

膝关节前外侧结构重建术的研究进展

易鼎力¹, 叶川², 蓝奉军¹, 杨杰³, 刘炯^{1,3}

1. 贵州医科大学 临床医学院, 贵州 贵阳 550004; 2. 贵州医科大学附属医院 骨科, 贵州 贵阳 550004;

3. 贵阳市第四人民医院 运动医学科, 贵州 贵阳 550002

[摘要] 膝关节前交叉韧带重建术 (Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, ACLR) 是治疗前交叉韧带 (Anterior Cruciate Ligament, ACL) 损伤的首要治疗措施, 膝关节前外侧结构重建术 (Anterolateral Structure Reconstruction, ALSR) 是运用于ACLR不能解决的具有高度轴移的ACL损伤患者。近年来较多的研究表明, ALSR可以减少单纯ACLR后膝关节残留轴移并维持其旋转稳定性。为进一步了解ALSR的研究进展, 本文旨在总结前外侧结构的解剖结构、生物力学特征、ALSR的手术指征、临床效果和手术方式, 以期指导临床诊疗。

[关键词] 前交叉韧带重建术; 前外侧结构; 前外侧韧带; 重建; 关节外肌腱固定; 膝关节

Research Progress of Anterolateral Structure Reconstruction of Knee Joint

YI Dingli¹, YE Chuan², LAN Fengjun¹, YANG Jie³, LIU Jiong^{1,3}

1. School of Clinical Medicine, Guizhou Medical University, Guiyang Guizhou 550004, China;

2. Department of Orthopedics, The Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Guiyang Guizhou 550004, China;

3. Department of Sports Medicine, The Fourth People's Hospital of Guiyang, Guiyang Guizhou 550002, China

Abstract: Anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) of knee joint is the primary treatment for anterior cruciate ligament (ACL) injury. Anterolateral structure reconstruction (ALSR) is used in patients with high axial displacement of the ACL that cannot be resolved by ACLR. In recent years, many studies have shown that ALSR can reduce the residual axial displacement of the knee joint after pure ACLR and maintain its rotational stability. In order to further understand the research progress of ALSR, this paper aims to summarize the anatomy of anatomical structure, biomechanical characteristics, surgical indications of ALSR, clinical outcomes and surgical methods, to guide clinical diagnosis and treatment.

Key words: anterior cruciate ligament reconstruction; anterolateral structure reconstruction; anterolateral ligament; reconstruction; lateral extra-articular tenodesis; knee joint

[中图分类号] R197.39

doi: 10.3969/j.issn.1674-1633.2023.10.026

[文献标识码] A

[文章编号] 1674-1633(2023)10-0147-07

引言

前交叉韧带重建术 (Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, ACLR) 是解决前交叉韧带 (Anterior Cruciate Ligament, ACL) 损伤的首要治疗办法, 但对伴有膝关节高度轴移及旋转不稳的ACL损伤患者, ACLR不能完全恢复正常膝关节的稳定性及生物力学, 尤其是胫骨旋转方面。同时ACL损伤术后移植植物常易发生再次撕裂, 重返运动的患者群移植植物再撕裂率更高。而ACLR联合前外侧结构重建术 (Anterolateral Structure Reconstruction, ALSR) 较单纯ACLR更有助于恢复膝关节的稳定性。据报道, 初次ACLR后持续旋转不稳定的患者约占总患者的25%, 前外侧结构 (Anterolateral Structure, ALS) 损伤是其危险因素^[1], 手术加强ALS将提高膝关节的旋转稳定性^[2]。ALSR起初被单独用

来修复ACL损伤, 随着关节内相关技术的开发, 目前ALSR不再单独运用, 一般与ACLR联合使用, 具有更好的治疗效果^[3]。本文旨在对ALS的解剖结构、生物力学特征、ALSR的手术指征、临床效果和手术方式进行回顾和总结。

1 膝前外侧韧带的解剖学研究

膝关节ALS包括髂胫束浅深层、前外侧囊、卡普兰纤维以及前外侧韧带 (Anterolateral Ligament, ALL), 其中针对ALL的研究较多。1879年, Segond描述了一种在强迫内旋转时总是表现出极大张力的珍珠状的、有阻力的纤维带, 这是对ALL的第一次描述^[4]。1976年, Hughston等^[5]提出外侧关节囊韧带的中间三分之一, 附着在外侧上髌近端, 远端连接到胫骨关节边缘。膝关节ALL在2012年才被首次命名, 其起点在股骨外上髌旁, 斜向前内侧走行结束于胫骨近端Gerdy结节旁。从ALL的首次发现到首次命名, 该韧带是否存在仍有争议,

收稿日期: 2023-03-28

基金项目: 贵州省卫生健康委科学技术基金 (gzwjkj2020-1-125)。

通信作者: 刘炯, 主任医师, 主要研究方向为运动医学。

通信作者邮箱: liujiong3@sohu.com

一些学者在尸体解剖中能发现该韧带的存在,但一些学者没有找到该韧带。但目前证明 ALL 存在并具有重要功能的研究相比未发现该韧带的研究较多。尽管出现率有争议,国际前外侧复合体 (Anterolateral Complex, ALC) 共识小组给出了 ALL 的解剖方案^[3]。

2 膝关节ALS的生物力学研究

研究者普遍认为 ALL 在膝关节前外侧稳定性中起主要作用,但近年来的研究表明,ALS 才是膝关节前外侧的主要功能结构。Lagae 等^[6]在正常膝关节标本上切断髂胥束深层纤维,发现可使膝关节屈曲范围、胫骨内旋转松弛加剧,但仅切断 ALL 纤维则不加剧胫骨内旋转松弛,在切断 ACL 膝关节标本中髂胥束及深层纤维被切断使膝关节旋转松弛加重,单用 ACLR 并不足以使膝关节松弛恢复正常,加用关节外肌腱固定 (Lateral Extra-Articular Tenodesis, LET) 才能使膝关节松弛恢复正常。ALS 在控制膝关节胫骨前移、胫骨内旋转及轴移方面相对于 ACL 起着二级稳定器的作用,在 ACL 损伤后 ALS 维持膝关节前外侧稳定性^[7-9]。研究显示,膝关节的 ALS 如髂胥束浅深层、前外侧囊、卡普兰纤维组成有助于膝关节旋转稳定,髂胥束发挥了相对较大的作用^[10-11]。而 ACL 损伤伴随 ALL 损伤较多见。Claes 等^[12]回顾了 271 例 ACL 损伤病例的 MRI,其中 206 例患者 ALL 清晰可见,162 例 (78.6%) 患者 ALL 撕裂。根据 MRI 显示,ALL 损伤的患者合并 ACL 损伤的发生率为 33%~79%^[12-14]。

3 ALSR的临床效果

ALSR 的基本原理是从股骨外侧髁或膝关节前外侧组织到胫骨 Gerdy 结节之间重建韧带,以减小 ACLR 移植物的张力且增强膝关节的旋转稳定性,ALSR 对 ACLR 不能解决的伴有高度轴移和前外侧旋转不稳的 ACL 损伤患者起到减少术后残余轴移的作用。轴移是运动医学用于评估 ACL 损伤的膝关节旋转不稳的检查方法,可分为四度:- (正常);+ (滑动复位);2+ (跳动复位);3+ (交锁,突然复位)。研究表明,轴移试验阳性会导致较差的手术效果,且与术后移植物失效甚至翻修有关^[15]。2+、3+ 轴移可伴随有膝关节 ALS 损伤,合并 ALS 损伤时单纯 ACLR 后往往仍存在轴移阳性,ACLR 可以减少术后残留的轴移^[10,16]。

ALSR 的优势在国内外多篇文献中得到验证,如徐华等^[17]观察了 65 例 ACL 断裂,行 ACL 单束重建联合前外侧韧带重建 (Anterolateral Ligament Reconstruction, ALLR) 的病例,术后评价膝关节功能良好,末次评估 Lysholm 评分平均分为 96.3 分。刘心等^[18]对 18 例 ACL

损伤合并轴移试验 2+ 至 3+ 进行联合手术,其采取的 ALL 肌腱固定选在外侧副韧带股骨止点后上方,观察术后轴移改善情况,结果显示,联合手术对改善轴移有显著效果。也有一些研究表明,联合 ALSR 的临床效果更优^[19-20]。联合 ALSR 还可以促进 ACL 移植物愈合。Cavaignac 等^[21]运用 MRI 图像评估术后 ACL 移植物腱骨愈合程度,结果显示,ACLR+LET 组愈合程度优于单独 ACLR。ACL 移植物再次断裂的风险在联合手术中也会减少。在一项对 502 例有接触旋转动作运动的患者中,使用 ACLR 联合 ALLR 患者的移植物断裂风险较 ACLR 低 2.5~3.1 倍^[22]。另外一项大型队列研究还显示,ALLR 对年轻、参与竞技运动患者的生活质量、功能表现、生物力学和放射学结果较单纯 ACLR 有优势^[23]。一项对 851 例患者的回顾性研究中指出,在 ACL 翻修中增加 LET 可提供更好的中期随访结果,而残留旋转松弛、移植物再破裂或者并发症发生率更低^[24]。随着 ALSR 病例数的增加,其他一些 Meta 分析结果也表明了额外重建的优势^[25-26]。

4 ALSR的手术指征

Cerciello 等^[27]认为,ALSR 需考虑以下因素:① 轴移试验 3+, 内侧半月板、内侧副韧带完好的患者;② <25 岁的患者;③ 膝反曲 >10° 的患者;④ 从事对抗运动的患者;⑤ 广泛韧带松弛的患者;⑥ 没有明确失败原因需要进行 ACL 翻修的患者。2015 年里昂召开的专家会议提出,联合 ACL 和 LET 须满足 1 个首要指征或 2 个次要指征。首要指征包括:ACL 翻修;轴移试验 2+ 至 3+;存在 Segond 骨折;参加有旋转动作的高水平竞技的运动;韧带过度松弛。次要指征包括:对侧 ACL 损伤;Lachman 试验 >7 mm;影像学检查见股骨外髁切迹征;年龄 <25 岁^[28]。国际 ALC 共识小组会议指出的指征为:① ACL 重建翻修;② 高度轴移;③ 广泛韧带松弛/膝反曲;④ 重返有对抗、旋转运动的年轻 (<25 岁) 患者^[3]。

而 Rezende 等^[29]认为,尽管增加关节外移植物可以缓解关节内移植物的变形、拉长,然而手术在额外稳定性方面的差异较小,故临床上认为其并不是重要因素。即增加 LET 带来的稳定性的轻微增加并没有达到患者临床可感知的最低阈值。但在 ACLR 中加入 LET,显示出翻修率明显降低^[30-31]。

5 ALSR的手术方式

20 世纪 80 年代,对 ACL 损伤的患者通常采用关节外手术,20 世纪 90 年代,通常采用 ACLR。ALSR 的手术方式分为解剖重建和非解剖重建。解剖重建即 ALLR,

是指取自体或人工肌腱移植固定于 ALL 股骨外上髁及胫骨上的原始解剖位置^[32-33]。非解剖重建即 LET，指用部分标志点固定移植植物，如股骨外上髁、胫骨上端、腓骨上端和 Gerdy 结节等部分骨性标志定位，可快速找到皮肤投影区定位点。非解剖重建相比于解剖重建理论上具有更加方便定位和微创的优势。ALLR 术式差别小、LET 术式众多，目前缺少对比不同技术疗效的研究。一项对 6 例人膝关节标本的研究显示，ACLR 联合 ALLR 或改良 Lemaire LET，膝关节稳定性无明显差异^[34]。在 Slette 等^[35]总结的共 12 种 LET 的手术方式研究结果显示，各种手术的生物力学效果相似。不同 LET 之间的手术效果不同，有研究发现，Cocker-Arnold 和 Lemaire LET 较其他技术可显著减少 ACLR 后移植植物断裂，改善轴移^[36-37]，不同 LET 的手术效果还需进一步研究。本文根据移植植物在股骨端固定方式的不同对几种 ALSR 进行综述。

5.1 不将移植植物固定在股骨外髁上的 ALSR

改良 Macintosh LET 在髌胫束上以 Gerdy 结节为终点劈开一条移植植物，经外侧副韧带下方穿过，在近端深部做一个环让移植植物穿过、回绕，固定于移植植物本身^[31]。Marcacci 等^[38]描述的 LET 是与 ACLR 共用一条移植植物，移植植物穿过胫骨隧道、膝关节腔，经股骨切迹背面，跨过股骨外侧髁顶，在此处将移植植物固定在髌胫束及外侧韧带上，穿过外侧韧带深处，拉至 Gerdy 结节远端固定，还有一些固定到膝前外侧的肌腱、软组织上^[39-40]。

5.2 将移植植物固定在股骨外上髁上的 ALSR

Muller 等^[41]描述的微创改良 Lemaire LET 是在髌胫束上以 Gerdy 结节为终点劈开一条宽 8~12 mm、长 10~12 cm 的移植植物，移植植物经外侧副韧带下方穿过，固定在股骨外髁上，股骨外髁上的固定点是在远端 Kaplan 纤维股骨附着点正前方和 ACL 移植植物股骨悬吊扣的近端，用锚钉固定。Jesani 等^[42]描述的改良 Lemaire LET 也是从髌胫束上截取一段移植植物，股骨端用 Richards 钉固定在股骨外侧髁上，其指出 Richards 钉的固定位置股骨外侧髁非常靠近 ACL 的股骨悬吊环。Delaloye 等^[34]采用了改良 Lemaire LET，其股骨定位点在股骨外上髁的近端和后端。Devandri 等^[43]在 4 例 ACLR 后出现残余旋转不稳的病例中，二期进行改良 Lemaire 手术，术后 Lachman 试验、轴移试验、Lysholm 评分均有改善。其使用的 LET 技术的股骨固定方式是在股骨外上髁近端、前端建立 6 mm 隧道，用挤压螺钉固定。

5.3 将移植植物固定在股骨外髁上的 ALSR 的股骨隧道定位点

ALLR 和 LET 有不同的股骨隧道定位点。ALLR 是严格按照股骨附着点定位，LET 按照股骨外上髁、膝

关节外侧韧带股骨附着点附近定位。不同的股骨隧道定位点有不同的生物力学和不同的等长性结果，也影响和 ACL 隧道之间的关系。Katakura 等^[44]比较了 LET 中使用不同股骨定位点时术后膝关节轴移的变化，发现在股骨外上髁后 4 mm、近侧 8 mm 重建在减少轴移方面发挥了作用，在所测量的位置中最有效。Helito 等^[45]认为重建最终会回归到解剖位置上，其所描述的股骨解剖定位点在布鲁门萨线中点下端 3~4 mm。Kittl 等^[46]研究了 LET 中不同股骨定位点在膝关节屈曲-伸展过程中与固定的胫骨定位点之间的长度变化，发现不同的定位点其长度变化显著不同，最终在选取的定位点中，股骨外上髁近端的点显示出理想的长度变化模式，在膝关节屈伸过程中长度变化相对较小。Chahla 等^[47]采用的股骨起始点位于膝外侧韧带附着体的后方和近端 4.7 mm 处。2017 年，ALL 专家共识提出在股骨外上髁近端 8 mm 和后端 4 mm 处设置股骨隧道^[30]。ALSR 的股骨定位点要考虑其是否具有等长性及良好的生物力学性能。

6 ACLR 联合 ALSR 出现隧道碰撞的相关研究

6.1 ACLR 联合 ALSR 出现隧道碰撞的发现

在股骨外髁上建立骨隧道固定移植植物的 ALSR 会与 ACLR 骨隧道发生碰撞，骨隧道之间距离过小，可能出现骨桥断裂，从而影响移植物的腱骨愈合，所以在建立隧道时要尽量避免碰撞。隧道碰撞是指 ACLR 的股骨隧道与 LET 经股骨隧道固定时隧道之间的最小距离 ≤ 0 mm。但参照其他股骨髁上设置骨隧道的研究发现，多条隧道也可造成一定并发症^[48-49]，因此骨隧道间需预留安全距离。目前国外对该问题的研究成果大多集中于膝关节创伤后所引起的治疗方面，而对于精准手术领域来说还未见报道。骨隧道间安全距离目前缺乏准确的界定，缺乏对该领域的相关研究，目前避免隧道碰撞问题的研究中存在将骨隧道安全距离界定为 2、5 mm 等情况^[50-51]。Perelli 等^[50]认为不仅隧道相撞会造成不良影响，而且隧道间最小距离 < 5 mm 时也会造成不良影响。手术方式不同直接影响隧道碰撞的发生，Jaecker 等^[51]探讨了 LET 的两种手术方式（Lemaire 术式、MacIntosh 术式）骨隧道和 ACLR 骨隧道之间关系，10 例人体膝关节标本中，同时建立 Lemaire 手术和 MacIntosh 手术隧道，结果显示，Lemaire 隧道有 7 例（70%）出现了隧道碰撞，所有隧道碰撞直接发生在股骨外侧皮质；使用 MacIntosh 时，未发生隧道碰撞。Lemaire 和 MacIntosh 两种手术方式最大的不同点是骨隧道在股骨外髁上的位置不同，Lemaire 手术的位置为以股骨外上髁为参照点在其近端、后侧，MacIntosh 手术的位置为以前外侧副韧带股骨附着点稍远端^[52]。Jaecker 等^[51]认为隧道之间能确保足够的骨量进

行重建的安全距离为2 mm。骨隧道之间的安全距离有待进一步研究。

6.2 影响隧道碰撞的因素

ACLR 联合 ALSR 发生隧道碰撞取决于是否使用骨隧道来固定移植物, 在一些手术中使用骨锚、门型钉固定移植物不存在隧道碰撞的问题^[35,41]。此外, 最佳的固定技术尚无确切定义, 而使用骨隧道固定移植物能实现腱骨愈合。影响这种联合手术骨隧道相撞的因素包括: 手术方式、ACLR 时膝关节屈曲角度、ALL 股骨隧道的角度和隧道定位点。

6.3 避免隧道碰撞的方法

(1) 改变 ALSR 的股骨隧道角度。ALSR 的股骨隧道角度是指进行 ALSR 时钻取的骨隧道在轴状面和冠状面上与股骨外上髁、内上髁连线的夹角。在确定的 ACL 骨道钻取点位和角度的情况下, 改变 ALL 股骨外髁骨隧道角度会影响隧道相撞的发生。Perelli 等^[50]的研究表明, ALS 隧道轴向倾斜角 $<15^{\circ}$ 时, 碰撞发生率 100%, $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 时不安全骨桥 (<5 mm) 的发生率是 92%, $>20^{\circ}$ 时没有碰撞发生, 提示改变股骨隧道重建的角度可以减少隧道碰撞, 角度可以用冠状面、轴状面来衡量。Jette 等^[53]研究结果显示, 在特定的 ACLR 手术方式的情况下, ALSR 的角度为轴状位近端 30° / 冠状位前倾 30° 和轴状位近端 30° / 冠状位前倾 0° 更为安全。Zhu 等^[54]研究了 ALSR 时隧道的角度对隧道碰撞的影响, 结果表明, 冠状面上的角度变化对隧道碰撞无明显差异, 轴面的钻孔角度与隧道冲突的发生显著相关, 并且建议至少保证轴状面上大于 30° 的隧道角度来避免隧道冲突。改变股骨隧道的钻孔角度可以有效避免隧道碰撞, 冠状面上的钻孔角度与隧道碰撞没有显著关系, 轴状面上的角度显著相关。

(2) 改变 ACLR 膝关节的屈曲角度及 ALS 隧道定位点。Kittl 等^[55]在膝关节标本上进行实验, 在膝关节屈曲 110° 、 120° 、 130° 、 140° 时打入 ACL 骨隧道。在 ALSR 时隧道选取了股骨外髁上距离外上髁不同距离的 3 个点位: E1 (近端 5 mm、前 5 mm)、E2 (近端 12 mm、前 4 mm)、E3 (近端 8 mm、后 4 mm), 每个点位上以不同的角度打入克氏针, 测量隧道之间的最小距离。结果显示, ACL 隧道在 110° 和 120° 时的最小距离显著大于 ACL 隧道为 130° 和 140° 时。E3 点比 E1 点隧道碰撞率高, E3 点和 E2 点之间无显著变化。

7 总结与展望

ALSR 与 ACLR 联合是因其其在运动损伤术后膝关节功能恢复上对单纯 ACLR 做了很好补充而受到关注, 联合 ALSR 的主要优势在于: 增加膝关节前外侧稳定

性、减少单纯 ACLR 术后残余轴移、减少 ACLR 移植物断裂率和提高患者重返运动的效率。目前这一技术还在不断发展, 以完善手术指征、减少术后并发症以及明确手术效果。然而现有研究均建立于手术后立即检验的成果上, 故有必要进行长期临床随访评估, 以便对 ACL 移植物的存活率及膝关节功能进行评估并寻找最适合的人群。目前这一技术仍存在不足, 手术方式还不够完善, 同时在股骨外髁上建立骨隧道时会出现隧道碰撞, 从而影响移植物愈合。基于现有的研究方法, 还可以找到避免隧道碰撞的最佳组合, 运用有限元、3D 打印建立模型、术中透视来避免隧道碰撞。为进一步推动 ACLR 的发展, 手术技术将随实践而得到优化, 而这些技术方法将为患者的恢复提供保障, 其最终目的在于使 ACL 损伤患者更好地重回社会生活甚至重返高水平运动。

[参考文献]

- [1] Pavao DM, Cruz RS, de Faria J, *et al.* Modified lemaire lateral tenodesis associated with an intra-articular reconstruction technique with bone-tendon-bone graft using an adjustable fixation mechanism[J]. *Arthrosc Tech*, 2019, 8(7): e733-e740.
- [2] Bonasia DE, D'Amelio A, Pellegrino P, *et al.* Anterolateral ligament of the knee: back to the future in anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Orthop Rev (Pavia)*, 2015, 7(2): 5773.
- [3] Getgood A, Brown C, Lording T, *et al.* The anterolateral complex of the knee: results from the International ALC Consensus Group Meeting[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2019, 27(1): 166-176.
- [4] Claes S, Vereecke E, Maes M, *et al.* Anatomy of the anterolateral ligament of the knee[J]. *J Anat*, 2013, 223(4): 321-328.
- [5] Hughston JC, Andrews JR, Cross MJ, *et al.* Classification of knee ligament instabilities. Part II. The lateral compartment[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1976, 58(2): 173-179.
- [6] Lagae KC, Robberecht J, Athwal KK, *et al.* ACL reconstruction combined with lateral monoloop tenodesis can restore intact knee laxity[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28(4): 1159-1168.
- [7] Kittl C, El-Daou H, Athwal KK, *et al.* The role of the anterolateral structures and the ACL in controlling laxity of the intact and ACL-deficient knee[J]. *Am J Sports Med*, 2016, 44(2): 345-354.
- [8] Sonnery-Cottet B, Lutz C, Daggett M, *et al.* The involvement of the anterolateral ligament in rotational control of the knee[J]. *Am J Sports Med*, 2016, 44(5): 1209-1214.
- [9] Tavlo M, Eljaja S, Jensen JT, *et al.* The role of the anterolateral ligament in ACL insufficient and reconstructed knees on

- rotatory stability: a biomechanical study on human cadavers[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2016, 26(8): 960-966.
- [10] Musahl V, Herbst E, Burnham JM, *et al.* The anterolateral complex and anterolateral ligament of the knee[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2018, 26(8): 261-267.
- [11] Huser LE, Noyes FR, Jurgensmeier D, *et al.* Anterolateral ligament and iliotibial band control of rotational stability in the anterior cruciate ligament-intact knee: defined by tibiofemoral compartment translations and rotations[J]. *Arthroscopy*, 2017, 33(3): 595-604.
- [12] Claes S, Bartholomeeusens S, Bellemans J. High prevalence of anterolateral ligament abnormalities in magnetic resonance images of anterior cruciate ligament-injured knees[J]. *Acta Orthop Belg*, 2014, 80(1): 45-49.
- [13] Van Dyck P, Clockaerts S, Vanhoenacker FM, *et al.* Anterolateral ligament abnormalities in patients with acute anterior cruciate ligament rupture are associated with lateral meniscal and osseous injuries[J]. *Eur Radiol*, 2016, 26(10): 3383-3391.
- [14] Helito CP, Helito P, Costa HP, *et al.* Assessment of the anterolateral ligament of the knee by magnetic resonance imaging in acute injuries of the anterior cruciate ligament[J]. *Arthroscopy*, 2017, 33(1): 140-146.
- [15] Ayeni OR, Chahal M, Tran MN, *et al.* Pivot shift as an outcome measure for ACL reconstruction: a systematic review[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2012, 20(4): 767-777.
- [16] Kittl C, Inderhaug E, Williams A, *et al.* Biomechanics of the anterolateral structures of the knee[J]. *Clin Sports Med*, 2018, 37(1): 21-31.
- [17] 徐华, 郭氧, 穆臣会, 等. 前交叉韧带联合前外侧韧带重建手术治疗前交叉韧带断裂的疗效观察[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2020, 35(10): 1086-1088.
- [18] 刘心, 张辉, 冯华, 等. 前外侧肌腱固定术在治疗合并高度轴移不稳定的前交叉韧带损伤患者中的应用[J]. 中国运动医学杂志, 2017, 36(2): 101-105.
- Liu X, Zhang H, Feng H, *et al.* Anterior cruciate ligament reconstruction combined with anterolateral tenodesis procedure treating patient with high grade pivot-shift after ACL injuries[J]. *Chin J Sports Med*, 2017, 36(2): 101-105.
- [19] 何嘉炜, 张克远. 前交叉韧带联合前外侧韧带重建治疗前交叉韧带损伤的短期临床疗效研究[J]. 实用骨科杂志, 2021, 27(12): 1080-1086.
- He JW, Zhang KY. Treatment of anterior cruciate ligament injury using anterior cruciate ligament combined with anterolateral ligament reconstruction: a short-term clinical efficacy study[J]. *J Pract Orthop*, 2021, 27(12): 1080-1086.
- [20] 毛云鹤, 孙伟豪, 付维力, 等. 前交叉韧带双束重建联合前外侧韧带重建在前交叉韧带翻修中的应用[J]. 中国修复重建外科杂志, 2021, 35(3): 330-336.
- Mao YH, Sun WH, Fu WL, *et al.* Effectiveness of double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction combined with anterolateral ligament reconstruction for revision[J]. *Chin J Repara Reconstr Surg*, 2021, 35(3): 330-336.
- [21] Cavaignac E, Mesnier T, Marot V, *et al.* Effect of lateral extra-articular tenodesis on anterior cruciate ligament graft incorporation[J]. *Orthop J Sports Med*, 2020, 8(11): 1812007521.
- [22] Sonnery-Cottet B, Saithna A, Cavalier M, *et al.* Anterolateral ligament reconstruction is associated with significantly reduced acl graft rupture rates at a minimum follow up of 2 years: a prospective comparative study of 502 patients from the SANTI study group[J]. *Am J Sports Med*, 2017, 45(7): 1547-1557.
- [23] Getgood A, Bryant D, Firth A. The stability study: a protocol for a multicenter randomized clinical trial comparing anterior cruciate ligament reconstruction with and without lateral extra-articular tenodesis in individuals who are at high risk of graft failure[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2019, 20(1): 216.
- [24] Grassi A, Zicaro JP, Costa-Paz M, *et al.* Good mid-term outcomes and low rates of residual rotatory laxity, complications and failures after revision anterior cruciate ligament reconstruction (ACL) and lateral extra-articular tenodesis (LET)[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28(2): 418-431.
- [25] Ariel DLD, de Lima LL, de Souza N, *et al.* Clinical outcomes of combined anterior cruciate ligament and anterolateral ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis[J]. *Knee Surg Relat Res*, 2021, 33(1): 33.
- [26] Na BR, Kwak WK, Seo HY, *et al.* Clinical outcomes of anterolateral ligament reconstruction or lateral extra-articular tenodesis combined with primary ACL reconstruction: a systematic review with meta-analysis[J]. *Orthop J Sports Med*, 2021, 9(9): 941628155.
- [27] Cerciello S, Batailler C, Darwich N, *et al.* Extra-articular tenodesis in combination with anterior cruciate ligament reconstruction: an overview[J]. *Clin Sports Med*, 2018, 37(1): 87-100.
- [28] Sonnery-Cottet B, Daggett M, Fayard JM, *et al.* Anterolateral Ligament Expert Group consensus paper on the management of internal rotation and instability of the anterior cruciate

- ligament-deficient knee[J]. *J Orthop Traumatol*, 2017, 18(2): 91-106.
- [29] Rezende FC, de Moraes VY, Martimbianco AL, *et al*. Does combined intra- and extraarticular acl reconstruction improve function and stability? A meta-analysis[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2015, 473(8): 2609-2618.
- [30] Geeslin AG, Moatshe G, Chahla J, *et al*. Anterolateral knee extra-articular stabilizers: a robotic study comparing anterolateral ligament reconstruction and modified lemaire lateral extra-articular tenodesis[J]. *Am J Sports Med*, 2018, 46(3): 607-616.
- [31] Getgood A, Bryant DM, 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.
- [32] Kennedy MI, Claes S, Fuso F A, *et al*. The anterolateral ligament: an anatomic, radiographic, and biomechanical analysis[J]. *Am J Sports Med*, 2015, 43(7): 1606-1615.
- [33] Jette C, Gutierrez D, Sastre S, *et al*. Biomechanical comparison of anterolateral ligament anatomical reconstruction with a semi-anatomical lateral extra-articular tenodesis. a cadaveric study[J]. *Knee*, 2019, 26(5): 1003-1009.
- [34] Delaloye J R, Hartog C, Blatter S, *et al*. Anterolateral ligament reconstruction and modified lemaire lateral extra-articular tenodesis similarly improve knee stability after anterior cruciate ligament reconstruction: a biomechanical study[J]. *Arthroscopy*, 2020, 36(7): 1942-1950.
- [35] Slette EL, Mikula JD, Schon JM, *et al*. Biomechanical results of lateral extra-articular tenodesis procedures of the knee: a systematic review[J]. *Arthroscopy*, 2016, 32(12): 2592-2611.
- [36] Ferretti A, Monaco E, Ponzo A, *et al*. Combined intra-articular and extra-articular reconstruction in anterior cruciate ligament-deficient knee: 25 years later[J]. *Arthroscopy*, 2016, 32(10): 2039-2047.
- [37] Hurley ET, Bloom DA, Hoberman A, *et al*. There are differences in knee stability based on lateral extra-articular augmentation technique alongside anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2021, 29(11): 3854-3863.
- [38] Marcacci M, Zaffagnini S, Iacono F, *et al*. Arthroscopic intra- and extra-articular anterior cruciate ligament reconstruction with gracilis and semitendinosus tendons[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 1998, 6(2): 68-75.
- [39] Ellison AE. Distal iliotibial-band transfer for anterolateral rotatory instability of the knee[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1979, 61(3): 330-337.
- [40] Wilson WJ, Scranton PJ. Combined reconstruction of the anterior cruciate ligament in competitive athletes[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1990, 72(5): 742-748.
- [41] Muller B, Willinge G, Zijl J. Minimally invasive modified lemaire tenodesis[J]. *Arthrosc Tech*, 2021, 10(1): e29-e36.
- [42] Jesani S, Getgood A. Modified lemaire lateral extra-articular tenodesis augmentation of anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *JBJS Essent Surg Tech*, 2019, 9(4): 1-7.
- [43] Deviadri R, van der Veen HC. Isolated lateral extra-articular tenodesis enhance better rotatory knee joint stability post-primary ACL repair: four cases report and literature review[J]. *Int J Surg Case Rep*, 2021, 84: 106167.
- [44] Katakura M, Koga H, Nakamura T, *et al*. Biomechanical effects of additional anterolateral structure reconstruction with different femoral attachment sites on anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Am J Sports Med*, 2019, 47(14): 3373-3380.
- [45] Helito CP, Bonadio MB, Gobbi RG, *et al*. Combined intra- and extra-articular reconstruction of the anterior cruciate ligament: the reconstruction of the knee anterolateral ligament[J]. *Arthrosc Tech*, 2015, 4(3): e239-e244.
- [46] Kittl C, Halewood C, Stephen JM, *et al*. Length change patterns in the lateral extra-articular structures of the knee and related reconstructions[J]. *Am J Sports Med*, 2015, 43(2): 354-362.
- [47] Chahla J, Menge TJ, Mitchell JJ, *et al*. Anterolateral ligament reconstruction technique: an anatomic-based approach[J]. *Arthrosc Tech*, 2016, 5(3): e453-e457.
- [48] Moatshe G, Brady AW, Slette EL, *et al*. Multiple ligament reconstruction femoral tunnels: intertunnel relationships and guidelines to avoid convergence[J]. *Am J Sports Med*, 2017, 45(3): 563-569.
- [49] Gali JC, Bernardes AP, Dos SL, *et al*. Tunnel collision during simultaneous anterior cruciate ligament and posterolateral corner reconstruction[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2016, 24(1): 195-200.
- [50] Perelli S, Erquicia JI, Ibanez M, *et al*. Evaluating for tunnel convergence in anterior cruciate ligament reconstruction with modified lemaire tenodesis: what is the best tunnel angle to decrease risk?[J]. *Arthroscopy*, 2020, 36(3): 776-784.
- [51] Jaecker V, Naendrup JH, Pfeiffer TR, *et al*. Radiographic landmarks for femoral tunnel positioning in lateral extra-articular tenodesis procedures[J]. *Am J Sports Med*, 2019, 47(11): 2572-2576.

- [52] Ireland J, Trickey EL. Macintosh tenodesis for anterolateral instability of the knee[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1980, 62(3): 340-345.
- [53] Jette C, Pomes J, Sastre S, *et al*. Safe drilling angles avoid femoral tunnel complications during combined anterolateral ligament and anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2019, 27(11): 3411-3417.
- [54] Zhu M, Han LD, Williams A. Safe femoral fixation depth and orientation for lateral extra-articular tenodesis in anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Orthop J Sports Med*, 2021, 9(1): 1812024015.
- [55] Kittl C, Schwietering L, Raschke MJ, *et al*. Tunnel convergence rate in combined anteromedial portal anterior cruciate ligament and anterolateral structure reconstructions is influenced by anterior cruciate ligament knee flexion angle, tunnel position, and direction[J]. *Arthroscopy*, 2022, 38(3): 860-869.

本文编辑 崔丽君