

Discussion on repair and reconstruction methods of anterior cruciate ligament injury

Wang Liu¹ Zelin Yin¹ Yong Lian^{2*}

1. Chengde Medical College, Chengde, Hebei, 067000, China

2. The Third Orthopedic Department of Baoding First Central Hospital, Baoding, Hebei, 071000, China

Abstract

The anterior cruciate ligament is one of the most important and core stable structures in the knee joint, located in the center of the knee joint, connecting the thigh and thigh bones, and has the function of limiting excessive tibial displacement, restricting knee joint hyperextension, and improving rotational stability. Once the anterior cruciate ligament ruptures, it is almost impossible to heal on its own, so surgical reconstruction treatment must be adopted. Research on the repair and reconstruction methods of the anterior cruciate ligament is the focus of clinical research. Timely scientific anterior cruciate ligament reconstruction surgery combined with systematic postoperative rehabilitation is the best solution to restore knee joint function and ensure long-term joint health to the greatest extent possible.

Keywords

anterior cruciate ligament; injury; repair; reconstruction

前交叉韧带损伤的修复与重建方法探讨

刘旺¹ 尹泽林¹ 连勇^{2*}

1. 承德医学院, 中国·河北承德 067000

2. 保定市第一中心医院骨三科, 中国·河北保定 071000

摘要

前交叉韧带是膝关节内最重要、最核心的稳定结构之一, 位于膝关节中央, 连接大腿骨和小腿骨, 具有限制胫骨过度前移、限制膝关节过伸、提高旋转稳定性的作用。前交叉韧带损伤则表示该韧带因外力出现了撕裂, 通常为非接触性的, 即并非他人撞击造成的, 而是有自身动作发力不当引发的, 核心机制是复杂的多平面运动组合, 比如膝关节外翻、膝关节过伸等。一旦出现前交叉韧带断裂, 自身几乎无法愈合, 因此必须采取手术重建治疗, 关于前交叉韧带的修复与重建方法研究, 是临床研究的重点, 及时进行科学的前交叉韧带重建手术结合系统化的术后康复, 是最大程度的恢复膝关节功能、保障长期关节健康的最佳方案。

关键词

前交叉韧带; 损伤; 修复; 重建方法

1 引言

前交叉韧带损伤是指膝关节内核心稳定结构—前交叉韧带因为急性或慢性外力导致其纤维部分或完全撕裂, 从而引发膝关节疼痛、肿胀、不稳和功能障碍的一种常见且严重的运动系统损伤。见图1。前交叉韧带是膝关节位于中央、富含神经末梢的韧带, 并非孤立结构, 而是与半月板、关节软骨及其他韧带共同构成的一个协同稳定系统。该病高发年

龄在15~45岁, 该年龄段人群参与体育活动和竞技运动较为频繁, 暴露于损伤风险的机会较多, 女性的发生率明显高于男性, 分析原因为多因素影响: 女性的骨盆更宽, 导致大腿骨内倾角度更大, 导致膝关节承受更大的外翻应力; 根据相关研究表明, 雌激素可能会影响韧带的松弛度和强度, 在月经周期的特定阶段损伤风险可能会提高。综上所述, 前交叉韧带损伤是一种多见于年轻、活跃人群, 在高速变向运动中高发的严重膝关节损伤。

2 前交叉韧带重建

2.1 自体移植术

自体移植术是指从患者自身其他部位取下的组织, 是目前前交叉韧带重建的金标准且临床常用选择。其中腘绳肌腱最常用, 通常取半腱肌和股薄肌的肌腱, 折叠成4股火更

【作者简介】刘旺(1999-), 男, 中国河北保定人, 在读硕士, 从事骨外科疾病诊治研究。

【通讯作者】连勇(1981-), 男, 中国河北保定人, 硕士, 主任医师, 从事骨外科疾病诊治研究。

多股使用；骨-髌腱-骨，取髌腱的中段 1/3，两端带有一小块髌骨和胫骨上的骨块；股四头肌腱，可带或不带髌骨骨块。见图 1。

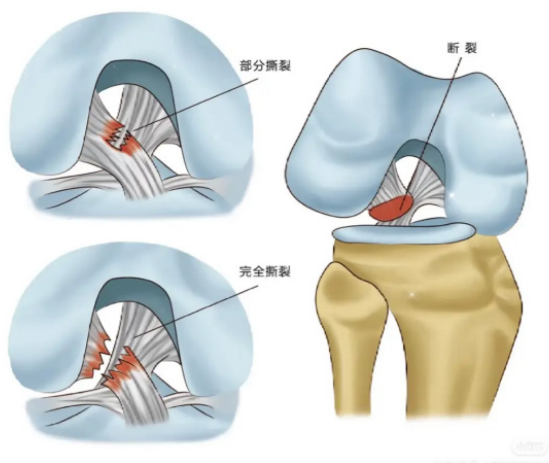


图 1 前交叉韧带损伤示意图

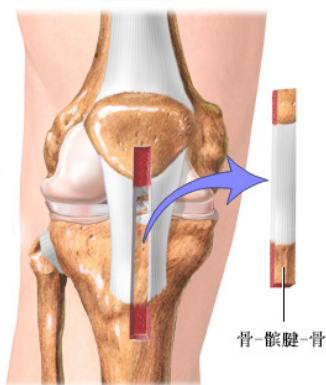


图 2 自体移植示意图

自体移植的优势为，无排斥反应，由于移植来自于自身，不存在免疫排斥或传播疾病的风险；自体组织具有活性细胞和天然的支架结构，能够与骨髓道实现“生物学愈合”，特别是带骨块的 BPTB 可以实现骨-骨愈合，其速度与质量通常优于肌腱-骨愈合。根据大量的随访研究验证，自体移植在回复膝关节稳定性方面发挥良好的效果，作用持久。根据张宁的研究，对比不同自体材料进行前交叉韧带重建的治疗，选取同侧腓骨长肌腱重建前交叉韧带的患者为实验组，相比选择腓绳肌肌腱的患者的对照组术后膝关节功能改善更佳， $P < 0.05$ 。实验组膝关节活动度的改善优于对照组， $P < 0.05$ 。研究发现自体移植的安全性更高，尤其自体腓骨长肌腱作为近年来新型的 ACL 重建材料，具有良好的生物力学特性，对供区影响小，而且组织相容性、再生能力较高，有利于促进患者术后康复。腓骨长肌腱位于小腿外侧的一条重要肌腱，绕过外踝后方向前，止于足底，将其用于 ACL 重建，通常自取其前侧半或大部分，保留其连续性和功能，最大限度的减少对足踝功能的影响。腓骨长肌腱

的自身生物力学特性与腓绳肌腱相当甚至更佳，将其与同源的半腱肌腱组合形成移植体，强度和刚度普遍认为优于传统半腱肌+股薄肌组合。而且腓骨长肌腱比半腱肌更长、更粗壮，这允许外科医生制备直径更大、长度更充足的移植体。

2.2 同种异体移植体

同种异体移植体来源于经过处理的尸体捐赠者组织，与自体类似，包括跟腱、腓绳肌腱、BPTB、胫前肌/后肌腱等。同种异体移植体最大的优势在于无供区并发症，避免了自体取材带来的额外损伤和疼痛，术后早期疼痛更轻且康复体验更好；该手术时间短、创伤小，手术流程得到简化，同时移植体尺寸与类型的选择较多，可根据患者的具体情况选择尺寸更大或更强劲的移植体。根据崔勇等人的研究，为 64 名前交叉韧带重建的患者进行约 10 年的回顾性分析，其中自体移植体 36 例、同种异体移植体 28 例，对比两组患者的移植体随访时间均在 10 年以上，无领先差异；两组 IKDC 评分、Lysholm 评分对比无明显差异，根据研究分析发现，同种异体移植体在前交叉韧带损伤的重建效果与自体移植体无明显差异，同种异体移植体具有极高的应用价值。

对于同种异体移植体而言，需要经过严格的筛查与灭菌处理，比如化学浸泡、低温辐射，不过依然存在极低的病毒和细菌传播风险；尽管前期需对移植体进行严格的处理，异体组织仍可能引发轻微的免疫炎症反应，这可能延迟或削弱移植体的血管化和重塑过程。根据研究分析：异体移植体由于采取灭活处理，其细胞活性丧失，植入体内后的在血管化和细胞重建过程比自体移植体恢复较慢且功能不全。对于一些年轻、高需求的运动员中，提示异体移植体进行前交叉韧带重建的再损伤率可能高于自体移植体，因此对于有极高运动需求的患者需要谨慎选择。

2.3 合成移植体

合成移植体是指碳纤维、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚乳酸制成的韧带替代物。合成移植体的发展历程从早期的单纯替代性发展到现代的增强型装置。其优势在于：人工在植入初期具有远超生物韧带的机械强度，能提供即刻的稳定性；无供区问题且无疾病风险。根据张建林等人的研究^[1]，为急性前交叉韧带损伤的 23 例患者采取聚对苯二甲酸乙二醇酯材料的人工韧带手术治疗，为患者随访 10 ~ 14 个月后患者不稳定症状消失，前后抽屉试验阴性，关节功能恢复良好，平均伸屈度 $0 \sim 120^\circ$ ，患者的 Lysholm 评分平均提高 50 分，差异明显。根据研究可知，前交叉韧带损伤关节镜下实施人工韧带重建后，手术流程简化，术后立刻获得较高的抗拉强度，患者的术后恢复速度较快，值得临床推广应用^[4-5]。

3 前交叉韧带修复

近年来，前交叉韧带修复技术以韧带不具有愈合潜力、保留原生韧带具有长期优势的理念为基础进行发展。

3.1 动态韧带内稳定修复技术

该技术以 Internal Brace 理念为核心，由“动态韧带内

稳定系统”实现，不属于传统修复，是一种增强型修复。该修复技术需要充分认识前交叉韧带损伤，特别是近端撕裂，其韧带残端仍具有良好的组织质量和血供；该技术在完成修复后，在修复的 ACL 旁平行植入一根高强度的不可吸收缝合带。这条“内支架”并不承担 ACL 的全部负荷，而是作为一个内部护具^[6]。膝关节活动中，Internal Brace 分担了大部分施加在正在愈合的 ACL 上的张力，为韧带在受保护的环境下进行生物学愈合提供宝贵的“时间窗”，通过减少修复处的间隙形成和稳定膝关节来创造最佳的愈合条件。

动态韧带内稳定修复技术在关节镜下清理 ACL 股骨止点处的疤痕，制造出新鲜创面；使用带线锚钉将 ACL 股骨残端固定回其解剖止点；将 Internal Brace 缝合带的一端通过锚钉固定在股骨隧道内，另一端以适当张力固定在胫骨隧道内，使其与修复的 ACL 平行。该技术的优势在于可最大程度地保留原生 ACL 及其内部的机械感受器，有利于神经肌肉控制和运动功能的恢复；由于提供了即刻的机械稳定性，患者术后可更快的开展康复训练；即便在愈合不完全的情况下，Internal Brace 也能成为一道安全屏障，保障机械稳定。

3.2 生物增强修复

生物增强修复并非一项独立的技术，是一种辅助对策，核心思想为将修复手术与生物活性物质结合，从而营造有利于愈合的生物学环境，提高修复的成功率。ACL 愈合能力差的主要原因为关节内环境缺乏足够的生长因子和细胞，而且血供有限，生物增强修复技术则可解决这一问题。主要技术为：（1）富血小板血浆。目前为最常用的生物增强剂，通过离心自体血液获得，富含多种生长因子，可在手术中将 PRP 注射到修复的韧带残端周围或浸泡在用于修复的缝线上。（2）干细胞疗法。采用来自骨髓或脂肪的间充质干细胞，具有多向分化潜能和增大的旁分泌作用，可调节炎症、促进血管生成和组织再生。一般与支架材料结合应用，植入撕裂部位作为“种子细胞”促进韧带再生。（3）细胞因子与基因治疗。该技术还处于研究阶段，通过递送特定的生长因子例如 GDF-5、BMP-2，或通过病毒载体将编码这些因子的基因导入局部细胞，使其持续表达。

该技术的优势在于可改善 ACL 愈合的生物学微环境，提高修复组织的质量；而且使用自体来源的 PRP 和干细胞，不会有免疫排斥风险，可与动态稳定、BEAR 等技术结合，具有极大的研究潜力。

3.3 桥接增强前交叉韧带修复术

该技术是一项革命性的生物诱导修复方法，其核心在于主动引导和促进韧带自身的愈合。桥接增强前交叉韧带修复术（BEAR）的核心是一个可生物降解的蛋白基支架，手

术中将患者自身的静脉血注入该支架，形成一个富含血小板和生长因子的 BEAR 植入物。在 ACL 撕裂的股骨端与胫骨端之间植入生物活性支架，为两端长入的细胞提供迁移、增殖、分泌胶原蛋白的临时基质。支架在 3 ~ 6 个月内逐渐降解，同时引导原生 ACL 残端沿着正确的解剖方向生长并相互连接，最终实现韧带-韧带的原生愈合。

该技术的优势在于，作为首个被 FDA 批准的、能刺激 ACL 自身愈合的医疗设备，恢复了韧带的结构连续性，愈合后的组织为原生韧带而非改造过的肌腱，可能具有更优越的生物力学特性和血管神经分布。该技术目前仅适用于受伤 21 天内、中段或近端 1/3 的实质性撕裂。该技术新颖且复杂，需要专门的培训和专用医疗器械，而且该技术的手术成本较高。

4 结语

综上所述，前交叉韧带修复与重建是恢复膝关节稳定性的关键，预防韧带受损引发的半月板撕裂和关节软骨磨损等问题，前交叉韧带损伤的重建与修复依然在不断的技术研究中，本文研究为临床研究提供了一定的理论基础。

参考文献

- [1] 张宁. 膝关节镜下应用不同自体材料重建前交叉韧带的效果观察[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)医药卫生, 2025(5):078-081.
- [2] 崔勇, 杨靖琦, 王建国, 邵德成, 陈百成, 张晓阳. 膝前交叉韧带重建 10 年后自体 and 同种异体移植成熟度及术后临床效果分析[J]. 中国运动医学杂志, 2024, 43(3):175-180.
- [3] 张建林, 叶军, 赵俊华, 栾彦军, 白立榜. 聚对苯二甲酸乙二醇酯材料 LARS 韧带重建急性前交叉韧带损伤 23 例[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(16):3011-3014.
- [4] Cimino F, Volk B S, Setter D. Anterior cruciate ligament injury: diagnosis, management, and prevention[J]. American family physician, 2010, 82(8): 917-922.
- [5] Boden B P, Dean G S, Feagin J A, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury[J]. Orthopedics, 2000, 23(6): 573-578.
- [6] Beynon B D, Johnson R J, Abate J A, et al. Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part I[J]. The American journal of sports medicine, 2005, 33(10): 1579-1602.
- [7] Kiapour A M, Murray M M. Basic science of anterior cruciate ligament injury and repair[J]. Bone & joint research, 2014, 3(2): 20-31.
- [8] Gianotti S M, Marshall S W, Hume P A, et al. Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries: a national population-based study[J]. Journal of science and medicine in sport, 2009, 12(6): 622-627.