

前交叉韧带解剖研究进展及其对韧带重建技术的影响



李飞龙, 罗小辑, 梁熙, 黄伟, 胡宁

重庆医科大学附属第一医院骨科(重庆 400042)

【摘要】 目的 对前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)解剖研究进展以及对于 ACL 重建技术的影响进行总结。方法 广泛查阅国内外有关 ACL 解剖和重建的研究文献,并进行总结分析。结果 近年 ACL 的解剖和形态有了新的认识,提出的扁平的、如带状的(Ribbon-like)的 ACL 解剖理论逐渐被关注。目前研究认为相对于既往重建方式,“Ribbon-like”ACL 解剖重建在理论上具有优越性,更符合解剖重建、等长重建。结论 “Ribbon-like”ACL 解剖理论是对 ACL 解剖结构的不同认识,但存在着争议性,且缺少临床应用,需要进一步研究。

【关键词】 前交叉韧带; 韧带重建; 解剖研究

Anatomy of the anterior cruciate ligament and its effect on the technique of reconstruction

LI Feilong, LUO Xiaoji, LIANG Xi, HUANG Wei, HU Ning

Department of Orthopedics, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing, 400042, P.R.China

Corresponding author: HU Ning, Email: 1276321387@qq.com

【Abstract】 Objective To summarize the current research progress of anterior cruciate ligament (ACL) anatomy, and discuss its effect on the technique of reconstruction. **Methods** The literature concerning ACL anatomy and reconstruction at home and abroad was extensively reviewed and summarized. **Results** The anatomy and morphology of ACL has gained new recognition in recent years, and the “Ribbon-like” ACL has gradually been paid attention to by researchers. In present researches, it seemed the “Ribbon-like” anatomy theory had advantages in the theory compare with previous anatomy theory, it was more conform to the anatomy and isometric reconstruction. **Conclusion** The understanding of ACL anatomy guided the development of ACL reconstruction, “Ribbon-like” ACL anatomy theory was the different understanding of the anatomy theory, it remained controversy, the “Ribbon-like” reconstruction seemed more advantage in the theory, but further study was needed.

【Key words】 Anterior cruciate ligament; ligament reconstruction; anatomical research

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (81672167); Project of Chongqing Health Bureau (2013-2-005); Chongqing Science and Technology Commission foundation Base and Frontier Research Project (cstc2013jcyjA10033)

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)损伤是膝关节最常见运动损伤之一,ACL 断裂后会造膝关节前后、旋转及侧方不稳定,进而继发软骨损伤、半月板损伤、胫股关节和髌股关节异常关

系,最终导致骨关节炎等^[1-3]。关节镜下 ACL 重建术是目前治疗 ACL 损伤的主要方法。

1975 年, Girgis 等^[4]根据 ACL 纤维在胫骨附着点的位置,提出将 ACL 分为前内侧束(anteromedial bundle, AMB)和后外侧束(posterolateral bundle, PLB),该观点已获得广泛认可。但是,近年有研究^[5-6]提出 ACL 呈带状,如“宽面包条”,使临床对于 ACL 解剖和形态有了新的认识。扁平的、如带状的(Ribbon-like)ACL 解剖理论也成为研

DOI: 10.7507/1002-1892.201708038

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(81672167); 重庆市卫生局面上项目(2013-2-005); 重庆科学技术委员会基金基础和前沿研究项目(cstc2013jcyjA10033)

通信作者: 胡宁, Email: 1276321387@qq.com

究热点。虽然,目前“Ribbon-like”ACL解剖理论的相关研究报道较少,但是有学者认为该理论对于改进ACL重建方式具有重要意义。因此,我们总结了近年来ACL解剖研究以及重建技术的相关报道,就“Ribbon-like”ACL解剖理论以及对ACL重建技术发展的影响进行归纳分析。

1 解剖研究进展

1.1 股骨止点

ACL股骨止点位于外侧髁内侧壁后1/3位置,靠近住院医师嵴^[7],呈长椭圆形,通常分为AMB和PLB,两束均近似椭圆形,AMB靠下(解剖术语)或更浅(关节镜术语)^[8]。住院医师嵴位于股骨髁下关节面上,止于股骨髁间窝,可作为ACL股骨止点的骨性标志物^[7]。此外,ACL股骨止点还存在外侧髁嵴,虽外侧髁嵴大部分与ACL股骨止点相连,但其变异性大,因此不适用于股骨隧道的定位^[9]。目前研究认为ACL股骨止点呈新月型,大多数纤维束汇集在住院医师嵴处,止点前缘为住院医师嵴,后缘为外侧股骨髁下关节面。但是,Mochizuki等^[10]认为ACL股骨止点不是椭圆形束状结构,其附着的实质纤维束在外侧股骨髁的内侧面延展,形成如扇状的延长束。

Iwahashi等^[6]在股骨止点处将ACL纤维束分为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质层相连;间接纤维束通过胶原纤维插入骨组织中,中间无过渡区域。其中,直接纤维束位于外侧股骨髁后内侧关节软骨面及住院医师嵴之间,长(17.4±0.9)mm、宽(8.0±0.5)mm。Sasaki^[5]也发现了相似的ACL直接纤维束与间接纤维束,直接纤维束长轴和短轴长度分别为(17.7±2.7)mm与(5.3±1.1)mm。Śmigielski等^[11]测量结果显示,ACL股骨止点长度平均为16mm(12.7~18.1mm)、厚度为3.54mm(2.0~4.8mm)。Iriuchishima等^[12]通过比较剔除或不剔除ACL股骨止点直接纤维束后发现,AMB在剔除直接纤维束后,其股骨止点中心位于股骨深浅方向36%、高低方向34.6%处,而剔除前其股骨止点中心位于深浅方向28.8%、高低方向37.2%处;PLB在剔除直接纤维束后,其股骨止点中心位于股骨深浅方向42.7%、高低方向69.3%处,而剔除前其股骨止点中心位于股骨深浅方向37.1%、高低方向73.4%处。该结果提示ACL是否剔除直接纤维束会影响ACL股骨止点中心的判断,进而影响ACL重建股骨隧道的定位。

1.2 中间部分

Odensten等^[13]解剖研究了33例膝关节标本,经大体和组织学观察,认为缺少依据支持“ACL可以分为单束、双束或多束结构”这一观点。Arnoczky^[14]研究认为ACL由多个胶原束构成,且胶原束间无组织学差异,但当运动时ACL胶原束存在不同的活动紧张度,从而表现出不同分束。Ferretti等^[15]解剖研究认为在AMB与PLB之间存在明显的滑膜隔离,通过大体和组织学观察均可将滑膜分离出来。Śmigielski等^[11]对111具新鲜成人尸体进行解剖研究,供体年龄平均67岁(32~74岁),其中女性66具、男性45具;结果显示ACL中间部分的实质部为带状样韧带,无分束结构。这与Mochizuki等^[10]的研究结果类似,Mochizuki也认为ACL中间实质部应为扁平状结构。

1.3 胫骨止点

既往研究认为ACL胫骨止点为椭圆形,并分为AMB和PLB。AMB胫骨止点位于胫骨平台前内侧面,其中间缘在胫骨中间嵴的前内侧部分;PLB胫骨止点位于ACL胫骨止点后外侧面,接近外侧半月板前角,位于髁间嵴后外侧部分^[16-18]。ACL胫骨止点骨性标志物包括ACL胫骨止点前缘的胫骨前嵴、后缘的胫骨嵴、内侧的髁间内侧结节与中间嵴、外侧的髁间外侧结节,其中胫骨止点与髁间中间结节【?】相连,而胫骨止点前缘还与外侧半月板前角相连^[7,19]。

大量研究报道,ACL胫骨止点呈C形,可以分为AMB与后内侧束(posteromedial bundle, PMB),而在PLB区域并未观察到韧带组织^[11,20-21]。Siebold等^[21]认为胫骨止点沿着内侧胫骨嵴侧缘走行,向前达外侧半月板前缘;胫骨止点前后长度平均为12.6mm(7.7~16.3mm)、止点中间厚度平均为3.3mm(2.5~3.9mm),且不存在明显区分的双束结构。他们在随后的研究中还发现,胫骨止点除了呈C形外,还有其他形状;在研究的111具标本中,67%(74具)为C形,24%(27具)为J形止点,9%(10具)为Cc形^[22]。Oka等^[23]认为胫骨止点多为鸭掌型,并通过组织观察未在PLB区域内发现韧带组织,ACL胫骨止点前后长度为9.2~12.1mm,止点中间部分厚度为2.9~4.2mm。

2 ACL解剖研究对ACL重建技术发展的影响

30多年来,随着对ACL解剖特点及其骨性附着点研究的深入,ACL重建技术也经历了诸多变

化。研究指出,非解剖重建是导致 ACL 重建手术失败的主要原因之一^[24],解剖重建疗效明显优于非解剖重建^[25]。

传统关节镜下 ACL 重建属于单束重建,通过重建 AMB,能有效恢复膝关节前后向稳定性,消除打软腿现象,缓解临床症状,患者恢复至伤前运动水平^[26]。在临床主张采用胫骨定位股骨隧道技术重建 ACL 时期,学者们均认为住院医师峡区域制备重建隧道错误,股骨隧道应在 ACL 股骨止点外侧,多位于 AMB 偏高位置,同时为避免撞击,ACL 胫骨隧道需定位于偏 PLB 处。但目前解剖重建观点认为住院医师峡是 ACL 股骨止点的重要标志区^[27]。因此,如采用胫骨定位股骨隧道技术,为了使 ACL 股骨止点位于解剖位置,常需要外移胫骨隧道定点^[27]。研究表明,胫骨定位股骨隧道技术属于非解剖重建,虽然能消除损伤膝关节的前后向不稳,但不能恢复膝关节旋转稳定性以及膝关节正常运动功能^[26,28-29]。

此外,由于越来越多的解剖研究提出 ACL 双束解剖理论,所以临床也提出了 ACL 双束重建,即同时重建 AMB 和 PLB。生物力学研究表明,双束重建比单束重建能更好地恢复膝关节前后向稳定性和旋转稳定性;但临床随访结果却不一致,因此对于双束重建的优势仍存在争议^[30-31]。

由于上述 ACL 重建技术均存在不足,尚未达预期随访结果,Yasuda 等^[32]首次提出了“ACL 解剖重建”概念,认为只有接近 ACL 实际解剖位置重建,才能最大限度恢复膝关节的解剖结构和功能。从前内侧入路进行定位的单、双束解剖重建均可以恢复膝关节前后向和旋转稳定性^[33],疗效明显优于传统胫骨定位股骨隧道技术的单束重建^[25]。一直以来,对于单、双束解剖重建的优缺点存在争议。有研究认为两种术式之间疗效无明显差异。Muneta 等^[34]对采用自体半腱肌行单、双束解剖重建患者进行了 5 年随访,发现两组患者轴移试验、KT-1000、Lachman 试验、膝关节损伤和发生骨关节炎方面均无明显差异。Desai 等^[35]系统回顾了相关文献,发现双束解剖重建在轴移试验、Lachman 试验、前抽屉试验、手术失败率方面均优于单束解剖重建,但差异无统计学意义。另外,学者们也进行了前瞻性对比研究,结果显示单、双束解剖重建均取得了良好临床效果^[36-37]。

从生物力学考虑,通过 ACL 双束之间的中心骨隧道,即股骨“解剖”中心位置建立骨隧道更符合正常解剖结构,并且操作更简便,故近年来股骨

“解剖”中心 ACL 重建技术在临床逐渐应用。与其他技术相比,将股骨隧道定位于 ACL 股骨解剖止点中心位置,移植物放置位置更靠前外侧,胫骨隧道也可以定位更靠前,具有更好的轴向稳定性,避免移植物与髁间窝的撞击^[38-39];同时,获得更加稳定的膝关节,恢复膝关节功能,降低半月板撕裂和软骨损伤,减少骨关节炎的发生^[40-41]。有临床研究指出,移植物放置在股骨止点中心位相比于股骨止点外侧位,术后软骨、半月板损伤率更低^[38,42]。

3 “解剖”中心位置重建与“Ribbon-like”ACL 结构重建的比较

虽然“解剖”中心位置重建相比于其他位置的重建方式更优,但是基于“Ribbon-like”ACL 的观点,可以认为目前的解剖重建理念并没有达到真正解剖重建 ACL 目的。临床通常选择 ACL 股骨止点中心作为“解剖”中心位置重建 ACL,可以避免移植物对于髁间窝顶点的撞击,同时具有很好的控制轴向稳定作用,但相关解剖研究^[11,20-21]发现,“Ribbon-like”ACL 的解剖位置和扭转运动的模式也可以有效避免撞击发生,控制轴向稳定性。此外 ACL 股骨止点中心位置解剖重建并不能满足等长重建的要求,存在术后 Lachman 试验阳性、前抽屉试验 I 度松弛等问题^[43],说明经股骨止点中心位置解剖重建同样存在缺陷。与 ACL 股骨止点较靠前的重建【?】相比,股骨止点中心位置重建后移植物更不等长^[44-45]。Hefzy 等^[46]研究发现,当股骨隧道定点更靠前(比止点高)重建时,关节内 ACL 替代物更等长,在屈膝过程中,移植物仅有 1~4 mm 改变,但在股骨止点中心位置重建后,移植物长度改变达 5~7 mm。此外,尸体研究发现,当屈膝活动时,位于 ACL 股骨止点中心或者股骨止点后外侧的移植物具有更高的张力和负荷,而伸膝时移植物张力几乎完全丧失^[43]。可见以股骨止点中心作为“解剖”中心重建 ACL,并不能满足等长重建的要求^[47-48]。

既往对于 ACL 重建的股骨隧道位置相关的术后失败率影响研究较少。Rahr-Wagner 等^[49]对于 9 239 例接受自体移植物重建 ACL 的患者进行可对比研究,发现前内侧面入路解剖重建术后翻修率为 5.2%,胫骨定位股骨隧道技术重建为 3.2%,与 Clatworthy 等^[50]的研究结果相似。ACL 重建技术从 AMB 重建转变为股骨止点中点重建后,手术术后失败率有所增加^[51]。Kato 等^[52]对尸体膝关节研究发现股骨中心位置重建与 AMB 重建后都可以恢复正

常 ACL 活动, 但 AMB 重建术后可以获得与正常膝关节相似稳定性。根据“Ribbon-like” ACL 观点, AMB 重建方式更加接近 ACL 直接纤维束在股骨止点的位置, 因此更符合 ACL 的正常解剖结构。

屈膝活动时, 因为胫骨止点与股骨止点方向不一致, ACL 存在扭转现象^[10,13], “Ribbon-like” ACL 观点也更好地解释了 ACL 这种运动模式。对此 Amis 等^[53]认为重建后移植物需要有同样运动模式。而这种运动模式可以减少 ACL 重建移植物对于髁间窝的大小要求, 减少撞击与韧带损伤^[54]。

目前, 基于“Ribbon-like” ACL 观点进行 ACL 重建术式仅有 Shino 等^[55]报道的两种。一种使用骨-髌腱-骨移植物和矩形钻孔技术进行双束重建, 另一种使用半腱肌、腓薄肌移植物和三束钻孔技术进行 3 束重建。Shino 等认为第 2 种术式更符合 ACL 的解剖结构, 避免了移植物撞击。临床对 9 例患者采用半腱肌、腓薄肌移植 3 束重建, 经 6 个月随访发现患者膝关节胫股关系与正常膝关节无差异的^[56]。虽然基于“Ribbon-like” ACL 观点重建具有理论上的优越性, 但主要关注于 ACL 直接纤维束重建, 而忽视间接纤维束的作用, 与目前的解剖重建在定位、移植物选择与处理上均不同, 而且手术操作更复杂, 缺少临床应用结果支持, 需要进行进一步的研究评估^[57]。

4 结论

ACL 重建术式随着对 ACL 解剖的认识加深而不断改进, “Ribbon-like” ACL 观点影响了 ACL 重建技术的发展, 但其应用于重建术中是否具有优越性, 仍需要进一步讨论研究。

参考文献

- Freedman KB, D'Amato MJ, Nedeff DD, *et al.* Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a metaanalysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts. *Am J Sports Med*, 2003, 31(1): 2-11.
- Fu FH, Bennett CH, Lattermann C, *et al.* Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part 1: Biology and biomechanics of reconstruction. *Am J Sports Med*, 1999, 27(6): 821-830.
- Harner CD, Giffin JR, Duntzman RC, *et al.* Evaluation and treatment of recurrent instability after anterior cruciate ligament reconstruction. *Instr Course Lect*, 2001, 50: 463-474.
- Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop Relat Res*, 1975, (106): 216-231.
- Sasaki N, Ishibashi Y, Tsuda E, *et al.* The femoral insertion of the anterior cruciate ligament: discrepancy between macroscopic and histological observations. *Arthroscopy*, 2012, 28(8): 1135-1146.
- 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. *Arthroscopy*, 2010, 26(9 Suppl): S13-20.
- Purnell ML, Larson AI, Clancy W. Anterior cruciate ligament insertions on the tibia and femur and their relationships to critical bony landmarks using high-resolution volume-rendering computed tomography. *Am J Sports Med*, 2008, 36(11): 2083-2090.
- Siebold R, Ellert T, Metz S, *et al.* Femoral insertions of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament: morphometry and arthroscopic orientation models for double-bundle bone tunnel placement—a cadaver study. *Arthroscopy*, 2008, 24(5): 585-592.
- Tsukada S, Fujishiro H, Watanabe K, *et al.* Anatomic variations of the lateral intercondylar ridge: relationship to the anterior margin of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*, 2014, 42(5): 1110-1117.
- Mochizuki T, Muneta T, Nagase T, *et al.* Cadaveric knee observation study for describing anatomic femoral tunnel placement for two-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 2006, 22(4): 356-361.
- Śmigielski 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. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2015, 23(11): 3143-3150.
- Iriuchishima T, Ryu K, Aizawa S, *et al.* The difference in centre position in the ACL femoral footprint inclusive and exclusive of the fan-like extension fibres. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2016, 24(1): 254-259.
- Odensten M, Gillquist J. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction. *J Bone Joint Surg (Am)*, 1985, 67(2): 257-262.
- Arnoczky SP. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop Relat Res*, 1983, (172):19-25.
- Ferretti M, Levicoff EA, Macpherson TA, *et al.* The fetal anterior cruciate ligament: an anatomic and histologic study. *Arthroscopy*, 2007, 23(3): 278-283.
- Colombet P, Robinson J, Christel P, *et al.* Morphology of anterior cruciate ligament attachments for anatomic reconstruction: a cadaveric dissection and radiographic study. *Arthroscopy*, 2006, 22(9): 984-992.
- Harner CD, Baek GH, Vogrin TM, *et al.* Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions. *Arthroscopy*, 1999, 15(7): 741-749.
- Siebold R, Ellert T, Metz S, *et al.* Tibial insertions of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament: morphometry, arthroscopic landmarks, and orientation model for bone tunnel placement. *Arthroscopy*, 2008, 24(2): 154-161.
- Tensho K, Shimodaira H, Aoki T, *et al.* Bony landmarks of the anterior cruciate ligament tibial footprint: A detailed analysis comparing 3-dimensional computed tomography images to visual and histological evaluations. *Am J Sports Med*, 2014, 42(6): 1433-1440.
- Siebold R. Flat ACL anatomy: fact no fiction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2015, 23(11): 3133-3135.
- Siebold R, Schuhmacher P, Fernandez F, *et al.* Flat midsubstance of

- the anterior cruciate ligament with tibial "C"-shaped insertion site. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2015, 23(11): 3136-3142.
- 22 Śmigiełski R, Zdanowicz U, Drwiega M, et al. The anatomy of the anterior cruciate ligament and its relevance to the technique of reconstruction. *Bone Joint J*, 2016, 98-B(8):1020-1026.
- 23 Oka S, Schuhmacher P, Brehmer A, et al. Histological analysis of the tibial anterior cruciate ligament insertion. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2016, 24(3): 747-753.
- 24 Fithian DC, Paxton EW, Stone ML, et al. Prospective trial of a treatment algorithm for the management of the anterior cruciate ligament-injured knee. *Am J Sports Med*, 2005, 33(3): 335-346.
- 25 Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, et al. Clinical evaluation of anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedure using hamstring tendon grafts: comparisons among 3 different procedures. *Arthroscopy*, 2006, 22(3): 240-251.
- 26 Araki D, Kuroda R, Kubo S, et al. A prospective randomised study of anatomical single-bundle versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: quantitative evaluation using an electromagnetic measurement system. *Int Orthop*, 2011, 35(3): 439-446.
- 27 Piasecki DP, Bach BR Jr, Espinoza Orias AA, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction: can anatomic femoral placement be achieved with a transtibial technique? *Am J Sports Med*, 2011, 39(6): 1306-1315.
- 28 Murawski CD, Wolf MR, Araki D, et al. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: current concepts and future perspective. *Cartilage*, 2013, 4(3 Suppl): 27S-37S.
- 29 Yagi M, Kuroda R, Nagamune K, et al. Double-bundle ACL reconstruction can improve rotational stability. *Clin Orthop Relat Res*, 2007, 454: 100-107.
- 30 Radford WJ, Amis AA. Biomechanics of a double prosthetic ligament in the anterior cruciate deficient knee. *J Bone Joint Surg (Br)*, 1990, 72(6): 1038-1043.
- 31 Kondo E, Yasuda K, Azuma H, et al. Prospective clinical comparisons of anatomic double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedures in 328 consecutive patients. *Am J Sports Med*, 2008, 36(9): 1675-1687.
- 32 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. *Arthroscopy*, 2004, 20(10): 1015-1025.
- 33 Ho JY, Gardiner A, Shah V, et al. Equal kinematics between central anatomic single-bundle and double-bundle anterior cruciate ligament reconstructions. *Arthroscopy*, 2009, 25(5): 464-472.
- 34 Muneta T, Koga H, Morito T, et al. A retrospective study of the midterm outcome of two-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using quadrupled semitendinosus tendon in comparison with one-bundle reconstruction. *Arthroscopy*, 2006, 22(3): 252-258.
- 35 Desai N, Björnsson H, Musahl V, et al. Anatomic single- versus double-bundle ACL reconstruction: a meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2014, 22(5): 1009-1023.
- 36 Kang HJ, Wang XJ, Wu CJ, et al. Single-bundle modified patellar tendon versus double-bundle tibialis anterior allograft ACL reconstruction: a prospective randomized study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2015, 23(8): 2244-2249.
- 37 Xu Y, Ao YF, Wang JQ, et al. Prospective randomized comparison of anatomic single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2014, 22(2): 308-316.
- 38 Abebe ES, Utturkar GM, Taylor DC, et al. The effects of femoral graft placement on *in vivo* knee kinematics after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Biomech*, 2011, 44(5): 924-929.
- 39 Tashman S, Araki D. Effects of anterior cruciate ligament reconstruction on *in vivo*, dynamic knee function. *Clin Sports Med*, 2013, 32(1): 47-59.
- 40 Chu CR, Williams AA, West RV, et al. Quantitative magnetic resonance imaging UTE-T2* mapping of cartilage and meniscus healing after anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 2014, 42(8): 1847-1856.
- 41 Fu FH, van Eck CF, Tashman S, et al. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: a changing paradigm. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2015, 23(3): 640-648.
- 42 Duffee A, Magnussen RA, Pedroza AD, et al. Transtibial ACL femoral tunnel preparation increases odds of repeat ipsilateral knee surgery. *J Bone Joint Surg (Am)*, 2013, 95(22): 2035-2042.
- 43 Lubowitz JH. Anatomic ACL reconstruction produces greater graft length change during knee range-of-motion than transtibial technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2014, 22(5): 1190-1195.
- 44 Artmann M, Wirth CJ. Investigation of the appropriate functional replacement of the anterior cruciate ligament (author's transl). *Z Orthop Grenzgeb*, 1974, 112(1): 160-165.
- 45 Pearle AD, Shannon FJ, Granchi C, et al. Comparison of 3-dimensional obliquity and anisometric characteristics of anterior cruciate ligament graft positions using surgical navigation. *Am J Sports Med*, 2008, 36(8): 1534-1541.
- 46 Hefzy MS, Grood ES, Noyes FR. Factors affecting the region of most isometric femoral attachments. Part II: The anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*, 1989, 17(2): 208-216.
- 47 Markolf KL, Jackson SR, McAllister DR. A comparison of 11 o'clock versus oblique femoral tunnels in the anterior cruciate ligament-reconstructed knee: knee kinematics during a simulated pivot test. *Am J Sports Med*, 2010, 38(5): 912-917.
- 48 Beynon BD, Uh BS, Johnson RJ, et al. The elongation behavior of the anterior cruciate ligament graft *in vivo*. A long-term follow-up study. *Am J Sports Med*, 2001, 29(2):161-166.
- 49 Rahr-Wagner L, Thillemann TM, Pedersen AB, et al. Increased risk of revision after anteromedial compared with transtibial drilling of the femoral tunnel during primary anterior cruciate ligament reconstruction: results from the Danish Knee Ligament Reconstruction Register. *Arthroscopy*, 2013, 29(1): 98-105.
- 50 Clatworthy MG MC, Hooper L. Transportal Central Anatomic ACL reconstruction has a higher revision rate than Transtibial High AM ACL reconstruction. Submitted for Publication Presented APKASS. 2014;47.[核対]
- 51 Clatworthy M PA, Williams A, Lind M. Current Concepts: Femoral Tunnel Placement in ACL Reconstruction: Central Footprint Versus AM Bundle. *ISAKOS Newsletter*, 2015, II: 24-31. [核対]
- 52 Kato Y, Maeyama A, Lertwanich P, et al. Biomechanical comparison of different graft positions for single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2013, 21(4): 816-823.

- 53 Amis AA, Jakob RP. Anterior cruciate ligament graft positioning, tensioning and twisting. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 1998, 6 Suppl 1: S2-12.
- 54 Dahlstedt L, Dalén N, Dahlborn M, *et al.* Value of intercondylar notch plasty: CT studies and peroperative measurements of 127 knees. *Acta orthopaedica Scandinavica*, 1990, 61(6): 558-561.
- 55 Shino K, Mae T, Tachibana Y. Anatomic ACL reconstruction: rectangular tunnel/bone-patellar tendon-bone or triple-bundle/semitendinosus tendon grafting. *Journal of Orthopaedic Science*, 2015, 20(3): 457-468.
- 56 Matsuo T, Mae T, Shino K, *et al.* Tibiofemoral relationship following anatomic triple-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2014, 22(9): 2128-2135.
- 57 Hohmann E. Editorial Commentary: The Ribbon Theory. Another Quantum Leap? The Anterior Cruciate Ligament Is Twisted and in Fact a Flat Structure. Or not? *Arthroscopy*, 2017, 33(9): 1710-1711.

收稿日期: 2017-08-08 修回日期: 2018-01-02

本文编辑: 刘丹