

· 综述 ·

前交叉韧带重建术后髌股关节炎的研究现状<sup>△</sup>赵久卿<sup>1</sup>, 刘文科<sup>2</sup>, 刘炯<sup>1\*</sup>

(1. 贵州医科大学临床医学院, 贵州贵阳 550004; 2. 贵阳市第四人民医院运动医学科, 贵州贵阳 550007)

**摘要:** 膝关节炎 (osteoarthritis, OA) 是一种以膝关节软骨退行性病变和继发性骨质增生为特征的慢性疾病。前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 损伤是临床常见疾病, 前交叉韧带重建 (anterior cruciate ligament reconstruction, ACLR) 技术已经成为 ACL 损伤的首选治疗方法。有学者提出 ACLR 是继发髌股关节 OA 的危险因素之一, 髌股关节 OA 与膝关节 OA 密切相关。因此, 减少 ACLR 术后髌股关节 OA 的发生也是减少或延缓膝关节 OA 的重要环节。目前关于 ACLR 术后发生髌股关节 OA 的机制尚未清楚。本文回顾国内外相关文献, 对 ACLR 术后髌股关节 OA 的流行病学、危险因素最新进展进行综述, 为临床诊疗提供参考。

**关键词:** 前交叉韧带损伤, 髌股关节骨关节炎, 危险因素, 前交叉韧带重建

**中图分类号:** R684.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2024) 11-0996-05

**Current research in patellofemoral osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction // ZHAO Jiu-qing<sup>1</sup>, LIU Wen-ke<sup>2</sup>, LIU Jiong<sup>1</sup>. 1. Clinical College, Guizhou Medical University, Guiyang 550004, China; 2. Department of Sports Medicine, The Fourth People's Hospital of Guiyang City, Guiyang 550007, China**

**Abstract:** Knee osteoarthritis (OA) is a chronic disease characterized by knee cartilage degeneration and secondary bone hyperplasia. Anterior cruciate ligament (ACL) tear is a common sports injury, which need to be underwent anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR), and some scholars have proposed that ACLR is one of the risk factors for secondary patellofemoral OA. Patellofemoral OA is closely related to knee OA. Therefore, reducing the incidence of patellofemoral OA after ACLR is also an important part of reducing or delaying knee OA. However, the mechanism of patellofemoral OA after ACLR remains unclear. This article reviewed relevant literature at home and abroad, and summarized the latest progress in epidemiology and risk factors of patellofemoral OA after ACLR to provide a reference for clinical diagnosis and treatment.

**Key words:** anterior cruciate ligament injury, patellofemoral osteoarthritis, risk factors, anterior cruciate ligament reconstruction

随着人们生活水平的不断提高, 更多的人希望通过体育锻炼获得更加健康的体魄, 随之而来的体育损伤日益增加, 其中膝关节损伤是常见的体育损伤之一, 而前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 损伤占膝关节损伤的 50% 以上<sup>[1]</sup>。前交叉韧带重建 (anterior cruciate ligament reconstruction, ACLR) 术是保护关节软骨与周围组织、促进膝关节稳定性恢复的重要术式<sup>[2]</sup>。目前, ACLR 已经成为临床治疗 ACL 损伤的首选手术治疗方案。近年来越来越多研究者提出 ACLR 是 ACL 损伤后髌股关节骨关节炎 (osteoarthritis, OA) 发展的危险因素, 髌股关节 OA 的发生降低患者术后生活质量, 影响手术疗效。ACLR 术后

髌股关节 OA 的确切发病机制尚未清楚。本文对 ACLR 术后髌股关节 OA 的流行病学、危险因素进行综述, 为 ACLR 术后髌股关节 OA 的发病机制提供相关依据, 并为今后的研究提出参考。

## 1 流行病学

髌股关节 OA 是常见的膝前痛的原因, 其不仅发病率高, 而且发病早, 很多年轻女性在 35 岁左右开始出现上下楼、下蹲时的髌下疼痛症状, 严重影响患者生活质量<sup>[3]</sup>。其在 X 线片上表现为髌股关节软骨丢失。Li 等<sup>[4]</sup>的研究发现, 髌股关节 OA 比起内侧

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2024.11.07

<sup>△</sup>基金项目: 贵州省卫生健康委科学技术基金项目 (编号: gzwjkj2020-1-125)

作者简介: 赵久卿, 在读研究生, 研究方向: 运动损伤修复与重建, (电子信箱) 894987688@qq.com

\* 通信作者: 刘炯, (电子信箱) 442316364@qq.com

间室更多见于外侧间室。此外,该研究指出,居住在郊区和农村地区的中国人中,大约有 1/4 的人在影像学上诊断为髌股关节 OA,其中 1/3 的人在确诊前 1 个月的大部分时间里上下楼梯时都有膝关节疼痛。有研究报道, ACLR 术后近 36 年 OA 患病率估计为 19%, ACL 损伤显著增加了膝关节 OA 发生的风险,此项研究表明,从长远来看大约 1/3 行重建手术的患者可能会出现膝关节 OA,与非手术治疗相比,手术治疗在长期内不会降低 OA 患病率<sup>[5]</sup>。过去更多的学者集中于 ACLR 术后胫股关节 OA 的研究。然而,髌股关节 OA 常与胫股关节 OA 共存, ACLR 后的髌股关节 OA 与胫股关节 OA 一样普遍<sup>[6]</sup>。

## 2 危险因素

### 2.1 移植物类型

常用的 ACLR 材料包括自体移植物、同种异体移植物和合成移植物,每种移植物都有其优点和缺点。因自体移植物为自身组织,较其他移植物更具性价比,且在移植物与骨隧道愈合方面移植排斥反应的风险低,在 ACLR 术中得到广泛应用。临床上常见自体移植物有骨髌腱移植物、腓绳肌肌腱移植物、股四头肌肌腱移植物。由于自体骨髌腱移植物来自髌韧带,相较于自体腓绳肌肌腱移植物而言,自体骨髌腱移植物在 ACLR 术后更容易诱发髌股关节退行性改变<sup>[7]</sup>。然而,有学者认为使用自体髌腱与自体腓绳肌肌腱在髌股软骨退行性改变进展中无显著差异<sup>[8]</sup>。现在临床上对股四头肌肌腱自体移植在 ACLR 中的作用越来越感兴趣,与髌腱自体移植相比较,其膝关节前部疼痛的发生率降低<sup>[9]</sup>。此外,同种异体移植肌腱也是许多临床医生的选择。然而,有研究表明,使用同种异体移植物的 ACLR 导致髌股关节软骨损伤的可能性是使用自体髌骨肌腱移植物的 15 倍<sup>[10]</sup>,这是由于同种异体肌腱早期组织愈合过程较自体肌腱延迟,导致长期稳定性和机械功能的降低,最终导致关节软骨负荷和软骨损伤的增加<sup>[11]</sup>。对于需要尽快重返运动赛场的职业运动员和自体或异体材料移植手术的失败者来说,第三代人工韧带-LARS 韧带成为最佳选择。然而, LARS 韧带重建术后也可导致髌股关节 OA 的发生, Carlson 等<sup>[12]</sup>报道, LARS 韧带重建术后 4 个月的关节镜检发现髌股关节软骨软化。

### 2.2 半月板损伤

ACL 损伤常伴随半月板损伤,其发病率高达 79%<sup>[1]</sup>,目前临床上半月板损伤的主要治疗方法是半

月板切除术或半月板修复术。半月板切除术是大多数半月板撕裂最常用的治疗选择。然而,大量研究表明,半月板切除术常导致术后膝关节 OA 的发生。近年来,半月板修复已成为受损半月板的常用手术<sup>[13]</sup>。但半月板修复术后髌股关节软骨也可发生进一步退变,在 Hiranaka 等<sup>[14]</sup>的研究中,在进行 ACLR 时以及在平均术后 37 个月的随访期,第二次关节镜检查时发现,半月板修复组较完整半月板组的髌骨、股骨滑车、股骨、胫骨平台软骨损失多,其中的机制可能是撕裂的半月板在手术时得到了修复,并且大多数在二次关节镜检查中成功愈合,但它们可能不具有原生半月板的自然特征。此外, ACL 撕裂常伴随外侧半月板后根撕裂,以往更多的研究集中在其不同治疗方式对运动学的改变以及临床结果的影响,缺乏对髌股关节影响的研究。然而, Zhang 等<sup>[15]</sup>研究发现,在膝关节屈曲 30°时, ACLR 与完整或修复的外侧半月板后根组相比,外侧半月板后根撕裂组显著增加了髌股接触压力。在膝关节屈曲 30°时, ACLR 与外侧半月板后根修复术组可显著降低膝关节髌股关节压力。这一结果表明,在 ACL 损伤合并外侧半月板后根损伤的患者中,外侧半月板后根的撕裂和修复会影响 ACLR 特定角度的髌股关节压力。

### 2.3 股四头肌

ACLR 恢复了膝关节的机械稳定性,但受到股四头肌激活障碍、废用性肌萎缩、肌内代谢水平、术后生物力学改变等因素的影响<sup>[16]</sup>,股四头肌明显无力。但肌肉力量是术后潜在的可改变的危险因素。Huang 等<sup>[17]</sup>的研究发现,将受影响的股四头肌肌力恢复到健侧的 80%以上,可减少 ACLR 后髌骨软骨损伤的发生和进展。因此,明确股四头肌力量与软骨损伤恶化之间可能存在的关系,为 ACLR 术后髌股关节 OA 的发病机制提供参考。Ong 等<sup>[18]</sup>的研究发现,膝关节前侧疼痛程度较重的患者,其股外侧肌厚度较低、股内侧肌僵硬程度较高,股内侧肌和股外侧肌之间肌肉量和僵硬度的不平衡,可能引起髌股关节负荷向外侧关节面定位异常,导致骨硬化和骨质减少。此外,该研究还报道下蹲时肌肉萎缩、髌股关节疼痛和异常肌肉恢复是一个相互联系的粘性循环的一部分,它导致持续的股四头肌无力,随后引起髌股关节异常负荷。Han 等<sup>[19]</sup>的研究表明,股四头肌肌电图股内侧肌的延迟发作和激活的幅度较低可能是髌股关节疼痛的原因。

### 2.4 软骨损伤

ACL 损伤所需的巨大力量或者与 ACL 损伤相关

的其他因素,可能会导致髌股关节软骨丢失。然而,对于 ACLR 术后软骨丢失的机制尚未明确。最新研究表明,在 ACLR 术后 4 周,骨膜蛋白呈上升趋势<sup>[20]</sup>。骨膜蛋白是一种母细胞分泌蛋白,可与整合素受体结合,既往研究表明,其在动物模型中参与 ACL 损伤后创伤性 OA 的基质降解和进行性软骨分解。但骨膜蛋白与 ACLR 后早期软骨变化之间的关系需要进一步的研究。更进一步的研究发现,ACLR 后>1 年甚至更长时间,ACL 损伤伴随的软骨损伤发展为髌股关节 OA 及对关节影响是减少的。Wang 等<sup>[21]</sup>的队列研究表明,与无软骨损伤的患者相比,全层软骨损伤的 ACLR 患者,在手术后 10~15 年膝关节损伤和关节炎评分(knee injury and osteoarthritis outcome score, KOOS)没有报告较差的结果。该队列的纵向随访表明,软骨病变在短期内对于 KOOS 评分产生负面影响,但从长远来看,这种影响会减弱。

### 2.5 髌股关节运动学

髌股关节运动学和运动学导致的接触力学的改变已被作为 ACLR 术后髌股关节 OA 病因学的可能机制,Williams 等<sup>[6]</sup>的研究发现:(1)在 ACLR 后 3 个月和 6 个月,受累肢体的髌股接触力小于未受累肢体,但在 24 个月时消退;(2)受累肢体的髌股接触力会随着时间的推移而增加,以匹配未受累肢体的接触力。上述结果表明,髌股关节低负荷在 ACLR 后早期存在,但在手术后 2 年消退。其次,伸肌力量不足在 ACLR 后很常见,并且有可能破坏髌股生物力学环境,导致髌股关节负荷减少<sup>[22]</sup>。此外,Sriharan 等<sup>[23]</sup>的研究发现,ACLR 后髌股关节下肢运动学和压力中心位置发生细微变化,这种改变可能引起膝关节伸展力矩的显著减少,从而导致髌股关节的负荷不足。ACLR 后较低的髌股关节负荷与早期髌股关节 OA 和更高的髌股关节 OA 恶化风险有关<sup>[24]</sup>。最近一项研究报道,ACLR 术后超负荷和低负荷都可能导致髌股关节疼痛和髌股关节 OA 的发展<sup>[25]</sup>。机械负荷与 ACLR 术后髌股关节 OA 的发展之间的关系值得进一步研究。

### 2.6 术前肌力康复

术前肌力康复不仅可以为手术创造良好条件,而且能提高术后功能,为膝关节提供一定的活动度和关节周围力量,可有效降低因膝关节软组织纤维化导致的关节周围粘连,促进术后膝关节活动度的恢复。Filbay 等<sup>[26]</sup>的研究发现,早期行功能锻炼后再行 ACLR,其 5 年后髌股关节 OA 发病率高于早期 ACLR 再行功能锻炼的患者。Culvenor 等<sup>[27]</sup>的研究

证实,早期行 ACLR 的患者其 5 年后髌股关节软骨丢失要明显多于早期行功能锻炼后再行 ACLR 的患者。以上研究表明,术前康复对减少或延缓术后髌股关节 OA 有着积极的作用。然而其确切机制需要进一步研究。

### 2.7 重建技术

ACLR 广泛用于恢复膝关节松弛,重建生物力学稳态并防止关节软骨退行性变。几十年来,单束技术一直是 ACLR 的黄金标准技术。双束技术由于比单束技术更好地模仿 ACL 的原始解剖结构成为大多数医生的选择,但就双束重建是否较单束重建延缓或减少术后髌股关节 OA 发生尚未达成共识。在 ACLR 中重要的是重建前内侧束和后外侧束,并恢复受伤膝关节的前后位和旋转稳定性,传统的 ACLR 仅重建单束,虽然恢复了膝关节的前后稳定性,但旋转不稳定可能持续存在,可能导致骨关节炎、半月板损伤和软骨损伤<sup>[28]</sup>。而 Zhou 等<sup>[29]</sup>的研究表明,在 ACLR 术后的中期(2~10 年)随访中,双束技术在预防 OA 进展方面并不比单束技术更有效。

### 2.8 延迟手术时间

ACL 损伤若不及时治疗将导致膝关节不稳,增加髌股关节 OA 等并发症发生的风险。目前对于 ACLR 的最佳时间尚无统一的标准。Cinque 等<sup>[30]</sup>的研究表明,ACLR 术后发生髌股关节 OA 的患者比例随着 ACL 损伤至手术时间间隔的增加而显著增加。但立即手术可能会增加膝关节纤维病的风险<sup>[31]</sup>。Prodromidis 等<sup>[32]</sup>指出,延迟 ACLR 与软骨损伤或变性的发生率增加有关。因此,他们认为,ACLR 应在 ACL 损伤后尽早进行,最好在 3 个月内或炎症反应消退后进行。然而,最近一项研究表明,早期(<6 周)和选择性延迟性 ACLR 在膝关节稳定性、Tegner 评分、IKDC 评定量表和不良并发症方面均无显著差异<sup>[33]</sup>。延迟 ACLR 与髌股关节 OA 之间的关系需要更长的随访研究。

### 2.9 性别

ACLR 术后可能因性别不同导致髌股关节 OA 的发病率存在一定差异。Pius 等<sup>[34]</sup>的研究发现,ACLR 术后性别差异在髌股关节不同区域导致软骨增厚或丢失,在髌股关节接触面女性患者关节软骨的增厚面积大于男性,而男性患者髌骨软骨丢失多于女性患者,这可能是由于 ACLR 重建术后因性别不同在膝关节生物力学、髌股疼痛和解剖学对齐方面存在差异。性别差异与 ACLR 术后髌股关节 OA 之间的关系值得进一步研究。



### 3 小 结

虽然 ACLR 通常可有效恢复损伤后膝关节前部稳定性, 但相当一部分 ACLR 患者会发展为髌股关节 OA, 大量研究表明, 仅恢复膝关节稳定性是不够的, 更应关注导致髌股关节 OA 恶化的危险因素。优化手术技术、制定适宜的手术方案、积极处理术后并发症, 并追求规范、合理及个性化的康复训练可能有助于预防或改善 ACLR 术后的髌股关节 OA, 提高患者生活质量。此外, 在众多因素中, 股四头肌作为术后潜在的可改变因素之一, 研究其与髌股关节 OA 之间的发病机制, 有利于针对性地指导 ACLR 术后的康复训练, 但目前缺乏相应的理论依据。未来需要进一步的研究其可能存在的机制, 以减少或延缓髌股关节 OA 的发生。

### 参考文献

- [1] Castano Betancourt MC, Maia CR, Munhoz M, et al. A review of risk factors for post-traumatic hip and knee osteoarthritis following musculoskeletal injuries other than anterior cruciate ligament rupture [J]. *Orthop Rev*, 2022, 14 (4) : 38747. DOI: 10.52965/001c.38747.
- [2] 田科, 毕方刚, 李鹏举. 挤压螺钉材质对前交叉韧带重建术的影响 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (20) : 1848-1852. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.20.06.  
Tian K, Bi FG, Li PJ. Effect of interference screw materials on graft-bone healing in anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2021, 29 (20) : 1848-1852. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.1005-8478.2021.20.06.
- [3] 叶茂, 邹毅, 张均泉. 关节镜与开放手术治疗髌股关节骨性关节炎的比较 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (3) : 209-214. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.03.04.  
Ye M, Zou Y, Zhang JQ. Arthroscopic treatment versus open surgery for patellofemoral osteoarthritis [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2020, 28 (3) : 209-214. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.03.04.
- [4] Li Z, Liu Q, Zhao C, et al. High prevalence of patellofemoral osteoarthritis in china: a multi-center population-based osteoarthritis study [J]. *Clin Rheumatol*, 2020, 39 (12) : 3615-3623. DOI: 10.1007/s10067-020-05110-7.
- [5] Webster KE, Hewett TE. Anterior cruciate ligament injury and knee osteoarthritis: an umbrella systematic review and meta-analysis [J]. *Clin J Sport Med*, 2022, 32 (2) : 145-152. DOI: 10.1097/JSM.0000000000000894.
- [6] Williams JR, Neal K, Alfayyadh A, et al. Patellofemoral contact forces after ACL reconstruction: a longitudinal study [J]. *J Biomech*, 2022, 134 : 110993. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2022.110993.
- [7] Huang W, Ong TY, Fu SC, et al. Prevalence of patellofemoral joint osteoarthritis after anterior cruciate ligament injury and associated risk factors: a systematic review [J]. *J Orthop Transl*, 2020, 22 : 14-25. DOI: 10.1016/j.jot.2019.07.004.
- [8] Oak SR, Cantrell WA, Altahawi F, et al. Do bone-patellar tendon-bone ACL-reconstructed knees have more signs of patellofemoral posttraumatic osteoarthritis than their uninjured contralateral knees at 2 years [J]. *Orthop J Sports Med*, 2021, 9 (1) : 2325967120973050. DOI: 10.1177/2325967120973050.
- [9] Migliorini F, Eschweiler J, Mansy YE, et al. Quadriceps tendon autograft for primary ACL reconstruction: A bayesian network meta-analysis [J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2020, 30 (7) : 1129-1138. DOI: 10.1007/s00590-020-02680-9.
- [10] Magnussen RA, Borchers JR, Pedroza AD, et al. Risk factors and predictors of significant chondral surface change from primary to revision anterior cruciate ligament reconstruction: a moon and mars cohort study [J]. *Am J Sports Med*, 2018, 46 (3) : 557-564. DOI: 10.1177/0363546517741484.
- [11] 杨宇升, 徐洪伟, 黎立, 等. 三种肌腱重建前交叉韧带的组织学比较 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (7) : 643-648. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.07.14.  
Yang SY, Xu HW, Li L, et al. Histological comparison of three grafts for anterior cruciate ligament reconstruction in rabbit [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2020, 28 (7) : 643-648. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.07.14.
- [12] Carlson J, Fox O, Kilby P. Massive chondrolysis and joint destruction after artificial anterior cruciate ligament repair [J]. *Case Rep Orthop*, 2021, 2021 : 6634935. DOI: 10.1155/2021/6634935.
- [13] Bhan K. Meniscal tears: Current understanding, diagnosis, and management [J]. *Cureus*, 2020, 12 (6) : e8590. DOI: 10.7759/cureus.8590.
- [14] Hiranaka T, Furumatsu T, Kamatsuki Y, et al. Early chondral damage following meniscus repairs with anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol*, 2020, 20 : 1-5. DOI: 10.1016/j.asmart.2020.01.001.
- [15] Zhang Q, Dong J, Zheng X, et al. The effects of lateral meniscus posterior root tears or repair with anterior cruciate ligament reconstruction on the pressure of the patellofemoral joint: A biomechanical evaluation [J]. *Pak J Med Sci*, 2023, 39 (2) : 557-560. DOI: 10.12669/pjms.39.2.6692.
- [16] 苏明莉, 张葆欣, 刘西纺, 等. 前交叉韧带重建术后股四头肌萎缩的发生机制及康复治疗 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2022, 44 (7) : 659-663. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.07.019.  
Su ML, Zhang BX, Liu XF, et al. Pathogenesis and rehabilitation of quadriceps atrophy after anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Chinese Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2022, 44 (7) : 659-663. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.07.019.
- [17] Huang H, Li Z, Luo S, et al. Factors influencing the progression of patellofemoral articular cartilage damage after anterior cruciate lig-

- ament reconstruction [J]. *Orthop J Sports Med*, 2022, 10 (7) : 23259671221108362. DOI: 10.1177/23259671221108362.
- [18] Ong MT, Man G, He X, et al. Assessments of early patellofemoral joint osteoarthritis features after anterior cruciate ligament reconstruction: Aa cross-sectional study [J]. *BMC Musculoskel Disord*, 2023, 24 (1) : 510. DOI: 10.1186/s12891-023-06639-9.
- [19] Han SW, Sawatsky A, Jinha A, et al. Effect of vastus medialis loss on rabbit patellofemoral joint contact pressure distribution [J]. *J Appl Biomech*, 2020, 2020: 1-7. DOI: 10.1123/jab.2020-0056.
- [20] Jacobs CA, Keller LE, Zhang S, et al. Periostin regulation and cartilage degradation early after anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Inflamm Res*, 2023, 72 (3) : 387-394. DOI: 10.1007/s00011-022-01678-9.
- [21] Wang K, Eftang CN, Ulstein S, et al. Concomitant full-thickness cartilage lesions do not affect patient-reported outcomes at minimum 10-year follow-up after ACL reconstruction [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2022, 30 (5) : 1836-1845. DOI: 10.1007/s00167-021-06757-8.
- [22] Huber R, Viecelli C, Bizzini M, et al. Knee extensor and flexor strength before and after anterior cruciate ligament reconstruction in a large sample of patients: Influence of graft type [J]. *Phy Sports Med*, 2019, 47 (1) : 85-90. DOI: 10.1080/00913847.2018.1526627.
- [23] Sritharan P, Schache AG, Culvenor AG, et al. Patellofemoral and tibiofemoral joint loading during a single-leg forward hop following ACL reconstruction [J]. *J Orthop Res*, 2022, 40 (1) : 159-169. DOI: 10.1002/jor.25053.
- [24] Schache AG, Sritharan P, Culvenor AG, et al. Patellofemoral joint loading and early osteoarthritis after ACL reconstruction [J]. *J Orthop Res*, 2023, 41 (7) : 1419-1429. DOI: 10.1002/jor.25504.
- [25] Goto S, Garrison JC, Singleton SB, et al. Effects of limb dominance on patellofemoral joint loading during gait at 12 weeks after anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Orthop J Sports Med*, 2022, 10 (7) : 23259671221088316. DOI: 10.1177/23259671221088316.
- [26] Filbay SR, Roemer FW, Lohmander LS, et al. Evidence of ACL healing on MRI following ACL rupture treated with rehabilitation alone may be associated with better patient-reported outcomes: a secondary analysis from the kanon trial [J]. *Br J Sports Med*, 2023, 57 (2) : 91-98. DOI: 10.1136/bjsports-2022-105473.
- [27] Culvenor AG, Eckstein F, Wirth W, et al. Loss of patellofemoral cartilage thickness over 5 years following ACL injury depends on the initial treatment strategy: Results from the kanon trial [J]. *Br J Sports Med*, 2019, 53 (18) : 1168-1173. DOI: 10.1136/bjsports-2018-100167.
- [28] Oh JY, Kim KT, Park YJ, et al. Biomechanical comparison of single-bundle versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis [J]. *Knee Surg Relat Res*, 2020, 32 (1) : 14. DOI: 10.1186/s43019-020-00033-8.
- [29] Zhou Y, Li L, Chen R, et al. Double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction in preventing the progression of osteoarthritis: a protocol for systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Medicine*, 2022, 101 (49) : e31101. DOI: 10.1097/MD.00000000000031101.
- [30] Cinque ME, Dornan GJ, Chahla J, et al. High rates of osteoarthritis develop after anterior cruciate ligament surgery: an analysis of 4108 patients [J]. *Am J Sports Med*, 2018, 46 (8) : 2011-2019. DOI: 10.1177/0363546517730072.
- [31] Freshman RD, Truong NM, Cevallos N, et al. Delayed ACL reconstruction increases rates of concomitant procedures and risk of subsequent surgery [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2023, 31 (7) : 2897-2905. DOI: 10.1007/s00167-022-07249-z.
- [32] Prodromidis AD, Drosatou C, Mourikis A, et al. Relationship between timing of anterior cruciate ligament reconstruction and chondral injuries: A systematic review and meta-analysis [J]. *Am J Sports Med*, 2022, 50 (13) : 3719-3731. DOI: 10.1177/03635465211036141.
- [33] Shen X, Liu T, Xu S, et al. Optimal timing of anterior cruciate ligament reconstruction in patients with anterior cruciate ligament tear: a systematic review and meta-analysis [J]. *JAMA Network Open*, 2022, 5 (11) : e2242742. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.
- [34] Pius AK, Beynon BD, Fiorentino N, et al. Articular cartilage thickness changes differ between males and females 4 years following anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *J Orthop Res*, 2022, 40 (1) : 65-73. DOI: 10.1002/jor.25142.

(收稿:2023-05-05 修回:2023-11-01)  
(同行评议专家: 陈坚锋, 汤志辉)  
(本文编辑: 宁桦)