

下肢力线与内侧半月板损伤修复新进展

许涛, 周游

(三峡大学附属仁和医院骨科 三峡大学运动医学研究所 宜昌市运动损伤与修复临床医学中心, 湖北 宜昌 443001)

【摘要】 半月板和下肢力线在膝关节负荷传递中扮演着重要作用且它们之间有着内在联系。目前对于内侧半月板损伤伴膝内翻患者手术方式的选择, 不同的学者有不同的观点。近年来众多学者研究表明术式的选择及术后下肢力线异常与内侧半月板损伤修复愈合及临床效果相关。因此, 在诊治每例内侧半月板损伤的患者中, 应重视下肢力线评估。本文总结半月板和下肢力线的生物力学功能及之间的内在关系, 并分别阐述了内侧半月板后根部损伤、退变性损伤和急性撕裂与下肢力线之间的相互影响, 表明下肢力线异常及内侧半月板损伤的患者行截骨矫形术对内侧半月板损伤修复和膝骨性关节炎发生发展的重要作用, 以期临床治疗下肢力线异常的内侧半月板损伤患者提供理论指导。

【关键词】 膝关节; 胫骨半月板损伤; 截骨术

中图分类号: R684

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2022.06.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Recent research on relationship of lower limb alignment and repairment of medial meniscus injury XU Tao and ZHOU You. Department of Orthopaedics, Renhe Hospital Affiliated to Three Gorges University, Sports Medicine Institute of China Three Gorges University, Yichang Sports Injury and Rehabilitation Clinical Medicine Research Center, Yichang 443001, Hubei, China

ABSTRACT Meniscus and lower limb alignment play an important role in load transfer of knee joint and has internal relationship between them. At present, different scholars have different views on the choice of surgical methods for patients with medial meniscus injury with knee varus. In recent years, many scholars have shown that choice of operation and abnormal lower limb alignment are related to repair and healing of medial meniscus injury and clinical effect. Therefore, evaluation of lower limb alignment should pay attention on diagnosis and treatment for patient with medial meniscus injury. This paper summarizes biomechanical function and internal relationship between meniscus and lower limb alignment, and expounds the interaction between medial meniscus posterior root injury, degenerative injury, acute tear and lower limb alignment, respectively. It shows that osteotomy plays an important role in repairing medial meniscus injury and the occurrence and development of knee osteoarthritis in patients with abnormal lower limb alignment and medial meniscus injury. It is expected to provide theoretical guidance for the clinical treatment of patients with medial meniscus injury with abnormal lower limb alignment.

KEYWORDS Knee joint; Tibial meniscus injuries; Osteotomy

膝骨性关节炎是最常见的慢性关节疾病, 在确诊时膝关节通常已发生结构性改变, 发展到晚期会给患者带来沉重的经济负担和精神压力, 严重者甚至致残^[1]。下肢力线异常和半月板损伤是膝骨性关节炎进展的危险因素, 通常半月板损伤伴有下肢力线异常, 它们在膝关节内、外侧间室负荷传导、应力分配中起着重要作用^[2-3]。目前对于半月板损伤主要行关节镜下半月板成形修复术, 却较少关注下肢力线异常在半月板损伤中的影响以及从矫正下肢力线方面治疗半月板损伤修复问题, 从而预防或延缓膝骨性关节炎的发生和发展。

1 半月板生物力学功能和损伤机制

半月板是膝关节内的纤维软骨结构, 可发挥动态稳定性作用, 分散转移纵向负荷应力和减震等。由于股骨内侧髁显著凸起与内侧胫骨平台轻微凹陷不匹配, 以及凸起的股骨外侧髁和凸起的外侧胫骨平台之间有更大的不匹配, 楔形半月板可以填补胫骨平台和股骨髁之间的间隙, 从而提高膝关节的稳定性。根据半月板的大体形态及微观结构, 膝关节的轴向载荷通过半月板传递分散为环状应力。这样, 施加在关节软骨上的纵向压缩力就部分被半月板转移并分散吸收, 同时还起着减震作用^[4]。因内、外侧半月板的解剖学差异, 所以与外侧半月板相比, 内侧半月板的活动性更低^[4]。这种解剖学的差异, 使得内侧半月板后角区域整体承载的负荷百分比最高, 特别是

通讯作者: 周游 E-mail: zhouyou8010@163.com

Corresponding author: ZHOU You E-mail: zhouyou8010@163.com

膝关节呈屈曲位和向后剪切力时^[4-5]。若患者伴有膝内翻时,内侧半月板所受压力负荷将会更高^[6],内侧半月板损伤的可能性也会更大。

根据损伤机制不同,半月板损伤分为创伤性半月板撕裂和退变性半月板损伤。创伤性半月板撕裂多见于外侧,因外侧半月板的移动性较大,使其在急性损伤中更容易受到突然较大的纵向暴力和急停扭转的剪切力而撕裂,如半月板纵向裂、放射状裂、瓣状裂和外侧半月板后根部撕裂^[7]。而退行性半月板损伤多见于中老年患者的内侧,其发病机制存在争议,部分学者认为是内侧半月板与内侧关节囊、韧带附着限制它的活动性,在活动时所受更大张力;另一部分学者提出是膝关节过重负荷反复磨损扰乱半月板生物力学退变^[8-9]。这种内外侧半月板差异及损伤机制不同,使得损伤的危险因素和治疗有所差异。

2 下肢力线生物力学与半月板损伤的关系

大多数正常人群的下肢力线并非在中立位,而有轻度生理性内翻。Eckhoff 等^[10]通过 CT 断层扫描研究,认为不同人群下肢力线有很大的差异,只有约 2%机械轴位于中立位,而多达 57%偏内侧。Bellemans 等^[11]通过负重位下肢全长片力线测量,发现 32%的男性和 17%的女性健康成年人有超过 3°生理性膝内翻,且平均内翻角度女性大于男性,主要是约 40.8%胫骨近端机械轴内侧角引起。同样 Deep 等^[12]通过导航定位器测量下肢力线,结果显示 59%的正常人群下肢机械轴 $\pm 3^\circ$ 以内,28% $> 3^\circ$ 生理内翻,12.9% $> 3^\circ$ 生理外翻,11.7%完全中立位。这种正常人群中常见的生理性膝内翻,使内侧半月板及间室所受应力负荷更大。这种生理性膝内翻与内侧半月板退变性损伤及内侧间室关节退变发生率较高相关。

半月板和下肢力线在整个膝关节的受力分布中有着密切的内在联系,相比矢状面下肢力线异常,冠状面力线异常与半月板的损伤更密切相关。内侧半月板挤压突出已成为评价半月板动态功能和诊断半月板病理的重要指标,Willinger 等^[6]采用膝关节尸体标本通过生物力学研究认为,与中立位或外翻相比,膝内翻导致内侧半月板挤压外突显著增加,同时还增加内侧间室的平均接触应力和接触应力峰值,内侧半月板也更易损伤。Cho 等^[13]认为严重的内翻畸形是内侧半月板后角或后根部撕裂的危险因素。先天性骨性结构畸形的下肢力线异常,也会增加半月板损伤的风险。因此,临床医师更应关注冠状面的下肢力线异常对半月板损伤的影响,特别是内侧半月板后角或根部的慢性退变性损伤,可对半月板损伤危险因素有更全面的掌握。

受损的半月板切除术后力线也会发生改变。内

侧半月板退行性损伤行半月板部分切除术与对侧膝相比,内侧间室负荷相对增加,在术后 1 年随访时内侧关节间隙变小^[14]。Zhang 等^[15]通过关节镜下切除外侧盘状半月板并测量手术前后负重位下肢全长片,认为术后下肢力线明显改变,膝内翻患者下肢机械轴线有一定程度的矫正,但术后膝外翻有所增加。半月板切除所产生的力线改变似乎受切除的半月板组织数量的影响,而不受术前力线的影响,且内侧半月板切除导致膝内翻比外侧半月板切除导致膝外翻更加明显^[16]。

综上所述,下肢力线的异常会引起半月板挤压外突,增加半月板损伤的风险;反之对于受损的半月板行部分切除术后会进一步改变下肢力线异常,增加骨性关节炎的发生率。因此,临床医师对于半月板损伤诊治时,应加强术前和术后下肢力线的评估,可采取个体化的治疗方案,评估术后下肢力线的改变,早期预防膝关节退行性变^[17]。

3 下肢力线在内侧半月板损伤修复中的作用

3.1 下肢力线与内侧半月板损伤的相互关系

下肢力线在膝内、外间室负荷分配中起着关键作用,膝内翻是内侧骨性关节炎潜在的危险因素^[2]。Erquicia 等^[18]研究显示,在主诉膝关节疼痛且功能良好的患者中,轻度力线不良与半月板挤压突出程度无关。但 Goto 等^[19]通过回顾性研究膝骨性关节炎患者下肢力线与半月板挤压突出之间的关系,认为内侧半月板挤压外突距离与骨性关节炎进展成正相关,而半月板挤压外突(特别是突出 ≥ 3 mm)与内翻对齐参数相关。所以膝内翻越严重,内侧半月板挤压外突距离越大,膝骨性关节炎的风险越高。Emmanuel 等^[20]的研究结果也证实这点,内侧半月板突出程度越大,内侧间室退变性膝骨性关节炎的风险越高。因此,膝内翻和内侧半月板挤压突出可能是骨性关节炎进展的危险因素,又因低胫骨近端机械轴内侧角是产生内翻畸形的独立危险因素,所以低胫骨近端机械轴内侧角和内侧半月板挤压突出的膝骨性关节炎患者可作为胫骨高位截骨术(high tibial osteotomy, HTO)的早期治疗干预对象^[19]。

Mina 等^[21]研究显示,当下肢机械轴从 4°外翻内移到 10°内翻时,内侧间室平均接触应力成线性增加。Willinger 等^[22]通过 8 例膝关节尸体标本生物力学方法研究,显示下肢力线内移和内侧半月板切除程度对胫股接触压力有显著影响且成正比关系,膝内翻联合内侧半月板切除增加了内侧间室的平均接触应力和接触应力峰值,而力线外移则减轻内侧负荷过重。因此,对于内侧半月板损伤伴膝内翻的患者应慎重行半月板部分切除成形术,应考虑下肢力线

异常所产生的影响。

Krych 等^[23]研究发现半月板胫骨韧带断裂和伴随的半月板外突先于内侧半月板后根损伤(medial meniscus posterior root tear, MMPRT), 支持内侧半月板外突可能增加内侧半月板后角根部附着处的应力, 从而导致 MMPRT, 类似半月板全切, 加重膝内翻畸形。内侧半月板外突继发的内侧间室软骨应力增加, 软骨磨损致内侧关节间隙丢失, 也会加重下肢力线异常。

综上所述, 膝内翻的下肢力线异常或先天性骨性结构异常可增加内侧间室负荷和压力, 引起内侧半月板挤压外突, 负荷过重和环形张力增加的内侧半月板也更易受损。反之, 损伤的半月板或损伤后行半月板部分切除术进一步增加了内侧间室软骨负荷和压力, 导致关节内生物力学改变和软骨继续恶化, 关节间隙丢失, 内、外侧间室受力不平衡, 进一步加重下肢力线异常畸形, 从而导致骨性关节炎的发生发展, 这是一个互为因果、恶性循环过程。在这种膝关节退行性改变过程中, 下肢力线异常可能是基础作用, 贯穿整个疾病发展过程。所以每例半月板损伤患者都应拍摄负重位双下肢全长片评估下肢力线, 是否从生物力学方面截骨矫正下肢力线, 从根本上去除危险因素。

3.2 下肢力线在内侧半月板后根损伤及治疗中的作用

MMPRT 与下肢力线有着较为密切的关系, 它通常是指内侧半月板后根部止点 1 cm 内的放射状撕裂或止点的撕脱^[24]。轴向应力转换为环形捆扎力的功能丧失, 将会导致膝关节迅速退变, 整个作用机制与半月板全切术后的病理改变相似^[25]。Hwang 等^[26]认为膝内翻畸形是 MMPRT 的危险因素, 膝内翻畸形后根部撕裂的发生率增加 3.3 倍^[27]。此外, 胫骨平台的解剖形状也影响胫股关节的生物力学功能^[28], 内侧胫骨平台后倾角较大和凹度较浅也是 MMPRT 的危险因素^[28]。因此, 冠状面下肢力线异常和矢状面胫骨平台后倾角过大的患者, 在高屈曲位时内侧半月板后角根受到的应力最大^[29], 易导致后角根部撞击退变, 是 MMPRT 危险因素。

术后影像学检查和二次镜检是评价 MMPRT 手术疗效的重要手段, 相关文献表明 MMPRT 术后的二次镜检手术成功率相差较大^[30-31]。从下肢力线角度分析, 根部修复后的愈合情况与下肢机械轴之间的关系存在争议。Cho 等^[31]认为, 根部修复后的愈合情况与术前下肢机械轴无关。但有文献研究^[32-33]认为, 术前 $>5^\circ$ 的严重膝内翻是 MMPRT 修复后预后不良的预测因素。MMPRT 常伴有内侧半月板挤压突

出, 有研究^[6,19]认为挤压突出与内翻程度有关且与胫骨近端内侧角也有关, 这表明 MMPRT 伴有低胫骨近端内侧角和膝内翻的患者可能是行 HTO 的合适对象。

有学者从矫正下肢力线方面治疗 MMPRT 并随访研究。Nha 等^[34]对 31 例 MMPRT 患者行 HTO 而没有半月板切除或根修复, 20 例进行二次关节镜检, 完全愈合 10 例(50%), 未愈合组中 6 例不完全愈合(30%)和 4 例未愈合(20%), 没有观察到软骨病变的进展, 甚至有部分改善, 结果显示无须尝试根部修复的 MMPRT 患者行 HTO 术后有较高愈合率。Lee 等^[35]对 52 例内侧半月板根部损伤患者只行 HTO 并未修复根部撕裂和软骨损伤, 对其中的 24 例患者进行了二次关节镜检, 5 例松弛愈合, 6 例瘢痕愈合, 13 例未愈合, 认为根部愈合率较低。Jing 等^[36]对 27 例 MMPRT 患者行内侧 HTO 联合半月板修复术, 行钢板去除术时二次关节镜检结果显示, 完全愈合 11 例(41%), 松弛愈合 16 例(59%), 该术式有更高的后根撕裂愈合率, 且低体质量指数(body mass index, BMI)和适当下肢力线调整是根部愈合的有利因素。Lee 等^[37]对 57 例 MMPRT 患者进行前瞻性研究, 其中 25 例行内侧 HTO 联合根部全内修复, 32 例只行内侧 HTO 不做根部修复, 二次镜检结果显示, 修复组与未修复组的治愈率(包括部分和完全愈合)分别为 76%(19/25)和 40.6%(13/32), 两组比较差异有统计学意义, 但影像学表现和临床结果无统计学差异。因此, 下肢力线异常也会影响 MMPRT 修复后愈合, 即使不做根部修复, 只行截骨矫正力线术, 也有患者可达到根部愈合。

因此, 下肢力线异常既是 MMPRT 的危险因素, 也会影响术后根部愈合率及术后临床结果的决定性因素。即使单纯的力线矫正也会促进后根部愈合和提高临床疗效, 可证实下肢力线异常才是根本所在。虽然, 目前对于 MMPRT 患者行 HTO 随访研究较少, 且缺乏长期、大量、有效的随机对照研究, 但截骨术在后根修复中的积极作用是毋庸置疑的。

3.3 下肢力线在内侧半月板退行性损伤和治疗中的影响

内侧半月板退行性损伤与下肢力线异常也有一定的关系, 通常有较为复杂的撕裂类型, 主要见于后角和体部, 且会增加软骨退变的风险^[38]。这种损伤通常没有症状, 但许多患者会寻求治疗发作性膝疼痛、肿胀, 可能这些症状是膝骨性关节炎进展中结构性改变的早期信号。大量研究表明, 半月板病理与膝关节进一步退变的风险增加有关^[39]。膝骨性关节炎和半月板撕裂, 特别是退行性半月板撕裂, 具有许

多相同的危险因素和生物学过程,可能是骨性关节炎进展过程中的早期迹象和软骨损伤及关节结构性改变的危险因素^[1]。因此,退变性半月板损伤的早期诊断可作为骨性关节炎的早期信号,可早诊断、早预防骨性关节炎的发生。

Englund 等^[40]研究显示膝内翻是内侧间室骨性关节炎的有效预测因子,包括内侧半月板病理和进行性的胫股关节退变,膝内翻的患者 30 个月内发生内侧半月板病变的可能性是没有膝内翻的 2 倍。Sharma 等^[41]研究显示,膝内翻是发生内侧软骨损伤的危险因素且成正比关系,并进一步证明内翻增加了膝骨性关节炎初始发展地风险。生物力学研究^[2,42-43]也证明了下肢力线的重要作用,即使在行走过程中冠状面力线微小变化也会导致膝关节内、外侧负荷分布发生很大变化。因此,下肢力线异常在膝关节内、外侧间的负荷分配中起着关键作用,是半月板病变和骨性关节炎的潜在危险因素^[2]。

目前膝骨性关节炎的治疗指南建议在术前尽量通过保守治疗干预骨性关节炎的进展^[43],临床医生通常会等到患者出现明确的膝骨性关节炎后才会考虑手术治疗。然而,在 X 线片上出现明确骨性关节炎之前,膝骨性关节炎进展过程就已经较严重^[44]。因此,如果通过有症状的退变性半月板损伤来作为膝骨性关节炎的早期信号,那么就可以更早的干预,预防骨性关节炎的发生^[39]。

然而,目前有症状性退变性半月板损伤通常会选择关节镜下清理术和半月板部分切除术,这种治疗并没有得到大量高质量随机试验的可靠证据支持,而且没有解决下肢力线异常的生物力学问题。有较多文献研究认为,退变性半月板损伤行关节镜下半月板部分切除术带来的益处非常有限。Li 等^[45]在退变性半月板撕裂的治疗研究中,认为关节镜下半月板部分切除术后与物理治疗相比,在 12 个月短期内可获得更好临床结果,但在 24 个月时两组疼痛和功能评分比较差异无统计学意义,同样 Lubowitz 等^[46]研究也证实了这一点。Sihvonen 等^[47]通过随机双盲试验研究显示,与假手术相比,切除退变性半月板撕裂部分并没有额外的益处缓解膝关节卡压或绞索。Beaufils 等^[9]随机对照试验结果显示,无论术前是否有机械症状,半月板部分切除术对退变性半月板的疗效非常有限。Willinger 等^[2]通过 6 例尸体标本,从生物力学角度研究,认为半月板水平裂不影响胫股关节接触应力峰值和接触面积,即使在内翻的情况下也是如此。与完整半月板相比,膝内翻伴内侧半月板水平裂损伤行部分切除术导致内侧间室接触应力峰值增加和接触面积减小。但在半月板部分切

除后,通过力线外移可降低内侧间室接触压力防止内侧负荷过重。

目前大部分治疗策略,可能只关注到处理膝关节内部病损问题,却很少考虑膝关节外力线情况,而力线异常正是退变性半月板损伤和膝关节骨性关节炎的危险因素。

3.4 下肢力线异常与内侧半月板急性损伤关系

急性创伤性半月板损伤是膝关节受到较大暴力外伤伴突发的关节线疼痛病史,一般是受到急性暴力挤压和扭转所致^[8]。Wesdorp 等^[48]评估急性创伤性半月板撕裂患者半月板组织学退变程度,并与完整半月板组织和骨关节炎半月板组织进行比较。结果表明,创伤性撕裂的半月板比完整的半月板有更高程度的退变,这种急性创伤性半月板损伤可能与下肢力线异常间室负荷压力过大而导致的半月板退变相关。因此,即使是急性半月板损伤也可能伴有半月板的退变,应在术前拍摄负重位双下肢全长片^[3],评估这种急性创伤性半月板损伤患者组织学退变与力线之间关系,指导手术治疗策略选择。

对于急性半月板损伤伴下肢力线异常治疗策略的选择。Gelber 等^[3]建议对于急性创伤性半月板撕裂伴先天性膝内翻无软骨损伤的患者,治疗方法是单纯半月板手术。在内侧超负荷的间室中,尽可能进行半月板修复而不是半月板切除术。如果对于无法修复的创伤性半月板大部切除术后症状没有改善,可以在 II 期手术中进行截骨术矫正力线。当创伤性半月板损伤合并膝关节软骨损伤时,疼痛的来源可能很难分辨。在这种情况下,首选治疗是联合截骨术,特别是对于无法修复需要半月板切除患者。因为半月板切除后会加重膝内翻畸形^[14],软骨损伤的症状可能会继续恶化,而矫正力线负荷转移手术可能会改善这两种疼痛的来源。综上所述,即使是急性创伤性半月板损伤患者,术前也应评估下肢力线,以选择更合适的治疗方案。

4 HTO 与膝内翻及内侧间室骨性关节炎的关系

膝内翻是内侧半月板损伤及内侧间室骨性关节炎的危险因素。对于保守治疗失败后的骨性关节炎患者,再行 HTO 治疗内侧膝骨性关节炎,虽可矫正力线,但膝关节已发生结构性改变,如内侧关节间隙变窄、骨赘形成、骨硬化和内翻畸形。许多膝骨性关节炎的保守治疗方法,可以减缓内侧膝骨性关节炎的进展,但最终都不能阻止膝关节结构性破坏。

全膝关节置换术已被证实是治疗原发性和继发性骨性关节炎的一种非常成功和普遍的手术。然而,与内侧单髁置换术和 HTO 相比,全膝关节置换术破坏了原有的膝关节结构,不可能达到积极、苛刻的活

动水平^[49]。虽然在 1 年和 2 年的随访中,单髁置换术和 HTO 的临床结果没有明显差异,但 HTO 的优点是尽可能长时间地保留膝关节的各种结构,对下肢机械轴异常有较大的矫正作用,避免或推迟膝关节置换^[50]。大多 HTO 患者在术后恢复了之前运动和工作水平,从 10~22 周几乎所有的患者都回到了相同或更高的活动水平^[51]。HTO 虽可保留关节内的原有整体结构,但需严格把握患者适应证。

如果在影像学诊断膝骨性关节炎明确之前,仅通过内侧半月板退行性损伤伴膝内翻反复出现的疼痛症状,行截骨术卸载内侧间室过重负荷阻止内侧关节进一步退变是一种较积极的治疗方法^[39]。既阻止了力线异常对半月板的进一步损伤,又保留了膝关节的原有结构。这是一种通过力线调整在生物力学方面阻止内侧半月板和关节进一步退变的治疗策略,是比目前治疗标准更积极的方法来治疗一部分早期膝骨性关节炎患者,此阶段可能是早期干预的绝佳时机,以达到二级预防膝骨性关节炎,从而避免晚期膝骨性关节炎和关节置换所带来的较重经济、生活负担。

5 小结与展望

下肢力线异常的内侧半月板损伤患者在临床中很常见,力线异常对内侧半月板损伤及修复有重要影响,应正确认识它们之间的内在联系和在膝关节负荷传递中的作用。对于内侧半月板损伤患者,应综合评估下肢力线参数、软骨损伤情况、交叉韧带是否缺失和半月板撕裂类型等,再决定是否生物力学干预更有可能改变疾病进程中调整下肢力线,阻止半月板进一步损伤和提高半月板损伤修复愈合率,以更积极的诊疗策略预防膝骨性关节炎的发生发展。因此,笔者建议在临床诊治中,对每例半月板损伤患者都应评估下肢力线对半月板损伤修复的影响。目前针对半月板损伤的手术方式主要是行成形或缝合修复术,对截骨术治疗内侧半月板损伤的相关机制及力学研究较少且缺乏高质量随访研究。需更广泛更深层次的研究发掘其优缺点和治疗机制,以优化半月板的诊疗策略。

参考文献

- [1] Ding C, Martel-Pelletier J, Pelletier J P, et al. Meniscal tear as an osteoarthritis risk factor in a largely non-osteoarthritic cohort: a cross-sectional study[J]. *J Rheumatol*, 2007, 34(4): 776-784.
- [2] Willinger L, Foehr P, Achtmich A, et al. Effect of lower limb alignment in medial meniscus-deficient knees on tibiofemoral contact pressure[J]. *Orthop J Sports Med*, 2019, 7(2): 1809872035.
- [3] Gelber P E, Barenus B, Perelli S. Role of alignment and osteotomy in meniscal injuries[J]. *Clin Sports Med*, 2020, 39(1): 211-221.
- [4] Markes AR, Hodax JD, Ma CB. Meniscus form and function[J]. *Clin Sports Med*, 2020, 39(1): 1-12.
- [5] Gilbert S, Chen T, Hutchinson ID, et al. Dynamic contact mechanics on the tibial plateau of the human knee during activities of daily living[J]. *J Biomech*, 2014, 47(9): 2006-2012.
- [6] Willinger L, Lang JJ, von Deimling C, et al. Varus alignment increases medial meniscus extrusion and peak contact pressure: a biomechanical study[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28(4): 1092-1098.
- [7] Kopf S, Beaufils P, Hirschmann MT, et al. Management of traumatic meniscus tears: the 2019 ESSKA meniscus consensus[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28(4): 1177-1194.
- [8] Beaufils P, Becker R, Kopf S, et al. The knee meniscus: management of traumatic tears and degenerative lesions[J]. *EFORT Open Rev*, 2017, 2(5): 195-203.
- [9] Beaufils P, Becker R, Kopf S, et al. Surgical management of degenerative meniscus lesions: the 2016 ESSKA meniscus consensus[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2017, 25(2): 335-346.
- [10] Eckhoff DG, Bach JM, Spitzer VM, et al. Three-dimensional mechanics, kinematics, and morphology of the knee viewed in virtual reality[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2005, 87 Suppl 2: 71-80.
- [11] Bellemans J, Colyn W, Vandenneucker H, et al. The Chitranjan Ranawat award: is neutral mechanical alignment normal for all patients? The concept of constitutional varus[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2012, 470(1): 45-53.
- [12] Deep K, Eachempati KK, Apsingi S. The dynamic nature of alignment and variations in normal knees[J]. *Bone Joint J*, 2015, 97-B(4): 498-502.
- [13] Cho S D, Youm Y S, Kim J H, et al. Patterns and influencing factors of medial meniscus tears in varus knee osteoarthritis[J]. *Knee Surg Relat Res*, 2016, 28(2): 142-146.
- [14] Thorlund JB, Holsgaard-Larsen A, Creaby MW, et al. Changes in knee joint load indices from before to 12 months after arthroscopic partial meniscectomy: a prospective cohort study[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2016, 24(7): 1153-1159.
- [15] Zhang P, Zhao Q, Shang X, et al. Effect of arthroscopic resection for discoid lateral meniscus on the axial alignment of the lower limb[J]. *Int Orthop*, 2018, 42(8): 1897-1903.
- [16] Yoon KH, Lee SH, Bae DK, et al. Does varus alignment increase after medial meniscectomy[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2013, 21(9): 2131-2136.
- [17] 史俊龙, 鹿战, 雷宏伟, 等. 下肢力线在盘状半月板损伤应用的研究进展[J]. *中国骨伤*, 2020, 33(4): 383-387.
SHI JL, LU Z, LEI HW, et al. Research progress on the application of lower limb alignment in discoid meniscus injury[J]. *Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma*, 2020, 33(4): 383-387. Chinese with abstract in English.
- [18] Erquicia J, Gelber PE, Cardona-Munoz JI, et al. There is no relation between mild malalignment and meniscal extrusion in trauma emergency patients[J]. *Injury*, 2012, 43 Suppl 2: S68-S72.
- [19] Goto N, Okazaki K, Akiyama T, et al. Alignment factors affecting the medial meniscus extrusion increases the risk of osteoarthritis development[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2019, 27(8): 2617-2623.
- [20] Emmanuel K, Quinn E, Niu J, et al. Quantitative measures of meniscus extrusion predict incident radiographic knee osteoarthritis-data from the osteoarthritis initiative[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2016, 24(2): 262-269.

- [21] Mina C, Garrett WJ, Pietrobon R, et al. High tibial osteotomy for unloading osteochondral defects in the medial compartment of the knee[J]. *Am J Sports Med*, 2008, 36(5): 949-955.
- [22] Willinger L, Lang JJ, Berthold D, et al. Varus alignment aggravates tibiofemoral contact pressure rise after sequential medial meniscus resection[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28(4): 1055-1063.
- [23] Krych AJ, LaPrade MD, Hevesi M, et al. Investigating the chronology of meniscus root tears; do medial meniscus posterior root tears cause extrusion or the other way around[J]. *Orthop J Sports Med*, 2020, 8(11): 1812008792.
- [24] LaPrade CM, James EW, Cram TR, et al. Meniscal root tears: a classification system based on tear morphology[J]. *Am J Sports Med*, 2015, 43(2): 363-369.
- [25] Allaire R, Muriuki M, Gilbertson L, et al. Biomechanical consequences of a tear of the posterior root of the medial meniscus. Similar to total meniscectomy[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2008, 90(9): 1922-1931.
- [26] Hwang BY, Kim SJ, Lee SW, et al. Risk factors for medial meniscus posterior root tear[J]. *Am J Sports Med*, 2012, 40(7): 1606-1610.
- [27] Furumatsu T, Okazaki Y, Okazaki Y, et al. Injury patterns of medial meniscus posterior root tears[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2019, 105(1): 107-111.
- [28] Okazaki Y, Furumatsu T, Kodama Y, et al. Steep posterior slope and shallow concave shape of the medial tibial plateau are risk factors for medial meniscus posterior root tears[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2021, 29(1): 44-50.
- [29] Walker PS, Arno S, Bell C, et al. Function of the medial meniscus in force transmission and stability[J]. *J Biomech*, 2015, 48(8): 1383-1388.
- [30] Kim SB, Ha JK, Lee SW, et al. Medial meniscus root tear refixation: comparison of clinical, radiologic, and arthroscopic findings with medial meniscectomy[J]. *Arthroscopy*, 2011, 27(3): 346-354.
- [31] Cho JH, Song JG. Second-look arthroscopic assessment and clinical results of modified pull-out suture for posterior root tear of the medial meniscus[J]. *Knee Surg Relat Res*, 2014, 26(2): 106-113.
- [32] Jiang EX, Abouljoud MM, Everhart JS, et al. Clinical factors associated with successful meniscal root repairs: A systematic review[J]. *Knee*, 2019, 26(2): 285-291.
- [33] Chung KS, Ha JK, Ra HJ, et al. Prognostic factors in the midterm results of pullout fixation for posterior root tears of the medial meniscus[J]. *Arthroscopy*, 2016, 32(7): 1319-1327.
- [34] Nha KW, Lee YS, Hwang DH, et al. Second-look arthroscopic findings after open-wedge high tibia osteotomy focusing on the posterior root tears of the medial meniscus[J]. *Arthroscopy*, 2013, 29(2): 226-231.
- [35] Lee HI, Park D, Cho J. Clinical and radiological results with second-look arthroscopic findings after open wedge high tibial osteotomy without arthroscopic procedures for medial meniscal root tears[J]. *Knee Surg Relat Res*, 2018, 30(1): 34-41.
- [36] Jing L, Liu K, Wang X, et al. Second-look arthroscopic findings after medial open-wedge high tibial osteotomy combined with all-inside repair of medial meniscus posterior root tears[J]. *J Orthop Surg(Hong Kong)*, 2020, 28(1): 615549124.
- [37] Lee OS, Lee SH, Lee YS. Comparison of the radiologic, arthroscopic, and clinical outcomes between repaired versus unrepaired medial meniscus posterior horn root tear during open wedge high tibial osteotomy[J]. *J Knee Surg*, 2021, 34(1): 57-66.
- [38] Mesiha M, Zurakowski D, Soriano J, et al. Pathologic characteristics of the torn human meniscus[J]. *Am J Sports Med*, 2007, 35(1): 103-112.
- [39] Primeau CA, Birmingham TB, Leitch KM, et al. Degenerative meniscal tears and high tibial osteotomy: do current treatment algorithms need to be realigned[J]. *Clin Sports Med*, 2019, 38(3): 471-482.
- [40] Englund M, Felson DT, Guermazi A, et al. Risk factors for medial meniscal pathology on knee MRI in older US adults: a multicentre prospective cohort study[J]. *Ann Rheum Dis*, 2011, 70(10): 1733-1739.
- [41] Sharma L, Chmiel JS, Almagor O, et al. The role of varus and valgus alignment in the initial development of knee cartilage damage by MRI: the MOST study[J]. *Ann Rheum Dis*, 2013, 72(2): 235-240.
- [42] Leitch KM, Birmingham TB, Dunning CE, et al. Changes in valgus and varus alignment neutralize aberrant frontal plane knee moments in patients with unicompartmental knee osteoarthritis[J]. *J Biomech*, 2013, 46(7): 1408-1412.
- [43] McAlindon TE, Bannuru RR, Sullivan MC, et al. OARSI guidelines for the non-surgical management of knee osteoarthritis[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2014, 22(3): 363-388.
- [44] Wang X, Jin X, Han W, et al. Cross-sectional and longitudinal associations between knee joint effusion synovitis and knee pain in older adults[J]. *J Rheumatol*, 2016, 43(1): 121-130.
- [45] Li J, Zhu W, Gao X, et al. Comparison of arthroscopic partial meniscectomy to physical therapy following degenerative meniscus tears: a systematic review and meta-analysis[J]. *Biomed Res Int*, 2020, 2020: 1709415.
- [46] Lubowitz JH, Brand JC, Rossi MJ. Nonoperative management of degenerative meniscus tears is worth a try[J]. *Arthroscopy*, 2020, 36(2): 327-328.
- [47] Sihvonen R, Englund M, Turkiewicz A, et al. Mechanical symptoms and arthroscopic partial meniscectomy in patients with degenerative meniscus tear: a secondary analysis of a randomized trial[J]. *Ann Intern Med*, 2016, 164(7): 449-455.
- [48] Wesdorp MA, Eijgenraam SM, Meuffels DE, et al. Traumatic meniscal tears are associated with meniscal degeneration[J]. *Am J Sports Med*, 2020, 48(10): 2345-2352.
- [49] Witjes S, Gouttebauge V, Kuijer PP, et al. Return to sports and physical activity after total and unicompartmental knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis[J]. *Sports Med*, 2016, 46(2): 269-292.
- [50] Jeon YS, Ahn CH, Kim MK. Comparison of HTO with articular cartilage surgery and UKA in unicompartmental OA[J]. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 2017, 25(1): 612344380.
- [51] Hoorntje A, Witjes S, Kuijer P, et al. High rates of return to sports activities and work after osteotomies around the knee: a systematic review and meta-analysis[J]. *Sports Med*, 2017, 47(11): 2219-2244.