉韧带损伤风险筛查工具研究进展[J]. 当代体育科技, 2023, 13(8): 26-29.

- [7] Li, K. (2022) Anti-Inflammatory and Immunomodulatory Effects of the Extracellular Vesicles Derived from Human Umbilical Cord Mesenchymal Stem Cells on Osteoarthritis via m2 Macrophages. *Journal of Nanobiotechnology*, **20**, Article No. 38. <https://doi.org/10.1186/s12951-021-01236-1>
- [8] Zou, J. (2023) Therapeutic Potential and Mechanisms of Mesenchymal Stem Cell-Derived Exosomes as Bioactive Materials in Tendon-Bone Healing. *Journal of Nanobiotechnology*, **21**, Article No. 14. <https://doi.org/10.1186/s12951-023-01778-6>
- [9] Buerba, R.A., Boden, S.A. and Lesniak, B. (2021) Graft Selection in Contemporary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *JAAOS Global Research & Reviews*, **5**, e21.00230. <https://doi.org/10.5435/JAAOSGlobal-D-21-00230>
- [10] Alomar, A.Z., Nasser, A.S.B., Kumar, A., et al. (2022) Hamstring Graft Diameter above 7mm Has a Lower Risk of Failure Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **30**, 288-297. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06503-0>
- [11] Fang, K., Dai, Z. and Lin, X. (2023) The Tibial Insertion of the Hamstring Can Be Considered to Be Preserved during Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Frontiers in Surgery*, **9**, Article 996289. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.996289>
- [12] Davies, W.T. (2020) Is It Time We Better Understood the Tests We Are Using for Return to Sport Decision Making Following ACL Reconstruction? A Critical Review of the Hop Tests. *Sports Medicine*, **50**, 485-495. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01221-7>
- [13] Minshull, C. (2021) Contralateral Strength Training Attenuates Muscle Performance Loss Following Anterior Cruciate Ligament (ACL) Reconstruction: A Randomised-Controlled Trial. *European Journal of Applied Physiology*, **121**, 3551-3559. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04812-3>
- [14] Sengoku, T. (2021) The Effect of Gracilis Tendon Harvesting in Addition to Semitendinosus Tendon Harvesting on Knee Extensor and Flexor Strength after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **142**, 465-470. <https://doi.org/10.1007/s00402-021-03877-1>
- [15] Wang, K., Cheng, L., Wang, B., et al. (2023) Effect of Isokinetic Muscle Strength Training on Knee Muscle Strength, Proprioception, and Balance Ability in Athletes with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomised Control Trial. *Frontiers in Physiology*, **14**, Article 1237497. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1237497>
- [16] Ong, M.T.-Y., Chan, J.S.-Y., Man, G.C.-W., et al. (2024) Effect of Eccentric Isokinetic Exercise on Muscle Strength and Functional Recovery after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Asia-Pacific Journal of Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation and Technology*, **35**, 20-26. <https://doi.org/10.1016/j.asmart.2023.11.002>
- [17] Read, P.J., Trama, R., Racinais, S., et al. (2022) Angle Specific Analysis of Hamstrings and Quadriceps Isokinetic Torque Identify Residual Deficits in Soccer Players Following ACL Reconstruction: A Longitudinal Investigation. *Journal of Sports Sciences*, **40**, 871-877. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.2022275>
- [18] Oláh, T., Michaelis, J.C., Cai, X., et al. (2021) Comparative Anatomy and Morphology of the Knee in Translational Models for Articular Cartilage Disorders. Part II: Small Animals. *Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger*, **234**, Article 151630. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2020.151630>
- [19] Benjamin, M., Toumi, H., Ralphs, J.R., et al. (2006) Where Tendons and Ligaments Meet Bone: Attachment Sites ('Entheses') in Relation to Exercise and/or Mechanical Load. *Journal of Anatomy*, **208**, 471-490. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2006.00540.x>
- [20] Sanders, T.L. (2017) Long-Term Follow-Up of Isolated ACL Tears Treated without Ligament Reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **25**, 493-500. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4172-4>
- [21] Wong, C.-C., Yeh, Y.-Y., Yang, T.-L., et al. (2020) Augmentation of Tendon Graft-Bone Tunnel Interface Healing by Use of Bioactive Platelet-Rich Fibrin Scaffolds. *The American Journal of Sports Medicine*, **48**, 1379-1388. <https://doi.org/10.1177/0363546520908849>
- [22] Dong, Z., Yang, C., Zhang, D., et al. (2024) The Application of Human Medical Image-Based Finite Element Analysis in the Construction of Mouse Osteoarthritis Models. *Heliyon*, **10**, E26226. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26226>
- [23] Thoma, L.M., Grindem, H., Logerstedt, D., et al. (2020) Coper Classification Early after ACL Rupture Changes with Progressive Neuromuscular and Strength Training and Is Associated with Two-Year Success: The Delaware-Oslo ACL Cohort Study. *The American Journal of Sports Medicine*, **47**, 807-814. <https://doi.org/10.1177/0363546519825500>
- [24] Rivera-Brown, A.M., Frontera, W.R., Fontánez, R., et al. (2022) Evidence for Isokinetic and Functional Testing in Return to Sport Decisions Following ACL Surgery. *PM&R*, **14**, 678-690. <https://doi.org/10.1002/pmrj.12815>
- [25] Genç, A.S. and Güzel, N. (2022) Traditional and Additional Isokinetic Knee Strength Assessments of Athletes; Post-Operative Results of Hamstring Autograft ACL Reconstruction. *Medicina*, **58**, Article 1187. <https://doi.org/10.3390/medicina58091187>
- [26] Aizawa, J., Hirohata, K., Ohji, S., et al. (2021) Correlations between Isokinetic Knee Torques and Single-Leg Hop

- Distances in Three Directions in Patients After ACL Reconstruction. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, **13**, Article No. 38. <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00265-5>
- [27] Bolcos, P.O., Mononen, M.E., Mohammadi, A., *et al.* (2018) Comparison between Kinetic and Kinetic-Kinematic Driven Knee Joint Finite Element Models. *Scientific Reports*, **8**, Article No. 17351. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35628-5>
- [28] Asouzu, N.C., Mong, E., Agha, M., *et al.* (2024) Relationship between Hamstrings-Quadriceps Strength Ratio and the Performance of Tasks in Berg's Balance Scale among Stroke Survivors in Abakaliki, Nigeria. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine, Open Access*, **10**, e001826. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2023-001826>
- [29] Friedmann-Bette, B., Profit, F., Gwechenberger, T., *et al.* (2018) Strength Training Effects on Muscular Regeneration after ACL Reconstruction. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **50**, 1152-1161. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001564>
- [30] Gabriel, A., Konrad, A., Herold, N., *et al.* (2024) Testing the Posterior Chain: Diagnostic Accuracy of the Bunkie Test versus the Isokinetic Hamstrings/Quadriceps Measurement in Patients with Self-Reported Knee Pain and Healthy Controls. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article 1011. <https://doi.org/10.3390/jcm13041011>