

· 述评 ·

膝关节交叉韧带重建的思考与认识

徐杨, 李箭

(四川大学华西医院运动医学中心, 四川 成都 610041)

关键词 膝关节; 交叉韧带损伤; 韧带重建

中图分类号: R686.5

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.20240733

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Thinking and understanding of knee joint cruciate ligament reconstruction

XU Yang, LI Jian (Sports Medicine Center, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, Sichuan, China)

KEYWORDS Knee joint; Cruciate ligament injury; Ligament reconstruction



(李箭教授)

膝关节交叉韧带是维持膝关节稳定性的主要结构,其中前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)具有限制胫骨过度前移、内旋、内外翻以及过伸等重要作用,而后交叉韧带(posterior cruciate ligament, PCL)则是限制胫骨过度后移的主要装置^[1-2]。单纯膝关节交叉韧带损伤后如未得到

及时诊治,由此导致的膝关节不稳将继发半月板及关节软骨等损伤,进一步加重关节内退变,表现为疼痛、关节交锁和关节不稳等症状^[3-4]。随着对于 ACL 和 PCL 解剖研究的不断深入及手术技术的不断发展,膝关节交叉韧带损伤的手术治疗取得了长足进步。目前,前交叉韧带重建术(anterior cruciate ligament reconstruction, ACL-R)和后交叉韧带重建术(posterior cruciate ligament reconstruction, PCL-R)仍然是治疗严重膝关节交叉韧带损伤的首选治疗方案,旨在恢复膝关节的稳定性和功能,帮助患者重返运动^[5]。本期的相关研究聚焦于膝关节韧带损伤的诊治,特别是在交叉韧带重建技术方面进行了较深入的探索,为膝关节交叉韧带损伤提供了新的治疗选择。

1 膝关节交叉韧带损伤的治疗

1.1 治疗方式

ACL 损伤的治疗包括保守治疗和手术治疗,保守治疗占有 ACL 损伤的比例相对较少^[6]。ACL 损伤后是否进行手术治疗应根据患者的年龄、膝关节

其他结构合并损伤情况、运动水平、膝关节稳定性和手术风险等多种因素来决定。保守治疗以支具固定为主,但是有可能对患者早期功能锻炼造成影响,从临床结果来看,在术后重返运动方面,手术治疗效果可能优于非手术治疗^[7]。随着关节镜技术的推广,目前 ACL 损伤的手术治疗主要以关节镜下 ACL-R 手术为主^[8]。

PCL 损伤依据其松弛度,可将其分为 I-III 度。I-II 度损伤目前建议进行保守治疗,保守治疗主要以石膏或功能支具进行固定,早期活动及康复训练、进行性负重等,患者通常都可以取得较好的疗效。而 III 度损伤的治疗方式仍有争议,对于其是否能延缓或者避免膝关节骨关节炎的进展,不同的研究也报道了不同的结果。对于 III 度损伤的患者,目前越来越多的学者倾向于手术治疗,尤其是对于运动需求高的人群^[9-12]。

1.2 手术时机

ACL-R 的手术时机非常重要,目前不主张在急性 ACL 损伤发生后的前 48 h 甚至 1 周内进行,推荐的手术时机为急性创伤性炎症期消退后(伤后 4~6 周)。膝关节在进行 ACL-R 时应无肿胀、炎症表现和疼痛,伸膝正常,屈曲应超过 90°。ACL 的保残重建术应在损伤发生后的 2~3 周内进行^[13]。

PCL 急性损伤的手术治疗一般在伤后 10~14 d 内进行,以防止瘢痕过度增生和韧带变性等问题;慢性 PCL 损伤的手术指征则为有症状的 III 度单纯 PCL 损伤,多发韧带损伤合并 PCL 损伤,应力位 X 线片前后松弛度较健侧增加 8 mm,患者无相关韧带重建的禁忌证^[9,12]。

2 ACL-R 的理念与技术

早期的 ACL-R 手术理念以单束等长重建为主,一般采用经胫骨隧道技术进行股骨隧道定位,由于

其股骨定位点为“过顶位”，导致重建的 ACL 移植物较为垂直，因此这种重建方式虽然能够有效控制膝关节前后稳定性，但对于膝关节旋转稳定性的控制较差^[14-15]。与单束等长重建相比，单束解剖重建的股骨定位点更接近 ACL 实际的解剖位置，这使得解剖重建在恢复膝关节前后稳定性的同时，能够提供更好的膝关节旋转稳定性^[5]。

尽管如此，单束解剖重建在术后残留了一定的旋转松弛和伸膝状态下的前向松弛，仅能恢复正常的 ACL 前内侧束结构和功能。随着对于 ACL 解剖结构的认识不断加深，双束重建的理念逐渐兴起。双束重建技术的主要优势在于能够最大程度地恢复 ACL 解剖结构的生物力学性能，但也存在着手术难度较大、肌腱长度要求较高、骨量丢失较多以及翻修困难等问题^[5, 16-17]。因此，在选择双束重建时，除了需要综合考虑患者的年龄和运动需求等自身因素以外，也应当严格评估双束重建的手术可行性^[18]。

为了解决传统 ACL-R 技术移植物要求高、骨质损伤大和内固定不牢固等技术方面的不足，全内技术 (all-inside technique, AIT) 在其基础上改进而来，并受到越来越多的关注。相较于传统 ACL-R 技术，AIT 技术具有手术切口更小、钻取骨隧道更短、保留骨量更多、所需肌腱更少、防止关节液渗漏、利于腱骨愈合和减轻术后疼痛等一系列技术优势。现有研究^[19-21]显示，AIT 技术取得了良好的早中期临床疗效，但其长期临床疗效有待进一步明确。因此，AIT 技术虽然存在着较长的学习曲线和成本问题，在 ACL-R 领域仍具有巨大的应用潜力。

越顶 (over-the-top, OTT) 技术的突出优势在于无须钻取股骨隧道，从而避免损伤股骨远端骨髓，因此适用于骨髓未闭的儿童及青少年 ACL 损伤患者^[22]。近年来，OTT 技术也广泛用于 ACL-R 初次和翻修手术，均显示出与传统 ACL-R 技术相当的临床效果^[23]。对于 ACL 部分损伤患者，使用 OTT 技术进行 ACL-R 可以避免损伤 ACL 残束和保留 ACL 本体感受器，其临床结果优于解剖重建^[24]。此外，作为 ACL-R 中一种特殊的关节内外联合技术，OTT 技术重建 ACL 联合前外侧结构加强或重建术用于合并高度轴移试验阳性或全身关节松弛症的 ACL 损伤患者以及翻修手术等，可有效改善膝关节术后残留的旋转松弛和降低 ACL 移植物失败率^[25-28]。

对于残端尚存的 ACL 损伤，保残重建在促进移植物再血管化、保留本体感觉和防止骨隧道扩大等方面具有一定的理论优势^[29-30]。目前有关保残重建的临床疗效仍存在争议，大部分研究认为保残重建在术后早期有助于提高膝关节稳定性、降低骨隧道

扩大的发生率和恢复本体感觉，但保残重建与非保残重建的中远期临床疗效未见显著差异，因此在未来需更多高质量的临床证据评价其疗效^[31]。同时，由于保残重建导致移植物容积增加而引起的独眼畸形、髌间窝撞击和伸膝受限等并发症应当予以重视^[32]。

ACL-R 的移植物主要包括自体移植物、同种异体移植物和人工韧带，现有的临床指南推荐首选自体移植物^[33]。自体移植物和同种异体移植物在 ACL-R 术后膝关节功能评分和稳定性方面大体相当，但部分研究显示同种异体移植物的术后并发症发生率和再损伤率更高。对于自体移植物的选择，自体腘绳肌腱和骨-髌腱-骨均可作为首选的主要移植物类型^[33]。目前临床上对于人工韧带的使用较为谨慎，尽管人工韧带在 ACL-R 术后早中期显示出优异的生物力学性能，可帮助患者尽快重返运动，但存在的腱骨愈合能力弱和远期疗效不确切等问题依然限制其广泛使用。因此，对于运动需求较高的 ACL 损伤患者或多发韧带损伤患者，可以考虑使用人工韧带，但应尽可能采取等长重建与保残重建相结合的方式以提高人工韧带的临床疗效^[14, 34]。

3 PCL-R 的理念与技术

对于 PCL-R 的手术方式，首先需要明确采用单束还是双束重建^[35]。在生物力学方面，单束重建在术后大多残留一定程度的后向松弛，而双束重建能够更好地恢复原有的膝关节后向稳定性^[9, 36-38]。尽管双束重建的生物力学性能优于单束重建，但现有的大部分研究显示两种重建方式之间的术后临床结果及功能评分并未存在显著差异^[39-40]。此外，进行双束重建时选择单隧道双束重建还是双隧道双束重建是需要考虑的另一个问题。由于双隧道双束技术的手术时间更长、技术要求更高以及翻修难度更大，因此目前临床上多采用单隧道双束技术进行 PCL-R^[41]。

常见的经胫骨隧道技术存在着“杀手角”效应，可以加重移植物磨损及其附近的胫骨骨隧道扩大，是导致 PCL-R 移植物失效的最常见原因，因此临床上需要特别重视^[35]。目前已有多种技术可用于降低或规避“杀手角”效应，如胫骨 Inlay 技术、Onlay 技术、改良胫骨骨隧道技术、保留 PCL 残端、胫骨前外侧创建胫骨骨隧道以及增加胫骨骨隧道与胫骨平台的夹角等，从而减少 PCL-R 术后膝关节后向稳定性的丢失^[42]。在临床实践中，具体采用哪种技术以降低“杀手角”效应带来的不利影响，应该结合患者的具体情况以及术者的手术技术进行选择。

保残重建的理念在 PCL-R 中的应用近年来备受重视。除了具有促进移植物再血管化、保留部分本体感觉及封闭骨隧道内口等优势以外，残余的 PCL

纤维和半月板股骨韧带可以通过稳定移植物和缓冲“杀手角”效应来保护移植物。因此,对于有条件进行保残重建的急性 PCL 损伤患者,全关节镜下经胫骨隧道技术在降低“杀手角”效应的同时,具有技术要求较低、手术创伤较小和手术时间较短等优势,是此类患者可以选择的一种重建方式。另一方面,对于陈旧性 PCL 损伤或翻修手术等无法保残的患者,胫骨 Inlay 技术在减少 PCL-R 术后的移植物磨损和膝关节后向松弛方面较前者更具有有一定优势^[9,41,43]。

在移植物选择方面,自体腓绳肌腱是目前临床上较为常用的 PCL-R 移植物^[44]。使用自体移植物重建 PCL 的膝关节后向稳定性优于同种异体移植物,尽管这一差异对于临床疗效和移植物失效率的影响可能并不显著^[45]。同种异体移植物的优势在于可以避免取腱及其供区并发症,缩短手术时间,但存在组织相容性较差、免疫排斥反应以及供体来源和保存运输等问题。此外,人工韧带在 PCL-R 术后早期显示出优异的膝关节后向稳定性和患者主观功能评分,适用于初次 PCL-R 时运动需求较高或体重偏大且 PCL 残端较好的患者,或作为多发韧带损伤患者的 PCL-R 移植物,也适用于翻修手术和取腱困难者。在此基础上,为了进一步增强 PCL-R 移植物的生物力学性能,尽可能地恢复患者的膝关节后向稳定性,临床上尝试了韧带增强技术、内减张技术和表面涂层技术等各种移植物改进方法,均取得了较好的临床疗效^[46-47]。

4 生物治疗技术在交叉韧带重建中的应用

除了通过手术重建恢复韧带的宏观结构以外,为了进一步促进韧带重建术后的腱骨愈合和移植物韧带化,多种生物治疗技术已被报道用于韧带重建的相关研究,并有望在未来应用于临床实践。其中,干细胞、细胞因子、血小板血浆复合物以及生物支架是目前研究较为热门的生物治疗技术^[48]。

在不同来源的间充质干细胞中,骨髓间充质干细胞来源丰富,且具有较强的增殖能力和多向分化潜能,通过分泌细胞因子和免疫调节等多种途径促进了腱骨愈合,显示出良好的应用前景^[49-50]。多项动物实验研究^[48-51]表明,血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)、血小板衍生生长因子(platelet-derived growth factor, PDGF)、成纤维细胞生长因子(fibroblast growth factor, FGF)、转化生长因子- β (transforming growth factor- β , TGF- β)以及骨形态发生蛋白-2 (bone morphogenetic protein-2, BMP-2)等细胞因子对韧带重建术后的腱骨愈合和移植物成熟有一定的促进作用。作为一项近年来临床应用广泛的新技术,富血小板血浆(platelet-rich

plasma, PRP) 中含有的高浓度生长因子可促进局部组织愈合和血管生成,从而可能对腱骨愈合过程产生潜在的积极影响。然而,现有的研究结论并不一致地支持 PRP 在腱骨愈合方面的促进作用,因此其临床疗效仍需要进一步的研究予以证实^[49,51]。此外,生物支架及骨诱导材料等材料学方法可以通过增强细胞附着和长入以及诱导腱骨界面新骨生成,促进韧带移植物的腱骨愈合^[50,52]。

5 本期相关的韧带重建技术

龚时国等^[53]研究中介绍了关节镜下利用拉线法测量关节腔内移植物长度的应用,但未对该方法进行详细介绍。此外,拉线法在前、后向应力位下测量及不同膝关节角度位置测量可能更具有价值,同时也应当测量股骨隧道段和胫骨隧道段的移植物长度。李根等^[54]研究中对比了 LARS 韧带与自体腓绳肌腱加高强度线保残重建 PCL 的疗效,两种方法均取得了较好的临床结果。与过往同类的研究结果类似,LARS 韧带在术后膝关节稳定性方面更具优势。李宝等^[55]研究中介绍了一种新的保残重建思路,使用高强度线(或未来的人工韧带)在单独的骨隧道中进行重建,既起到了增强减张的作用,又避免了与自身移植物之间发生撞击和切割,其方法是科学可行的,也可用于 ACL 损伤急性期的减张综合修复。

综上所述,尽管韧带重建技术的发展促使膝关节交叉韧带损伤的治疗有了长足进步,但对于 ACL 和 PCL 损伤的最佳手术方案仍是具有争议的话题。针对不同的膝关节交叉韧带损伤患者,需要临床医生对其进行全面且充分的评估,以制定个体化的手术方案,尽可能地帮助患者恢复膝关节的稳定性和功能,早日重返运动。

参考文献

- [1] MUSAHL V, NAZZAL E M, LUCIDI G A, et al. Current trends in the anterior cruciate ligament part 1: biology and biomechanics [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2022, 30(1): 20-33.
- [2] WINKLER P W, ZSIDAI B, WAGALA N N, et al. Evolving evidence in the treatment of primary and recurrent posterior cruciate ligament injuries, part 1: anatomy, biomechanics and diagnostics [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2021, 29(3): 672-681.
- [3] 王健, 王永健, 王海军, 等. 长病程前交叉韧带损伤后膝关节继发改变研究 [J]. *中国运动医学杂志*, 2019, 38(4): 276-280. WANG J, WANG Y J, WANG H J, et al. Secondary changes of knees following long-course anterior cruciate ligament injury [J]. *Chin J Phys Med*, 2019, 38(4): 276-280. Chinese.
- [4] 焦晨, 于长隆, 敖英芳. 单纯后交叉韧带断裂继发性关节内损伤的临床研究 [J]. *中国运动医学杂志*, 2003, 22(4): 337-343. JIAO C, YU C L, AO Y F. Clinical study on intraarticular injuries associated with isolated posterior cruciate ligament rupture [J]. *Chin J Phys Med*, 2003, 22(4): 337-343. Chinese.
- [5] 范冰冰, 何海溶, 袁凌伟, 等. 关节镜下前交叉韧带重建手术研

- 究现状[J]. 中国医药导报, 2022, 19(31):65-68, 87.
- FAN B Y, HE H R, YUAN L W, et al. Research status of arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *China Med Her*, 2022, 19(31):65-68, 87. Chinese.
- [6] MARX R G J, JONES E C, ANGEL M, et al. Beliefs and attitudes of members of the American Academy of Orthopaedic Surgeons regarding the treatment of anterior cruciate ligament injury [J]. *Arthroscopy*, 2003, 19(7):762-770.
- [7] 王钜忠. 前交叉韧带损伤的治疗进展[J]. 中国城乡企业卫生, 2023, 38(12):45-47.
- WANG J Z. Treatment progress of anterior cruciate ligament injury [J]. *Chin J Urban Rural Enterp Hyg*, 2023, 38(12):45-47. Chinese.
- [8] KRAUSE M, FREUDENTHALER F, FROSCHE K H, et al. Operative versus conservative treatment of anterior cruciate ligament rupture [J]. *Dtsch Arztebl Int*, 2018, 115(51/52):855-862.
- [9] 郑亚东, 陆生林. 单纯后交叉韧带损伤的诊断及治疗进展[J]. 微创医学, 2023, 18(5):615-620.
- ZHENG Y D, LU S L. Progress in diagnosis and treatment of simple posterior cruciate ligament injury [J]. *J Minim Invasive Med*, 2023, 18(5):615-620. Chinese.
- [10] JACOBI M, REISCHL N, WAHL P, et al. Acute isolated injury of the posterior cruciate ligament treated by a dynamic anterior drawer brace: a preliminary report [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2010, 92(10):1381-1384.
- [11] JUNG Y B, TAE S K, LEE Y S, et al. Active non-operative treatment of acute isolated posterior cruciate ligament injury with cylinder cast immobilization [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2008, 16(8):729-733.
- [12] 徐宝鑫, 付维力. 膝后交叉韧带损伤的诊治及康复策略[J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(11):1766-1772.
- XU B Y, FU W L. Posterior cruciate ligament injury: diagnosis, treatments and rehabilitation strategies [J]. *Chin J Tissue Eng Res*, 2021, 25(11):1766-1772. Chinese.
- [13] HÄNER M, STOFFELS T, GUENTHER D, et al. Management after acute injury of the anterior cruciate ligament (ACL). Part 3: Recommendation on surgical treatment [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2024, 32(2):223-234.
- [14] 毕擎, 陈珀航, 赵晨, 等. 膝关节前交叉韧带重建的研究现状[J]. 中国骨伤, 2021, 34(12):1091-1094.
- BI Q, CHEN J H, ZHAO C, et al. Research status of anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *China J Orthop Traumatol*, 2021, 34(12):1091-1094. Chinese.
- [15] 欧阳钰龙, 孙贵才. 前交叉韧带损伤手术技术的进展[J]. 中国骨伤, 2023, 36(10):911-915.
- OUYANG Y L, SUN G C. Surgical progress of anterior cruciate ligament injury [J]. *China J Orthop Traumatol*, 2023, 36(10):911-915. Chinese.
- [16] CHA P S, BRUCKER P U, WEST R V, et al. Arthroscopic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: an anatomic approach [J]. *Arthroscopy*, 2005, 21(10):1275.
- [17] SMIGIELSKI R, ZDANOWICZ U, DRWIEGA M, et al. Ribbon like appearance of the midsubstance fibres of the anterior cruciate ligament close to its femoral insertion site: a cadaveric study including 111 knees [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2015, 23(11):3143-3150.
- [18] RAINES B T, NACLERIO E, SHERMAN S L. Management of anterior cruciate ligament injury: what's in and what's out [J]. *Indian J Orthop*, 2017, 51(5):563-575.
- [19] 冯建豪, 徐一宏, 徐卫东. 全内技术重建前十字韧带的发展、演变和临床意义的研究进展[J]. 中华骨科杂志, 2023(8):526-533.
- FENG J H, XU Y H, XU W D. All-inside anterior cruciate ligament reconstruction: a review of development, evolution and clinical significance [J]. *Chin J Orthop*, 2023(8):526-533. Chinese.
- [20] 钟秋文, 王贵清, 江长青, 等. 膝关节前交叉韧带全内重建技术的研究进展[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2021, 14(9):793-798.
- ZHONG Q W, WANG G Q, JIANG C Q, et al. Research progress of all-inside technology reconstruction of anterior cruciate ligament of knee joint [J]. *Chin J Bone Jt Surg*, 2021, 14(9):793-798. Chinese.
- [21] 中华医学会运动医疗分会下肢运动创伤学组, 中国医师协会运动医学医师分会. 前十字韧带全内重建技术中国专家共识(2023年版)[J]. 中华骨科杂志, 2023, 43(24):1631-1640.
- LOWER LIMB SPORTS TRAUMATOLOGY GROUP OF CHINESE SOCIETY OF SPORTS MEDICINE, SPORTS MEDICINE DOCTOR SOCIETY OF CHINESE MEDICAL DOCTOR ASSOCIATION. Chinese expert consensus on reconstruction of anterior cruciate ligament with all-inside technique (2023 version) [J]. *Chin J Orthop*, 2023, 43(24):1631-1640. Chinese.
- [22] 梅森, 李瑞欣, 向先祥, 等. 越顶技术重建前交叉韧带的研究进展[J]. 中国修复重建外科杂志, 2022, 36(9):1166-1171.
- MEI S, LI R X, XIANG X X, et al. Research progress of anterior cruciate ligament reconstruction with over-the-top technique [J]. *Chin J Reparative Reconstr Surg*, 2022, 36(9):1166-1171. Chinese.
- [23] SARRAJ M, DE SA D, SHANMUGARAJ A, et al. Over-the-top ACL reconstruction yields comparable outcomes to traditional ACL reconstruction in primary and revision settings: a systematic review [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2019, 27(2):427-444.
- [24] LORENZ S, AHRENS P, KIRCHHOFF S, et al. Dynamic quantification of tibio-femoral rotation in postero-lateral bundle insufficiency of the anterior cruciate ligament: a cadaver study [J]. *Int Orthop*, 2015, 39(5):865-870.
- [25] MARCACCI M, ZAFFAGNINI S, GIORDANO G, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction associated with extra-articular tenodesis: a prospective clinical and radiographic evaluation with 10-to 13-year follow-up [J]. *Am J Sports Med*, 2009, 37(4):707-714.
- [26] GETGOOD A M J, BRYANT D M, LITCHFIELD R, et al. Lateral extra-articular tenodesis reduces failure of hamstring tendon autograft anterior cruciate ligament reconstruction: 2-year outcomes from the STABILITY study randomized clinical trial [J]. *Am J Sports Med*, 2020, 48(2):285-297.
- [27] GRASSI A, MACCHIAROLA L, LUCIDI G A, et al. Ten-year survivorship, patient-reported outcome measures, and patient acceptable symptom state after over-the-top hamstring anterior cruciate ligament reconstruction with a lateral extra-articular reconstruction: analysis of 267 consecutive cases [J]. *Am J Sports Med*, 2021, 49(2):374-383.
- [28] 中国研究型医院学会运动医学分会. 膝关节前外侧结构加强及

- 重建专家共识(2021 年版)[J]. 中华关节外科杂志(电子版), 2021, 15(2):131-136.
- CHINESE RESEARCH HOSPITAL ASSOCIATION SPORTS MEDICINE COMMITTEE. Expert consensus on augmentation and reconstruction of anterolateral structure of knee(2021)[J]. Chin J Jt Surg Electron Ed, 2021, 15(2):131-136. Chinese.
- [29] 尤志敏, 李彦林, 黄赞, 等. 关节镜下前交叉韧带保残重建治疗新进展[J]. 实用骨科杂志, 2015, 21(3):240-242.
- YOU Z M, LI Y L, HUANG Z, et al. New progress in arthroscopic reconstruction of anterior cruciate ligament[J]. J Pract Orthop, 2015, 21(3):240-242. Chinese.
- [30] 王瑞, 王雁娇, 孙鲁宁. 前交叉韧带保留残存纤维重建研究进展[J]. 临床骨科杂志, 2022, 25(1):145-149.
- WANG R, WANG Y J, SUN L N. Research progress in the reconstruction of preserving-remnant fibers of anterior cruciate ligament [J]. J Clin Orthop, 2022, 25(1):145-149. Chinese.
- [31] 岐飞, 刘阳, 孙学斌. 关节镜下前交叉韧带保残重建和非保残重建的研究进展[J]. 新疆医学, 2021, 51(4):468-470, 486.
- QI F, LIU Y, SUN X B. Research progress of arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction with and without preservation [J]. Xinjiang Med J, 2021, 51(4):468-470, 486. Chinese.
- [32] 周敬滨, 刘玉杰, 李国平. 前交叉韧带保残重建的研究进展[J]. 中国骨伤, 2013, 26(5):441-444.
- ZHOU J B, LIU Y J, LI G P. Research advances in anterior cruciate ligament reconstructions with remnant preservation [J]. China J Orthop Traumatol, 2013, 26(5):441-444. Chinese.
- [33] 白伦浩, 陈疾忤, 陈坚, 等. 前交叉韧带损伤临床诊疗循证指南(2022 版)[J]. 中华创伤杂志, 2022, 38(6):492-503.
- BAI L H, CHEN J W, CHEN J, et al. Clinical evidence-based guideline for the diagnosis and treatment of anterior cruciate ligament injury (2022 version) [J]. Chin J Trauma, 2022, 38(6):492-503. Chinese.
- [34] 冯建豪, 徐一宏, 徐卫东. LARS 人工韧带在前交叉韧带重建术中应用的研究进展[J]. 中华创伤杂志, 2023, 39(8):756-762.
- FENG J H, XU Y H, XU W D. Clinical application of LARS artificial ligament in anterior cruciate ligament reconstruction: an update [J]. Chin J Orthop Trauma, 2023, 39(8):756-762. Chinese.
- [35] WINKLER P W, ZSIDAI B, WAGALA N N, et al. Evolving evidence in the treatment of primary and recurrent posterior cruciate ligament injuries, part 2: surgical techniques, outcomes and rehabilitation [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2021, 29(3):682-693.
- [36] WIJEDICKS C A, KENNEDY N I, GOLDSMITH M T, et al. Kinematic analysis of the posterior cruciate ligament, part 2: a comparison of anatomic single-versus double-bundle reconstruction [J]. Am J Sports Med, 2013, 41(12):2839-2848.
- [37] KENNEDY N I, LAPRADE R F, GOLDSMITH M T, et al. Posterior cruciate ligament graft fixation angles, part 1: biomechanical evaluation for anatomic single-bundle reconstruction [J]. Am J Sports Med, 2014, 42(10):2338-2345.
- [38] KENNEDY N I, LAPRADE R F, GOLDSMITH M T, et al. Posterior cruciate ligament graft fixation angles, part 2: biomechanical evaluation for anatomic double-bundle reconstruction [J]. Am J Sports Med, 2014, 42(10):2346-2355.
- [39] LI Y Q, LI J, WANG J Z, et al. Comparison of single-bundle and double-bundle isolated posterior cruciate ligament reconstruction with allograft: a prospective, randomized study [J]. Arthroscopy, 2014, 30(6):695-700.
- [40] YOON K H, KIM E J, KWON Y B, et al. Minimum 10-year results of single-versus double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction: clinical, radiologic, and survivorship outcomes [J]. Am J Sports Med, 2019, 47(4):822-827.
- [41] 陆定贵, 唐乾利, 彭维波. 关节镜下后交叉韧带损伤重建技术研究进展[J]. 右江医学, 2018, 46(1):103-107.
- LU D G, TANG Q L, PENG W B. Research progress of arthroscopic reconstruction of posterior cruciate ligament injury [J]. Chin Youjiang Med J, 2018, 46(1):103-107. Chinese.
- [42] 蔡伟创, 徐一宏, 徐卫东. 后十字韧带重建中“杀手转角”效应的应对方法及评价[J]. 中华骨科杂志, 2023, 43(9):598-604.
- CAI W C, XU Y H, XU W D. Methods of reducing the “killer turn” effect in the posterior cruciate ligament reconstruction [J]. Chin J Orthop, 2023, 43(9):598-604. Chinese.
- [43] 刘欣伟, 关婷婷. 后交叉韧带损伤治疗进展[J]. 临床军医杂志, 2022, 50(6):573-576.
- LIU X W, GUAN T T. Progress in treatment of posterior cruciate ligament injury [J]. Clin J Med Off, 2022, 50(6):573-576. Chinese.
- [44] HUDGENS J L, GILLETTE B P, KRYCH A J, et al. Allograft versus autograft in posterior cruciate ligament reconstruction: an evidence-based systematic review [J]. 2013, 26(2):109-115.
- [45] LEE Y S, LEE S H, LEE O S. Graft sources do not affect to the outcome of transtibial posterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2018, 138(8):1103-1116.
- [46] SMITH C, AJUIED A, WONG F, et al. The use of the ligament augmentation and reconstruction system (LARS) for posterior cruciate reconstruction [J]. Arthroscopy, 2014, 30(1):111-120.
- [47] 赵正吕, 李彦林, 王旭, 等. 后交叉韧带重建移植物的特点与选择[J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(10):1615-1619.
- ZHAO Z L, LI Y L, WANG X, et al. Characteristics and selection of grafts for posterior cruciate ligament reconstruction [J]. Chin J Tissue Eng Res, 2022, 26(10):1615-1619. Chinese.
- [48] 熊波涵, 余洋, 卢晓君, 等. 促进前交叉韧带重建髓骨愈合的研究与进展[J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(5):779-786.
- XIONG B H, YU Y, LU X J, et al. Research progress in promoting tendon to bone healing during anterior cruciate ligament reconstruction [J]. Chin J Tissue Eng Res, 2023, 27(5):779-786. Chinese.
- [49] LOONEY A M, LEIDER J D, HORN A R, et al. Bioaugmentation in the surgical treatment of anterior cruciate ligament injuries: a review of current concepts and emerging techniques [J]. SAGE Open Med, 2020, 8:2050312120921057.
- [50] 肖磊, 郑博元, 庄腾丰, 等. 影响髓骨愈合的因素及促进髓骨愈合的策略[J]. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 2019, 40(1):19-30.
- XIAO L, ZHENG B Y, ZHUANG T F, et al. Research progress on factors influencing tendon-to-bone and methods promoting tendon-to-bone healing [J]. J Jinan Univ Nat Sci Med Ed, 2019, 40(1):19-30. Chinese.
- [51] HEXTER A T, THANGARAJAH T, BLUNN G, et al. Biological augmentation of graft healing in anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review [J]. 2018, 100-B(3):271-284.

- [52] 钟俊,王文. 人工合成支架材料促进腱骨愈合的研究进展[J]. 生物骨科材料与临床研究,2023,20(6):79-83.
ZHONG J,WANG W. Research progress of artificial scaffold materials to promote tendon joint healing[J]. Orthop Biomech Mater Clin Study,2023,20(6):79-83. Chinese.
- [53] 龚时国,谢荣辉,汪建祥,等. 关节腔内移植物长度测量在前交叉韧带全内重建的应用研究[J]. 中国骨伤,2024,37(7):655-663.
GONG S G,XIE R H,WANG J Y, et al. Application of intra-articular graft length measurement in total anterior cruciate ligament reconstruction[J]. China J Orthop Traumatol,2024,37(7):655-663. Chinese.
- [54] 李根,可雨奇,杨梁. LARS 韧带与自体腘绳肌腱加高强度线保残重建后交叉韧带疗效比较[J]. 中国骨伤,2024,37(7):641-648.
LI G,KE Y Q,YANG L. Comparison of the efficacy of LARS ligament and autogenous hamstring tendon plus high-strength suture in posterior cruciate ligament reconstruction[J]. China J Orthop Traumatol,2024,37(7):641-648. Chinese.
- [55] 李宝,刘欣伟,孙扬,等. 前交叉韧带双束双隧道增强重建术治疗膝关节前交叉韧带损伤的临床疗效[J]. 中国骨伤,2024,37(7):649-654.
LI B,LIU X W,SUN Y, et al. Clinical efficacy of double-bundle and double-tunnel enhanced reconstruction in the treatment of anterior cruciate ligament injury[J]. China J Orthop Traumatol,2024,37(7):649-654. Chinese.

(收稿日期:2024-07-15 本文编辑:朱嘉)