

膝关节后交叉韧带损伤的修复与重建

哈斯鲁, 刘利国, 张谢卓, 伊力哈木·托合提(新疆医科大学第二附属医院骨科, 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市 830063)

文章亮点:

- 1 此问题的已知信息: 膝关节后交叉韧带是维持膝关节稳定性的重要结构之一, 损伤后引起膝关节稳定性下降, 从而影响膝关节功能, 严重可致膝关节病废。常见保守治疗和外科治疗, 外科治疗主要包括韧带的重建、Transtibial 技术和 Tibial-inlay 技术、单束重建还是双束重建, 以及自体、异体肌腱、人工韧带及自体肌腱和人工韧带复合应用。目前, 临床上使用较多的仍是自体骨-髌腱-骨重建。
- 2 文章增加的新信息: 对后交叉韧带的解剖及生物力学、损伤的分类及治疗、韧带重建及移植物的选择的研究进展做一综述。膝关节后交叉韧带损伤的发生率近年来呈现上升趋势, 但治疗方法仍有较多的争议, 目前临床上多选择 Transtibial 单束重建, 在移植物的选择上多数采用自体肌腱移植。
- 3 临床应用的意义: 膝关节中保持膝关节稳定性的最主要的韧带是前交叉韧带、后交叉韧带、内侧副韧带、外侧副韧带。当 2 条交叉韧带和至少 1 条侧副韧带复合撕裂后, 膝关节表现得很不稳定, 就出现了膝关节脱位, 其中以前交叉韧带和后交叉韧带为核心, 只有接近前后交叉韧带实际解剖位置的重建才能最大程度地恢复膝关节的解剖结构和功能。

关键词:

组织构建; 组织工程; 后交叉韧带; 膝关节; 韧带重建; 膝损伤

主题词:

后交叉韧带; 膝关节; 膝损伤

摘要

背景: 膝关节后交叉韧带是维持膝关节稳定性的重要结构之一, 损伤后引起膝关节稳定性下降, 从而影响膝关节功能, 严重可致膝关节病废。

目的: 就膝关节后交叉韧带损伤的最新治疗进展进行讨论, 旨在对膝关节后交叉韧带损伤的治疗有一个更好的理解。

方法: 应用计算机检索万方数据库、中国知网和 PubMed 最近 20 年有关膝关节后交叉韧带损伤方面的文献, 中文检索词为“后交叉韧带、韧带重建、损伤”, 英文检索词为“Posterior cruciate ligament; ligament reconstruction; Injury”。

结果与结论: 目前后交叉韧带重建的效果仍不如前交叉韧带重建。后交叉韧带重建关键在于移植物的选择、骨道的定位、移植物的植入张力及固定方法, 与患者的依从性及术后康复锻炼也密切相关。目前的研究显示缺少有力的随机对照试验(RCT)来对比不同治疗方式的疗效。

哈斯鲁, 刘利国, 张谢卓, 伊力哈木·托合提. 膝关节后交叉韧带损伤的修复与重建[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(51): 8322-8326.

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2015.51.022

Posterior cruciate ligament injury: repair and reconstruction

Ha Si-lu, Liu Li-guo, Zhang Xie-zhuo, Yilihamu Tuoheti (Department of Orthopedics, Second Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830063, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China)

Abstract

BACKGROUND: The posterior cruciate ligament is one of the important structures to maintain the stability of the knee joint. When the posterior cruciate ligament is injured, the stability of the knee joint will decrease, thus impact the knee function and even lead to serious joint disability.

OBJECTIVE: To discuss the latest progress in the treatment of posterior cruciate ligament injury, aiming to have a better understanding about the treatment of posterior cruciate ligament injury.

METHODS: A computer-based online search of Wanfang, CNKI and PubMed databases was performed for articles related to posterior cruciate ligament injury published in the recent 20 years. The keywords were “posterior cruciate ligament; ligament reconstruction; injury” in Chinese and English, respectively.

RESULTS AND CONCLUSION: Currently, posterior cruciate ligament reconstruction has worse effects than anterior cruciate ligament reconstruction. Choice of grafts, location of the bone tunnel, implantation tension and fixation method are all crucial for the posterior cruciate ligament reconstruction. Additionally, patient's compliance and postoperative rehabilitation exercises are also important influencing factors. Currently, there is a lack of adequate randomized controlled trials to compare the efficacy of different treatment modalities.

哈斯鲁, 男, 1988 年生, 新疆库尔勒市人, 蒙古族, 新疆医科大学第二附属医院在读硕士, 主要从事四肢骨折、运动损伤的治疗研究。

通讯作者: 伊力哈木·托合提, 博士, 主任医师, 新疆医科大学第二附属医院骨科, 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市 830063

中图分类号: R318

文献标识码: A

文章编号: 2095-4344

(2015)51-08322-05

稿件接受: 2015-09-28

http://www.crter.org

Ha Si-lu, Studying for master's degree, Department of Orthopedics, Second Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830063, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

Corresponding author: Yilihamu Tuoheti, M.D., Chief physician, Department of Orthopedics, Second Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830063, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

Accepted: 2015-09-28

Subject headings: Posterior Cruciate Ligament; Knee Joint; Knee Injuries

Ha SL, Liu LG, Zhang XZ, Yilihamu Tuoheti. Posterior cruciate ligament injury: repair and reconstruction. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2015;19(51): 8322-8326.

0 引言 Introduction

后交叉韧带损伤多为交通意外等强大暴力所致,也常见于运动性损伤。生物力学实验证明,后交叉韧带对抗外力的强度相当于前交叉韧带的2倍,后交叉韧带做为膝关节内最重要的结构之一,损伤后常常导致膝关节稳定性降低,影响膝关节不稳,常常继发半月板、软骨损害和骨性关节炎,严重时可引起膝关节病废^[1]。在后交叉韧带损伤的治疗上,目前仍有较大差异。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源 第一作者检索1976年1月至2015年6月万方数据库、中国知网和PubMed文献。中文检索词为“后交叉韧带, 韧带重建, 损伤”;英文检索词为“Posterior cruciate ligament, ligament reconstruction, Injury”。

1.2 检索方法 纳入标准: ①后交叉韧带的解剖及生物力学相关研究。②后交叉韧带损伤的分类方法。③后交叉韧带损伤的治疗相关研究。排除标准: ①1976年以前的文献。②重复性研究。

2 结果 Results

2.1 后交叉韧带的解剖及生物力学 后交叉韧带是膝关节最强大的韧带,强度约为前交叉韧带的2倍。起于股骨髁间窝内侧面,止于胫骨平台后下方中部或稍偏外侧处。长度约为38 mm,宽约13 mm^[2]。对于后交叉韧带的分束目前仍有较多争议,但多数学者认为分两束,即前外侧束(ALB)和后内侧束(PMB),此两束中,前外侧束较粗大,在后交叉韧带中占较大横截面积,并在后向稳定上承担了更多的应力^[3]。亦有学者认为后交叉韧带应将其根据其不同的股骨附着点分为前、中、后3个纤维束^[4]。Makris等^[5]通过对后交叉韧带解剖形态的深入研究,提出后交叉韧带由前束、中束、后直束、后斜束四束构成,前束和中束构成后交叉韧带纤维的大部分,约占85%,而后直束和后斜束只占后交叉韧带纤维的15%。也有学者认为不应该孤立的看待膝关节的各个结构,而应将其看做一个整体,前交叉韧带和后交叉韧带组成“8”字结构,将内外侧半月板及韧带联系在一起,共同导向着膝关节的运动及维持膝关节的稳定性^[6]。Butler等^[7]通过试验发现在防止胫骨向后平移应力中,后交叉韧带提供了约95%的应力,另外还有限制膝过伸、限制旋转及侧方活动等作用。

2.2 后交叉韧带损伤的分类

2.2.1 根据传统的分级分类 一级: 轻微损伤致后交叉韧带微观撕裂伤。虽然这些轻微损伤导致后交叉韧带形

状改变,但并不对膝关节支撑身体的功能造成明显影响。二级(中级): 后交叉韧带部分撕裂,膝关节有些不稳,站立、行走或诊断测试时会无力支撑。三级(严重): 后交叉韧带完全撕裂或从骨上的附着点分离,这时膝关节更不稳定,常合并前交叉韧带损伤、副韧带损伤或膝关节其他结构的严重损伤。

2.2.2 按照后交叉韧带撕裂程度及其他合并损伤进行分类^[8] I度: 后交叉韧带部分断裂,能摸到胫骨台阶(胫骨平台在股骨髁前),但较正常减少; II度: 后交叉韧带完全断裂,不能摸到胫骨台阶(胫骨平台平股骨髁前); III度: 联合韧带损伤: 后交叉韧带完全断裂及其他主要韧带断裂,不能摸到胫骨台阶(胫骨平台位于股骨髁后)。

2.2.3 美国医学会分级(AMA)^[9] 按胫骨与股骨间距分级 I级胫骨与股骨损伤间距< 5 mm, II级胫骨与股骨损伤间距5-10 mm, III级胫骨与股骨损伤间距> 10 mm。

2.2.4 根据损伤部位分类 A类股骨附着点撕脱, B类: 胫骨附着点撕脱, C类: 韧带断裂。

2.3 后交叉韧带损伤的治疗

2.3.1 保守治疗 对于I度和II度急性单纯性后交叉韧带损伤,多数学者认为应采取保守治疗,通过保守治疗也可获得满意疗效。保守治疗主要在于减少关节腔积液、通过康复锻炼恢复关节活动度及下肢肌力(主要是股四头肌)。I、II度单纯性急性的后交叉韧带损伤一般可以较快恢复,应尽可能使患者在2-4周后恢复基本运动^[10]。国内学者胡志伟等对66例分别行非手术治疗、后交叉韧带修复及后交叉韧带自体移植物重建的后交叉韧带损伤患者进行了平均3年9个月的随访,回顾后发现行手术治疗的膝关节功能优良率非手术治疗高于手术治疗,其中后交叉韧带自体移植物重建组高于后交叉韧带修复组,非手术组优良率较重建组和修复组低^[11]。Keller等^[12]通过对40例行非手术治疗的单纯后交叉韧带损伤的患者平均随访6年,发现其90%的患者活动时膝关节疼痛,43%行走困难,且损伤时间越长,膝关节功能障碍越明显。但也有学者认为非手术治疗也可获得满意疗效,Shelbourne等^[13]对急性单纯性后交叉韧带损伤的68例患者行保守治疗,平均随访17.6年后发现,认为经过非手术治疗后,大多数患者获得了良好的功能恢复,仅11%的患者发生了中至重度骨关节炎。Dandy等^[14]对非手术治疗的20例患者进行平均7.2年的随访,82%的患者获得了较满意的疗效,可以看出,在后交叉韧带损伤的治疗上,还存在一定的争议。

2.3.2 手术治疗 急性的后交叉韧带损伤伴严重的胫

骨向后脱位和不稳定, 胫骨向后移位超过1 cm或伴多韧带损伤, 一般需手术治疗, 以恢复其解剖和生物力学环境^[15]。Harner等^[16]和Logan等^[17]的研究表明, 后交叉韧带是膝关节最重要的静力稳定结构之一, 损伤后虽然可通过对周围肌群的锻炼(主要是股四头肌)代偿后交叉韧带的部分稳定功能, 但难以完全替代后交叉韧带的重要作用, 后交叉韧带损伤后, 髌骨和髌韧带随着胫骨后移被拉向后, 引起膝关节的运动规律紊乱, 各间室载荷传倒不再正常, 髌股间室及内侧间室的压力显著增加。

韧带的重建: 有研究对交叉韧带修复和重建进行对比, 认为修复后的交叉韧带, 难以维持具有完全活动度的膝关节稳定性。但对于有移位的单纯胫骨止点处撕脱性骨折的患者, 因为后交叉韧带胫骨止点部分位于关节囊外, 骨折发生后, 常有关节囊等软组织嵌入, 导致骨折不愈合, 应尽早行手术复位固定进行修复, 达到骨愈合, 使膝关节恢复稳定性。但对于韧带完全断裂, 合并其他韧带结构损伤的患者, 多数学者主张采用韧带重建, 以达到维持膝关节的稳定性^[18]。

Transtibial技术和Tibial-inlay技术: Transtibial技术是后交叉韧带传统重建方式, 此项技术是移植植物通过胫骨近端的骨道进入关节腔对移植植物进行固定, 完全在关节镜下进行, 无需从后方入路打开关节囊, 术中无需改变体位, 操作方便, 并发症较少, 但也同时带来了“killer turn”的效应。由Marc Friedma在1992年首次将后交叉韧带移植植物与胫骨骨道之间的急转角称为“killer turn”之后, Handy等在2003年提出股骨侧与移植植物之间也存在“killer turn”, 并同样对移植植物造成磨损^[19]。Bergfeld等^[20]通过生物力学试验证实胫骨侧负荷> 150 N时, “killer turn”便可对移植植物造成损耗, 作用主要表现为: 磨损、撕裂、变细及松弛。但Tibial-inlay技术就很好的避免了“killer turn”效应, Tibial-inlay技术是在漂浮体位下将移植植物的腱骨块直接固定于后交叉韧带胫骨止点处, 基本实现了后交叉韧带解剖点的重建, 故该术式避免了移植植物和隧道之间的磨损, 同时避免了韧带的松弛, 但此种方法需从后侧入路并需要特殊的移植植物, 不易于推广。可见, 两种技术各有优劣, Tibial-inlay有镶嵌骨不连的风险, 对于腓肠肌内侧头有解剖变异的患者, 损伤隐神经及腘动脉的风险^[21]。但采用Transtibial技术, 增大胫骨平台与移植植物之间的夹角, 则可以减少带来的磨损, 但角度的增加使得移植植物长度更长。更长的移植植物。增加了“雨刷效应”和“蹦极效应”对韧带的损耗。Song等^[22]通过对66例患者通过平均148个月的随访发现, 这两种技术在后交叉韧带重建术后膝关节功能比较上, 并没有明显的差异。McAllister等^[23]研究也表明, 两种技术在初期维持膝关节的稳定性无明显差异, 但随着时间延长, Transtibial

技术重建的韧带松弛度增加。可以看出, 对于“killer turn”的应对, 仍有待继续的研究。

单束重建还是双束重建: 对于后交叉韧带重建, 目前主要有单束重建和双束重建两种术式, 单束重建最早由Clancy等^[24]提出, 他报道了23例自体骨-髌腱-骨移植单束重建的患者, 10例急性期损伤患者效果为优秀或良好, 自体骨单束重建治疗慢性期患者13例中10例良好。单束重建主要重建后交叉韧带的前外侧束, 理论主要基于其直径为后内侧束的2倍, 强度为1.5倍, 约占后交叉韧带的85%, 而后内侧束仅占15%, 前外侧束相比后内侧束较粗大, 伸膝时松弛、屈膝时紧张, 后内侧束则相反, 前外侧束构成了韧带的主要部分^[25]。Race等^[26]最早提出双束重建能够在膝关节运动的全部范围内重建膝关节韧带正常的松紧变化, 而单束重建在膝关节屈伸过程中使韧带承受更多的张力, 并报道了双束重建疗效优于单束重建。双束重建因为其生物力学理论上的优势被推崇^[27]。对于双束重建的优势, 目前仍有较多争议, 在其理论上, 既可以重建前外侧束, 同时也重建了后内侧束, 可恢复膝关节完全的活动度来恢复膝关节的稳定性。Zhao等^[28]通过Meta分析发现对于单纯后交叉韧带损伤的患者, 双束重建后交叉韧带术后膝关节的稳定性及膝关节功能优于单束重建。张其亮等^[29]对70例患者进行随机分组并分别行自体跟腱单束重建和双束重建, 通过18个月的随访, 其中共52例患者完成康复计划并或获得随访, 发现双束重建较单束重建手术时间长、关节腔穿刺病例多, 手术后膝关节Lysholm评分、IKDC评分及膝关节屈曲30°和90°时胫骨端后移距离无明显差别, 该研究的缺陷是随访时间较短, 但可以说明单束重建和双束重建的短期疗效无明显差异。Kim等^[30]也通过对42例患者通过2年以上的随访发现, 双束重建和单束重建后交叉韧带的患者术后膝关节功能并无明显差异。Harner等^[31]的生物力学研究表明, 相比于单束重建, 双束重建更加接近正常膝关节。而Malkolf的一项研究显示, 单纯切断尸体标本上的后内侧束, 尽管0°-10°时膝关节的松弛度相对后交叉韧带完整时区别很小, 而膝关节松弛度没有变化, 在其他屈曲角度时^[32]。可以看出, 目前多数学者更倾向于单束重建。

移植物的选择: 韧带的重建在材料的选择上可分为自体、异体肌腱、人工韧带及自体肌腱和人工韧带复合应用。好的移植植物需要有足够的强度、固定牢靠、供区反应小及异同过骨隧道等特点。多数学者认为。无论是自体移植植物还是同种异体移植植物, 其组织学演化过程相同, 都要经过移植植物的坏死、再血管化、细胞增殖和胶原纤维重建4个阶段^[33]。①自体移植植物包括: 腘绳肌腱、股四头肌腱、骨-髌腱-骨(BPB)、腓肠肌内侧头、半腱肌和股薄肌腱、髌韧带、跟腱等。Höher等^[34]采用腘绳肌腱重建后交叉韧带获得了满意的疗效。但目前多数学

者认为, 无论是从韧带强度还是固定的牢靠性等各方面考虑, 骨-髌腱-骨是理想的选择^[35]。郑小飞等^[36]通过对76例分别行自体骨-髌腱-骨、异体骨-髌腱-骨及自体半腱肌腱移植的患者平均48.7个月随访发现, 自体骨-髌腱-骨和自体半腱肌腱移植的患者术后均有不同程度的膝前痛及膝后痛, 而异体骨-髌腱-骨移植的患者少数出现排异反应, 但3组患者均取得满意的结果, 且疗效相似。②异体移植植物包括异体骨-髌腱-骨及一段带有骨块的跟腱等。异体移植植物可缩短手术时间、避免供区反应, 根据术者的需要选择移植物的长度, 但有传播疾病及导致排异反应的可能。李卫平等^[37]通过研究发现, 关节镜下一期行前交叉韧带、后交叉韧带重建, 无论采用自体肌腱还是同种异体肌腱, 均可获得满意的中远期疗效。Lee等^[38]通过对338例前交叉韧带损伤的进行前交叉韧带重建后发现, 重建后的评分和体检均无明显差异。Good等^[39]发现, 由于异体移植植物在经过抗原处理和韧带保存后, 重建的过程中因组织合并较晚, 力学强度不够及胶原含量的差异, 导致其重塑过程相对要慢。③人工韧带: 包括LARS韧带、Gore-Tex韧带、Meadox韧带、Leeds-Keio韧带, 多数因为疗效及其他问题不再被多数医师接受, 但较为常用的是LARS人工韧带, 因为其与上述其他人工韧带不同, LARS人工韧带用高韧性聚脂纤维制造, 关节内活动部分由平行纵向的纤维组成, 没有横向纤维, 可按韧带转向以模仿产生人体韧带的活动方向, 既能对抗重复扭曲、弯曲的力及过度的牵引, 又具有多孔结构, 有利于组织长入^[40]。Xu等^[41]通过研究对比LARS韧带和自体腘绳肌腱, 发现此两种韧带并无明显差异, 均可达到满意效果。但目前, 临床上使用较多的仍是自体骨-髌腱-骨重建^[42]。

康复锻炼: 对于后交叉韧带损伤的患者, 术后的康复锻炼与手术同等重要, 正确的康复可以帮助患者尽快恢复膝关节静态及动态的稳定性, 恢复正常的运动功能^[43]。康复锻炼的过程中, 应特别强调股四头肌和腘绳肌的等长收缩锻炼。但应遵循循序渐进的原则。前3周主要以控制疼痛肿胀、并减轻肌萎缩, 同时控制局部炎症反应; 第3周到第4周应在疼痛及局部肿胀不加重的情况下锻炼肌力, 如渐进的抗阻力伸膝训练等; 第4, 5周应行恢复关节活动范围的练习; 在6周后继续行肌力和耐力增加的训练, 尽可能恢复正常的生活及体育锻炼。

3 结束语 Conclusions

综上所述, 随着对后交叉韧带的解剖结构, 生物力学及对膝关节功能影响的深入研究, 对其损伤的诊疗方法的研究也在不断深入, 但目前后交叉韧带重建的效果仍不如前交叉韧带重建。后交叉韧带重建关键在于移植物的选择、骨道的定位、移植植物植入张力及固定方法, 与患者的依从性及术后康复锻炼也密切相关, 目前的研

究显示缺少有力的RCT来对比不同重建方式的效果, 以及比较重建及保守治疗的疗效。随着对后交叉韧带研究的不断深入, 详细对后交叉韧带损伤的治疗效果也将不断提高。

致谢: 感谢新疆医科大学第二附属医院骨科全体员工在工作、学习、生活中的帮助, 特别感谢伊力哈木·托合提主任在临床及科研学习中的极大帮助。

作者贡献: 引用文献由哈斯鲁进行检索、并分析文献, 其他作者参与文献筛选和资料搜集, 伊力哈木·托合提指导文章构架及审校论文。

利益冲突: 所有作者共同认可文章无相关利益冲突。

伦理问题: 无涉及伦理冲突的内容。

文章查重: 文章出版前已经过 CNKI 反剽窃文献检测系统进行 3 次查重。

文章外审: 本刊实行双盲外审制度, 文章经国内小同行外审专家审核, 符合本刊发稿宗旨。

学术术语: 后交叉韧带? 是膝关节最强大的韧带, 强度约为前交叉韧带的2倍。起于股骨髁间窝内侧面, 止于胫骨平台后下方中部或稍偏外侧处。主要防止胫骨向后移位。另外还有限制膝过伸、限制旋转及侧方活动等作用。

作者声明: 文章第一作者对研究和撰写的论文中出现的不端行为承担责任。论文中涉及的原始图片、数据(包括计算机数据库)记录及样本已按照有关规定保存、分享和销毁, 可接受核查。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

4 参考文献 References

- [1] Kennedy NI, LaPrade RF, Goldsmith MT, et al. Posterior cruciate ligament graft fixation angles, part 2: biomechanical evaluation for anatomic double-bundle reconstruction. *Am J Sports Med.* 2014;42(10):2346-2355.
- [2] Edwards A, Bull AM, Amis AA. The attachments of the fiber bundles of the posterior cruciate ligament: an anatomic study. *Arthroscopy.* 2007;23(3):284-290.
- [3] Anderson CJ, Ziegler CG, Wijdicks CA, et al. Arthroscopically pertinent anatomy of the anterolateral and posteromedial bundles of the posterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94(21):1936-1945.
- [4] Kurosawa H, Yamakoshi K, Yasuda K, et al. Simultaneous measurement of changes in length of the cruciate ligaments during knee motion. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;(265):233-240.
- [5] Makris CA, Georgoulis AD, Papageorgiou CD, et al. Posterior cruciate ligament architecture: evaluation under microsurgical dissection. *Arthroscopy.* 2000;16(6):627-632.
- [6] Furman W, Marshall JL, Girgis FG. The anterior cruciate ligament. A functional analysis based on postmortem studies. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58(2):179-185.
- [7] Butler DL, Noyes FR, Grood ES. Ligamentous restraints to anterior-posterior drawer in the human knee. A biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am.* 1980;62(2):259-270.

- [8] 刘志雄. 骨科常用诊断分类方法和功能结果评定标准. 北京: 科学技术出版社, 2005.
- [9] Arendt EA, Fithian DC, Cohen E. Current concepts of lateral patella dislocation. *Clin Sports Med.* 2002;21(3):499-519.
- [10] Matava MJ, Ellis E, Gruber B. Surgical treatment of posterior cruciate ligament tears: an evolving technique. *J Am Acad Orthop Surg.* 2009;17(7):435-446.
- [11] 胡志伟, 王旭, 钱锋, 等. 后交叉韧带损伤手术与非手术治疗的临床观察[J]. 长春中医药大学学报, 2002, 18(3): 22-23.
- [12] Keller PM, Shelbourne KD, McCarroll JR, et al. Nonoperatively treated isolated posterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med.* 1993;21(1):132-136.
- [13] Shelbourne KD, Clark M, Gray T. Minimum 10-year follow-up of patients after an acute, isolated posterior cruciate ligament injury treated nonoperatively. *Am J Sports Med.* 2013;41(7):1526-1533.
- [14] Dandy DJ, Pusey RJ. The long-term results of unrepaired tears of the posterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Br.* 1982;64(1):92-94.
- [15] Iwamoto J, Takeda T, Suda Y, et al. Conservative treatment of isolated posterior cruciate ligament injury in professional baseball players: a report of two cases. *Knee.* 2004;11(1):41-44.
- [16] Harner CD, Vogrin TM, Höher J, et al. Biomechanical analysis of a posterior cruciate ligament reconstruction. Deficiency of the posterolateral structures as a cause of graft failure. *Am J Sports Med.* 2000;28(1):32-39.
- [17] Logan M, Williams A, Lavelle J, Gedroyc W, Freeman M. The effect of posterior cruciate ligament deficiency on knee kinematics. *Am J Sports Med.* 2004;32(8):1915-1922.
- [18] Mariani PP, Santoriello P, Iannone S, et al. Comparison of surgical treatments for knee dislocation. *Am J Knee Surg.* 1999;12(4):214-221.
- [19] Handy MH, Blessey PB, Kline AJ, et al. The graft/tunnel angles in posterior cruciate ligament reconstruction: a cadaveric comparison of two techniques for femoral tunnel placement. *Arthroscopy.* 2005;21(6):711-714.
- [20] Bergfeld JA, McAllister DR, Parker RD, et al. A biomechanical comparison of posterior cruciate ligament reconstruction techniques. *Am J Sports Med.* 2001;29(2):129-136.
- [21] Zawodny SR, Miller MD. Complications of posterior cruciate ligament surgery. *Sports Med Arthrosc.* 2010;18(4):269-274.
- [22] Song EK, Park HW, Ahn YS, et al. Transtibial versus tibial inlay techniques for posterior cruciate ligament reconstruction: long-term follow-up study. *Am J Sports Med.* 2014;42(12):2964-2971.
- [23] McAllister DR, Markolf KL, Oakes DA, et al. A biomechanical comparison of tibial inlay and tibial tunnel posterior cruciate ligament reconstruction techniques: graft pretension and knee laxity. *Am J Sports Med.* 2002;30(3):312-317.
- [24] Clancy WG Jr, Shelbourne KD, Zoellner GB, et al. Treatment of knee joint instability secondary to rupture of the posterior cruciate ligament. Report of a new procedure. *J Bone Joint Surg Am.* 1983;65(3):310-322.
- [25] Hughston JC, Bowden JA, Andrews JR, et al. Acute tears of the posterior cruciate ligament. Results of operative treatment. *J Bone Joint Surg Am.* 1980;62(3):438-50.
- [26] Race A, Amis AA. PCL reconstruction. In vitro biomechanical comparison of "isometric" versus single and double-bundled "anatomic" grafts. *J Bone Joint Surg Br.* 1998;80(1):173-179.
- [27] Wijdicks CA, Kennedy NI, Goldsmith MT, et al. Kinematic analysis of the posterior cruciate ligament, part 2: a comparison of anatomic single- versus double-bundle reconstruction. *Am J Sports Med.* 2013;41(12):2839-2848.
- [28] Zhao JX, Zhang LH, Mao Z, et al. Outcome of posterior cruciate ligament reconstruction using the single-versus double bundle technique: a meta-analysis. *J Int Med Res.* 2015;43(2):149-160.
- [29] 张其亮, 滕学仁. 关节镜下异体跟腱单双束重建后交叉韧带的随机对照[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(31): 5747-5750.
- [30] Kim SJ, Jung M, Moon HK, et al. Anterolateral transtibial posterior cruciate ligament reconstruction combined with anatomical reconstruction of posterolateral corner insufficiency: comparison of single-bundle versus double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction over a 2- to 6-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2011;39(3):481-489.
- [31] Harner CD, Janaushek MA, Kanamori A, et al. Biomechanical analysis of a double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2000;28(2):144-151.
- [32] Markolf KL, Feeley BT, Tejwani SG, et al. Changes in knee laxity and ligament force after sectioning the posteromedial bundle of the posterior cruciate ligament. *Arthroscopy.* 2006;22(10):1100-1106.
- [33] Bernardino S. ACL prosthesis: any promise for the future? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(6):797-804.
- [34] Höher J, Scheffler S, Weiler A. Graft choice and graft fixation in PCL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2003;11(5):297-306.
- [35] 任步方, 卫小春, 焦强, 等. 自体骨-髌韧带-骨重建后交叉韧带[J]. 中国矫形外科杂志, 2004, 12(8): 579-581.
- [36] 郑小飞, 黄华扬, 张余, 等. 关节镜下自体、异体骨-髌腱-骨与半腱肌腱3种重建后交叉韧带方法的比较[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 13(28): 5510-5514.
- [37] 李卫平, 宋斌, 杨睿, 等. 关节镜下膝关节前后交叉韧带重建: 自体移植与异体移植的中远期疗效对比[J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(5): 939-943.
- [38] Lee JH, Bae DK, Song SJ, et al. Comparison of clinical results and second-look arthroscopy findings after arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction using 3 different types of grafts. *Arthroscopy.* 2010;26(1):41-49.
- [39] Good L, Odensten M, Gillquist J. Sagittal knee stability after anterior cruciate ligament reconstruction with a patellar tendon strip. A two-year follow-up study. *Am J Sports Med.* 1994;22(4):518-523.
- [40] Trieb K, Blahovec H, Brand G, et al. In vivo and in vitro cellular ingrowth into a new generation of artificial ligaments. *Eur Surg Res.* 2004;36(3):148-51.
- [41] Xu X, Huang T, Liu Z, et al. Hamstring tendon autograft versus LARS artificial ligament for arthroscopic posterior cruciate ligament reconstruction in a long-term follow-up. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2014;134(12):1753-1759.
- [42] Panchal HB, Sekiya JK. Open tibial inlay versus arthroscopic transtibial posterior cruciate ligament reconstructions. *Arthroscopy.* 2011;27(9):1289-1295.
- [43] Fanelli GC, Edson CJ. Combined posterior cruciate ligament-posterolateral reconstructions with Achilles tendon allograft and biceps femoris tendon tenodesis: 2- to 10-year follow-up. *Arthroscopy.* 2004;20(4):339-345.