

前交叉韧带不同重建方式下股骨侧骨道内口定位的研究进展*

许帆卿 综述 李永江 王文波** 审校

(哈尔滨医科大学附属第一医院骨科, 哈尔滨 150076)

文献标识: A 文章编号: 1009-6604(2023)10-0776-07

doi: 10.3969/j.issn.1009-6604.2023.10.011

前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 损伤是运动时最常见的损伤之一, 将导致膝关节前后、旋转和侧方不稳, 继发半月板损伤、关节软骨退变、活动时股骨与胫骨解剖位置异常, 最终引起骨性关节炎^[1,2]。ACL 损伤后手术或非手术治疗需根据患者的活动水平、目标和期望来选择^[3]。目前, 关节镜下 ACL 重建是治疗 ACL 损伤的主要方法, 是恢复膝关节稳定性和功能的首选方式。随着 ACL 重建理念的不断发展, 先后出现等长重建、单束解剖重建和双束解剖重建等方式。从本质上来说, 骨道内口的位置和建立的数量决定了不同的 ACL 重建方式。不同重建方式及对应骨道内位置的选择均没有明确的适应证和病例选择标准, 外科医生对 ACL 解剖学认识和不同重建理论的认可度决定了何种重建方式以及相应骨道内口位置。无论何种重建方式, 股骨和胫骨侧骨道内口的正确定位都对疗效起着至关重要的作用^[4]。相较于胫骨侧骨道定位时视野的充分暴露, 股骨侧骨道的确定受解剖特点的影响, 关节镜下股骨外侧髁内侧面难以全面暴露, 且易受术者视觉角度影响, 准确定位难度大。故虽然骨道定位技术在不断改进, 但股骨侧骨道定位仍存在挑战。在膝关节屈伸活动中, 股骨侧骨道内口位置比胫骨侧对移植物长度及张力变化的影响更大^[5,6]。此外, 对于不同的重建方式及理论, 应定位的股骨侧骨道内口位置也不同。本文对 ACL 不同重建方式下股骨侧骨道内口的定位方法及相应临床效果进行

文献总结。

1 ACL 股骨侧足印区的解剖特点

ACL 股骨侧足印区位于股骨外侧髁内侧面后 1/3 处, 邻近外侧髁间嵴 (即住院医师嵴), 呈长椭圆形^[7]。ACL 双束理论已被广泛接受, 即前内侧束 (anteromedial bundle, AMB) 和后外侧束 (posterolateral bundle, PLB), 两束在股骨侧附着处均类似椭圆形^[8], 外侧髁间嵴起于股骨外侧髁下关节面, 止于股骨髁间窝处^[9]。最新的解剖研究认为 ACL 在股骨足印区呈新月形而非长椭圆形, 其多数纤维在外侧髁间嵴处附着, 附着点前缘为外侧髁间嵴, 后缘为外侧髁下关节面。Mochizuki 等^[10]指出 ACL 在股骨侧附着的纤维在外侧股骨髁内侧面延伸, 形成类似扇形的纤维束, 而不是之前所描述的椭圆形束状结构。在功能方面, AMB 对维持膝关节前后稳定性起主要作用, PLB 对维持膝关节旋转稳定性起主要作用, 两束的共同作用使膝关节有良好的运动学稳定性。

2 等长重建

在早期的 ACL 重建手术中, 等长重建一直作为主流理论指导 ACL 重建。等长重建即在膝关节屈伸运动时, 股骨侧、胫骨侧骨道内口间隔距离保持恒定。通过该技术可以防止植入的韧带变得过于紧张, 限制关节运动, 产生过大张力载荷, 同时也避免

* 基金项目: 黑龙江省医学科学院科研计划项目 (201814)

** 通讯作者, E-mail: wangwenbo0910@163.com

由于膝关节屈曲和伸展时移植物松弛而引起的胫骨向前平移增加从而导致 ACL 重建失败。在实际手术中, Hefzy 等^[11]报道不存在绝对等距的点, 认为只要在膝关节活动时股骨侧、胫骨侧骨道内口距离变化 < 2 mm 亦是等长重建。

虽然对于自体或同种异体移植物来说解剖重建已被认为是 ACL 重建的最佳方式, 但目前对于人工韧带重建 ACL, 等长重建技术仍然是许多外科医生的首选。新一代人工韧带的材料为聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET), 相比较于天然韧带缺乏延展性^[12]。故如果在股骨侧、胫骨侧非等长点建立骨道将引起术后膝关节活动时压力过大并限制膝关节屈伸活动, 而过大的张力和反复撞击可导致重建失败、软骨磨损和骨关节炎^[13]。在 ACL 重建中, 骨道等长点选择不当是造成人工韧带重建失败的主要原因。

关于股骨侧等长点的定位有多种方法, 主要分为解剖标志定位和影像学定位。①解剖定位: 在 ACL 重建术中, 股骨外侧髁间嵴和分叉嵴是重要的解剖标志。Wan 等^[14]报道在膝关节镜下等长点位于外侧髁间嵴与分叉嵴的交点近端 2 mm, 同时对于外侧髁间嵴缺失患者, 等长点选择在股骨后部骨皮质向远端延长线距外侧髁后壁皮质 5 mm 处。赵青松等^[6]认为股骨侧等长点位于股骨髁间窝外侧壁和髁间窝顶部后方相交处, 即股骨外侧髁过顶点位置。②影像学定位: 对于 X 线、三维 CT 和计算机三维重建技术, 主要有 3 种方法对股骨侧等长点进行定位。这些方法包括 JP Laboureaux、Bernard-Hertel 和 Charlie Brown 法。JP Laboureaux 法^[5]首先要求股骨内外侧髁重叠, 在矢状面, 股骨侧等长点位于外侧髁的 140° 弓形弧中心, 或在过外侧髁最高点, 且平行于 Blumensaat 线的 60% 处。Bernard-Hertel 法^[15]在股骨外侧髁矢状面上绘制网格, 在 Blumensaat 线水平上做一条直线, 其他 3 条直线分别垂直或平行于 Blumensaat 线且相切于股骨外侧髁轮廓。网格参数设置为 T 和 H, 其中 T 定义为沿 Blumensaat 线外侧髁的长度, H 定义为垂直于 Blumensaat 线外侧髁的高度, 距离 T 和 H 形成一个矩形。将等长点至 Blumensaat 线的垂直距离设置为 h, 平行于 Blumensaat 线至外侧髁后缘的距离为 t。用 t/T 、 h/H 表示等长点位置。根据 Bernard 等研究, 这种方法是基于解剖学研究, 他们的研究显示, 股骨等长点

位于: $t/T = 24.8\%$ 和 $h/H = 28.5\%$ 处。Charlie Brown 法使用 Bernard-Hertel 网格作为参考。Brown 等^[16]基于 AMB 和 PLB 的解剖位置进行测量 (AMB 和 PLB 分别为 $t/T = 25.0\%$, $h/H = 25.0\%$ 和 $t/T = 33.0\%$, $h/H = 50.0\%$), 两束位置的中点: $t/T = 29.2\%$, $h/H = 37.5\%$ 认为是等长点。在这 3 种定位方法中, JP Laboureaux 法找到的等长点最令人满意, 通过该方法植入的人工韧带在膝关节活动时长度及应力变化最小。但是 JP Laboureaux 法相对复杂, 在实际测量时需要一定的经验。

3 解剖重建

3.1 单束解剖重建

随着经前内侧门独立钻孔技术 (anteromedial portal, AMP) 的发展, 使股骨侧骨道内口的定位变得更加精确和方便, 避免胫骨隧道依赖钻孔技术 (transtibial, TT) 解剖定位难度大的问题^[17], 加上等长重建及双束重建的争议, 使单束解剖重建已得到外科医生的广泛认可。Qin 等^[18]对 47 例单束 (53%)、41 例双束 (47%) 解剖重建的年轻患者进行 2 年随访, 2 组恢复跑步时间 [(5.5 ± 1.5) 月 vs. (5.8 ± 1.6) 月]、Lachman 试验阳性率 (25.5% vs. 19.5%)、轴移试验 (pivot shift test) 阳性率 (17.0% vs. 22.2%)、Lysholm 评分 [(91.9 ± 4.0) 分 vs. (93.2 ± 3.5) 分] 及国际膝关节文献委员会 (International Knee Documentation Committee, IKDC) 评分 [(88.9 ± 6.4) 分 vs. (86.7 ± 6.6) 分] 均无显著性差异 ($P > 0.05$)。

普遍认为单束解剖重建是根据 ACL 整个足印区中心点重建^[19]。在大多数情况下, 残端位于 ACL 股骨侧足印区, 这些残余纤维可以帮助解剖学上股骨侧骨道内口定位。术中可选择在 ACL 股骨外侧髁残端的中点作为骨道的定位点。但是这样的定位方式缺乏解剖标志, 受医生视觉等主观因素的影响, 通常无法准确定位中点^[20]。对于上述情况, Seo 等^[21]认为股骨侧骨道内口的定位点只要在 ACL 足印区中就不会对膝关节稳定性和预后产生不良影响。对于陈旧性 ACL 损伤残端消失患者, 同样可根据外侧髁间嵴和分叉嵴帮助骨道定位。解剖学研究表明, ACL 股骨侧足印区由上述 2 个嵴定位, 外侧髁间嵴相对于股骨干的长轴呈大约 $30^\circ \sim 35^\circ$, 膝关节

屈曲 $90^\circ \sim 120^\circ$ 时代表 ACL 股骨足印区的上界^[22]。Shino 等^[23]报道外侧髁间嵴出现率接近 100%。外侧髁间嵴对于股骨侧骨道内口定位至关重要,因为 ACL 股骨附着部位始终位于该嵴下方。分叉嵴作为 AMB 与 PLB 之间的骨性隆起,分隔着 AMB 和 PLB 的纤维附着点^[24]。屈膝 $90^\circ \sim 120^\circ$ 时,PLB 在分叉嵴前方,AMB 在其后方。通常认为屈膝 $90^\circ \sim 120^\circ$ 时,在外侧髁间嵴以下、分叉嵴的位置代表 ACL 股骨侧足印区的中心。对于上述骨性标志并不明显或外侧髁内侧面严重增生者,van Eck 等^[25]指出能将骨道内口定位点选在髁外侧髁内侧面下 30% ~ 35%。在足印区中点重建,移植物将横跨 AMB 和 PLB,在一定程度上行使了部分 PLB 相关的抗旋转作用。这使得许多研究者认为在 ACL 足印区中心点进行重建后膝关节旋转稳定性更佳,并且在视觉上更加接近解剖位置。

近年来,随着对 ACL 解剖和组织学更深入研究,扁平的、如带状(Ribbon-like)ACL 的观点逐渐被关注。按照“Ribbon-like”ACL 的理论,将骨道内口定位于 AMB 中心(即 AMB 重建)更加接近 ACL 直接纤维束在股骨侧生理附着点的位置,更加符合 ACL 正常的生理止点^[26]。AMB 较 PLB 粗大,具有更加良好的等长性^[27,28],故 AMB 重建后更能保持膝关节的运动学特性以及维持移植物的等长性。从股骨足印区中心点重建转变为 AMB 重建,术后功能恢复良好的比例有所增加^[29]。Balendra 等^[30]认为 AMB 中点处定位更具优势。他们对 232 例行 ACL 重建的职业足球运动员进行回顾性研究显示,无论何种移植物,与将骨道内口置于 ACL 足印区中心相比,置于 AMB 中点所导致的移植物再断裂率都明显降低(半腱肌和股薄肌组:18.5% vs. 10.0%;髌腱组:10.9% vs. 7.3%)。可见,在 ACL 单束解剖重建时将骨道内口置于 AMB 中点可能对预后更加有利。目前,将“Ribbon-like”ACL 理论应用于重建手术中是否具有优越性仍存有争议。Driscoll 等^[31]对股骨侧 ACL 足印区中点处重建和 AMB 重建进行生物力学比较,ACL 足印区中点处重建后屈膝 15° 、 30° 和 45° 时胫骨内旋转角度均显著小于 AMB 重建($10.4^\circ \pm 0.8^\circ$ vs. $11.4^\circ \pm 0.5^\circ$ 、 $10.4^\circ \pm 0.5^\circ$ vs. $11.0^\circ \pm 0.6^\circ$ 、 $10.3^\circ \pm 0.6^\circ$ vs. $11.1^\circ \pm 0.6^\circ$, $P < 0.05$),与 AMB 重建相比,ACL 足印区中点处重建后的膝关节

在屈曲 30° 时胫骨前移位(anterior tibial translation, ATT)更小[(3.7 ± 0.8) mm vs. (5.3 ± 1.7) mm, $P = 0.02$]。由此可见,ACL 足印区中点的定位更能恢复膝关节稳定性。Herbert 等^[32]得出类似结果:与 AMB 重建相比,ACL 足印区中点处重建可使 ATT 显著降低($P < 0.05$)。Iriuchishima 等^[33]对 ACL 单束解剖重建骨道位点进行系统评述,共纳入 74 项股骨侧骨道内口位置的研究,46 项研究(62%)的内口位置选择在 ACL 足印区中心,仅 13 项研究(18%)是以 AMB 足印区中心为内口位置。可以看出,ACL 单束解剖重建中股骨侧骨道内口的定位点是以 ACL 整个足印区的中心为主。

随着对 ACL 解剖学特征,特别对其足印区的了解不断加深,Pearle 等^[34]基于解剖学、组织学、等长测量、生物力学研究和临床数据对 ACL 股骨侧骨道内口的位置进行优化,提出股骨侧 ACL 足印区内骨道内口的最佳位置。该技术的要点可以用 I. D. E. A. L. 来概括。该方法要求股骨侧骨道内口定位点满足术后膝关节屈伸活动时植入物处于等长状态(I, isometric),同时处于直接止点纤维处(D, direct insertion),还要求该点处于足印区偏前、偏近处即偏离中心位(E, eccentrically located),但是要求该点符合解剖重建要求,即必须在足印区内(A, anatomical);此外,需满足术后植入物在膝关节整个屈伸活动范围内类似正常 ACL 的低张力屈曲模式(L, low tension)。同时满足上述 5 个条件位置即可认为是股骨侧骨道内口的最佳位置。采用 I. D. E. A. L. 技术的优势在于它支持前内侧或经胫骨钻孔技术,同时能将骨道内口位置始终放置在所规定的区域内,并允许一定的自由度以满足不同患者解剖结构个性化差异。Su 等^[35]报道 31 例行残端保留和 I. D. E. A. L. 技术用于 ACL 重建患者的临床结果,随访至少 12 个月,Lysholm 评分为由术前(47.3 ± 12.8)分提高到术后(89.6 ± 9.4)分($P < 0.01$),术后 IKDC 评分(88.2 ± 10.7)分,较术前(49.5 ± 10.6)分显著提高($P < 0.01$),术后 Tegner 活动评分显著高于术前评估[(6.5 ± 2.1)分 vs. (2.6 ± 1.8)分, $P < 0.01$]。由此证明 I. D. E. A. L. 技术的准确性和有效性。

3.2 双束解剖重建

虽然 ACL 单束解剖重建术的临床效果已被广

泛认可,但临床研究显示单束重建术后依然出现轴移试验阳性患者的比例高达 25%^[36],这种不佳的稳定性可能继发半月板损伤及软骨磨损。研究者对 ACL 的解剖学和生物力学的研究显示,单束重建往往忽略了 PLB 功能的恢复,尤其当膝关节屈曲 0° ~ 20° 时。为尽可能恢复膝关节稳定性,外科医生逐渐意识到双束解剖重建也许能更好地模拟 ACL 的解剖结构从而弥补单束重建的不足。

行 ACL 双束解剖重建时,通过 AMB 和 PLB 在股骨外侧髁内侧面的附着点中心确定骨道内口的位置。Xu 等^[37]对 2001 以来发表的关于 ACL 股骨侧足印区的相关数据进行研究,通过 Bernard-Hertel 的象限法对 AMB 和 PLB 的解剖位置做出描述:AMB 的理论中心为 $t/T = (24.2 \pm 4.0)\%$ 、 $h/H = (21.6 \pm 5.2)\%$,PLB 的理论中心分别为 $t/T = (32.8 \pm 4.7)\%$ 、 $h/H = (46.7 \pm 4.9)\%$ 。Yang 等^[38]通过三维 CT 对 AMB 和 PLB 的位置做出评估:AMB 中心位于 $t/T = (30.48 \pm 5.02)\%$ 、 $h/H = (17.12 \pm 5.84)\%$;PLB 中心位于 $t/T = (34.76 \pm 5.87)\%$ 、 $h/H = (45.55 \pm 6.88)\%$ 。Losco 等^[39]指出在 Bernard-Hertel 的象限法所绘制的网格中,AMB 中心位于 $(23.0 \pm 5.0)\%$ 、 $h/H = (24.0 \pm 8.0)\%$,PLB 中心位于 $(35.5 \pm 5.0)\%$ 、 $h/H = (44.5 \pm 7.0)\%$ 。从上述数据可以看出,不同研究方法所得出的 AMB 和 PLB 的解剖位置只是略有差异,对于恢复膝关节功能和稳定性无明显影响。

通过使用 2 个独立的移植物,双束解剖重建具有 AMB 和 PLB 均重建的优势,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稳定性和旋转稳定性。关于单束、双束 ACL 重建的术后膝关节功能及稳定性恢复,一篇纳入 40 项研究的 meta 分析^[40]显示,双束解剖重建后 IKDC 主观评估 ($MD = -1.30$, 95% $CI: -2.58 \sim -0.01$) 和 Lysholm 评分 ($MD = -0.96$, 95% $CI: -1.74 \sim -0.18$)、轴移试验 ($RR = 1.93$, 95% $CI: 1.43 \sim 2.59$)、KT-1000/2000 稳定度测试 ($MD = 0.30$, 95% $CI: 0.09 \sim 0.51$) 和 IKDC 客观评估 ($RR = 1.25$, 95% $CI: 1.08 \sim 1.44$) 显著优于单束重建。Alomari 等^[41]也做了相似的研究,对单束、双束 ACL 重建后短期、中期和长期膝关节稳定性和功能进行系统评述,共 34 项随机对照试验、992 例纳入了研究,双束 ACL 重建

在轴移试验 ($RR = 0.61$, 95% $CI: 0.49 \sim 0.75$)、Lachman 试验 ($RR = 0.77$, 95% $CI: 0.62 \sim 0.95$) 和 KT-1000/2000 稳定度测试 ($SMD = -0.21$, 95% $CI: -0.34 \sim -0.08$) 方面都显示出明显更好的结果。但双束解剖重建的临床疗效依然充满争议,尤其对于其中远期预后,需要更多的随访来评估是否优于单束解剖重建。Balasingam 等^[42]将纳入的 105 例 ACL 解剖重建随机分组,双束组 53 例,单束组 52 例,39 例双束解剖重建 (56%) 和 31 例单束解剖重建 (44%) 完成 10 年随访,在轴移试验、膝关节松弛度、Lachman 试验、单腿跳跃测试、膝关节活动度、Lysholm 评分、Tegner 活动评分以及膝关节损伤和骨关节炎结果评分 (Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score, KOOS) 方面,2 组间差异无显著性 ($P > 0.05$)。虽然不同的重建方式对不同病例无选择标准,但从疗效来看,双束解剖重建无论在客观临床指标还是主观评估都不优于单束重建。Mayr 等^[43]将 64 例需行 ACL 重建患者随机分为单束解剖重建组 (30 例) 和双束解剖重建组 (34 例),术后共 53 例 (双束解剖重建组 28 例,单束解剖重建组 25 例) 随访至 5 年,结果显示:2 组 IKDC 主观评分 [单束 vs. 双束: (92.8 ± 6.2) 分 vs. (91.6 ± 7.1) 分, $P = 0.55$] 和客观评分 [单束 vs. 双束, A、B、C、D 级分别为 20% vs. 25%、72% vs. 57%、8% vs. 18%、4% vs. 0%, $P = 0.45$] 差异无显著性;用 Laxitester 测量仪测量膝关节松弛程度,膝关节在中立位、内、外旋转下,胫骨前后位移差异无显著性 ($P = 0.79$)。目前,尚无充分的证据表明双束优于和单束 ACL 解剖重建,仅有少量的研究表明双束解剖重建在客观测量膝关节稳定性、减少 ACL 再损伤和新发半月板损伤方面有一些更好的结果^[44]。此外,双束解剖重建有一个漫长而困难的学习曲线,使定位错误的可能性增加 1 倍^[36]。故单束重建似乎是一种首选的重建方式。Chechik 等^[45]调查显示,67% (101/151) 的外科医生首选单束重建,使用双束重建的外科医生只有 33% (50/151)。

4 其他重建方式

关于 ACL 解剖也存在三束理论,认为 ACL 并非双束,而是由三束组成,即 AMB、中间束 (intermediate bundle, IMB) 和 PLB。在股骨侧,AMB

的附着区位于 ACL 整个足印区近半部分的后上部分,IMB 附着其前下部分,PLB 附着区则位于远半部分^[46]。

对于三束解剖重建,股骨侧骨道内口的定位的研究较少。目前主要通过解剖结构定位股骨侧的 2 个内口,即在外侧髁间峰与近、下端软骨之间 ACL 残端附着区域内,内口应置于 AMB + IMB 所在的上近端部分中心和 PLB 所在的下远端部分中心^[47,48]。

基于三束理论,Uchida 等^[48]对 30 例 ACL 损伤按上述定位方式行三束重建,对术后 2 年的临床结果进行评估:所有患者 IKDC 主观评估都显示为“正常”或“接近正常”,Lachman 试验和轴移试验阴性率分别为 100% 和 93%,施加最大胫骨前负荷时 ATT 为 $(0.7 \pm 0.7) \text{ mm}$ ($0 \sim 2 \text{ mm}$)。可见,三束重建可获得令人满意的临床疗效。Take 等^[49]分析 35 例 ACL 三束重建术后和 35 名健康受试者膝关节磁共振,得出相似的结果:2 组在矢状位相对于股骨的胫骨前后位移差异不显著 [$(-0.5 \pm 2.6) \text{ mm}$ vs. $(-1.4 \pm 1.9) \text{ mm}$, $P = 0.114$, 95% $CI = -1.9 \sim 0.2$]。ACL 三束解剖重建似乎同样能够恢复膝关节良好的稳定性。在关节镜下重建手术中,需根据 AMB、IMB 和 PLB 残端或解剖足印区的中心点确定股骨侧骨道内口的位置^[50]。但对于三束重建并没有明显的骨性标志进行定位,尤其是 AMB 和 IMB,故当足印区不明显时,难以实现准确的骨道内口定位。此外,ACL 的三束理论是基于胫骨侧足印区提出的,在股骨侧三束的位置划分并不明显,甚至部分患者并不能识别三束结构,使三束重建时股骨侧骨道内口的定位并不容易。

基于上述局限性,并且考虑到它更复杂、更昂贵且更难修正,故单束重建可能更有意义^[51,52]。目前,三束解剖重建在临床中未被广泛接受,且缺乏临床相应数据支持,其有效性及优势需要进一步验证。

5 小结

目前,多项研究证明等长重建时股骨侧骨道内口位置落在足印区外,如行自体或同种异体移植物重建,将导致膝关节的稳定性和功能恢复不佳,极大增加翻修风险,但对于人工韧带重建,等长重建依然是首选方式,故探究等长重建时骨道内口的位置仍有意义。影像学测量和解剖标志均可定位股骨侧等

长点,但通过解剖标志定位受视野角度等主观因素影响较大,且对于部分患者解剖标志并不明显。我们推荐采用 JP Laboureau 法进行等长点定位,虽然相对复杂,但准确度高。对于自体或同种异体移植物重建,解剖重已成为首选方式。单束与双束解剖重建在临床的有效性均被证明,但两者之间的优势目前仍有争议,多数外科医生认为单束解剖重建是更合适的选择。单束解剖重建包括足印区中心点重建和 AMB 重建 2 种方式。虽然将 ACL 足印区中心点作为骨道内口位置是目前最常见方式,但在实际手术中应强调以解剖标志为基础,按照 I. D. E. A. L. 理论,将股骨侧骨道内口的位置选在足印区内且偏前、偏近处的偏离中心位,这使得骨道内口的定位更靠近 AMB,与“Ribbon-like”ACL 理论不谋而合。对于三束解剖重建,临床应用还较有限,其优势尚待进一步验证。

虽然股骨侧骨道内口的正确定位是 ACL 重建术的关键步骤,但该手术的预后与胫骨侧骨道内口位置、骨道内口形状、骨道的角度、长度以及 ACL 个体化差异均有关,故对于需 ACL 重建患者,股骨侧骨道内口定位点的选择需要根据不同情况进行充分的术前规划和术中分析。

参考文献

- 1 Chu CR. Can we afford to ignore the biology of joint healing and graft incorporation after ACL reconstruction? *J Orthop Res*, 2022, 40 (1): 55 - 64.
- 2 Gerami MH, Haghi F, Pelarak F, et al. Anterior cruciate ligament (ACL) injuries: A review on the newest reconstruction techniques. *J Family Med Prim Care*, 2022, 11 (3): 852 - 856.
- 3 Diermeier TA, Rothrauff BB, Engebretsen L, et al. Treatment after ACL injury: Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. *Br J Sports Med*, 2021, 55 (1): 14 - 22.
- 4 Hughes JD, Gibbs CM, Almast A, et al. More anatomic tunnel placement for anterior cruciate ligament reconstruction by surgeons with high volume compared to low volume. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2022, 30 (6): 2014 - 2019.
- 5 Dabirrahmani D, Christopher Hogg M, Walker P, et al. Comparison of isometric and anatomical graft placement in synthetic ACL reconstructions: a pilot study. *Comput Biol Med*, 2013, 43 (12): 2287 - 2296.
- 6 赵青松,李欢,徐鹏,等.单束前交叉韧带重建股骨侧定位点的选择进展. *生物骨科材料与临床研究*, 2022, 19 (1): 80 - 83, 88.

- 7 Takahashi T, Saito T, Kubo T, et al. Evaluation of tibial tunnel location with the femoral tunnel created behind the resident's ridge in transtibial anterior cruciate ligament reconstruction. *J Knee Surg*, 2022, 35(10):1132-1137.
- 8 Jorge PB, Escudeiro D, Severino NR, et al. Positioning of the femoral tunnel in anterior cruciate ligament reconstruction; functional anatomical reconstruction. *BMJ Open Sport Exerc Med*, 2018, 4(1):e000420.
- 9 Iriuchishima T, Suruga M, Yahagi Y, et al. Morphology of the resident's ridge, and the cortical thickness in the lateral wall of the femoral intercondylar notch correlate with the morphological variations of the Blumensaat's line. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28(8):2668-2674.
- 10 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.
- 11 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.
- 12 陈天午, 陈世益. 人工韧带用于前交叉韧带修复重建: 目前产品与经验. *中国修复重建外科杂志*, 2020, 34(1):1-9.
- 13 新一代人工韧带重建前十字韧带中国专家共识制订小组, 陈天午. 采用新一代人工韧带重建前十字韧带的关键技术和不良事件——基于改良 Delphi 法制订的中国专家共识(二). *中国修复重建外科杂志*, 2022, 36(9):1047-1055.
- 14 Wan F, Chen T, Ge Y, et al. Effect of nearly isometric ACL reconstruction on graft-tunnel motion: A quantitative clinical study. *Orthop J Sports Med*, 2019, 7(12):2325967119890382
- 15 Bernard M, Hertel P, Hornung H, et al. Femoral insertion of the ACL. Radiographic quadrant method. *Am J Knee Surg*, 1997, 10(1):14-22.
- 16 Brown CH Jr, Spalding T, Robb C. Medial portal technique for single-bundle anatomical anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction. *Int Orthop*, 2013, 37(2):253-269.
- 17 钟秋文, 李伟. 膝关节前交叉韧带解剖单束重建的研究进展. *中华骨与关节外科杂志*, 2020, 13(5):427-432.
- 18 Qin L, You H, Qi J, et al. Superior results of return to sport after double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction in young active patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2022, 30(12):4156-4161.
- 19 Robert HE, Bouguennec N, Vogeli D, et al. Coverage of the anterior cruciate ligament femoral footprint using 3 different approaches in single-bundle reconstruction: a cadaveric study analyzed by 3-dimensional computed tomography. *Am J Sports Med*, 2013, 41(10):2375-2383.
- 20 Kim YM, Joo YB, Lee KY, et al. Femoral footprint for anatomical single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: A cadaveric study. *Knee Surg Relat Res*, 2018, 30(2):128-132.
- 21 Seo SS, Kim CW, Lee CR, et al. Effect of femoral tunnel position on stability and clinical outcomes after single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using the outside-in technique. *Arthroscopy*, 2019, 35(6):1648-1655.
- 22 Sim JA, Kim JM, Lee S, et al. No difference in graft healing or clinical outcome between trans-portal and outside-in techniques after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2018, 26(8):2338-2344.
- 23 Shino K, Suzuki T, Iwashita T, et al. The resident's ridge as an arthroscopic landmark for anatomical femoral tunnel drilling in ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2010, 18(9):1164-1168.
- 24 Laddha MS, Gowtam SV, Jain P. Single-tunnel double-bundle-like effect with footprint enhancing anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthrosc Tech*, 2022, 11(3):e307-e314.
- 25 van Eck CF, Lesniak BP, Schreiber VM, et al. Anatomic single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction flowchart. *Arthroscopy*, 2010, 26(2):258-268.
- 26 李飞龙, 罗小辑, 梁熙, 等. 前交叉韧带解剖研究进展及其对韧带重建技术的影响. *中国修复重建外科杂志*, 2018, 32(3):377-381.
- 27 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.
- 28 Yoon KH, Kim YS, Park JY, et al. Ideal combination of anatomic tibial and femoral tunnel positions for single-bundle ACL reconstruction. *Orthop J Sports Med*, 2022, 10(1):23259671211069960.
- 29 Clatworthy M, Pearle A, Williams A, et al. Current concepts: Femoral tunnel placement in ACL reconstruction: Central footprint versus AM bundle. *ISAKOS Newsletter*, 2015, II:24-31.
- 30 Balendra G, Jones M, Borque KA, et al. Factors affecting return to play and graft re-rupture after primary ACL reconstruction in professional footballers. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2022, 30(7):2200-2208.
- 31 Driscoll MD, Isabell GP Jr, Conditt MA, et al. Comparison of 2 femoral tunnel locations in anatomic single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a biomechanical study. *Arthroscopy*, 2012, 28(10):1481-1489.
- 32 Herbolt M, Domnick C, Raschke MJ, et al. Comparison of knee kinematics after single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction via the medial portal technique with a central femoral tunnel and an eccentric femoral tunnel and after anatomic double-bundle reconstruction: A human cadaveric study. *Am J Sports Med*, 2016, 44(1):126-132.
- 33 Iriuchishima T, Goto B. Systematic review of surgical technique and

- tunnel target points and placement in anatomical single-bundle ACL reconstruction. *J Knee Surg*, 2021, 34(14):1531 – 1538.
- 34 Pearle AD, McAllister D, Howell SM. Rationale for strategic graft placement in anterior cruciate ligament reconstruction: I. D. E. A. L. femoral tunnel position. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*, 2015, 44(6):253 – 258.
- 35 Su C, Kuang SD, Liu WJ, et al. Clinical outcome of remnant-preserving and I. D. E. A. L. femoral tunnel technique for anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthop Surg*, 2020, 12(6):1693 – 1702.
- 36 Chambat P, Guier C, Sonnery-Cottet B, et al. The evolution of ACL reconstruction over the last fifty years. *Int Orthop*, 2013, 37(2):181 – 186.
- 37 Xu H, Zhang C, Zhang Q, et al. A systematic review of anterior cruciate ligament femoral footprint location evaluated by quadrant method for single-bundle and double-bundle anatomic reconstruction. *Arthroscopy*, 2016, 32(8):1724 – 1734.
- 38 Yang JH, Chang M, Kwak DS, et al. In vivo three-dimensional imaging analysis of femoral and tibial tunnel locations in single and double bundle anterior cruciate ligament reconstructions. *Clin Orthop Surg*, 2014, 6(1):32 – 42.
- 39 Losco M, Giron F, Giannini L, et al. Radiographic evaluation of the tunnel position in single and double bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Med Glas (Zenica)*, 2021, 18(1):239 – 246.
- 40 Seppänen A, Suomalainen P, Huhtala H, et al. Double bundle ACL reconstruction leads to better restoration of knee laxity and subjective outcomes than single bundle ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2022, 30(5):1795 – 1808.
- 41 Alomari MS, Ghaddaf AA, Abdulhamid AS, et al. Single bundle versus double bundle anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *Indian J Orthop*, 2022, 56(10):1669 – 1684.
- 42 Balasingam S, Karikis I, Rostgård-Christensen L, et al. Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction is not superior to anatomic single-bundle reconstruction at 10-year follow-up: a randomized clinical trial. *Am J Sports Med*, 2022, 50(13):3477 – 3486.
- 43 Mayr HO, Bruder S, Hube R, et al. Single-bundle versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction-5-year results. *Arthroscopy*, 2018, 34(9):2647 – 2653.
- 44 Tiamklang T, Sumanont S, Foocharoen T, et al. Double-bundle versus single-bundle reconstruction for anterior cruciate ligament rupture in adults. *Cochrane Database Syst Rev*, 2012, 11(11):CD008413.
- 45 Chechik O, Amar E, Khashan M, et al. An international survey on anterior cruciate ligament reconstruction practices. *Int Orthop*, 2013, 37(2):201 – 206.
- 46 Otsubo H, Akatsuka Y, Takashima H, et al. MRI depiction and 3D visualization of three anterior cruciate ligament bundles. *Clin Anat*, 2017, 30(2):276 – 283.
- 47 Shino K, Mae T, Tachibana Y. Anatomic ACL reconstruction: rectangular tunnel/bone-patellar tendon-bone or triple-bundle/semitendinosus tendon grafting. *J Orthop Sci*, 2015, 20(3):457 – 468.
- 48 Uchida R, Shino K, Iuchi R, et al. Anatomical triple bundle anterior cruciate ligament reconstructions with hamstring tendon autografts: Tunnel locations and 2-year clinical outcomes. *Arthroscopy*, 2021, 37(9):2891 – 2900.
- 49 Take Y, Shino K, Mae T, et al. Early structural results after anatomic triple bundle anterior cruciate ligament reconstruction validated by tunnel location, graft orientation, and static anteroposterior tibia-femur relationship. *Arthroscopy*, 2018, 34(9):2656 – 2665.
- 50 Tachibana Y, Mae T, Shino K, et al. Morphological changes in femoral tunnels after anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2015, 23(12):3591 – 3600.
- 51 Servant C. Editorial Commentary: Triple-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: More is more or less is more? *Arthroscopy*, 2019, 35(3):906 – 908.
- 52 Godin JA. Editorial commentary: Anatomic single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction makes more sense than triple-bundle: Three's a crowd. *Arthroscopy*, 2021, 37(9):2901 – 2902.

(收稿日期:2023-04-11)

(修回日期:2023-08-28)

(责任编辑:李贺琼)