

前交叉韧带重建及移植物相关研究进展

刘春雨 徐飞*

承德医学院附属医院关节外科 河北承德 067000

摘要：交叉韧带断裂后，大部分患者选择早期行关节镜下交叉韧带重建，这可以有效降低半月板、关节软骨等继发损伤的风险。前交叉韧带重建手术近年来有了极大的发展与进步，术中骨道定位、移植物种类及质量、移植物固定方式等对ACL重建的术后效果至关重要，由等长重建发展到解剖重建，同时移植物也有很多的选择，最开始的自体骨-髌腱-骨移植物，到现在颇受欢迎的腓绳肌肌腱，每种移植物都有固有的优点和缺点，在临床上须结合患者的自身情况选择适宜的移植物，移植物的直径和长度对手术的效果至关重要，只有足够质量的移植物，才能满足达到维持膝关节稳定的基本要求，降低重建后移植物再断裂的风险，尽可能恢复患者术后正常功能锻炼。

关键词：交叉韧带重建；移植物种类；重建方式；核磁

前交叉韧带起自股骨外侧髁的内侧面，向前内下方止于胫骨髁间嵴的前方，是维持膝关节稳定的主要结构，限制胫骨过度前移和内旋，其断裂会导致膝关节前移和旋转不稳定。前交叉韧带(ACL)损伤是膝关节最常见的损伤之一，其断裂后，保守治疗具有一定的局限性，约50%的保守治疗的患者最终因膝关节不稳而选择延迟重建手术。对于患者来说：选择合适的固定方式、最恰当的移植物、移植物直径、个性化的骨道位置选择对恢复韧带功能十分重要，甚至决定手术的成败。

1. 重建方式

等长重建：即膝关节在屈伸活动中，股骨和胫骨骨道之间的移植物长度及张力保持恒定不变，即韧带纤维始终处于紧张的状态中。该方法可以防止移植物过于紧张而限制关节运动，同时变得松弛使胫骨前移而导致重建失败，等长重建相较于非等长重建能够降低移植物再次断裂及松弛风险，并且能够更好地维持膝关节前后方向的稳定性，但等长重建不能很好地控制膝关节的旋转稳定性^[1]，

解剖重建：在解剖中，前交叉韧带分为前内侧束和后外侧束，其中前内侧束主要维持膝关节前后稳定性，后外侧束维持膝关节旋转稳定性，在膝关节屈伸运动中具有不同的运动状态。韧带重建时在股骨和胫骨上采用解剖位点进行骨道定位，使重建后的韧带更符合ACL的解剖结构，恢复ACL两侧止点的天然足迹、原有的尺寸及胶原原形，保证膝关节前后向稳定的同时，兼顾旋转稳定^[2]。其中解剖重建又分为

单束、双束解剖重建：分别将移植物编制成单束和双束固定在肌腱的起止点处，从而恢复关节的稳定性，但是两者之间的优劣性和手术效果目前没有明确定论，尚存在争议。在临床中单束重建创伤较小、远期继发膝关节创伤性关节炎的风险低、手术方式简单等而更受到医生的青睐。

类等长重建：即移植物在近等长位置下重建，股骨定位点位于横跨髁间窝顶与外侧壁后下缘连线中、后三分之一交界部骨嵴，即住院医师嵴处，此点能增加膝关节旋转和平移稳定性，且更易于恢复正常前交叉韧带屈伸活动。类等长重建可以有效将移植物和骨道之间发生异常拉伸和相对运动控制在2mm以内，有效促进移植物的腱骨愈合、降低骨道松动及移植物再断裂的风险^[3]。但目前国内但对于类等长重建大的研究仍缺乏一致的认识，尚需要更多的研究进一步的了解。

2. 移植物的类型：自体移植物、同种异体移植物、人工韧带

骨-髌腱-骨移植物 (bone-patellar tendon-bone, BPTB)：主要由髌腱的中1/3以及髌骨和胫骨粗隆的骨块构成，在重建手术中，BPTB是最早被选用的移植物，有足够的生物强度来维持膝关节稳定性，并且两端的骨块可以和骨道较快达到骨与骨的愈合，曾一度被认为是重建手术的金标准^[4]。髌腱在膝关节屈伸活动中有着重要的作用，并且取腱创伤较大，取腱后容易并发髌腱断裂、髌骨软化、髌骨骨折等导致出现更严重的术后并发症。

腘绳肌肌腱 (hamstring tendon, HT)：腘绳肌是位于大腿后群的一组肌肉，主要包括半腱肌、半膜肌和股二头肌，在实际临床中，HT常包括半腱肌和大腿内侧肌群中的骨薄肌。HT是目前前交叉韧带重建中最常用的移植物，手术操作时，腘绳肌肌腱取腱范围更小，手术时间短，由于HT移植物与骨道为腱-骨愈合，其愈合强度与时间差于BPTB，对于术后效果目前已有多种研究表明，自体HT与BPTB重建术后相比，两者之间术后膝关节功能评分与移植物再断裂率风险并无明显差距^[4]，甚至优于BPTB，并且术后并发症较于BPTB明显较少。

腓骨长肌肌腱 (peroneus longus tendon, PLT)：小腿外侧群肌肉，起自腓骨外侧面，以长腱的形式经外踝后方止于内侧楔骨和第一跖骨底，在足跖屈，足外翻，维持足横弓发挥着作用，PLT肌腱直径较粗，有研究表明PLT与HT移植物在术后膝关节评分及移植物存活率并无明显差距^[5]。但取腱后会导致患者足踝功能AOFAS评分略有下降，腓骨长肌的功能可能会下降，表现为踝关节跖屈范围减少。并且取腱时会增加腓总神经损伤的风险，引起小腿和足踝感觉障碍。

人工韧带：人工韧带避免了因取腱造成患者供区并发症的产生，并可以为韧带重建提供足够的生物强度，在早期通常会加速患者的术后康复，但是多项研究表明使用人工韧带术后产生高松弛率和频发的术后包括滑膜炎、积液、异物反应和移植物破裂等并发症，这可能与韧带材质有关，但目前人工韧带的材质也有了显著的改善，从最早使用的合成纤维，到现代结合生物材料和生物工程技术，逐步实现了材料的多样化和功能优化。添加可降解生物材料和生物活性复合材料从而促进骨整合和韧带再生，但这些材料并未成熟，人工韧带的发展前景非常广阔，未来在材料创新、定制化医疗、智能复合材料和组织再生方面将取得重要进展。这些创新将极大提升前交叉韧带重建手术的效果，减少并发症，并加速术后康复过程。

同种异体移植物：这些移植物通常来源于遗体捐赠者，并通过严格的处理程序，包括消毒、灭菌和保存，以确保其安全性和适用性。由于供体来源的广泛性，同种异体移植物可以提供不同尺寸的移植物，更好地匹配受体患者的需求。虽然感染的风险通过严格的筛选和处理措施已大大降低，但同种异体移植物仍有潜在的病毒或细菌感染风险。在年轻和活跃的患者中，与自体移植物相比，同种异体移植物在前交

叉韧带重建中的失败率更高。研究显示，自体移植物的失败率为9.6%，而同种异体移植物的失败率为25.0%^[6]，表明同种异体移植物在该人群中表现较差。

3. 移植物质量与韧带重建

有研究指出自体移植术后3个月存在强度衰减期，此时移植物强度明显降低，相对容易发生再损伤。移植物直径相对越大越能保证术后韧带的强度和安全性，有研究表明，对于腘绳肌肌腱移植物直径小于7mm的患者功能恢复较差，且术后翻修率较高。但在临床实际中，当取出的肌腱移植物尺寸不足时，手术医生可能需要用其他肌腱来增强移植物，以获得足够强度的移植物尺寸来重建韧带。有多项研究表明，术中发现同侧腘绳肌肌腱质量不足时，取对侧腘绳肌肌腱来增强移植物可以获得足够的移植物长度和直径，确保手术成功并且可以达到理想的手术效果^[7, 8]。同时也有研究表明混合同种异体肌腱来加强移植物是无效的，影响重建后移植物愈合和手术效果^[9]。除此之外取同侧腓骨长肌肌腱来增强移植物也可以达到初步的手术效果。也有研究将传统的四股移植物编织为5股甚至更多来增强移植物直径^[10]，一般为半腱肌对折为3股，股薄肌对折为2股，但这对肌腱长度有了更高的要求。术前了解患者肌腱直径及长度可以更好地辅助临床医生应对术中各种情况。

术前评估腘绳肌肌腱长度和横截面积可以有效地帮助临床医生了解患者肌腱质量，术前发现患者患侧肌腱质量不足时，术前可以对患者双侧下肢进行消毒铺单，提高手术效率的同时更降低了术中临时对健侧下肢消毒铺单而带来因术区破坏发生感染的风险。Yan等人术前通过核磁测量半腱肌和股薄肌在关节线处的横截面积并与术中取腱后测量移植物直径进行数据分析得出：MRI测量半腱肌和股薄肌横截面积，在预测术中移植物直径方面具有高预测价值 (AUC=0.925，灵敏度为90.48%，特异度为85.71%)^[11]。Xiao等人用超声在股骨内外髁直径最宽处和缝匠肌肌腱结合处测量半腱肌和股薄肌的横径、前后径、截面积和周长，并于取腱后的实际数据的对比发现股骨内外髁直径最宽处与术中测量值存在相关性^[12]。通过超声测量内侧股骨上髁的最宽处的半腱肌和股薄肌肌腱直径并于术中测量实际直径进行对比分析得到的结果并无统计学差异，可以用超声来预测最终移植物直径^[13]。Gehron等人收集人体测量数据与术中取腱后肌腱的长度和横截面积进行对比分析，通过计算

双变量相关系数 (Pearson r) 以确定人体测量数据与术中测量的腘绳肌移植体长度和直径之间的关系, 身高和腿长的测量与移植体二的长度呈强相关性, 体重和大腿周径是与移植体直径为强相关^[14]。术前通过 MRI 或超声测量腘绳肌腱的横截面积, 可以有效预测移植体的直径, 从而帮助临床医生进行术前准备, 确保手术成功。结合患者的体重、身高等因素可以进一步提高预测的准确性。

4. 总结与展望

目前交叉韧带重建手术已是韧带断裂后首选的最佳治疗手段, 多种手术方式及移植体各有优缺点, 需要结合患者的自身情况包括年龄、运动需求、职业、日常生活等选择合适的移植体。但是无论何种移植体都必须满足最基本的强度需求, 由于个体差异的存在, 术前预测肌腱质量在今后的临床工作中越来越重要, 以往的研究中已经表明核磁和超声在术前预测肌腱质量方面发挥着可靠的作用, 一些人体测量数据也可以提示肌腱的质量情况, 由于腘绳肌肌腱的弯曲走行, 目前肌腱长度在术前并没有较理想可靠的测量方法, 需要更新颖的方法来预测肌腱的长度。同时不同的测量部位也影响着测量结果, 不同地区的人群也存在差异性, 需要更大的样本量来检验测量结果的准确性。核磁与超声联合应用可以更准确地帮助医生进行术前评估。

参考文献:

[1] Musahl V, Plakseychuk A, VanScyoc A, et al. Varying femoral tunnels between the anatomical footprint and isometric positions: effect on kinematics of the anterior cruciate ligament-reconstructed knee. *Am J Sports Med.* 2005;33(5):712-718. doi:10.1177/0363546504271747.

[2] Sasaki Y, Chang SS, Fujii M, et al. Effect of fixation angle and graft tension in double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction on knee biomechanics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(9):2892-2898. doi:10.1007/s00167-015-3552-5.

[3] Wan F, Chen T, Ge Y, Zhang P, Chen S. Effect of Nearly Isometric ACL Reconstruction on Graft-Tunnel Motion: A Quantitative Clinical Study. *Orthop J Sports Med.* 2019;7(12):2325967119890382. Published 2019 Dec 31. doi:10.1177/2325967119890382.

[4] Sajovic M, Stropnik D, Skaza K. Long-term Comparison

of Semitendinosus and Gracilis Tendon Versus Patellar Tendon Autografts for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A 17-Year Follow-up of a Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med.* 2018;46(8):1800-1808. doi:10.1177/0363546518768768.

[5] He J, Tang Q, Ernst S, et al. Peroneus longus tendon autograft has functional outcomes comparable to hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(9):2869-2879. doi:10.1007/s00167-020-06279-9

[6] Wasserstein D, Sheth U, Cabrera A, Spindler KP. A Systematic Review of Failed Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Autograft Compared With Allograft in Young Patients. *Sports Health.* 2015;7(3):207-216. doi:10.1177/1941738115579030.

[7] Duchman KR, Lynch TS, Spindler KP. Graft Selection in Anterior Cruciate Ligament Surgery: Who gets What and Why?. *Clin Sports Med.* 2017;36(1):25-33. doi:10.1016/j.csm.2016.08.013.

[8] Charalambous CP, Kwaees TA, Lane S, Blundell C, Mati W. Rate of Insufficient Ipsilateral Hamstring Graft Harvesting in Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Knee Surg.* 2022;35(13):1462-1466. doi:10.1055/s-0041-1726421.

[9] Tajima T, Yamaguchi N, Morita Y, et al. Remnant-Preserved Single-Bundle Anterior Cruciate Ligament Augmentation in Multi-ligamentous Knee Reconstruction. *J Knee Surg.* 2023;36(10):1095-1101. doi:10.1055/s-0042-1749603.

[10] Calvo R, Figueroa D, Figueroa F, et al. Five-Strand Hamstring Autograft Versus Quadruple Hamstring Autograft With Graft Diameters 8.0 Millimeters or More in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Clinical Outcomes With a Minimum 2-Year Follow-Up. *Arthroscopy.* 2017;33(5):1007-1013. doi:10.1016/j.arthro.2016.10.028.

[11] Henkelman E, Ayres JM, Prô SL. MRI Accurately Predicts Quadrupled Semitendinosus Autograft Size Using Posterior Hamstring Harvest for ACL Reconstruction [published correction appears in *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2024 Aug 19;6(6):100976. doi: 10.1016/j.asmr.2024.100976.]. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2024;6(2):100844. Published 2024 Apr 8.

doi:10.1016/j.asmr.2023.100844.

[12] Takenaga T, Yoshida M, Albers M, et al. Preoperative sonographic measurement can accurately predict quadrupled hamstring tendon graft diameter for ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27(3):797–804. doi:10.1007/s00167-018-5101-5.

[13] 阿布都萨拉木·阿布都克力木, 李龙, 艾尔肯·阿木冬, 等. 术前超声预测腘绳肌腱直径在前交叉韧带重建中的应用 [J]. *实用骨科杂志*, 2019, 25 (07): 655–657.

DOI:10.13795/j.cnki.sgkz.2019.07.021.

[14] Janssen RPA, van der Velden MJF, van den Besselaar M, Reijman M. Prediction of length and diameter of hamstring tendon autografts for knee ligament surgery in Caucasians. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(4):1199–1204. doi:10.1007/s00167-015-3678-5.

作者简介:

刘春雨(1998.06), 男, 汉族, 河北邢台人, 研究生在读, 研究方向: 骨科学(关节与运动医学)。