

移植物类型对前交叉韧带重建后患者膝关节功能的影响

李露祎¹, 厉晓杰², 黑泽明¹, 刘华¹<https://doi.org/10.12307/2024.478>

投稿日期: 2023-07-25

采用日期: 2023-09-12

修回日期: 2023-09-19

在线日期: 2023-10-07

中图分类号:

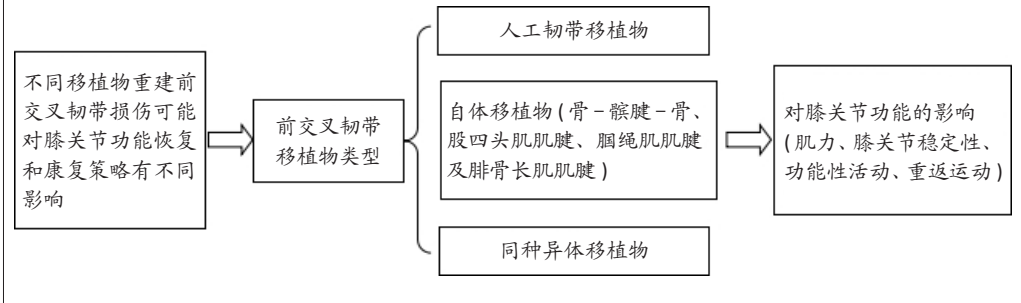
R459.9; R318.08; R-1

文章编号:

2095-4344(2024)17-02753-06

文献标识码: A

文章快速阅读: 前交叉韧带重建后不同种类移植物对膝关节功能和康复策略的影响



文题释义:

前交叉韧带: 是膝关节(股胫关节)中重要的结缔组织,起自胫骨平台髁间棘前方,终止于股骨外侧髁内侧面后部,共分为前内侧和后外侧两束。前交叉韧带是膝关节重要的旋转稳定器,主要用于限制胫骨的前移和内旋,保证膝关节运动的正常生物力学,防止造成膝关节损伤。

移植物: 最为常见的移植物分为自体移植物、同种异体移植物及人工韧带移植物。自体移植物感染风险小、供体部位发病率低、愈合较快,但易造成供体位置疼痛、肌肉萎缩等;同种异体移植物可以有效解决供体部位发病率高的问题,但传播疾病的风险较高且花费较高;人工韧带移植物不存在供体发病的问题且生物力学强、相容性好,但恢复较为缓慢、韧带碎片易脱落。

摘要

背景: 临床上常采用移植物重建前交叉韧带,而不同移植物类型又影响着患者术后膝关节功能和康复方案的制定。

目的: 回顾分析不同移植物类型对前交叉韧带重建后患者肌力、关节稳定性、功能性活动及重返运动的影响。

方法: 在PubMed、Web of Science、Cochrane、中国知网、万方数据库中进行检索,中文检索词为“前交叉韧带重建术,自体移植物,同种异体移植物,人工韧带,骨-髌腱-骨,股四头肌肌腱,腘绳肌肌腱,腓骨长肌肌腱,康复训练,重返运动”;英文检索词为“anterior cruciate ligament reconstruction, autografts, allografts, artificial ligaments, bone-patellatendon-bone, quadriceps tendon autograft, hamstring tendon autograft, peroneus longus tendon autograft, rehabilitation, exercise, protocol, return to sport”。

结果与结论: 选用骨-髌腱-骨移植物的患者应加强股四头肌离心收缩练习,康复后期应关注股四头肌耐力和爆发力的恢复。与骨-髌腱-骨移植物和腘绳肌肌腱移植物相比,选用股四头肌肌腱移植物的患者在5-8个月内符合回归标准的患者明显更少,应制定较长时间的训练计划,训练周期尽量持续到3年以上。选用腘绳肌肌腱移植物应强化多角度下腘绳肌力量训练,尤其是屈膝60°以上的周期至少持续至术后18周。选用腓骨长肌肌腱移植物的患者后续应加强踝关节周围肌肉力量,以足底肌肉力量为主。选用同种异体移植物应注意移植物经低剂量辐射消毒后其抗张力性降低20%,因此应关注膝关节稳定性训练。选用人工韧带移植物的患者3-6周内可渐进性增强股四头肌和腘绳肌力量训练,重视早期本体感觉练习,对平衡、跳跃及灵活性进行针对性训练。

关键词: 前交叉韧带重建;自体移植物;同种异体移植物;人工韧带;康复;膝关节功能

Effect of graft type on knee function after anterior cruciate ligament reconstruction

Li Luyi¹, Li Xiaojie², Hei Zeming¹, Liu Hua¹¹Capital University of Physical Education And Sports, Beijing 100191, China; ²Department of Orthopedics, Air Force Medical Center, Beijing 100142, China

Li Luyi, Master, Capital University of Physical Education And Sports, Beijing 100191, China

Corresponding author: Liu Hua, Associate professor, Capital University of Physical Education And Sports, Beijing 100191, China

Abstract

BACKGROUND: Grafts are often used to reconstruct the anterior cruciate ligament in clinical practice, while different types of grafts affect postoperative knee function and the development of rehabilitation programs.

OBJECTIVE: To retrospectively analyze the effects of different graft types on muscle strength, joint stability, functional activities, and return to sports in patients after anterior cruciate ligament reconstruction.

METHODS: Related studies were searched through PubMed, Web of Science, Cochrane, CNKI, and WANFANG databases. The Chinese and English key words were “anterior cruciate ligament reconstruction, autografts, allografts, artificial ligaments, bone-patellatendon-bone, quadriceps tendon autograft, hamstring tendon autograft, peroneus longus tendon autograft, rehabilitation, exercise, protocol, return to sport”.

¹首都体育学院,北京市 100191; ²空军特色医学中心骨科,北京市 100142

第一作者: 李露祎,女,1998年生,北京市人,汉族,硕士,主要从事运动损伤的预防与康复研究。

通讯作者: 刘华,副教授,首都体育学院,北京市 100191

<https://orcid.org/0009-0006-1734-0708>(李露祎)

基金资助: 北京高校优质本科课程(145122005/004),项目负责人: 刘华;北京高等教育“本科教学改革创新项目”(145122002/007),

项目负责人: 刘华;2023 内涵发展-科研-科技强校支持计划项目(155223021),项目负责人: 刘华

引用本文: 李露祎,厉晓杰,黑泽明,刘华.移植物类型对前交叉韧带重建后患者膝关节功能的影响[J].中国组织工程研究,2024,28(17):2753-2758.



RESULTS AND CONCLUSION: Patients with bone-patellar tendon-bone grafts should strengthen centrifugal contraction exercises of quadriceps muscle, and pay attention to the recovery of quadriceps muscle endurance and explosive power in the later stage of rehabilitation. Compared with bone-patellar tendon-bone grafts and hamstring tendon grafts, significantly fewer patients with quadriceps tendon grafts met regression criteria within 5-8 months, and a longer training plan should be developed, with the training cycle lasting as long as possible to more than 3 years. The selection of hamstring tendon grafts should strengthen the hamstring muscle strength training under multiple angles, especially the cycle of bending the knee above 60° until at least 18 weeks after surgery. Patients who choose peroneus longus tendon graft should strengthen the muscle strength around the ankle, mainly the plantar muscle strength. In the selection of allograft, attention should be paid to the reduction of tension resistance of 20% after the graft is disinfected by low-dose radiation, so attention should be paid to knee stability training. Patients who choose artificial ligament grafts can gradually enhance quadriceps and hamstring muscle strength training within 3-6 weeks, pay attention to early proprioceptive exercises, and conduct targeted training on balance, jumping, and flexibility.

Key words: anterior cruciate ligament reconstruction; autograft; allograft; artificial ligament; rehabilitation; knee joint function

Funding: Quality Undergraduate Program in Beijing Universities, No. 145122005/004 (to LH); Beijing Higher Education "Undergraduate Teaching Reform and Innovation Project", No. 145122002/007 (to LH); 2023 Connotation Development-Scientific Research-Science and Technology Strengthening Support Program, No. 155223021 (to LH)

How to cite this article: LI LY, LI XJ, HEI ZM, LIU H. Effect of graft type on knee function after anterior cruciate ligament reconstruction. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2024;28(17):2753-2758.

0 引言 Introduction

前交叉韧带损伤是年轻人和运动活跃人群中非常常见的膝关节损伤，当人体进行旋转、切割和跳跃等动作时膝关节处于轻度屈曲外翻位，此时由于股四头肌剧烈收缩，胫骨近端会受到较大的剪切力，而附着于胫骨近端的前交叉韧带无法承受此应力，导致前交叉韧带撕裂甚至断裂^[1]。前交叉韧带损伤 70%-80% 发生在非接触性运动中，包括突然减速、突然改变方向或跳跃着陆等^[2]，男性则更容易遭受接触性损伤，如足球、篮球、手球和排球等运动中的对抗性损伤^[3]，其中女性的损伤率为男性的 3-6 倍^[4]。前交叉韧带断裂后膝关节出现明显的关节不稳，严重影响膝关节功能，在运动时易出现错动感、打软腿、不能急停急转、反复绞锁等情况，如不及时治疗易引起半月板和内侧副韧带的联合损伤，从而导致关节过早老化和膝骨关节炎的发生^[5]。

由于前交叉韧带自身血供较差，断裂后较难愈合，临床上常选取肌腱、韧带等移植物进行关节镜下前交叉韧带重建替代断裂的前交叉韧带，重建时将移植物两端分别固定在股骨端和胫骨端，维持膝关节前向和旋转时的稳定性^[6]。

临床移植物类型包括自体肌腱移植物、同种异体移植物及人工韧带，其中最常用的自体肌腱移植物为骨-髌腱-骨、股四头肌肌腱、腘绳肌肌腱及腓骨长肌肌腱。不同的移植物由于取腱位置^[7]、组织学特性^[8]、生物性能^[9]、愈合时间^[10]、并发症^[11]、免疫排斥等因素影响重建术后患者肌力、关节稳定性、功能性活动及重返运动等康复计划的实施^[12]。因此，该文回顾并分析前交叉韧带重建后不同种类移植物对膝关节功能和康复策略的影响，为术后康复方案制订提供参考依据，以利于前交叉韧带重建术后患者能够更好地恢复膝关节功能，重返运动和日常活动。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源

1.1.1 检索人及检索时间 由第一作者在 2021 年 12 月进行检索。

1.1.2 检索文献时限 1983 年 1 月至 2021 年 12 月。

1.1.3 检索数据库 在 PubMed、Web of Science、Cochrane、中国知网、万方数据库中进行检索。

1.1.4 检索途径 关键词检索。

1.1.5 检索词 中文检索词为“前交叉韧带重建术，自体移植物，同种异体移植物，人工韧带，骨-髌腱-骨，股四头肌肌腱，腘绳肌肌腱，腓骨长肌肌腱，康复训练，重返运动”；英文检索词为“anterior cruciate ligament reconstruction, autografts, allografts, artificial ligaments, bone-patellatendon-bone, quadriceps tendon autograft, hamstring tendon autograft, peroneus longus tendon autograft, rehabilitation, exercise, protocol, return to sport”。

1.1.6 检索文献类型 综述性论文、研究性论文、学位论文及著作。

1.1.7 检索策略 以中国知网与 PubMed 数据库检索策略为例，见图 1。

1.2 入选标准

纳入标准: ①前交叉韧带重建中自体移植物对关节功能影响的相关研究；②前交叉韧带重建中同种异体移植物对关节功能影响的相关研究；③前交叉韧带重建中人工韧带移植物对关节功能影响的相关研究；④前交叉韧带重建后患者康复方法的相关研究；⑤前交叉韧带重建后患者重

中国知网数据库	PubMed 数据库
#1 前交叉韧带重建术	#1 anterior cruciate ligament reconstruction
#2 自体移植物	#2 autografts
#3 同种异体移植物	#3 allografts
#4 人工韧带	#4 artificial ligaments
#5 骨-髌腱-骨	#5 bone-patellatendon-bone
#6 股四头肌肌腱	#6 quadriceps tendon autograft
#7 腘绳肌肌腱	#7 hamstring tendon autograft
#8 腓骨长肌肌腱	#8 peroneus longus tendon autograft
#9 康复训练	#9 rehabilitation
#10 重返运动	#10 exercise
#11 #1 AND #2	#11 protocol
#12 #1 AND #3	#12 return to sport
#13 #1 AND #4	#13 #1 AND #2
#14 #5 AND #6 AND #7 AND #8 AND #1	#14 #1 AND #3
#15 #5 AND #6 AND #7 AND #8 AND #9	#15 #1 AND #4
#16 #5 AND #6 AND #7 AND #8 AND #10	#16 #5 AND #6 AND #7 AND #8 AND #10
	#17 #1 AND #9 AND #10 AND #12

图 1 | 中国知网与 PubMed 数据库检索策略

返运动的相关研究；⑥原创性高且结论明确的研究；⑦证据充足、结果客观及影响因子相对较高的文献。

排除标准: 观点过时、内容重复、无法获取全文、观点不明确及不相关的文献。

1.3 文献质量评估和数据的提取 在各数据库中进行相关文献的初次检索，共获取中、英文文献 1 156 篇，阅读文题、摘要，必要时阅读全文，依据纳入标准和排除标准完成初筛，排除低质量、相关性差和重复研究等的文章，最终纳入文献 100 篇完成精读，进行综述 (图 2)。

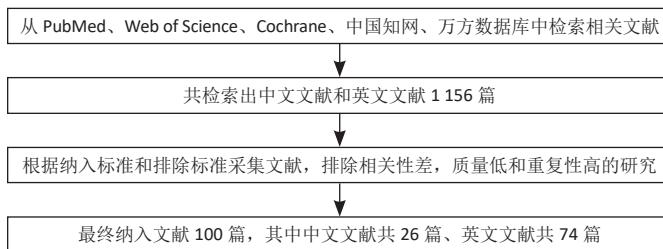


图 2 | 文献筛选流程图

2 结果 Results

2.1 移植物类型 不同移植物适用范围见图 3。

2.1.1 自体肌腱移植物 自体移植物是进行前交叉韧带重建最早使用的移植物，具有较强的韧性，能更好地满足膝关节屈伸旋转时所要求的韧带张力，经过 2 年随访发现其具有较低的再断率^[13]，且免疫排斥反应与传播感染性疾病的可能性较低，成为前交叉韧带重建术的首选^[9]，这种移植物重建后并发症较少，利于患者更快地恢复至术前运动水平^[14]。

骨-髌腱-骨: 是取自髌腱中央 1/3 处两端保留了天然肌腱-骨移植物，保留的骨质通过螺钉挤压能够在隧道内形成较为可靠的愈合界面，使其更好地融合在股骨和胫骨中^[15]，增加了重建韧带附着点的稳定性，

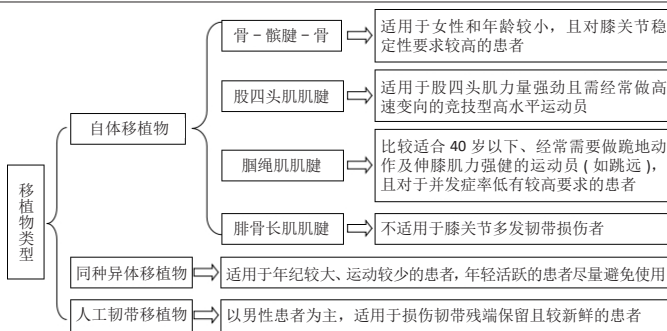


图3 | 不同移植类型适用范围

且移植失败率低、手术满意度高^[16], 因此最早作为前交叉韧带重建的“金标准”移植类型。但也有研究表明, 选用骨-髌腱-骨移植物的患者术后常常出现合并髌骨软化、髌骨骨折、髌前疼痛、屈曲挛缩等并发症, 所以此类患者进行膝关节开链运动的时间均较选用其他移植物的患者延后, 不利于肌肉力量的发展, 这可能与移植获取破坏了伸膝复合体有关^[17]。因此对于既往存在髌股关节疾病、伸膝装置对线不良及髌腱较窄的患者, 应尽量避免使用骨-髌腱-骨作为移植^[18]。

腓绳肌肌腱: 腓绳肌肌腱自体移植主要取自股薄肌和半腱肌肌腱。与骨-髌腱-骨移植相比, 腓绳肌肌腱提供的纤维间质多20%-30%、成纤维细胞多35%-50%, 在实验室中被证明是所有移植中韧性最强的^[8], 能够达到正常前交叉韧带力学强度的1.5倍^[39], 因此常被应用于重建后。此外, 腓绳肌肌腱移植可以减少髌股关节摩擦、膝前疼痛及伸直受限的发生率^[20], 这种移植更适合40岁以下人群: 运动爱好者^[15], 经常需要做跪地动作的人(如信教徒跪地祈祷等), 要求伸膝肌力强健的运动员(如跳远), 以及担心再次出现髌股关节不适的患者等^[11]。但腓绳肌肌腱自体移植存在较高的移植失败率, 同时容易引起腓绳肌无力和关节松弛^[21]。

股四头肌肌腱: 由3层组成, 最深层为股中间肌, 中间层则包括股内侧肌和股外侧肌, 而最外层为股直肌肌腱^[22]。组织学上, 股四头肌肌腱厚度是骨-髌腱-骨的1.8倍, 横截面积是相同厚度骨-髌腱-骨的2倍, 最大有效载荷可达2185-2352 N^[8], 这种组织结构使得股四头肌肌腱具有较强的力学强度和抗张能力, 与天然前交叉韧带更为相似。因此, 股四头肌肌腱移植更适用于股四头肌力量强劲且需经常做高速变向的高竞技性水平运动员, 如篮球、足球等^[9]。相对于骨-髌腱-骨移植, 采用股四头肌肌腱移植的患者出现膝前痛的比例较小、发生髌骨骨折的风险较低, 但由于取腱位置血供较为丰富, 出血和感染风险增加^[9], 同时不利于股四头肌肌力的恢复^[7]。

腓骨长肌肌腱: 位于外踝后上方, 向下近垂直走行, 经过外踝后沟在踝下转向前行, 经骰骨跖面的腓骨长肌腱沟向前内方走行, 最终止于内楔骨足底外侧及第1、2跖骨基底部。因此, 在外踝尖上2 cm的外踝后沟容易触及肌腱, 且此处无重要血管神经, 暴露更加方便, 取腱更加快捷^[23]。因取材方便、生物力学性能良好、供区并发症少、组织相容性优异及具有良好的临床效果等特点, 腓骨长肌肌腱目前逐渐应用于临床前交叉韧带重建中。生物力学研究表明, 腓骨长肌肌腱在解剖学和生物力学上具有足够的长度和弹性, 其极限拉伸强度较原生前交叉韧带更强, 且带有腱膜, 具有良好的血液供应^[24]。此外, 使用自体腓骨长肌肌腱移植可有效避免对膝关节周围韧带造成二次损伤, 尤其对于创伤所致的前交叉韧带损伤伴内外侧副韧带损伤患者, 可进一步减少对残余膝关节稳定结构的破坏, 提高其稳定性^[25]。但腓骨长肌肌腱移植不适用于膝关节多发韧带损伤者^[26]。

2.1.2 同种异体移植 对比自体移植, 同种异体移植在手术过程中不会对机体造成额外的创伤, 同时避免了取材部位并发症, 在自体肌腱取材受限时存在更多选择性, 例如髌韧带、跟腱、腓绳肌肌腱、胫骨前肌肌腱、胫骨后肌肌腱、腓骨长肌肌腱等均可作为供区取材, 其中以髌韧带、跟腱的应用最常见^[19]。同种异体移植在前交叉韧带手术中的使用比过去更普遍, 但有证据表明, 同种异体移植出现再次断裂的风险高于自体移植, 同时组织学研究显示, 同种异体移植细胞增生和血管化的过程较长, 愈合较缓慢, 不适用于青少年和运动量较大的患者^[27]。

除此之外, 同种异体移植物的使用还受到医疗成本和疾病传播的影响^[28]。

2.1.3 人工韧带移植 目前, 人工韧带移植主要分为永久性、支架型和加强型三类^[29]。LARS人工韧带是近年来使用和研究的热点, 它采用高韧性的聚酯纤维制成, 抗疲劳强度高, 并且最大载荷会随着韧带纤维数量的不同而变化, 其中30-100根人工韧带纤维最大载荷为1500-4700 N, 抗疲劳和抗重复弯曲扭转效果理想, 可满足日常活动和高强度运动所需的韧带强度^[30], 而且力学性能良好, 植入后即刻就可以得到足够的抗拉强度与关节稳定性, 使患者能够早期适应较大强度的康复训练, 更快地恢复至术前功能水平^[31]。随着人工韧带材料的进展, 其最大载荷也在不断提高, 甚至能达到正常前交叉韧带载荷的273%^[32]。因此, 选用人工韧带的患者术后恢复快, 可进行早期功能性活动, 有足够的膝关节稳定性, 同时不损伤自体组织, 避免了疾病传播及免疫排斥等并发症, 受到了部分患者的欢迎, 但因价格昂贵、组织相容性差可能引起源性关节病, 这些成为运动爱好者的顾虑^[33]。

2.2 不同移植类型对前交叉韧带重建后患者下肢肌肉力量的影响 由于前交叉韧带断裂后关节源性肌肉抑制的出现, 导致股四头肌萎缩、力量下降及恢复减缓等问题^[34], 而上述的下肢神经肌肉控制缺陷则被认为是继发性(再撕裂)前交叉韧带损伤的危险因素, 经常用于评估重返运动的准备情况, 特别是股四头肌的力量, 与前交叉韧带重建后腿部的功能有关。

由于骨-髌腱-骨和股四头肌肌腱移植均对膝关节伸膝复合体存在创伤, 因此, 选用骨-髌腱-骨和股四头肌肌腱两种移植物的患者存在显著的股四头肌萎缩、力量下降、恢复速度变慢等问题^[8]。选用骨-髌腱-骨移植物的患者股内侧肌、股外侧肌、股中间肌横截面积均小于选用其他移植物的患者, 且以股内侧肌萎缩最为严重^[35]。

研究显示, 术后不同角速度和多个时间点的等速膝关节伸展力量缺陷明显较屈曲更大^[36], 例如前交叉韧带重建后6个月, 等速膝关节屈曲力量的平均对称性指数在80%-90%, 1年后恢复可接近正常值。这种趋势并没有在等速膝关节伸展的结果中观察到, 选用骨-髌腱-骨移植物的患者无论是低速或是高速测试其股四头肌肌力均低于选用其他移植物的患者^[37], 且角速度越大表现的肌力不足越明显^[38], 因此, 选用骨-髌腱-骨移植物的患者股四头肌肌力大约需要2年时间才能恢复到术前水平^[39]。股四头肌肌腱移植6个月时对称性指数通常在70%左右, 1年后仍在90%以下, 甚至股四头肌肌腱移植患者3-7年的长期随访仍然存在伸膝无力^[8]。由此可见, 选用自体移植物的患者股四头肌肌力恢复需要较长时间才能达到伤前水平^[39]。选用骨-髌腱-骨自体移植与腓绳肌肌腱移植患者术后任何时间点或者角度的等速伸展力量均无显著差异。同种异体移植和人工韧带重建均未对患者机体造成额外的创伤, 更有利于发展膝关节周围肌肉力量。研究发现, 选用同种异体移植患者术后6个月等速60°股四头肌峰值力矩高于自体移植患者^[40]; 1-5年的随访发现, 早期选择人工韧带移植能够更快地恢复股四头肌力量^[41]。

选用腓绳肌肌腱移植患者术后常出现明显的腓绳肌肌力下降, 甚至重建术后18个月患侧峰值力矩仍然较健侧差, 且随着屈膝角度的增大, 腓绳肌无力现象越明显, 尤其以屈膝70°-90°最为明显^[42]。等速测试结果显示, 选用自体腓绳肌肌腱移植的患者患侧与健侧峰值力矩比值在术后4个月下降, 6个月后才逐渐增加, 直至1年后才能恢复至伤前水平^[39]。前交叉韧带重建后1年, 腓绳肌肌腱移植组患者等速60°和180°膝关节屈曲对称性指数明显低于骨-髌腱-骨自体移植组。因此, 选用腓绳肌肌腱移植的患者尤其需要重视加强腓绳肌的力量训练^[43]。

与自体腓绳肌肌腱移植组相比, 自体腓骨长肌肌腱移植组患者术后1年的大腿周径下降值明显减小、大腿肌肉萎缩情况较少, 具有良好的下肢肌力, 这与移植取腱位置密不可分, 由于腓骨长肌肌腱取腱位置远离膝关节避免了对膝关节的二次创伤, 减少了隐神经损伤、大腿内侧疼痛等供区并发症的发生, 同时可尽早对膝关节周围肌肉进行力量训练, 更好地维持下肢力量, 且术后1年时踝关节功能并未见明显受累, 推测其原因可能是腓骨短肌功能得到了完整保留^[24]。

2.3 移植类型对前交叉韧带重建后患者膝关节稳定性的影响 术后膝关节稳定性是评估患者恢复情况的重要指标之一, 膝关节稳定性的评价包括静态和动态两方面。静态稳定性测试主要采用膝关节稳定性测试仪, 对比评价放松状态下左右膝韧带和关节囊的松弛程度。一般女性的

膝前关节松弛程度比男性更严重,更容易发生下肢损伤^[44]。KT1000和KT2000主要用于评价膝关节韧带处于放松状态下的松弛度。研究表明,前交叉韧带重建后常采用KT1000对比患者双侧膝关节松弛度,大于6 mm认为韧带可能出现松弛,需要再次重建^[45]。动态稳定性可通过脊髓水平、大脑活动和认知程序3种层次的神经肌肉反馈形式来反映。对于大脑活动水平神经反馈的重建主要通过膝关节挤压、不同屈膝角度的重心转移、反复的平衡训练等激活前交叉韧带及其周围组织器官的机械感受器,将关节位置、负荷、运动速度变化等信息传入神经中枢,并由神经中枢将这些信息与视觉、前庭传入的冲动进行不断调节、整合,以此调节肌肉兴奋,保持身体姿势及动态平衡^[46]。

研究表明,采用不同自体移植术后后期静态稳定性存在差异。术后1年与健侧腿相比,采用自体骨-髌腱-骨移植重建后的膝关节静态稳定性更高、松弛程度更小。术后1年与健侧腿相比,采用骨-髌腱-骨移植患者膝的松弛度仅为1.3 mm,而腓骨长肌肌腱移植则为2.4 mm;术后2年,采用骨-髌腱-骨移植与腓骨长肌肌腱移植患者膝的松弛度分别为1.5 mm和2.5 mm^[47]。通过2年的随访也发现,相较于采用骨-髌腱-骨移植患者,采用腓骨长肌肌腱移植患者更易出现膝前部松弛^[47],这可能与移植特性有关,髌腱移植相较于肌腱移植更为坚硬^[48],同时也与腓骨长肌肌腱和骨隧道融合速度较慢、耗费时间较长密不可分^[49]。采用股四头肌肌腱和腓骨长肌肌腱移植患者膝关节静态稳定性无明显差异,这可能与膝关节伸肌肌力恢复导致的移植所受生物力学应力有关^[50]。采用腓骨长肌肌腱移植患者术后具有较高的膝关节稳定性,术后6, 12, 18个月的随访发现膝关节KT2000松弛度均维持在2 mm以内^[51],这与腓骨长肌肌腱移植的物理特性密切相关,研究发现腓骨长肌肌腱极限张力负荷可达4 268 N,与4股的腓骨肌在最大拉力上相差无异,是自体前交叉韧带的2倍,且其最大负荷是半腱肌的0.97倍、股薄肌的1.4倍,具有较强的韧性,因此其膝关节稳定性较高^[52]。

同种异体移植由于需要辐射消毒导致韧带抗张能力下降、愈合时间延长,韧带松弛问题高发^[53]。Lachman和轴移试验测试结果均显示,相比自体移植组,同种异体移植组膝关节前后及旋转松弛更明显^[54],且经过 γ 射线处理之后患者膝关节松弛愈合显著^[55],术后6个月时膝关节松弛度增量最大^[56],术后31个月时重建失败率高达34.4%^[57]。使用人工韧带重建前交叉韧带则不需要考虑韧带松弛变化,能够尽早的进行肌肉力量训练^[58]。一项针对人工韧带重建前交叉韧带的研究发现,术前韧带松弛度约为5.1 mm,经过7年的随访患者术后韧带松弛度约为1.4 mm,恢复了较高的膝关节稳定性,预后良好^[59]。但TIEFENBOECK等^[60]认为人工韧带的手术失败率较高,从X射线片观察存在早期关节炎的表现。虽然移植人工韧带能够尽早地恢复患者运动,但从长远角度来讲不建议使用人工韧带。

膝关节的动态稳定性与屈伸肌肌肉力量密切相关。MAGALHÃES等^[61]指出腓骨肌与股四头肌肌力比值在不同测试速度下的变化范围为50%-70%,一般认为在等速测试60°角速度下,腓骨肌与股四头肌肌力正常比值为60%左右。选用股四头肌肌腱和骨-髌腱-骨移植的患者均表现出较高的腓骨肌与股四头肌肌力比,比值增高的原因可能与股四头肌肌力下降相关,由于取腱对伸膝复合体存在损伤,进一步导致伸膝力量降低,1年的随访发现选用这两种移植患者的伸膝力量仅恢复至术前的87%^[62]。选用腓骨肌肌腱移植患者表现出较差的膝关节动态稳定性,这是由于腓骨肌肌腱移植取材导致肌肉力量恢复较慢,1年的随访发现,骨-髌腱-骨移植组患者腓骨肌肌力恢复至术前的99%,而腓骨肌肌腱移植组患者腓骨肌肌力仅恢复至术前的91%,因而表现出动态稳定性降低^[62],二次损伤的可能性更高^[62]。

2.4 移植类型对前交叉韧带重建后患者功能性活动的影响 前交叉韧带重建后功能性活动主要用来评估患者术后膝关节运动恢复情况,测试包括平衡功能、本体感觉、功能性跳跃以及各项功能自评量表。主观自评量表主要包括IKDC^[63]、Lysholm膝关节评分、膝关节损伤与骨关节炎评分^[64]、Tegner活动水平量表和辛辛那提膝关节量表^[65-66],这些量表常用来评估前交叉韧带重建后患者膝关节功能恢复情况,其中IKDC还能预测膝关节功能恢复效果^[67]。功能性跳跃测试中主要评估健侧单腿跳^[68]、单腿三级跳、单腿交叉跳和6 m计时跳,通过肢体对称指数来反映健患腿之间功能的对称性,以显示患者康复情况以及作为重返运动

的标准^[69]。其中,单腿跳还能用来评估神经肌肉控制和运动的信心^[70]。

采用自体股四头肌肌腱移植患者的IKDC评分高于选用其他自体移植患者^[71]。采用腓骨长肌肌腱移植患者的IKDC评分和Lysholm评分均高于采用腓骨肌肌腱移植患者,这可能与腓骨肌肌腱移植取腱后鹅足区疼痛影响了患者早期膝关节功能训练,进而影响大腿肌力,使得膝关节稳定性下降,且部分患者出现了隐神经膝下支损伤导致的感觉减退或麻木,从而影响了患者的主观满意度有关^[72]。采用骨-髌腱-骨移植患者术后12周的KOOS评分和IKDC评分均显著低于采用腓骨肌肌腱移植患者,其中采用腓骨肌肌腱移植患者KOOS评分改善了24.2分,而采用骨-髌腱-骨移植患者只改善了15.3分^[73-75]。这些表现可能与骨-髌腱-骨移植自身供体发病率有关,患者在术后易出现膝前疼痛,需要更长的时间来恢复完全的膝关节活动度、减少积液、恢复股四头肌的力量^[73]。

在功能性跳跃测试中,采用腓骨长肌肌腱移植患者术后2年的连续跳跃活动能力恢复最好^[76],这可能与移植物的直径和长度有关,腓骨长肌肌腱自身完整度较高并带有腱膜,能够保证良好的血液供应,且直径大小均匀,对折编织即可使用,编织好的肌腱力量均衡、强度更大,所需缝线相对较少,对周围组织刺激较小、损伤更低,因此并发症较少、患者恢复更快^[23]。选用骨-髌腱-骨移植患者术后4个月时单腿跳能力表现最差,而6-24个月时逐渐恢复^[39],这种功能表现的改变与股四头肌肌力恢复趋势相关。选用股四头肌肌腱移植患者比选用骨-髌腱-骨移植患者显示出更强的跳跃能力^[77],从长远来看,选用自体股四头肌肌腱移植患者的跳跃功能恢复方面更具优势。相较于选用骨-髌腱-骨移植患者,选用自体腓骨肌肌腱移植患者虽然运动功能恢复评分更好、拥有较高的运动水平^[75],但也在动态平衡和功能性跳跃测试方面存在缺陷,动态平衡测试显示动态后内侧方向的平衡缺失,而功能跳跃测试中的患侧缺失则以单腿三级跳和交叉跳最为显著,其相对于健侧缺失约为29.5%^[69],这可能与腓骨肌肌腱移植取腱位置影响本体感觉和腓骨肌力量有关^[78]。

选用同种异体移植患者功能性活动在术后6个月时恢复较快,辛辛那提评分、Lysholm评分和Tegner活动水平量表得分较高,而在6-12个月时恢复变慢,这可能与同种异体移植物的特性有关,选用同种异体移植具有手术时间短、供区发病率低、早期功能活动开展快速等优势,可帮助患者在术后早期进行功能恢复,但其成熟较慢和效率较低,再断裂风险大也成为了后期恢复变慢的影响因素^[79]。对比自体移植和人工韧带发现,人工韧带移植组患者重建术后0.5-2年的功能评分均高于自体移植组,选用人工韧带的患者具有较高的生活质量^[29]。陈文祥等^[80]研究也显示,LARS人工韧带组患者术后Lysholm评分和IKDC评分均有显著改善。在功能恢复方面,人工韧带虽然能够提供早期的稳定性,但不利于韧带周围细胞增生和组织重建,人工韧带破裂将引起慢性炎症,因此初次前交叉韧带重建不建议采用人工韧带^[74]。

2.5 移植类型对前交叉韧带重建后患者重返运动的影响 重返运动指前交叉韧带重建后患者成功且安全地恢复伤前的竞技水平^[81]。选用骨-髌腱-骨移植患者术后每周运动参与时间为73%^[82],在术后10个月时达到重返运动标准^[83],可进行跑步和恢复竞技运动的人数分别达到了60%和47%^[8],且进行双切口骨-髌腱-骨移植患者恢复跑步率高达95%^[84]。选用自体腓骨肌肌腱移植患者术后每周运动参与时间为48%^[82],术后7.5个月左右可重返运动^[85],恢复跑步标准和恢复竞技运动标准的人数分别为84%和26%。选用股四头肌肌腱移植患者术后5-8个月可达到重返运动的标准,能进行跑步和恢复竞技运动的患者分别可达到26%和13%^[86]。选用腓骨长肌肌腱移植患者尽管允许在2个月开始慢跑,但一般在术后6个月左右可重返运动,这可能与具备完整的腱膜结构、韧带血液供应良好、恢复较快有关^[87]。

与自体移植相比,选用同种异体移植患者术后需要更长的愈合时间,应延长康复和恢复比赛的时间4-8周,这与移植在骨道内愈合情况有关^[88]。选用同种异体移植患者大约在术后6.5个月时即可重返跑步以及进行灵敏性等活动,达到重返运动的水平^[89]。

使用人工韧带重建的患者恢复快,术后2个月内就被允许进行非竞技体育活动,并在三四个月之间就可完全恢复到伤前活动水平^[90],其恢复体育运动的优良率高达92.3%^[91]。

3 总结与展望 Summary and prospects

3.1 不同移植植物类型的术后康复策略 基于上述不同移植植物类型对前交叉韧带重建后患者膝关节功能的影响, 术后康复策略应该有针对性地进行调整。选用骨-髌腱-骨移植物的患者由于对伸膝复合体造成创伤, 应加强股四头肌离心收缩练习^[55], 康复后期应关注股四头肌耐力和爆发力的恢复, 而膝前痛是自体骨-髌腱-骨移植植物常见并发症, 当膝前痛出现时要及时停止运动, 并减慢康复计划的实施^[63]。与骨-髌腱-骨移植植物和腓骨肌肌腱移植植物相比, 选用股四头肌肌腱移植植物患者在5-8个月内符合回归标准人数明显更少, 应制定较长时间的训练计划^[6], 训练周期尽量持续到3年以上。选用腓骨肌肌腱移植植物应强化多角度下腓骨肌力量训练, 尤其是屈膝60°以上的周期至少持续至术后18周; 术后1-6周内避免过多刺激腓骨肌, 可进行腓骨肌渐进性肌力增强训练, 术后12周开始进行腓骨肌抗阻训练^[92], 屈膝力量训练周期至少持续至术后18个月。由于选用自体腓骨肌肌腱移植植物的患者容易出现胫骨内旋无力现象, 因此需加强膝关节矢状面和额状面的力量训练, 减少腓骨肌创伤后的并发症^[78]。在稳定性方面, 由于胫骨旋转控制能力较差, 建议术后延长护具佩戴时间至6-12周^[93], 同时术后佩戴护具能够提供外力保护, 减少患者疼痛, 防止移植植物过度松弛^[7]; 术后早期以保护性护具为主, 后期可选用功能性运动护具^[94]; 术后6-9个月应重点训练后内侧的平衡缺失^[69], 功能性负重训练应采用屈膝10°-60°前交叉韧带应力最小的区间, 进行闭链练习。此外, 选用腓骨肌肌腱移植植物患者术后常伴随胫骨内旋无力, 影响步态恢复, 因此应加强步态训练^[43]。专项运动恢复阶段可进行多向动态稳定运动控制练习^[95], 与此同时应重视患者心理康复, 及时对患者进行心理疏导, 提高患者自信心。对于采用腓骨长肌肌腱移植植物的患者来讲, 后续应加强踝关节周围肌肉力量, 以足底肌肉力量为主, 预防胫骨下陷、跟骨向外下塌陷现象的出现, 更好地维持足部纵弓高度、横弓宽度和顶角^[96]。

选用同种异体移植植物应注意移植植物经低剂量辐射消毒后其抗张性降低20%^[97], 因此应关注膝关节稳定性训练, 如增加深蹲、上下楼梯和落地等练习, 恢复肢体两侧的对称性和腿部的运动控制^[98], 重点关注6-12个月时的肌力恢复, 加强股四头肌多角度爆发力和耐力训练^[79]。为减少移植植物所受张力, 建议延长使用支具的时间至术后6个月。同种异体移植植物由于本身可能存在传播传染性疾病的潜在风险以及发生免疫排斥反应等, 在康复时应更加注重患者体温变化^[99]。

人工韧带移植植物由于其材质的特殊性不会出现松弛现象, 因此3-6周内可渐进性增强股四头肌和腓骨肌力量训练^[100]。但由于人工韧带不利于人体细胞和组织再生, 影响本体感觉恢复^[80], 应重视早期本体感觉练习, 对平衡、跳跃及灵活性进行针对性训练。除人工韧带外, 选用其他移植植物重建后1-4周内均应避免膝关节伸膝开链抗阻训练, 这是由于会造成韧带的抗张性会下降, 过早的开链运动会加速移植植物松弛, 进一步影响膝关节静态稳定。

综上所述, 前交叉韧带重建应酌情考虑患者移植植物的类型以及相关的影响, 综合性地制定个性化的康复方案, 以利于患者早日重返运动。

3.2 作者综述区别于他人他篇的特点 收集了近年的文献, 比较全面地总结了前交叉韧带损伤选用不同移植植物的特点及康复策略: 对比了不同移植植物之间的优劣; 详细总结了各种移植植物的优缺点(骨-髌腱-骨肌肌腱移植植物、股四头肌肌腱移植植物、腓骨肌肌腱移植植物、腓骨长肌肌腱移植植物、同种异体移植植物、人工韧带移植植物做了全面阐述); 探讨了移植植物对患者下肢肌力、稳定性、功能性活动以及重返运动的影响, 介绍了不同情况可能的机制; 针对各种移植植物类型进行了不同康复策略的推荐。

3.3 综述的重要意义 文章通过查阅文献, 分别从前交叉韧带损伤移植植物类型的选择、对患者下肢功能的影响、康复策略的推荐3个方面比较系统地阐述了前交叉韧带损伤的最新治疗进展, 为基础研究和临床研究提供了参考, 对患者进行个性化的康复方案设置, 以利于患者早日重返运动。

作者贡献: 李露祎负责综述构思设计和写作, 刘华负责文章校对和项目指导, 全体作者参与文献收集和分析总结。

利益冲突: 文章的全部作者声明, 在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章, 根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款, 在合理引用的情况下, 允许他人以非商

业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展, 同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献, 并为之建立索引, 用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

版权转让: 文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范: 该研究遵守《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA指南)。文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。文章经小同行外审专家双盲外审, 同行评议认为文章符合期刊发表宗旨。

4 参考文献 References

- [1] DELLA VILLA F, BUCKTHORPE M, GRASSI A, et al. Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *Br J Sports Med.* 2020;54(23):1423-1432.
- [2] ALI N, ROUHI G. Barriers to predicting the mechanisms and risk factors of non-contact anterior cruciate ligament injury. *Open Biomed Eng J.* 2010;4:178-189.
- [3] RODRIGUEZ K, SONI M, JOSHI PK, et al. Anterior Cruciate Ligament Injury: Conservative Versus Surgical Treatment. *Cureus.* 2021;13(12):e20206.
- [4] PARSONS J, COEN S, BEKKER S. Anterior cruciate ligament injury: towards a gendered environmental approach. *Br J Sports Med.* 2021;55(17):984-990.
- [5] SVOBODA SJ. ACL injury and posttraumatic osteoarthritis. *Clin Sports Med.* 2014;33(4):633-640.
- [6] 张含霁, 杨默笛, 张卓, 等. 膝关节镜下前十字韧带重建术的研究进展 [J]. *中国实验诊断学*, 2018, 22(4):742-745.
- [7] 王宇驰, 孙强, 张卫国. 交叉韧带重建中自体及同种异体移植物的研究进展 [J]. *医学与哲学*, 2014(16):67-69.
- [8] HUGHES J, BURNHAM J, HIRSH A, et al. Comparison of Short-term Biodex Results After Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Among 3 Autografts. *Orthop J Sports Med.* 2019;7(5):2325967119847630.
- [9] 杨冬冬, 曾伟, 刘荆陵. 股四头肌腱重建前交叉韧带的研究进展 [J]. *实用骨科杂志*, 2021, 27(11):1010-1014, 1051.
- [10] 李君芳. 人工韧带重建与膝关节前交叉韧带的运动损伤 [J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2010, 14(12):2221-2224.
- [11] KOSY J, 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. *Indian J Orthop.* 2019;53(6):714-720.
- [12] 杨松杰, 张清旭, 陈绪彪, 等. 关节镜下膝交叉韧带重建中自体与异体肌腱移植物的疗效比较 [J]. *中国组织工程研究*, 2017, 21(34):5513-5518.
- [13] GROUP M. Effect of graft choice on the outcome of revision anterior cruciate ligament reconstruction in the Multicenter ACL Revision Study (MARS) Cohort. *Am J Sports Med.* 2014; 42(10):2301-2310.
- [14] 黄晋, 杨松杰, 翁科捷, 等. 自体肌腱与同种异体肌腱在膝关节前交叉韧带重建中的疗效比较 [J]. *中国临床医生杂志*, 2016, 44(10):53-56.
- [15] LIN K, BOYLE C, MAROM N, et al. Graft Selection in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2020;28(2):41-48.
- [16] POULSEN MR, JOHNSON DL. Graft selection in anterior cruciate ligament surgery. *Orthopedics.* 2010;33(11):832.
- [17] KARTUS J, MAGNUSSON L, STENER S, et al. Complications following arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. A 2-5-year follow-up of 604 patients with special emphasis on anterior knee pain. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1999;7(1):2-8.
- [18] MILLER SL, GLADSTONE JN. Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthop Clin North Am.* 2002;33(4):675-683.
- [19] 王宇驰, 孙强, 张卫国. 交叉韧带重建中自体及同种异体移植物的研究进展 [J]. *医学与哲学*, 2014(16):67-69.
- [20] SAMUELSEN BT, WEBSTER KE, JOHNSON NR, et al. Hamstring Autograft versus Patellar Tendon Autograft for ACL Reconstruction: Is There a Difference in Graft Failure Rate? A Meta-analysis of 47,613 Patients. *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(10):2459-2468.
- [21] SHAKKED R, WEINBERG M, CAPO J, et al. Autograft Choice in Young Female Patients: Patella Tendon versus Hamstring. *J Knee Surg.* 2017;30(3):258-263.
- [22] LETTER M, BARAGA M, BEST T, et al. Comparison of Neuromuscular Firing Patterns of the Superficial Quadriceps in Soft Tissue Quadriceps Tendon Versus Bone-Patellar Tendon-Bone ACL Autografts. *Orthop J Sports Med.* 2019;7(12):2325967119887674.
- [23] 袁振中, 唐刚健, 伍业雄, 等. 关节镜下自体腓骨长肌腱和腓骨肌肌腱重建前交叉韧带的对比研究 [J]. *中国内镜杂志*, 2021, 27(11):83-88.
- [24] 金钢, 仲海燕, 邵为, 等. 关节镜下自体腓骨长肌腱与腓骨长肌腱重建前交叉韧带 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2019, 27(24):2252-2256.
- [25] 赵意华, 余进伟, 杨志远, 等. 关节镜下自体腓骨长肌肌腱移植重建前交叉韧带术后临床效果分析 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2016, 31(8):864-865.
- [26] 张磊, 周鑫, 祁冀, 等. 取自体同侧1/2腓骨长肌肌腱重建膝关节前交叉韧带 [J]. *中国组织工程研究*, 2017, 21(24):3815-3820.
- [27] 李韬, 朱彦霖, 林唐棣, 等. 同种异体肌腱重建膝关节前交叉韧带的研究进展与临床应用 [J]. *中国组织工程研究*, 2019, 23(10):1605-1610.
- [28] SLONE H, ROMINE S, PREMKUMAR A, et al. Quadriceps tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: a comprehensive review of current literature and systematic review of clinical results. *Arthroscopy.* 2015;31(3):541-554.
- [29] 曹福洋, 许建中, 陆世涛, 等. 自体韧带与LARS人工韧带编织物重建前交叉韧带: 骨隧道扩大值、韧带生长因子及膝关节功能的评价 [J]. *中国组织工程研究*, 2022, 26(21):3281-3290.
- [30] 谢正阳, 周珍珍, 刘志元, 等. 人工膝关节交叉韧带材料学及其特点 [J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2010, 14(12):2213-2216.
- [31] 陈伟, 邹刚, 刘毅. LARS韧带在交叉韧带重建中的临床应用与关注热点 [J]. *中国组织工程研究*, 2020, 24(8):1287-1292.
- [32] 丁国成, 刘铭, 项良碧, 等. 人工韧带联合自体肌腱在前交叉韧带重建失败后翻修手术中应用 [J]. *临床军医杂志*, 2017, 45(8):809-812.
- [33] 陈天午, 蒋佳, 陈世益. 人工韧带的临床应用现状及进展 [J]. *宁夏医学杂志*, 2016, 38(8):673-676.
- [34] BUCKTHORPE M, LA ROSA G, VILLA F. Restoring Knee Extensor Strength After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Clinical Commentary. *Int J Sports Phys Ther.* 2019;14(1):159-172.
- [35] HUNNICUTT J, GREGORY C, MCLEOD M, et al. Quadriceps Recovery After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Quadriceps Tendon Versus Patellar Tendon Autografts. *Orthop J Sports Med.* 2019;7(4):2325967119839786.
- [36] ABRAMS GD, HARRIS JD, GUPTA AK, et al. Functional Performance Testing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med.* 2014;2(1):2325967113518305.

[37] HEIJNE A, WERNER S. A 2-year follow-up of rehabilitation after ACL reconstruction using patellar tendon or hamstring tendon grafts: a prospective randomised outcome study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(6):805-813.

[38] FELLER J, WEBSTER K, GAVIN B. Early post-operative morbidity following anterior cruciate ligament reconstruction: patellar tendon versus hamstring graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2001;9(5):260-266.

[39] CRISTIANI R, MIKKELSEN C, WANGE P, et al. Autograft type affects muscle strength and hop performance after ACL reconstruction. A randomised controlled trial comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts with standard or accelerated rehabilitation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(9):3025-3036.

[40] KWAK Y, LEE S, LEE M, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction with quadriceps tendon-patellar bone allograft: matched case control study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2018;19(1):45.

[41] CHEN J, GU A, JIANG H, et al. A comparison of acute and chronic anterior cruciate ligament reconstruction using LARS artificial ligaments: a randomized prospective study with a 5-year follow-up. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2015;135(1):95-102.

[42] TASHIRO T, KUROSAWA H, KAWAKAMI A, et al. Influence of medial hamstring tendon harvest on knee flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. A detailed evaluation with comparison of single- and double-tendon harvest. *Am J Sports Med.* 2003;31(4):522-529.

[43] LAUTAMIES R, HARILAINEINEN A, KETTUNEN J, et al. Isokinetic quadriceps and hamstring muscle strength and knee function 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction: comparison between bone-patellar tendon-bone and hamstring tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008;16(11):1009-1016.

[44] KIM SJ, KIM TE, LEE DH, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction in patients who have excessive joint laxity. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90(4):735-741.

[45] 汪益, 董启榕, 许建铭, 等. 负重位磁共振成像对前交叉韧带重建术后膝关节稳定性的评估 [J]. *中华医学杂志*, 2019,99(27):2130-2134.

[46] 王艳, 吴珊红, 戚彪, 等. 振动疗法结合常规康复训练对前交叉韧带重建术后膝关节本体感觉及动态稳定性的影响 [J]. *中国康复医学杂志*, 2021,36(7):858-862.

[47] KIM S, KIM T, LEE D, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction in patients who have excessive joint laxity. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90(4):735-741.

[48] NOYES F, BUTLER D, PAULOSS L, et al. Intra-articular cruciate reconstruction. I: Perspectives on graft strength, vascularization, and immediate motion after replacement. *Clin Orthop Relat Res.* 1983;(172):71-77.

[49] GORADIA V, ROCHAT M, GRANA W, et al. Tendon-to-bone healing of a semitendinosus tendon autograft used for ACL reconstruction in a sheep model. *Am J Knee Surg.* 2000;13(3):143-151.

[50] AKOTO R, ALBERS M, BALKE M, et al. ACL reconstruction with quadriceps tendon graft and press-fit fixation versus quadruple hamstring graft and interference screw fixation- a matched pair analysis after one year follow up. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019;20(1):109.

[51] JOSHI S, SHETTY UC, SALIM MD, et al. Peroneus Longus Tendon Autograft for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Safe and Effective Alternative in Nonathletic Patients. *Niger J Surg.* 2021;27(1):42-47.

[52] ZHAO J, HUANGFU X. The biomechanical and clinical application of using the anterior half of the peroneus longus tendon as an autograft source. *Am J Sports Med.* 2012;40(3):662-671.

[53] 王林林, 陈亚洲, 刘培德, 等. 自体移植、同种异体移植、混合移植在关节镜下前交叉韧带重建中的效果研究 [J]. *吉林医学*, 2021,42(11):2606-2609.

[54] TIAN S, WANG B, LIU L, et al. Irradiated Hamstring Tendon Allograft Versus Autograft for Anatomic Double-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Midterm Clinical Outcomes. *Am J Sports Med.* 2016;44(10):2579-2588.

[55] LI J, WANG J, LI Y, et al. A Prospective Randomized Study of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Autograft, gamma-Irradiated Allograft, and Hybrid Graft. *Arthroscopy.* 2015;31(7):1296-1302.

[56] SMITH CK, HOWELL SM, HULL ML. Anterior laxity, slippage, and recovery of function in the first year after tibialis allograft anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2011;39(1):78-88.

[57] SUN K, TIAN SQ, ZHANG JH, et al. ACL reconstruction with BPTB autograft and irradiated fresh frozen allograft. *J Zhejiang Univ Sci B.* 2009;10(4):306-316.

[58] TSAI SH, LEE CH, TONG KM, et al. Activity-related outcome in anterior cruciate ligament reconstruction with synthetic ligament advanced reinforcement system. *J Chin Med Assoc.* 2019;82(3):235-238.

[59] JIA Z, XUE C, WANG W, et al. Clinical outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction using LARS artificial graft with an at least 7-year follow-up. *Medicine (Baltimore).* 2017;96(14):e6568.

[60] TIEFENBOECK TM, THURMAIER E, TIEFENBOECK MM, et al. Clinical and functional outcome after anterior cruciate ligament reconstruction using the LARS system at a minimum follow-up of 10 years. *Knee.* 2015;22(6):565-568.

[61] MAGALHÃES J, OLIVEIRA J, ASCENSÃO A, et al. Concentric quadriceps and hamstrings isokinetic strength in volleyball and soccer players. *J Sports Med Phys Fitness.* 2004;44(2):119-125.

[62] AGEBERG E, ROOS H, SILBERNAGEL K, et al. Knee extension and flexion muscle power after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon graft or hamstring tendons graft: a cross-sectional comparison 3 years post surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2009;17(2):162-169.

[63] ÇELİK D, ÇOBAN Ö, KILIÇOĞLU Ö. Minimal clinically important difference of commonly used hip-, knee-, foot-, and ankle-specific questionnaires: a systematic review. *J Clin Epidemiol.* 2019;113:44-57.

[64] BRIGGS K, LYSHOLM J, TEGNER Y, et al. The reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm score and Tegner activity scale for anterior cruciate ligament injuries of the knee: 25 years late. *Am J Sports Med.* 2009;37(5):890-897.

[65] 刘凯, 宋伟, 阮核, 等. 前交叉韧带损伤后膝关节功能评估量表的研究进展 [J]. *中国康复理论与实践*, 2019,25(12):1395-1399.

[66] RAMOS MARINHO A, NUNES G, BENETTI M, et al. Cross-cultural adaptation and measurement properties of the Brazilian-Portuguese version of the Cincinnati Knee Rating System. *Disabil Rehabil.* 2020;42(8):1183-1189.

[67] LUBIS AM, DASRIL DF. Comparison of functional outcome between bone quadriceps tendon (BQT) and single-bundle hamstring tendon (SBHT) autograft in arthroscopic-assisted anterior cruciate ligament reconstruction cases: a prospective cohort study. *Ann Med Surg (Lond).* 2020;60:509-514.

[68] LOGERSTEDT D, GRINDEM H, LYNCH A, et al. Single-legged hop tests as predictors of self-reported knee function after anterior cruciate ligament reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Am J Sports Med.* 2012;40(10):2348-2356.

[69] SUGIMOTO D, HEYWORTH B, BRODEUR J, et al. Effect of Graft Type on Balance and Hop Tests in Adolescent Males Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Sport Rehabil.* 2019;28(5):468-475.

[70] 李玉周, 王婧怡. 前交叉韧带损伤后手术及重返运动时机的选择 [J]. *南阳师范学院学报*, 2019,18(1):48-53.

[71] YANG X, WANG F, HE X, et al. Network meta-analysis of knee outcomes following anterior cruciate ligament reconstruction with various types of tendon grafts. *Int Orthop.* 2020;44(2):365-380.

[72] 陈国民, 袁松, 张廷玖, 等. 腓骨长肌腱与腓侧肌腱重建前交叉韧带中期疗效比较 [J]. *中国现代手术学杂志*, 2022,26(4):270-276.

[73] SMITH A, CAPIN J, ZARZYCKI R, et al. Athletes With Bone-Patellar Tendon-Bone Autograft for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Were Slower to Meet Rehabilitation Milestones and Return-to-Sport Criteria Than Athletes With Hamstring Tendon Autograft or Soft Tissue Allograft: Secondary Analysis From the ACL-SPORTS Trial. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2020;50(5):259-266.

[74] HANTES M, FYLLOS A, PAPAGEORGIOU F, et al. Long-term clinical and radiological outcomes after multiligament knee injury using a delayed ligament reconstruction approach: A single-center experience. *Knee.* 2019;26(6):1271-1277.

[75] CRISTIANI R, SARAKATSIANOS V, ENGSTRÖM B, et al. Increased knee laxity with hamstring tendon autograft compared to patellar tendon autograft: a cohort study of 5462 patients with primary anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27(2):381-388.

[76] RHATOMY S, HARTOKO L, SETYAWAN R, et al. Single bundle ACL reconstruction with peroneus longus tendon graft: 2-years follow-up. *J Clin Orthop Trauma.* 2020;11(Suppl 3):S332-S336.

[77] PIGOZZI F, DI SALVO V, PARISI A, et al. Isokinetic evaluation of anterior cruciate ligament reconstruction: quadriceps tendon versus patellar tendon. *J Sports Med Phys Fitness.* 2004;44(3):288-293.

[78] 覃华生, 潘玮敏, 李然, 等. 自体腓侧肌腱重建前交叉韧带后的康复策略 [J]. *中国组织工程研究*, 2019,23(4):628-635.

[79] CUSUMANO A, CAPITANI P, MESSINA C, et al. Different timing in allograft and autograft maturation after primary anterior cruciate ligament reconstruction does not influence the clinical outcome at mid-long-term follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022;30(7):2281-2290.

[80] 陈文祥, 谢煜, 包倪荣, 等. 关节镜下 LARS 人工韧带与自体腓侧肌腱对前交叉韧带重建的早期疗效比较 [J]. *医学研究生学报*, 2017,30(2):165-168.

[81] BIEN DP, DUBUQUE TJ. Considerations for late stage acl rehabilitation and return to sport to limit re-injury risk and maximize athletic performance. *Int J Sports Phys Ther.* 2015;10(2):256-271.

[82] WEBSTER K, FELLER J, 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. *Am J Sports Med.* 2016;44(1):83-90.

[83] WALSTON Z, BARILLAS R. The impact of graft type on rehabilitation outcomes following ACL reconstruction: Bone patellar tendon bone versus quadriceps tendon grafts. *Phys Ther Sport.* 2021;52:234-238.

[84] O'NEILL D. Arthroscopically assisted reconstruction of the anterior cruciate ligament. A prospective randomized analysis of three techniques. *J Bone Joint Surg Am.* 1996;78(6):803-813.

[85] CAVAIGNAC E, COULIN B, TSCHOLL P, et al. Is Quadriceps Tendon Autograft a Better Choice Than Hamstring Autograft for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? A Comparative Study With a Mean Follow-up of 3.6 Years. *Am J Sports Med.* 2017;45(6):1326-1332.

[86] LEE S, SEONG SC, JO CH, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction with use of autologous quadriceps tendon graft. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89 Suppl 3:116-126.

[87] HOSSAIN GMJ, ISLAM MS, RAHMAN KHAN MM, et al. A prospective study of arthroscopic primary ACL reconstruction with ipsilateral peroneus longus tendon graft: Experience of 439 cases. *Medicine (Baltimore).* 2023;102(9):e32943.

[88] SINGHAL M, GARDINER J, JOHNSON D. Failure of primary anterior cruciate ligament surgery using anterior tibialis allograft. *Arthroscopy.* 2007;23(5):469-475.

[89] SMITH AH, CAPIN JJ, ZARZYCKI R, et al. Athletes With Bone-Patellar Tendon-Bone Autograft for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Were Slower to Meet Rehabilitation Milestones and Return-to-Sport Criteria Than Athletes With Hamstring Tendon Autograft or Soft Tissue Allograft: Secondary Analysis From the ACL-SPORTS Trial. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2020;50(5):259-266.

[90] MACHOTKA Z, SCARBOROUGH I, DUNCAN W, et al. Anterior cruciate ligament repair with LARS (ligament advanced reinforcement system): a systematic review. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol.* 2010;2:29.

[91] PARCHI P, GIANLUCA C, DOLFI L, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction with LARS™ artificial ligament results at a mean follow-up of eight years. *Int Orthop.* 2013;37(8):1567-1574.

[92] ABOUREZK M, ITHURBURN M, MCNALLY M, et al. Hamstring Strength Asymmetry at 3 Years After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Alters Knee Mechanics During Gait and Jogging. *Am J Sports Med.* 2017;45(1):97-105.

[93] JALALI M, FARAHMAND F, ESFANDIARPOUR F, et al. The effect of functional bracing on the arthrokinematics of anterior cruciate ligament injured knees during lunge exercise. *Gait Posture.* 2018;63:52-57.

[94] LOWE WR, WARTH RJ, DAVIS EP, et al. Functional Bracing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *J Am Acad Orthop Surg.* 2017;25(3):239-249.

[95] NIEDERER D, KELLER M, ACHTNIH A, et al. Effectiveness of a home-based re-injury prevention program on motor control, return to sport and recurrence rates after anterior cruciate ligament reconstruction: study protocol for a multicenter, single-blind, randomized controlled trial (PreP). *Trials.* 2019;20(1):495.

[96] 王雪臣, 魏威, 王力兴, 等. 关节镜下同侧腓骨长肌腱重建前交叉韧带的疗效及对踝关节、足功能的影响 [J]. *河北医药*, 2023,45(12):1803-1806,1811.

[97] YANKE AB, BELL R, LEE A, et al. The biomechanical effects of 1.0 to 1.2 Mrad of gamma irradiation on human bone-patellar tendon-bone allografts. *Am J Sports Med.* 2013;41(4):835-840.

[98] KAYA D, GUNEY-DENIZ H, SAYACA C, et al. Effects on Lower Extremity Neuromuscular Control Exercises on Knee Proprioception, Muscle Strength, and Functional Level in Patients with ACL Reconstruction. *Biomed Res Int.* 2019;2019:1694695.

[99] NELSON IR, CHEN J, LOVE R, et al. A comparison of revision and rerupture rates of ACL reconstruction between autografts and allografts in the skeletally immature. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(3):773-779.

[100] CIPOLLA M, SCALA A, GIANNI E, et al. Different patterns of meniscal tears in acute anterior cruciate ligament (ACL) ruptures and in chronic ACL-deficient knees. Classification, staging and timing of treatment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1995;3(3):130-134.

(责任编辑: YJ, GW, ZN, QY)