

膝关节前交叉韧带重建的研究现状

毕擎,陈垵航,赵晨,邱斌松,顾海峰,曹力,柴昉

(浙江省人民医院骨科,浙江 杭州 310014)

关键词 前交叉韧带; 外科手术; 关节镜

中图分类号:

DOI:10.12200/j.issn.1003-0034.2021.12.001

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research status of anterior cruciate ligament reconstruction BI Qing, CHEN Ji-hang, CHEN Chen, QIU Bin-song, GU Hai-feng, CAO Li, and CHAI Fang. Department of Orthopaedics, Zhejiang Provincial People's Hospital, Hangzhou 310014, Zhejiang, China

KEYWORDS Anterior cruciate ligament; Surgical procedures, operative; Arthroscopes



(毕擎教授)

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)是防止胫骨前移的基本结构,对阻止胫骨内旋也有特殊作用,其损伤后会引发膝关节前后向及旋转不稳定。近年来 ACL 损伤已成为最常见的运动损伤之一,关节镜下手术重建是其首选治疗手段。随着运动医学的理念及关节镜技术的不断发展,A-

详细介绍了其发现的新的 ACL 解剖足印,并提出了 Ribbon 结构理论,即 ACL 呈单束扁平、如带状的结构(Ribbon-like),而非传统认为的 AM-PL 双束结构。同年,Siebold 等^[6]也发现 ACL 在胫骨直接止点区域呈“C”形扁平状,并且观察胫骨止点到韧带中段的形态,均无明显双束分隔,这一系列发现颠覆了以往对 ACL 双束结构的认识。2017 年, Hohmann^[7]分析了既往与 ACL 解剖研究相关的文献,提出 ACL 双束结构实际上是由于扁平带状 ACL 旋转后所产生的结果。近年来, Ribbon-like 的 ACL 解剖理论也逐渐成为了新的研究热点^[8-10]。

CL 重建的手术理念也在不断地演化,从事运动医学的医生一直致力于寻找最佳的重建方式和技术。本文基于近些年来的相关研究,针对 ACL 的解剖、骨隧道定位、移植物选择与固定以及生物学制剂等方面的情况作一述评。

1 ACL 的解剖

1975 年, Girgis 等^[1]根据 ACL 纤维在胫骨附着点的位置,提出 ACL 可分为前内侧束(anteromedial bundle, AMB) 和后外侧束 (posterolateral bundle, PLB)。随后, Yasuda 等^[2]和 Cha 等^[3]分别于 2004 年及 2005 年详细阐述了 ACL 的双束结构,并介绍了 ACL 的双束重建,自此, ACL 的双束结构获得了国内外的广泛认可。2010 年, Iwahashi 等^[4]将 ACL 在股骨止点的纤维束分为了直接纤维束和间接纤维束,并认为直接纤维束为带状结构,与骨组织通过纤维软骨层相连;间接纤维束则通过胶原纤维插入骨组织中,中间无过渡区域。而到了 2015 年, Smigielski 等^[5]

2 骨隧道定位

近几十年来,随着对 ACL 解剖及其骨性止点研究的进展, ACL 重建的骨道定位技术也经历了诸多变化。最初为追求等长,多选择非解剖的“过顶位重建”,并采用经胫骨定位股骨隧道技术来重建 ACL。但此后逐渐发现,这种技术由于股骨隧道位点过高、过深,导致重建的移植物过于垂直,虽然能消除膝关节前后向的不稳,但却无法恢复膝关节的旋转稳定性。许多研究纷纷指出非解剖重建是导致 ACL 重建手术失败的主要原因之一^[11]。Yasuda 等^[2]提出了 ACL“解剖重建”的理念,认为只有骨隧道的位点接近 ACL 实际的解剖位置,才能最大限度地恢复膝关节的正常功能。此后临床医师也都逐渐采用了“解剖重建”的方法来进行 ACL 重建,无论采用经前内侧入路技术还是改良的经胫骨隧道技术,都取得了不错的疗效。俞涵等^[12]基于 Mimics 的三维 CT 重建评估了改良经胫骨隧道技术和经前内侧入路技术重建 ACL 的骨隧道位置,发现两种技术均可实现解剖重建,骨隧道位置无明显差异。

然而“解剖重建”的移植物等长性却不太理想,

通讯作者:毕擎 E-mail: Biqing@hmc.edu.cn

Corresponding author: BI Qing E-mail: Biqing@hmc.edu.cn

在屈伸膝关节时,移植物与骨道间的滑动(graft tunnel motion, GTM)幅度可达到 5 mm 以上。因此有文献报道“解剖重建”的远期失败率高,究其原因可能是由于移植物不等长所致。移植物韧带在膝关节活动过程中与骨道壁产生滑动、摩擦和撞击,影响移植物与骨隧道的腱骨愈合,从而导致移植物失效。所谓的“解剖重建”实际上也不可能完全重现人类真正的 ACL 解剖结构。因此,近些年来,临床医师逐渐意识到等长重建或许是防止前交叉韧带重建远期失败的关键所在,特别是对于人工韧带而言,等长重建更是其成功的基本要求。但是在实际临床工作中,要试图实现严格的等长重建是非常困难的,所谓的等长重建也并不是绝对等长。因此又逐渐提出“类等长重建技术”的理念,要求移植物韧带在关节腔内最大 GTM<1 mm。2015 年, Pearle 等^[13]基于 ACL 的 Ribbon 结构理论,综合了组织学、生物力学、临床数据等各方面信息,提出了最理想股骨隧道定位的理论,可以用缩写的大写字母 I.D.E.A.L.来概括。即指骨隧道定位要同时满足移植物韧带在膝关节屈伸活动时等长(isometric),覆盖 ACL 直接纤维止点区域(direct insertion),处于偏心位(eccentrically located),符合解剖位点(anatomical),并且使移植物韧带在膝关节屈伸范围内始终保持低张状态(low tension)。同时满足以上 5 点要求的位点即为最佳的理想骨隧道定位点,也即符合“类等长重建技术”理念的理想位点,一般在住院医师峰和分叉峰交界处后方 2~3 mm 处。

3 移植物选择与固定

ACL 重建的移植物主要包括自体肌腱、同种异体肌腱和人工韧带 3 大类。同种异体肌腱因排斥反应、组织来源可靠性、质量与强度衰减、疾病传播等风险,10 年失败率较高,因此使用逐渐减少。早期人工韧带也存在着一系列缺点,如诱发滑膜炎及后期松动等,逐渐被淘汰,但自从 LARS (ligament advanced reinforcement system)人工韧带问世后,其又逐渐获得重视。LARS 人工韧带具有强度高、延展性小等特点,不仅能避免供区并发症的问题,并且陈世益等^[14]对比了 LARS 人工韧带与自体腘绳肌腱重建 ACL 的疗效后,发现两者远期临床结果并无明显差异,而 LARS 人工韧带的早期功能评分则明显占优。徐立虎等^[15]则将自体腘绳肌腱与 LARS 人工韧带重建后交叉韧带的疗效做了对比研究,发现两组间平均住院日、HSS 评分及 Lysholm 评分均无明显差异。尽管 LARS 人工韧带是一种较为良好的移植物选择,但其相对来说对技术要求较高,必须尽量做到等长重建,并且最好做到保残重建,对于技术经验有一定要求。

自体肌腱来源主要包括骨-髌腱-骨,腘绳肌腱(半腱肌、股薄肌),腓骨长肌腱以及股四头肌肌腱。骨-髌腱-骨作为曾经的“金标准”,具有骨-骨愈合程度良好、韧带抗牵拉能力强、术后松弛和断裂率低等一系列优点。但也因其伸膝力量受损,膝前痛、跪地痛,以及增加髌骨骨折、髌腱断裂、髌骨关节炎风险等显著缺点,近些年来使用率逐渐降低^[16]。股四头肌腱因为较为肥厚,易于获取满意的移植物肌腱直径,且远端可取得髌骨骨块利于愈合,因此也逐渐受到重视。但其有一定股四头肌萎缩的风险,并且有研究表明使用股四头肌作为移植物的翻修率显著高于腘绳肌腱^[17],所以目前自体腘绳肌腱仍然是应用最广泛的自体移植物来源。Senorski 等^[18]在研究中指出腘绳肌腱是目前 ACL 重建最常用的移植物。虽然腘绳肌腱取材方便,创伤小,力学性能尚可,但因其为纯软组织结构,对于愈合有一定影响,且离体后无血供,移植入关节内后在血管化及增生重塑前常常丧失一定的生物力学强度^[19]。而研究表明保留 ACL 残端可以加速移植物韧带的再血管化,且有利于本体感觉恢复,还能一定程度阻止关节液流入间隙侵蚀骨质,减少滑液浸泡效应,有利于防止隧道扩大^[20-21]。因此,在采用腘绳肌腱作为移植物来源时,最好采用保残重建的技术。王江涛等^[22]比较了 ACL 保残重建与非保残重建、保留残端重建与保留残根重建的临床疗效,结果显示,ACL 保残重建术与非保残重建术相比,更有利于促进肌腱移植物的愈合和重塑,能够加速关节功能恢复。当自体腘绳肌腱无法满足移植物尺寸需求时,临床上经常采用腓骨长肌腱作为肌腱的补充来源。此处肌腱来源目前仍有争议,可能会引起踝关节疼痛、力弱等并发症。

除了移植物的类型,其固定方式也对预后有一定的影响。股骨侧的固定方式一般有悬吊钛板、界面钉、横穿钉等。胫骨侧的固定方式一般有外口界面钉、内口界面钉加栓桩、悬吊钛板等。Persson 等^[23]总结了近 4 万例患者的数据后发现,股骨侧最常见的固定方式是悬吊钛板,胫骨侧最常见的固定方式则为外口界面螺钉固定。有研究显示皮质悬吊固定是目前所有固定方式中初始强度最高的,但其固定点远离解剖止点,术后移植物及绳袢容易发生纵向移动的“蹦极效应”和横向移动的“雨刷效应”,这是导致术后骨道扩大的重要机械因素^[24]。股骨侧另一种常用的固定方式是 Rigidfix 横穿钉,是一种经胫骨的股骨隧道固定法,后因 ACL 重建技术从“过顶位重建”转向“足印区解剖重建”,故也有报道采用经前内入口进行固定。其固定点离股骨隧道内口近,无“蹦极效应”和“雨刷效应”,但容易造成医源性损伤。

界面钉则主要用于 LARS 人工韧带, 骨-腱-骨移植物以及 ACL 翻修手术。胫骨侧对于短移植物, 会采用内口界面钉联合栓桩的固定方式, 而悬吊钛板则主要用于 ACL 全内重建手术。

4 生物学制剂

ACL 重建患者的预后与转归和移植物韧带的腱骨愈合密切相关。正常的 ACL 腱骨交界面为直接止点, 包含韧带、非钙化纤维软骨、钙化纤维软骨和骨这 4 层结构^[25]。而移植物韧带的腱骨愈合界面则为间接止点, 整个愈合过程需要经历 3 个阶段, 即早期愈合期 (early healing phase), 增殖期 (proliferation phase), 以及韧带化期 (ligamentization phase)。主要的愈合进程包括骨道侧壁成骨、新生骨质塑形、腱骨交界面血管重塑、Sharpey 纤维出现、纤维软骨钙化等^[26]。学者们根据 ACL 愈合的生物学特点, 研究了一系列生物学干预手段, 以期加快腱骨愈合的时间, 缩短患者康复和重返运动的时间。这些生物学制剂主要包括生长因子、干细胞、基因治疗、自体骨膜、生物材料以及药物等几大类, 但绝大多数仍停留于动物实验阶段。目前临床试验应用较多的主要是富血小板血浆 (platelet-rich plasma, PRP), 骨髓间充质干细胞 (bone marrow derived stem cells, BMSCs), 脂肪来源干细胞 (adipose-derived stem cells, ADSCs) 等。PRP 含多种生长因子, 可促进细胞增殖、细胞迁移和组织血管化, 可应用于肌腱移植物、腱骨界面和关节内, 应用较为广泛^[27]。临床上应用较多的干细胞治疗为 BMSCs 和 ADSCs。BMSCs 是最常用的干细胞, 具有自我复制和分化的能力, 在骨髓中含量丰富。ADSCs 也有分化为多种细胞的能力, 并且与 BMSCs 相比, ADSCs 易于获取, 免疫原性更少, 异位骨化的风险更低^[28]。此外, 笔者在临床上还应用了基质血管组分 (stromal vascular fraction, SVF) 来促进腱骨愈合, 这是一种从患者自体脂肪组织中提取的有效成分, 含有 ADSCs 等多种具有抗炎及修复功能的细胞以及细胞因子混合物形成的细胞群。研究显示其在膝关节骨关节炎的治疗中具有良好的效果^[29], 因此也尝试将其应用于 ACL 重建术后以促进移植物肌腱的愈合。

5 小结

随着 ACL 的 Ribbon 结构理论逐渐被广大临床医师接受并成为趋势, 骨隧道的建立方法和移植物的种类选择和固定方式必将获得与时俱进的发展。随着 LARS 人工韧带的发展, I.D.E.A.L. 骨隧道理想位点理论的提出以及“类等长重建技术”概念的推广, ACL 重建技术将更趋成熟。同时随着生物学制剂的进一步研究, 重建韧带的愈合时限将进一步缩短,

“功能至上、早期康复、重返运动”的运动医学理念也将得到更好的体现。

参考文献

- [1] Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis [J]. Clin Orthop Relat Res, 1975; (106):216-231.
- [2] Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, et al. Anatomic reconstruction of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament using hamstring tendon grafts [J]. Arthroscopy, 2004, 20 (10):1015-1025.
- [3] Cha PS, Brucker PU, West RV, et al. Arthroscopic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: an anatomic approach [J]. Arthroscopy, 2005, 21 (10):1275.
- [4] Iwahashi T, Shino K, Nakata K, et al. Direct anterior cruciate ligament insertion to the femur assessed by histology and 3-dimensional volume-rendered computed tomography [J]. Arthroscopy, 2010, 26 (9 Suppl):S13-S20.
- [5] 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.
- [6] Siebold R, Schuhmacher P, Fernandez F, et al. Flat midsubstance of the anterior cruciate ligament with tibial "C"-shaped insertion site [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2015, 23(11):3136-3142.
- [7] Hohmann E. Editorial commentary: the Ribbon theory. Another quantum leap? The anterior cruciate ligament is twisted and in fact a flat structure. Or not [J]. Arthroscopy, 2017, 33(9):1710-1711.
- [8] Smigielski R, Zdanowicz U, Drwiega M, et al. The anatomy of the anterior cruciate ligament and its relevance to the technique of reconstruction [J]. Bone Joint J, 2016, 98B(8):1020-1026.
- [9] Fink C, Smigielski R, Siebold R, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction using a ribbon-like graft with a C-shaped tibial bone tunnel [J]. Arthrosc Tech, 2020, 9(2):e247-e262.
- [10] Noailles T, Boisrenoult P, Sanchez M, et al. Torsional appearance of the anterior cruciate ligament explaining "ribbon" and double-bundle concepts: a cadaver-based study [J]. Arthroscopy, 2017, 33 (9):1703-1709.
- [11] Fithian DC, Paxton EW, Stone ML, et al. Prospective trial of a treatment algorithm for the management of the anterior cruciate ligament-injured knee [J]. Am J Sports Med, 2005, 33(3):335-346.
- [12] 俞涵, 黄成龙, 陈嘉毅, 等. 基于 Mimics 的三维 CT 重建评估不同技术重建前交叉韧带的骨隧道位置 [J]. 中国骨伤, 2021, 34 (12):1126-1131.
- [13] YU H, HUANG CL, CHEN JY, et al. Bone tunnel positions in anterior cruciate ligament reconstruction evaluated by three-dimensional CT reconstruction based on Mimics software: modified transtibial versus anteromedial portal technique [J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2021, 34(12):1126-1131. Chinese with abstract in English.
- [13] Pearle AD, McAllister D, Howell SM. Rationale for strategic graft placement in anterior cruciate ligament reconstruction: I.D.E.A.L. femoral tunnel position [J]. Am J Orthop (Belle Mead NJ), 2015, 44(6):253-258.

- [14] 陈世益,洪国威,陈疾忤,等. LARS 人工韧带与自体腘绳肌腱重建前交叉韧带的早期临床疗效比较[J]. 中国运动医学杂志, 2007, 26(5): 530-533.
CHEN SY, HONG GW, CHEN WJ, et al. Comparison of early clinical outcome of ACL reconstruction using the LARS artificial ligament and the autologous hamstring tendon[J]. Zhongguo Yun Dong Yi Xue Za Zhi, 2007, 26(5): 530-533. Chinese.
- [15] 徐立虎,靳佳欣,刘众成,等. KD-III-M 型膝关节损伤中自体腘绳肌腱及 LARS 人工韧带重建后交叉韧带的比较研究[J]. 中国骨伤, 2021, 34(12): 1103-1107.
XU LH, JIN JX, LIU ZC, et al. Comparative study on posterior cruciate ligament reconstruction with autologous hamstring tendon and LARS artificial ligament in the treatment of KD-III-M knee dislocation[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2021, 34(12): 1103-1107. Chinese with abstract in English.
- [16] Ahldén M, Samuelsson K, Sernert N, et al. The Swedish National Anterior Cruciate Ligament Register: a report on baseline variables and outcomes of surgery for almost 18 000 patients[J]. Am J Sports Med, 2012, 40(10): 2230-2235.
- [17] Lind M, Strauss MJ, Nielsen T, et al. Quadriceps tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction is associated with high revision rates: results from the Danish Knee Ligament Registry[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2020, 28(7): 2163-2169.
- [18] Senorski EH, Svantesson E, Spindler KP, et al. Ten-year risk factors for inferior knee injury and osteoarthritis outcome score after anterior cruciate ligament reconstruction: a study of 874 patients from the Swedish National Knee Ligament Register[J]. Am J Sports Med, 2018, 46(12): 2851-2858.
- [19] Junkin DM Jr, Johnson DL. ACL tibial remnant, to save or not[J]. Orthopedics, 2008, 31(2): 154-159.
- [20] Gohil S, Annear PO, Breidahl W. Anterior cruciate ligament reconstruction using autologous double hamstrings: a comparison of standard versus minimal debridement techniques using MRI to assess revascularisation. A randomised prospective study with a one-year follow-up[J]. J Bone Joint Surg Br, 2007, 89(9): 1165-1171.
- [21] Lee BI, Kwon SW, Kim JB, et al. Comparison of clinical results according to amount of preserved remnant in arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction using quadrupled hamstring graft[J]. Arthroscopy, 2008, 24(5): 560-568.
- [22] 王江涛,肇刚,步建立,等. 前交叉韧带保残重建术中保残策略病例对照研究[J]. 中国骨伤, 2021, 34(12): 1095-1102.
WANG JT, ZHAO G, BU JL, et al. Case-control study on remnant-preserving strategy in the remnant-preserving anterior cruciate ligament reconstruction surgery[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2021, 34(12): 1095-1102. Chinese with abstract in English.
- [23] Persson A, Gifstad T, Lind M, et al. Graft fixation influences revision risk after ACL reconstruction with hamstring tendon autografts[J]. Acta Orthop, 2018, 89(2): 204-210.
- [24] Lind M, Feller J, Webster KE. Bone tunnel widening after anterior cruciate ligament reconstruction using EndoButton or EndoButton continuous loop[J]. Arthroscopy, 2009, 25(11): 1275-1280.
- [25] Benjamin M, Toumi H, Ralphs JR, et al. Where tendons and ligaments meet bone: attachment sites ('entheses') in relation to exercise and/or mechanical load[J]. J Anat, 2006, 208(4): 471-490.
- [26] Muller B, Bowman KF Jr, Bedi A. ACL graft healing and biologics[J]. Clin Sports Med, 2013, 32(1): 93-109.
- [27] Andriolo L, Di Matteo B, Kon E, et al. PRP Augmentation for ACL Reconstruction[J]. Biomed Res Int, 2015, 2015: 371746.
- [28] Uysal AC, Mizuno H. Tendon regeneration and repair with adipose derived stem cells[J]. Curr Stem Cell Res Ther, 2010, 5(2): 161-167.
- [29] Hong Z, Chen J, Zhang S, et al. Intra-articular injection of autologous adipose-derived stromal vascular fractions for knee osteoarthritis: a double-blind randomized self-controlled trial[J]. Int Orthop, 2019, 43(5): 1123-1134.

(收稿日期: 2021-11-17 本文编辑: 连智华)