

半月板根部损伤的研究进展*

张田宇 综述 任逸众 贾岩波** 审校

(内蒙古医科大学第二附属医院运动医学中心,呼和浩特 010030)

文献标识:A 文章编号:1009-6604(2024)02-0133-05

doi:10.3969/j.issn.1009-6604.2024.02.011

半月板根部损伤是指发生在半月板根部附着处 1 cm 内的放射状撕裂,或者是根部附着部完全的骨质或软组织撕脱。半月板根部损伤损害了整个膝关节对负荷的分散,减少承受负荷的表面积,使患者易发生早期退行性变化,从而改变他们的日常活动^[1]。为有效地修复撕裂的根部,解剖学和生物力学的基础知识是至关重要的。本文对半月板根部损伤的进展进行文献总结。

1 解剖学

半月板为纤维弹性的新月形垫,位于胫股关节。内侧半月板呈 C 形,横截面为三角形,大约 10 mm 宽,3~5 mm 厚。外侧半月板更圆,10~12 mm 宽,4~5 mm 厚。组织学上,半月板上的纤维排列成不同的层,外层由随机排列的胶原基质网络组成,组成类似于透明软骨^[2],可以使其在低摩擦的表面上平滑地滑动;内层构成半月板的大部分厚度,由相互缠绕的径向和环向纤维层组成。环向层的主要功能是消除环向应力,这是半月板功能的关键。径向纤维层为半月板提供固有的强度^[2]。供应半月板的血管主要来自膝内侧和外侧动脉的分支。这些血管的分支在膝关节的滑膜和关节囊组织内形成半月板周围血管网,该网络向周围 25% 的半月板提供血液供应。这种有限的血管分布减少中心白区的愈合潜力,但支持外围红区的一些愈合^[3]。

对于半月板根部撕裂的功能性修复,了解半月板根部附着点的解剖非常重要,Laprade 等^[4]对此有很好的描述:内侧半月板的后根部附着处距胫骨内

侧隆起点约 11.5 mm,按方向细分,根部附着点在胫骨内侧隆起尖端后 9.6 mm,外侧 0.4 mm,内侧半月板后根部附着点也在胫骨平台内侧关节软骨拐点的外侧 3.5 mm,后交叉韧带 (posterior cruciate ligament, PCL) 最上附着点的前面 8.2 mm,根部附着体的面积约为 30 mm²,外侧半月板根部附着处距胫骨外侧隆起顶端约 5.3 mm;按方向细分,外侧半月板根部在胫骨外侧隆起尖端内侧 4.2 mm 和后方 1.5 mm 处,距平台外侧关节软骨内侧 4.3 mm,距前交叉韧带最上附着点 12.7 mm,距外侧半月板前根附着点后内侧角 10.1 mm,附着面积约为 39 mm²。

2 半月板后根的生物力学意义

半月板固定在胫骨平台,以提供减震和应力分散的作用,并增加载荷传递的接触面积。后根撕裂半月板不再固定在平台上,破坏环状应力的消散,增加载荷,大量研究^[4-7]证实了这一点。Allaire 等^[8]测试膝关节在载荷为 1000N 时屈曲 0°、30°、60°和 90°的情况下半月板根部撕裂的生物力学后果,并与完整的根部、修复的根部和接受完全半月板切除术的膝关节进行比较,结果显示与完整和修复的根部相比,有根部撕裂的膝关节峰值接触压力随着膝关节屈曲程度的增加而显著增加,且半月板根部撕裂在生物力学上的功能丧失相当于半月板切除术。

由于板股韧带的附着及其稳定作用,根部撕裂的表现略有不同。Amadi 等^[6]对人类膝关节的生物力学研究很好地说明了这一点:当板股韧带被切断时,即使根部完整,任何通过膝关节转移的载荷都会

* 基金项目:内蒙古自治区科技计划项目(2019GG053);内蒙古医科大学“善学”人才培养计划项目(ZY0202028);内蒙古医科大学联合项目(YKD2021LH026)

** 通讯作者, E-mail: kmygyt@163.com

导致接触压力增加,接触面积减少。Forkel 等^[5]在牛生物力学模型中也证实了这一点。在他们的研究中,根部撕裂但完整的板股韧带保持了可接受的应力消散,但是在半月板-股韧带的截面上,应力负荷急剧增加,且在靠近牙根附着处的放射状撕裂倾向于表现为牙根撕脱。LaPrade 等^[4]在一个距离牙根附着点 3 mm 和 6 mm 处造成完全径向撕裂的生物模型中增加接触负荷和减少接触面积,这 2 种撕裂的表现与牙根撕脱相似,在生物力学上与牙根撕脱相当。

3 诊断

半月板根部撕裂的临床诊断给骨科医生带来挑战,因为病史和体征与更常见的半月板角或体部撕裂相似^[9]。与典型的半月板撕裂相比,卡顿症状较少出现。体格检查时,患者会有屈膝疼痛,尤其是过度屈膝。关节间隙处的压痛也是常见的,麦克默里试验可能是阳性的。在某些罕见的情况下,可以触摸到突出的半月板。假设有后根撕裂,在膝关节完全伸展时对膝关节施加内翻应力,沿后外侧关节线的触诊有时可能触及到半月板突出,一旦内翻应力消除,半月板外突就会减少。

体格检查缺乏敏感性和特异性,需要先进的成像技术才能更清楚地诊断后根撕裂。MRI 仍然是黄金标准^[10],T2 有 3 个主要征象,可能表明后根撕裂的存在:矢状位图像上的“鬼影征”是指外侧或内侧完全没有半月板信号;横断位上的放射状撕裂可以清楚地显示撕裂类型,但根据 MRI 切割深度的不同而不同;冠状位图像上的“截断信号”显示根部的完全分离^[10,11]。利用这 3 种影像征象,LaPrade 等^[10]报道关节镜检查半月板后根撕裂发生率为 9.1% (26/287),术前 3.0T MRI 对内侧根部撕裂诊断的敏感性 82.4%,特异性 80%,阴性预测值 98.6%,对外侧半月板根部撕裂,敏感性 60%,特异性 90.3%,阴性预测值 98.4%。他们得出结论:3.0T MRI 对于半月板后根部撕裂的诊断具有较高的敏感性和特异性,但是有些根部损伤还是需要有关节镜术中才能被发现。

4 治疗

目前的治疗选择包括非手术治疗、半月板切除或部分切除术以及半月板根部修复术。半月板根部修复的目的是恢复自然的关节生物力学,尽管并不是所有的患者都适合手术,也不是所有的根部撕裂

都可以修复。因此,选择病人是非常重要的,那些不适合手术的患者仍然可以从非手术治疗中受益。

4.1 非手术治疗

半月板根部撕裂的非手术治疗适用于久坐不动的患者,这些患者有内科合并症、晚期骨关节炎 (Outerbridge^[12] 3 级或 4 级)、关节间隙狭窄、明显的膝内翻畸形 ($>5^\circ$)、或慢性、退行性、不可修复的撕裂^[13]。年龄在手术适应证中的作用尚未完全阐明。Moon 等^[14]将年龄 >45 岁或 50 岁作为手术治疗的禁忌证,认为退变的半月板组织愈合能力较差。符合非手术标准患者受益于多种模式治疗,包括物理治疗、非类固醇抗炎药物、关节内注射和减压器支撑来缓解症状^[15]。

4.2 半月板切除术

健康、活跃、退行性改变轻微或无退行性改变 (Oterbridge 1 级或 2 级)、关节间隙轻微狭窄或无狭窄的半月板根部撕裂患者适合手术治疗^[15]。目前的手术方案包括关节镜下半月板切除术和关节镜下半月板根部修复术^[1,15]。由于半月板根部撕裂非手术治疗的较差预后,Krych 等^[16]探讨半月板切除术是否能缓解患者的疼痛并延迟关节置换,他们对非手术治疗 (保守组, $n=26$) 和部分半月板切除术 (手术组, $n=26$) 进行回顾性比较,手术组 14 例 (54%) 平均 54.3 月进展到全膝关节置换术,保守组 9 例 (34%) 平均 30.2 月进展到全膝关节置换术,2 组最终 Tegner 活动量表评分、国际膝关节文献委员会 (International Knee Documentation Committee, IKDC) 评分、K-L 分级、进展到关节置换术的时间无显著差异 ($P>0.05$),他们得出结论半月板切除术不是手术治疗半月板根部撕裂的可行方法。此后的几项研究^[17~21]证明半月板根部修复的良好效果。Faucett 等^[22]证明半月板修复提供比半月板切除或非手术治疗更长的骨关节炎进展期,修复半月板根部 239 例中,171 例 (约 75%) 在 5 年内无骨性关节炎发生,半月板切除组和非手术组这一比例分别为 19% (14/74) 和 24% (10/41)。可见,与半月板切除术相比,半月板根部修复术在避免关节置换方面也显示出良好的效果。

慢性半月板根部撕裂没有明显退行性改变 (Oterbridge 1 级或 2 级) 的患者适合半月板根部修复,但是对于愈合能力、半月板组织质量较差合并晚期 (Oterbridge 3 级或 4 级) 退行性改变的慢性根性撕裂,半月板切除术可能更受青睐,然而关于可修复的慢性化定义尚未有文献阐明^[23]。

4.3 半月板修复术

半月板根部修复的 2 种主要技术已经得到普及——经胫骨隧道缝合技术和带线锚钉缝合技术,目的是恢复半月板根部与骨的解剖连接,以促进轴向承重负荷转化为环状应力^[24,25]。这 2 种技术都需要在解剖足印处插入锚或创建通道,固定半月板后根。

4.3.1 经胫骨隧道缝合技术

经胫骨隧道拔出技术通过悬吊缝线固定的方法修复后根^[26~28]。关节镜下可视化确定半月板根部的解剖位置,清理周围软组织,为修复做准备;利用 ACL 胫骨定位器,通过在胫骨近端前内侧的小切口,将导向针插入根部附着区;在确认解剖位置后,建立直径 5~6 mm 隧道,使用外科医生选择的缝合通道装置,将 2 号不可吸收缝线穿过撕裂的半月板根部;通过之后将缝线从胫骨隧道拉出,在膝关节处于 30° 屈曲状态时,使用外科医生首选的固定结构(通常是皮质纽扣或挤压钉和垫圈)进行拉伸和固定^[29]。当半月板处于解剖复位位置时,这种膝关节屈曲程度有助于根部的固定。这种方法的缺点是增加半月板缝合复合体之间的蹦极效应和缝合材料磨损的风险^[30,31],但在技术上挑战性较小,对膝关节重要结构的损害风险相对较低^[32],避免缝合锚松动引起的潜在并发症^[33]。因此,大多数外科医生使用经胫骨隧道拔出技术治疗半月板根部损伤^[34]。LaPrade 等^[19]报道 45 例经胫骨隧道拔出半月板根部修复术,其中 15 例 < 50 岁,30 例 > 50 岁,14 例外侧根部撕裂,31 例内侧根部撕裂,平均随访 2.5 年(2.0~4.3 年)。Lysholm 评分由术前(43.2 ± 2.6)分提高到术后(82.9 ± 2.1)分($P < 0.01$);Tegner 活动量表术前(2.5 ± 0.2)分,术后提高到(4 ± 0.1)分($P < 0.01$);骨关节炎指数西大略湖和麦克马斯特大学(The Western Ontario and McMaster Universities, WOMAC)评分由术前(42.6 ± 1.7)分降到术后(5.8 ± 2.1)分($P < 0.01$),术后所有功能评分均显著改善,即无论年龄大小还是内侧或外侧根部损伤,经胫骨隧道拔出半月板根部修补术在功能、疼痛症状和活动水平方面均有显著改善。Lee 等^[20]对 25 例经胫骨拔出修复术进行第 2 次关节镜检查,以评估半月板根部的愈合潜力,14 个月时愈合率为 76%(19/25),可能随着时间的延长显示更高的愈合率。

还有几种额外的缝合技术提高经胫骨隧道拔出的修复强度^[35~38]。修复半月板根部多种缝合方式,包括 2 条简单缝线缝合、水平褥式缝合、改良 Mason-

Allen 缝合以及不同的环缝和束带缝合方式。Anz 等^[39]在尸体模型上测试 4 种不同的缝合方式:2 条简单缝线缝合、水平褥式缝合、1 个双锁环缝合、2 个双锁环缝合,结果显示 2 个双锁环缝合的失败率最高。Feucht 等^[40]报道改良 Mason-Allen 和 2 条简单缝线缝合方式在刚度、循环载荷和失效载荷方面优于水平褥式缝合和环形缝合。Lee 等^[41]评估 25 例关节镜下采用 Mason-Allen 缝合方式(M 组)修复内侧半月板根部的临床和放射学结果,与 25 例采用简单缝合(S 组)相比,M 组和 S 组平均随访时间分别为 24.1、25.9 月($P = 0.248$),2 组患者 Lysholm、IKDC 和 Tegner 活动度评分均有显著改善,M 组修复后根部愈合情况好于 S 组($P = 0.065$);2 组术后临床效果无显著差异,但 MRI 示 M 组术后内侧半月板脱出减少(0.9 ± 0.6)mm,S 组增加(1.0 ± 0.6)mm($P < 0.001$);M 组在 Kellgren-Lawrence 分级和软骨退变方面无明显进展($P = 0.083$, $P = 0.317$),S 组这 2 项指标均显著增加($P = 0.008$, $P < 0.001$)。他们认为尽管 2 种不同缝合技术短期随访临床效果无显著差异,但与单纯缝合相比,Mason-Allen 缝合改善半月板的挤压脱出程度。

4.3.2 带线锚钉缝合技术

缝合锚修补术通过将锚钉置入在解剖止点来固定半月板根部,以达到最小化的悬吊长度。缝合锚修复利用辅助的后内侧或后外侧入口,更好地使锚钉插入解剖根附着部位,且有助于缝合通道穿过撕裂的半月板根部。通常辅助入口比平常更靠近近端,以便更垂直地插入缝合锚并避开内侧股骨髁的后凸^[28,29]。在关节镜下,确定半月板根部的解剖位置,在半月板根部插入双负荷缝合锚钉,并使用缝合套索或使用肩袖型缝合通道装置穿过前内侧或前外侧入口进行缝合,通过之后将缝线在膝关节屈曲 30° 状态下进行打结捆绑^[42]。

如果对半月板根部使用关节镜下缝合锚钉修复技术,经常需要辅助入口来解剖放置锚钉,通常需要先建一个辅助的后内侧入路。首先,关节镜可通过股骨内侧髁与后交叉韧带之间的间隙进入后内侧间室。直视下,可在关节线上方 3~5 cm 处、股骨内侧髁后方、内侧副韧带和腓肠肌内侧头之间穿入硬膜外针。入口应在透照下进行,以避免损伤隐神经和大隐静脉。皮肤切开之后需要钝性剥离。如果需要辅助性的后外侧入路,应使用类似的技术。入路应放置在关节线上方 3~5 cm 处和股二头肌前方,以避免腓神经。

如果在后外侧和后内侧辅助入口之外需要更多可视化入路,可以创建一个跨房间隔入路。许多研究者都描述了这个入路^[43-45]。后隔膜是一个三角形的双层滑膜组织,将膝关节的后部分为后内侧和后外侧隔室,它的前部为后交叉韧带,上部为股骨髁间切迹的后部,后部为关节囊的后部^[46]。在创建后内侧和后外侧入口后,套管可以穿过隔膜,同时保持靠近 PCL 的后部和 Wrisberg 韧带,以提供与神经血管束的安全距离。因为这种手术方法对技术要求很高,需要额外的高后内侧工作入口和专门的器械,有破坏软骨和神经血管结构的风险,所以在临床中不如第 1 种术式受欢迎^[32]。

Kim 等^[47]前瞻性随机对照研究比较 22 例经胫骨拔术与 22 例缝合锚钉术修复内侧半月板根部,对患者进行 26 个月随访,2 组 IKDC 评分由术前 (57.3 ± 4.1) 、 (58.5 ± 2.1) 分提高到末次随访 (91.8 ± 4.6) 分和 (93.4 ± 3.2) 分, Lysholm、HSS 评分较术前也显著改善 $(P < 0.05)$,但 2 组间比较差异无显著性 $(P > 0.05)$,2 组患者术后 MRI 示半月板挤压均减少,由术前 (4.3 ± 0.9) mm 和 (4.1 ± 1.0) mm 分别降到术后 (2.1 ± 1.0) mm 和 (2.2 ± 0.8) mm $(P < 0.05)$,但 2 组间无明显差异 $(P > 0.05)$ 。目前文献关于半月板挤压及其对预后影响的研究还很有限。综上所述,带线锚钉缝合法与胫骨隧道缝合法治疗半月板后根部撕裂均具有较好的短期效果,可明显改善膝关节功能,但二者疗效比较无明显差异,中长期疗效仍需进一步观察。

5 小结

半月板后根部撕裂是一种复杂的损伤,应该在没有退行性变化的年轻健康患者中进行修复,以防止进展为骨关节炎。除半月板脱出外,经胫骨拔出技术和缝合锚钉修复技术均取得良好的效果,临床和放射学无显著差异。未来的研究应重点关注减少术后半月板挤压脱出,需要大量长期的前瞻性研究。

参考文献

1 刘清宇,石伟.半月板后根部损伤的诊断和治疗进展.中国微创外科杂志,2021,21(6):540-544.
2 Laible C, Stein DA, Kiridly DN. Meniscal repair. J Am Acad Orthop Surg,2013,21(4):204-213.
3 Arnoczky SP, Warren RF. Microvasculature of the human meniscus. Am J Sports Med,2016,10(2):90-95.
4 LaPrade CM, Jansson KS, Dornan G, et al. Altered tibiofemoral contact mechanics due to lateral meniscus posterior horn root

avulsions and radial tears can be restored with in situ pull-out suture repairs. J Bone Joint Surg Am,2021,96(6):471-479.
5 Forkel P, Herbert M, Schulze M, et al. Biomechanical consequences of a posterior root tear of the lateral meniscus: stabilizing effect of the meniscomfemoral ligament. Arch Orthop Trauma Surg, 2021,33(5):621-626.
6 Amadi HO, Gupte CM, Lie DTT, et al. A biomechanical study of the meniscomfemoral ligaments and their contribution to contact pressure reduction in the knee. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc,2021,16(11):1004-1008.
7 Mitchell R, Pitts R, Kim YM, et al. Medial meniscal root avulsion: A biomechanical comparison of 4 different repair constructs. Arthroscopy,2020,32(1):111-119.
8 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 Bone Joint Surg Am,2021,90(9):1922-1931.
9 Pache S, Aman ZS, Kennedy M, et al. Meniscal root tears: current concepts review. Arch Bone Jt Surg,2022,6(4):250-259.
10 LaPrade RF, Ho CP, James E, et al. Diagnostic accuracy of 3.0 T magnetic resonance imaging for the detection of meniscus posterior root pathology. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc,2020,23(1):152-157.
11 Park HJ, Kim SS, Lee SY, et al. Medial meniscal root tears and meniscal extrusion transverse length ratios on MRI. Br J Radiol, 2021,85(1019):e1032-e1037.
12 Outerbridge RE. The etiology of chondromalacia patellae. J Bone Joint Surg Br,1961(43-b):752-757.
13 Ahn JH, Jeong HJ, Lee YS, et al. Comparison between conservative treatment and arthroscopic pull-out repair of the medial meniscus root tear and analysis of prognostic factors for the determination of repair indication. Arch Orthop Trauma Surg,2019, 135(9):1265-1276.
14 Moon HK, Koh YG, Kim YC, et al. Prognostic factors of arthroscopic pull-out repair for a posterior root tear of the medial meniscus. Am J Sports Med,2021,40(5):1138-1143.
15 Moon HS, Choi CH, Jung M, et al. Medial Meniscus Posterior Root Tear: How Far Have We Come and What Remains? Medicina (Kaunas),2023,59(7):1181-1183.
16 Krych AJ, Johnson NR, Mohan R, et al. Partial meniscectomy provides no benefit for symptomatic degenerative medial meniscus posterior root tears. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc,2022,26(4):1117-1122.
17 Chung KS, Ha JK, Ra HJ, et al. A meta-analysis of clinical and radiographic outcomes of posterior horn medial meniscus root repairs. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc,2021,24(5):1455-1468.
18 Feucht MJ, Kuhle J, Bode G, et al. Arthroscopic transtibial pullout repair for posterior medial meniscus root tears: a systematic review of clinical, radiographic, and second-look arthroscopic results. Arthroscopy,2020,31(9):1808-1816.
19 LaPrade RF, Matheny LM, Moulton SG, et al. Posterior meniscal

- root repairs: outcomes of an anatomic transtibial pull-out technique. *Am J Sports Med*, 2021, 45(4):884–891.
- 20 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 Knee Surg*, 2021, 34(1):57–66.
- 21 Kramer DE, Bahk MS, Cascio BM, et al. Posterior knee arthroscopy: anatomy, technique, application. *J Bone Joint Surg Am*, 2021, 88(Suppl 4):110–121.
- 22 Faucett SC, Geisler BP, Chahla J, et al. Meniscus root repair vs meniscectomy or nonoperative management to prevent knee osteoarthritis after medial meniscus root tears: clinical and economic effectiveness. *Am J Sports Med*, 2019, 47(3):762–769.
- 23 Mesiha M, Zurakowski D, Soriano J, et al. Pathologic characteristics of the torn human meniscus. *Am J Sports Med*, 2007, 35(1):103–112.
- 24 Kim JH, Chung JH, Lee DH, et al. Arthroscopic suture anchor repair versus pullout suture repair in posterior root tear of the medial meniscus: a prospective comparison study. *Arthroscopy*, 2020, 27(12):1644–1653.
- 25 Jung YH, Choi NH, Oh JS, et al. All-inside repair for a root tear of the medial meniscus using a suture anchor. *Am J Sports Med*, 2021, 40(6):1406–1411.
- 26 Krych AJ, Reardon PJ, Johnson NR, et al. Non-operative management of medial meniscus posterior horn root tears is associated with worsening arthritis and poor clinical outcome at 5-year follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2022, 25(2):383–389.
- 27 Johannsen AM, Civitarese DM, Padalecki JR, et al. Qualitative and quantitative anatomic analysis of the posterior root attachments of the medial and lateral menisci. *Am J Sports Med*, 2020, 40(10):2342–2347.
- 28 LaPrade RF, LaPrade CM, James EW. Recent advances in posterior meniscal root repair techniques. *J Am Acad Orthop Surg*, 2022, 23(2):71–76.
- 29 Chung KS, Ha JK, Yeom CH, et al. Comparison of clinical and radiologic results between partial meniscectomy and refixation of medial meniscus posterior root tears: a minimum 5-year follow-up. *Arthroscopy*, 2015, 31(10):1941–1950.
- 30 Feucht MJ, Grande E, Brunhuber J, et al. Biomechanical comparison between suture anchor and transtibial pull-out repair for posterior medial meniscus root tears. *Am J Sports Med*, 2014, 42(1):187–193.
- 31 Cerminara AJ, LaPrade CM, Smith SD, et al. Biomechanical evaluation of a transtibial pull-out meniscal root repair: challenging the bungee effect. *Am J Sports Med*, 2014, 42(12):2988–2995.
- 32 Lee DR, Reinholz AK, Till SE, et al. Current reviews in musculoskeletal medicine: Current controversies for treatment of meniscus root tears. *Curr Rev Musculoskelet Med*, 2022, 15(4):231–243.
- 33 Bhatia S, LaPrade CM, Ellman MB, et al. Meniscal root tears: significance, diagnosis, and treatment. *Am J Sports Med*, 2014, 42(12):3016–3030.
- 34 Chang PS, Radtke L, Ward P, et al. Midterm outcomes of posterior medial meniscus root tear repair: A systematic review. *Am J Sports Med*, 2022, 50(2):545–553.
- 35 Vyas D, Harner CD. Meniscus root repair. *Sports Med Arthrosc*, 2012, 20(2):86–94.
- 36 Ahn JH, Ha CW. Posterior trans-septal portal for arthroscopic surgery of the knee joint. *Arthroscopy*, 2020, 16(7):774–779.
- 37 Beaufils P, Pujol N. Meniscal repair: technique. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2018, 104(1 Suppl):S137–S145.
- 38 Daney BT, Aman ZS, Krob JJ, et al. Utilization of transtibial centralization suture best minimizes extrusion and restores tibiofemoral contact mechanics for anatomic medial meniscal root repairs in a cadaveric model. *Am J Sports Med*, 2019, 47(7):1591–1600.
- 39 Anz AW, Branch EA, Saliman JD. Biomechanical comparison of arthroscopic repair constructs for meniscal root tears. *Am J Sports Med*, 2022, 42(11):2699–2706.
- 40 Feucht MJ, Grande E, Brunhuber J, et al. Biomechanical evaluation of different suture techniques for arthroscopic transtibial pull-out repair of posterior medial meniscus root tears. *Am J Sports Med*, 2021, 41(12):2784–2790.
- 41 Lee DW, Kim MK, Jang HS, et al. Clinical and radiologic evaluation of arthroscopic medial meniscus root tear refixation: comparison of the modified Mason-Allen stitch and simple stitches. *Arthroscopy*, 2022, 30(11):1439–1446.
- 42 Kwon SW, Kim JB, Kim CH, et al. Comparison of medial and lateral tibial tunnel in pullout repair of posterior root tear of medial meniscus: Radiologic, clinical, and arthroscopic outcomes. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 2020, 28(2):2309499020918759.
- 43 Cancienne JM, Werner BC, Burrus MT, et al. The transeptal arthroscopic knee portal is in close proximity to the popliteal artery: a cadaveric study. *J Knee Surg*, 2019, 30(9):920–924.
- 44 Kim SJ, Song HT, Moon HK, et al. The safe establishment of a transeptal portal in the posterior knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2021, 19(8):1320–1325.
- 45 Lee YS, Kim TW, Lee ES, et al. Different strategies in making transeptal portal for the different purposes. *J Knee Surg*, 2020, 33(8):825–831.
- 46 Kaplan DJ, Alaia EF, Dold AP, et al. Increased extrusion and ICRS grades at 2-year follow-up following transtibial medial meniscal root repair evaluated by MRI. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 26(9):2826–2834.
- 47 Kim JH, Chung JH, Lee DH, et al. Arthroscopic suture anchor repair versus pullout suture repair in posterior root tear of the medial meniscus: a prospective comparison study. *Arthroscopy*, 2022, 27(12):1644–1653.

(收稿日期:2023–07–21)

(修回日期:2023–12–06)

(责任编辑:李贺琼)