

## · 综 述 ·

## 内侧半月板后根撕裂的研究进展

张森, 俞秋纬, 冯圣一, 孔庆宏, 程国全, 宋世雷

(上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院, 上海 200437)

**摘 要** 半月板后根对于维持半月板的生物力学功能至关重要。内侧半月板后根撕裂可导致半月板功能异常, 进而影响膝关节的稳定性。本文概述了内侧半月板后根的解剖结构和生物力学功能, 并对内侧半月板后根撕裂对膝关节的影响、相关生物力学因素、临床表现、诊断方法、分型方法以及治疗方法进行了综述。

**关键词** 膝损伤; 半月板; 生物力学现象; 综述

内侧半月板后根撕裂 (medial meniscal posterior root tears, MMPRT) 是指发生在内侧半月板根部附着处 1 cm 范围内的撕脱性损伤或放射状撕裂<sup>[1-2]</sup>。MMPRT 可严重影响半月板吸收和传递膝关节轴向应力的能力, 导致关节表面的峰值应力增加, 进而引起软骨和软骨下骨磨损, 最终导致膝骨关节炎或自发性骨坏死<sup>[3-4]</sup>。从生物力学角度分析, MMPRT 会导致膝关节软骨上的接触压力增加, 其程度与半月板全部切除术后膝关节承受的压力相当。因此, MMPRT 的影响类似于半月板全部切除术。半月板后根部的组织发生撕裂, 将导致半月板的功能丧失, 进而引起半月板外突和膝关节运动学改变<sup>[5-6]</sup>。内侧半月板后根是维持膝关节稳定性的重要组成部分, 其结构和功能的完整性与胫骨后倾角增加、胫骨过度旋转、前交叉韧带断裂、膝关节软骨下骨不全骨折 (subchondral insufficiency fractures of the knee, SIFK) 关系密切, 探讨其生物力学关系, 有助于更好地预防和治疗 MMPRT。为此, 本文对 MMPRT 的研究进展综述如下。

## 1 内侧半月板后根的解剖结构和生物力学功能概述

内侧半月板是位于股骨髁和胫骨平台之间的“C”形纤维弹性软骨, 其功能是加深胫骨平台的凹陷, 通过关节传递负荷, 并增强膝关节的稳定性<sup>[7-8]</sup>。半月板具有凹陷的上表面, 以便与股骨髁相吻合, 而其下表面相对平坦, 与胫骨平台相契合<sup>[9]</sup>。这一结构可以将胫股关节的轴向负荷转换为半月板的环箍力,

以防止半月板在膝关节轴向应力的作用下向外突出<sup>[10]</sup>。内侧半月板后根位于内侧胫骨平台关节软骨的外侧和后交叉韧带胫骨附着点的前内侧。具体而言, 内侧半月板后根的附着点位于内侧胫骨平台关节软骨外侧缘 3.5 mm, 后交叉韧带胫骨附着点前方 8.2 mm, 胫骨内侧隆起顶点后方 9.6 mm、外侧 0.7 mm, 整个后根部的附着面积为 47 ~ 80 mm<sup>2</sup><sup>[11-12]</sup>。

半月板的楔形结构使其能够优化轴向载荷在膝关节内的分布, 并通过增加胫骨平台与股骨髁之间的接触面积, 降低关节软骨表面的峰值接触压力。此外, 半月板的弹性特性使其能够在关节内起到减震作用<sup>[9]</sup>。因此, 半月板的任何损伤都可能导致膝关节退行性改变。即使切除 10% 的半月板, 也可能导致患者的膝关节发生病变<sup>[9]</sup>。半月板根部结构对于维持半月板的生物力学功能至关重要, 它是半月板牢牢固定在胫骨平台上的关键。明确这一区域的解剖结构有助于精准定位内侧半月板后根的位置, 减少半月板后根修复过程中的医源性损伤<sup>[13]</sup>。

## 2 MMPRT 对膝关节的影响

结构完整的半月板后根能够维持半月板的生物力学功能, 减少施加在关节软骨上的负荷<sup>[14]</sup>。一旦半月板后根组织在锚定于胫骨平台的位置发生撕裂, 将导致半月板功能丧失, 进而造成膝关节负荷异常, 缩小胫股关节的接触面积, 并增加其峰值接触压力, 最终导致半月板外突和膝关节运动学的改变<sup>[14]</sup>。由于半月板移行部位的强度相对较弱, 半月板后根是半月板损伤的常见部位。Allaire 等<sup>[15]</sup>研究发现, 半月板后根撕裂会导致胫骨向外侧平移和膝关节内收角增大。Marsh 等<sup>[16]</sup>研究发现, 与在平坦路面行走相比, MMPRT 患者在倾斜路面行走或进行下蹲动作时,

其内侧半月板后根受力增加,胫骨也随之向外侧平移。Ishii 等<sup>[17]</sup>通过使用惯性传感器评估半月板后根功能障碍患者的步态,发现负重状态下半月板受挤压的程度与膝关节外侧推力的强度呈正相关。MMPRT 发生后,膝关节软骨的负荷增加,可能导致膝骨关节炎<sup>[18]</sup>。半月板后根损伤可导致股骨和胫骨的峰值接触压力增加,进而加速关节软骨退化,增加膝骨关节炎的发生或发展风险<sup>[19]</sup>。此外,MMPRT 还可能是导致 SIFK 的原因之一<sup>[20]</sup>。

### 3 MMPRT 的相关生物力学因素

#### 3.1 胫骨后倾角增加

胫骨后倾角增加与 MMPRT 关系密切。胫骨后倾角的增加会提高内侧半月板后根处的压力,而膝关节的内外旋转会增加内侧半月板后根处的内侧剪切力<sup>[21]</sup>。当膝关节承受压缩载荷时,胫骨后倾角的增加会使内侧半月板后根的压力增大;当膝关节承受内旋载荷时,胫骨后倾角的增加会使内侧半月板后根的前向剪切力增大;当膝关节同时承受压缩载荷和内旋载荷时,胫骨后倾角的增加会使内侧半月板后根的内侧剪切力和张力增大。此外,胫骨后倾角的增加会提高膝关节前交叉韧带损伤的风险。胫骨后倾角增加可影响胫股关节的接触压力,导致胫骨的前后剪切载荷增加,胫骨向前平移,同时增加了前交叉韧带所承受的压力<sup>[13,22]</sup>。与胫骨后倾角相关的胫股关节接触压力变化和胫骨向前平移增加,可能会使股骨内侧髁与内侧半月板后根接触,从而将压缩力和剪切力传递至半月板后根。在压缩载荷下,随着膝关节屈曲角度的增加,内侧半月板后根的内侧和后侧剪切力也会增加。随着膝关节屈曲角度的增加,尤其是在内侧半月板后根相对固定的情况下,半月板与股骨之间的接触压力增大,以及股骨内侧髁的向后平移,可能会引起内侧半月板后根的后剪切力增加<sup>[23]</sup>。此外,股骨内侧和股骨后侧接触压力的增大,也可能导致内侧半月板后根内侧剪切力增加。因此,临床上应指导 MMPRT 患者避免进行导致膝关节过度屈曲的活动,防止内侧半月板后根进一步受损。

#### 3.2 胫骨过度旋转

MMPRT 的发生与胫骨旋转关系密切。Furumatsu 等<sup>[3]</sup>通过研究 MMPRT 患者的损伤模式发现,进行下楼梯、走山路、上下斜坡等动作是 MMPRT 的常见原因。在半月板退变的基础上,即使是低能量的外力也

可能导致胫骨与股骨发生相对旋转,从而引发 MMPRT<sup>[3]</sup>。当胫骨过度旋转时,内侧半月板后根所承受的压力和应力将会增加,进而导致 MMPRT。半月板后根在胫骨前移等活动中具有稳定膝关节的作用<sup>[24]</sup>。一般情况下,内侧半月板的后根与胫骨之间形成稳定的连接;然而,在特定情况下(如下楼梯时),可能会发生胫骨向外旋转,这种旋转会产生较大的张力和剪切力,从而导致 MMPRT。在正常膝关节屈曲过程中,股骨内侧髁向内后移动,而胫骨相对于股骨向外旋转,内侧半月板随之向内后运动,因此在屈曲位时内侧半月板后根承受的扭转力增大,从而增加了 MMPRT 的风险<sup>[25-26]</sup>。

#### 3.3 前交叉韧带断裂

关于 MMPRT 合并前交叉韧带损伤的文献报道相对较少,多数为个案报告<sup>[27-28]</sup>。LaPrade 等<sup>[29]</sup>研究发现,约 3% 的 MMPRT 与前交叉韧带断裂有关。当前交叉韧带断裂时,胫骨会出现过度前移,可能导致半膜肌收缩,进一步增加内侧半月板后根、后斜韧带等膝关节后内侧结构的负荷,从而诱发 MMPRT<sup>[30-33]</sup>。此外,前交叉韧带断裂还会导致膝关节前向不稳定和前外旋转不稳定,这也可能是 MMPRT 的诱因<sup>[34]</sup>。尽管 MMPRT 与前交叉韧带断裂之间的关系尚不明确,但学术界普遍认为在前交叉韧带断裂后,胫骨长期的平移和复杂的旋转应力可能会诱发 MMPRT<sup>[35]</sup>。

#### 3.4 SIFK

SIFK 常见于膝关节内侧间室,尤其是在股骨内侧髁的负重区。基于应力源性理论,SIFK 与 MMPRT 和半月板突出等因素密切相关<sup>[36-37]</sup>。Clark 等<sup>[38]</sup>研究发现,SIFK 患者中半月板撕裂的发生率较高,其中以 MMPRT 最为常见。Pareek 等<sup>[39]</sup>研究发现,在 SIFK 患者中,有 74% 的患者存在 MMPRT。许志阳<sup>[40]</sup>研究发现,MMPRT 会导致半月板的环向应变能力丧失,增加胫骨与股骨之间的接触压力,进而引起股骨内侧髁软骨和软骨下骨的短期退变,以及承载负荷的功能减退,最终导致 SIFK(图 1)的发生。Walsh 等<sup>[41]</sup>研究发现,SIFK 的程度可能与骨关节炎的病情进展密切相关,尤其是在 MMPRT 患者中。MMPRT 的持续时间延长,可能会引起严重的骨髓水肿或 SIFK<sup>[42]</sup>。一旦发生 SIFK,继发性骨坏死、软骨下骨塌陷和骨关节炎的发生风险将增加<sup>[43]</sup>。MMPRT 与半月板突出密切相关,半月板突出容易诱发 SIFK<sup>[44]</sup>。

黄晓康<sup>[45]</sup>研究发现,半月板突出的程度不仅与 SIFK 病变体积呈线性相关,还影响 SIFK 病变范围的发展。因此,早期诊断 MMPRT 是临床中不容忽视的问题。

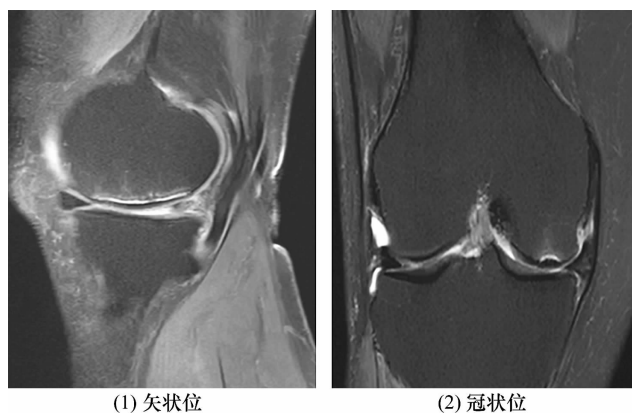


图 1 内侧半月板后根撕裂继发膝关节软骨下骨不全骨折 MRI

#### 4 MMPRT 的临床表现和诊断方法

MMPRT 的临床表现主要包括膝关节肿胀、疼痛、关节积液和活动受限。由于相关症状和体征的敏感性和特异性有限,明确诊断 MMPRT 可能是一项复杂且具有挑战性的任务<sup>[1-2]</sup>。随着对 MMPRT 损伤后生物力学研究的深入,临床越来越重视使用 MRI 早期诊断 MMPRT<sup>[46]</sup>。MRI 是诊断 MMPRT 及其伴随病理变化的首选方式,其中 T2WI 或质子密度加权图像是首选序列<sup>[47-48]</sup>。MMPRT 的 MRI 表现主要包括以下几种:在横断位上,内侧半月板后根部可见圆形或放射状缺损区<sup>[49]</sup>;在矢状位上,内侧半月板后根消失,即所谓的“幽灵征”[图 2(1)];在冠状位上,可见“裂隙征”或“截断征”[图 2(2)],提示半月板后根部存在线性撕裂<sup>[50]</sup>。尽管 MRI 在诊断 MMPRT 方面具有较高的敏感性和特异性,但仍有可能遗漏部分撕裂。因此,关节镜检查仍然是诊断 MMPRT 的重要方法<sup>[24]</sup>。此外,超声检查也可用于观察半月板后根的损伤情况<sup>[49]</sup>。

#### 5 MMPRT 的分型方法

MMPRT 最常用的分型方法是 LaPrade 分型(图 3),其包括 5 种类型<sup>[51]</sup>: I 型,半月板后根部分

撕裂(占有所有 MMPRT 的 7%); II 型,半月板后根附着中心 9 mm 范围内的完全径向撕裂(占有所有 MMPRT 的 67.6%); III 型,半月板后根桶柄状撕裂伴后根完全脱离(占有所有 MMPRT 的 5.6%),根据裂孔距半月板后根附着点中心的距离又分为 3 个亚型,即 III A 型(0~2 mm)、III B 型(3~6 mm)、III C 型(7~9 mm); IV 型,半月板后根斜向撕裂伴后根完全脱离(占有所有 MMPRT 的 9.9%); V 型,半月板后根胫骨平台附着区撕脱性骨折(占有所有 MMPRT 的 9.9%)。

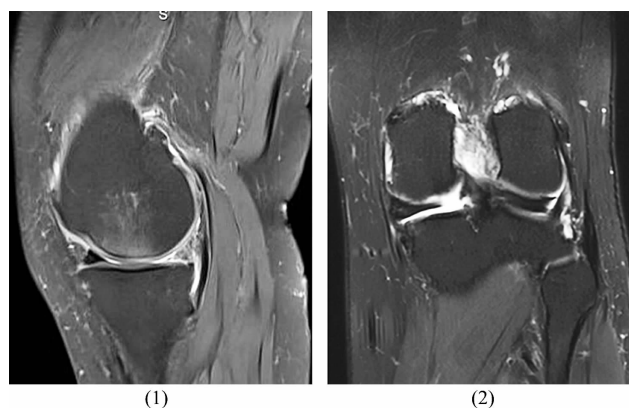


图 2 内侧半月板后跟撕裂的“幽灵征”和“裂隙征”或“截断征”MRI

#### 6 MMPRT 的治疗方法

目前,MMPRT 的常用治疗方法有 4 种:非手术治疗、半月板部分切除术、半月板修复术和胫骨高位截骨术(high tibial osteotomy, HTO)<sup>[52]</sup>。其中,半月板修复术是治疗 MMPRT 最主要的方法,其目的是通过缝合复位半月板后根,保留半月板的结构并恢复其生物力学功能,以减少软骨及软骨下骨的磨损,从而预防膝骨关节炎的发生或延缓其发展<sup>[53]</sup>。Allaire 等<sup>[15]</sup>研究发现,内侧半月板后根被切除的 MMPRT 患者,其膝关节内侧间室的峰值接触压力较正常状态增加了 25%,而通过修复手术可使膝关节内侧间室的峰值接触压力恢复正常。因此,对于 MMPRT 患者,应尽早进行手术干预<sup>[54]</sup>。在手术过程中,应尽可能将半月板后根复位并固定,以恢复半月板的功能。目前,用



图 3 内侧半月板后根撕裂的 LaPrade 分型

于固定半月板后根的技术主要包括缝合锚技术和经胫骨隧道 pull-out 技术。此外,中央化技术也被用于辅助治疗 MMPRT。

### 6.1 缝合锚修补术

缝合锚修补术通过将锚钉置入半月板的解剖止点来固定半月板后根部,以实现最小化的悬吊长度。该修补术利用辅助的后内侧或后外侧入路,可以更准确地将锚钉置入半月板后根附着部位,同时也有助于缝合通道穿过撕裂的半月板后根部,但这种方法可能存在血管或神经损伤的风险<sup>[55]</sup>。

### 6.2 经胫骨隧道 pull-out 技术

经胫骨隧道 pull-out 技术能够实现更好的解剖复位,对于恢复半月板的稳定性和膝关节的运动功能至关重要<sup>[56-57]</sup>。该技术的简要操作流程为:先从胫骨近端前侧向上钻 1 个隧道,穿过内侧半月板后根的附着处,缝合撕裂部位,并通过胫骨隧道将缝线拉出;然后拉紧缝线,将半月板后根固定到正确的解剖位置;最后使用带袢钢板将缝线固定于隧道外。这种技术有助于避免损伤血管或神经,但如果缝线固定的张力不当,可能会导致缝线磨损,甚至出现“蹦极”现象。由于 pull-out 技术治疗 MMPRT 的成功率较高,其临床较为常用。MMPRT 可能导致患者在屈曲膝关节时出现病理性胫骨外旋,而通过经胫骨隧道 pull-out 技术可以恢复内侧半月板的功能,并抵抗胫骨外旋,从而恢复患者的生理性胫骨内旋<sup>[58-59]</sup>。在建立胫骨隧道的过程中溢出的骨髓,可能含有生长因子、骨髓间充质干细胞及其他生物活性物质,这些成分有助于 MMPRT 的修复,促进半月板后根与胫骨平台附着点的骨性愈合,从而加速术后恢复的进程<sup>[60]</sup>。经过新鲜化处理的内侧半月板后根与胫骨隧道上的钻孔紧密相连,这有利于骨-腱愈合,可以在提高愈合率的同时,增加愈合后的稳定性,能够有效避免二次损伤<sup>[61]</sup>。

### 6.3 中央化技术

MMPRT 会影响半月板对膝关节轴向应力的吸收和传递,导致膝关节表面应力异常,进而引起关节软骨和软骨下骨的磨损<sup>[62]</sup>。研究<sup>[63-65]</sup>表明,采用中央化技术治疗 MMPRT,能够将膝关节的最大负荷和接触压力恢复至接近正常的水平,从而恢复半月板的功能,使其能够有效承重并分散应力。

### 6.4 HTO

HTO 是膝关节周围截骨矫形术的一种,主要用于

治疗伴有下肢内翻畸形的膝关节内侧骨关节炎,可以有效改善膝关节的症状<sup>[66]</sup>。MMPRT 会导致下肢力线内移,可能引发膝内翻畸形,进而造成膝内侧间室软骨损伤<sup>[18]</sup>。当膝关节存在内翻畸形时,应力会集中于膝关节内侧间室,使关节软骨和内侧半月板承受更大的挤压力,可导致软骨和半月板损伤加速进展,最终发展为膝骨关节炎。这种情况常伴随 MMPRT,单纯缝合或者半月板中央化的效果均不理想,因此需要纠正下肢力线<sup>[67]</sup>。HTO 通过纠正下肢力线,将应力转移至相对正常的膝关节外侧间室,从而减轻膝关节内侧间室的负荷,有助于缓解疼痛并促进撕裂的半月板修复<sup>[68]</sup>。Ke 等<sup>[69]</sup>研究发现,对存在膝内翻畸形的 MMPRT 患者进行 HTO,可以恢复膝关节的功能并提高临床疗效。Itou 等<sup>[70]</sup>研究发现,即使在合并中度膝内翻畸形的 MMPRT 患者中,内侧楔形 HTO 也能取得良好的效果。谢国庆等<sup>[71]</sup>研究发现,HTO 联合关节镜技术治疗膝内侧骨关节炎合并 MMPRT,可在关节镜下有效切除内侧半月板病变组织,改善膝关节腔内环境,延缓膝骨关节炎的进展,并恢复半月板的生物力学功能。

### 6.5 单髁置换和全膝关节置换术

MMPRT 后应尽快进行手术,以保留半月板的功能。虽然半月板部分切除术的短期效果良好,但应考虑其可能在术后长期内加剧膝骨关节炎的发展<sup>[3]</sup>。对于合并轻度膝内翻畸形和骨关节炎的 MMPRT 患者,需要纠正下肢力线,可考虑进行 HTO。但是,对于膝骨关节炎晚期、局灶性软骨损伤、膝关节在冠状位和矢状位上严重对线不良,以及膝关节不稳定的患者,可能更适合进行单髁置换或全膝关节置换术<sup>[47]</sup>。

## 7 小 结

MMPRT 会导致胫骨和股骨的峰值接触压力增加,影响半月板的功能,进而造成膝关节软骨和软骨下骨损伤。一旦发生 SIFK,继发性骨坏死、软骨下骨塌陷和快速进展性骨关节炎的发生风险就会增加。因此,应对 MMPRT 给予足够的重视,实现早期发现和早期治疗。MRI 在诊断 MMPRT 方面具有较高的敏感性和特异性,是首选的影像学诊断方法。经胫骨隧道 pull-out 技术是目前治疗 MMPRT 最常用的手术方法,具有成功率较高和并发症少的优点<sup>[56]</sup>。由于多数 SIFK 是由 MMPRT 漏诊引起的,一旦发生 MMPRT,应尽早进行半月板后根的修复手术。

## 参考文献

- [1] 任富继, 吴疆, 黄竞敏. 内侧半月板后根部撕裂与胫骨旋转病理机制和临床关联性的研究进展[J]. 中国修复重建外科杂志, 2024, 38(3): 368 – 372.
- [2] MOON H S, CHOI C H, JUNG M, et al. Medial meniscus posterior root tear: how far have we come and what remains? [J]. Medicina(Kaunas), 2023, 59(7): 1181.
- [3] 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.
- [4] LANGHANS M T, LAMBA A, SARIS D B F, et al. Meniscal extrusion: diagnosis, etiology, and treatment options [J]. Curr Rev Musculoskelet Med, 2023, 16(7): 316 – 327.
- [5] BANOVTZ M T, ROETHKE L C, RODRIGUEZ A N, et al. Meniscal root tears: a decade of research on their relevant anatomy, biomechanics, diagnosis, and treatment [J]. Arch Bone Jt Surg, 2022, 10(5): 366 – 380.
- [6] ESPEJO-REINA A, PRADO-NOVOA M, ESPEJO-BAENA A, et al. Biomechanical consequences of anterior root detachment of the lateral meniscus and its reinsertion[J]. Sci Rep, 2022, 12(1): 6182.
- [7] SHIMOMURA K, HAMAMOTO S, HART D A, et al. Meniscal repair and regeneration: current strategies and future perspectives[J]. J Clin Orthop Trauma, 2018, 9(3): 247 – 253.
- [8] PEREIRA H, FATIH CENGİZ I, GOMES S, et al. Meniscal allograft transplants and new scaffolding techniques [J]. EFORT Open Rev, 2019, 4(6): 279 – 295.
- [9] OZEKI N, SEIL R, KRYCH A J, et al. Surgical treatment of complex meniscus tear and disease: state of the art [J]. J ISAKOS, 2021, 6(1): 35 – 45.
- [10] 热发提·尼加提, 曾勇涛, 刘旭, 等. 内侧半月板后根撕裂合并外突的研究进展[J]. 实用骨科杂志, 2024, 30(8): 722 – 726.
- [11] PERELLI S, MORALES AVALOS R, MASFERRER-PINO A, et al. Anatomy of lateral meniscus [J]. Ann Jt, 2022, 7: 16.
- [12] CHANG T Y, YANG T H, LIN K Y. Biomechanical analysis of four different meniscus suturing techniques for posterior meniscal root pull-out repair: A human cadaveric study[J]. J Exp Orthop, 2024, 11(3): e70020.
- [13] SHELBURNE K B, KIM H J, STERETT W I, et al. Effect of posterior tibial slope on knee biomechanics during functional activity[J]. J Orthop Res, 2011, 29(2): 223 – 231.
- [14] 张云轩, 杨文博, 徐前坤, 等. 半月板中央化的研究进展[J]. 生物骨科材料与临床研究, 2022, 19(5): 66 – 70.
- [15] 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.
- [16] MARSH C A, MARTIN D E, HARNER C D, et al. Effect of posterior horn medial meniscus root tear on in vivo knee kinematics [J]. Orthop J Sports Med, 2014, 2(7): 2325967114541220.
- [17] ISHII Y, ISHIKAWA M, KURUMADANI H, et al. Increase in medial meniscal extrusion in the weight-bearing position observed on ultrasonography correlates with lateral thrust in early-stage knee osteoarthritis [J]. J Orthop Sci, 2020, 25(4): 640 – 646.
- [18] KYUN-HO S, HYUN-JAE R, KI-MO J, et al. Effect of concurrent repair of medial meniscal posterior root tears during high tibial osteotomy for medial osteoarthritis during short-term follow-up: a systematic review and meta-analysis [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2021, 22(1): 623.
- [19] YANG Q, ZHU X Y, BAO J Y, et al. Medial meniscus posterior root tears and partial meniscectomy significantly increase stress in the knee joint during dynamic gait [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2023, 31(6): 2289 – 2298.
- [20] FENG Y, YANG J, ZHANG M, et al. Association of spontaneous osteonecrosis of the knee with ipsilateral meniscus and posterior root tear: systematic review and meta-analysis [J]. Indian J Orthop, 2024, 58(9): 1188 – 1195.
- [21] JIANG J, LIU Z, WANG X, et al. Increased posterior tibial slope and meniscal slope could be risk factors for meniscal injuries: a systematic review [J]. Arthroscopy, 2022, 38(7): 2331 – 2341.
- [22] SAMUELSEN B T, AMAN Z S, KENNEDY M I, et al. Posterior medial meniscus root tears potentiate the effect of increased tibial slope on anterior cruciate ligament graft forces [J]. Am J Sports Med, 2020, 48(2): 334 – 340.
- [23] WANG J, PENG K, GU J, et al. A larger radius of the medial femoral posterior condyle is a risk factor for medial meniscus posterior root tears [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2024, 25(1): 616.
- [24] LAPRADE R F, FLOYD E R, CARLSON G B, et al. Meniscal root tears: solving the silent epidemic [J]. J Arthrosc Surg Sports Med, 2021, 2: 47 – 57.
- [25] 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.
- [26] KHOO J R, YAU W P. Repair of meniscus root tear—Is there a difference between medial meniscus root repair and lateral meniscus root repair? A systematic review and meta-analysis[J]. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 2023, 31(2): 10225536231175233.
- [27] HIRANAKA T, FURUMATSU T, OKAZAKI Y, et al. Bilateral anterior cruciate ligament tear combined with medial meniscus posterior root tear [J]. *Acta Med Okayama*, 2019, 73(6): 523 – 528.
- [28] KIM Y J, KIM J G, CHANG S H, et al. Posterior root tear of the medial meniscus in multiple knee ligament injuries[J]. *Knee*, 2010, 17(5): 324 – 328.
- [29] LAPRADE R F, HO C P, JAMES E, et al. Diagnostic accuracy of 3.0 T magnetic resonance imaging for the detection of meniscus posterior root pathology[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2015, 23(1): 152 – 157.
- [30] TASHIRO Y, MORI T, KAWANO T, et al. Meniscal ramp lesions should be considered in anterior cruciate ligament-injured knees, especially with larger instability or longer delay before surgery[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28(11): 3569 – 3575.
- [31] BROPHY R H, STEINMETZ R G, SMITH M V, et al. Meniscal ramp lesions: anatomy, epidemiology, diagnosis, and treatment[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2022, 30(6): 255 – 262.
- [32] CRISTIANI R, VAN DE BUNT F, KVIST J, et al. High prevalence of meniscal ramp lesions in anterior cruciate ligament injuries[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2023, 31(1): 316 – 324.
- [33] BAE B S, YOO S, LEE S H. Ramp lesion in anterior cruciate ligament injury: a review of the anatomy, biomechanics, epidemiology, and diagnosis [J]. *Knee Surg Relat Res*, 2023, 35(1): 23.
- [34] WILLINGER L, ATHWAL K K, HOLTHOF S, et al. Role of the anterior cruciate ligament, anterolateral complex, and lateral meniscus posterior root in anterolateral rotatory knee instability: a biomechanical study [J]. *Am J Sports Med*, 2023, 51(5): 1136 – 1145.
- [35] KODAMA Y, FURUMATSU T, TAMURA M, et al. Steep posterior slope of the medial tibial plateau and anterior cruciate ligament degeneration contribute to medial meniscus posterior root tears in young patients[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2023, 31(1): 279 – 285.
- [36] 沈茂荣, 王平, 沈欣欣, 等. 膝关节自发性骨坏死相关机制的研究进展[J]. *中医临床研究*, 2021, 13(18): 113 – 116.
- [37] FUJISAWA T, CHOE H, KUSABA Y, et al. Medial meniscus extrusion and stage are related to the size of spontaneous osteonecrosis of the knee in patients who underwent high tibial osteotomy[J]. *Knee*, 2022, 36: 72 – 79.
- [38] CLARK S C, PAREEK A, HEVESI M, et al. High incidence of medial meniscus root/radial tears and extrusion in 253 patients with subchondral insufficiency fractures of the knee[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2024, 32(11): 2755 – 2761.
- [39] PAREEK A, PARKES C W, BERNARD C, et al. Spontaneous osteonecrosis/subchondral insufficiency fractures of the knee: high rates of conversion to surgical treatment and arthroplasty[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2020, 102(9): 821 – 829.
- [40] 许志阳. 半月板病变和胫骨近端形态与膝关节自发性骨坏死的相关性研究[D]. 福州: 福建医科大学, 2019.
- [41] WALSH D A, SOFAT N, GUERMAZI A, et al. Osteoarthritis bone marrow lesions [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2023, 31(1): 11 – 17.
- [42] OKAZAKI Y, FURUMATSU T, HIRANAKA T, et al. Medial meniscus posterior root repair prevents the progression of subchondral insufficiency fracture of the knee[J]. *J Orthop Sci*, 2021, 26(6): 1051 – 1055.
- [43] OKAZAKI Y, FURUMATSU T, HIRANAKA T, et al. Grade of subchondral insufficiency fracture of the knee and the presence of a posterior shiny-corner lesion are correlated with duration of medial meniscus posterior root tear in women[J]. *Acta Med Okayama*, 2022, 76(2): 121 – 127.
- [44] MUSBAHI O, WADDELL L, SHAH N, et al. Subchondral insufficiency fractures of the knee: a clinical narrative review[J]. *JBJS Rev*, 2023, 11(10): 00084.
- [45] 黄晓康. 骨密度和半月板病变与膝关节软骨下不全骨折的相关性研究[D]. 福州: 福建医科大学, 2020.
- [46] HANTOULY A T, AMINAKE G, KHAN A S, et al. Meniscus root tears: state of the art[J]. *Int Orthop*, 2024, 48(4): 955 – 964.
- [47] KRYCH A J, HEVESI M, LELAND D P, et al. Meniscal root injuries[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2020, 28(12): 491 – 499.
- [48] KAMATSUKI Y, FURUMATSU T, HIRANAKA T, et al. Epidemiological features of acute medial meniscus posterior root tears[J]. *Int Orthop*, 2023, 47(10): 2537 – 2545.



- [49] SHARAFAT VAZIRI A, AGHAGHAZVINI L, JAHANGIRI S, et al. Determination of normal reference values for meniscal extrusion using ultrasonography during the different range of motion: a pilot, feasibility study [J]. *J Ultrasound Med*, 2022, 41(11): 2715–2723.
- [50] 苏家荣, 孙铁铮. 内侧半月板后根撕裂研究进展 [J]. *中国运动医学杂志*, 2021, 40(9): 721–728.
- [51] LAPRADE C M, JAMES E W, CRAM T R, et al. Meniscal root tears: a classification system based on tear morphology [J]. *Am J Sports Med*, 2015, 43(2): 363–369.
- [52] 骆巍, 黄竞敏, 吴疆, 等. 内侧半月板后根撕裂的研究进展 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2023, 31(12): 1097–1101.
- [53] KAWADA K, FURUMATSU T, TAMURA M, et al. Medial joint space narrowing progresses after pullout repair of medial meniscus posterior root tear [J]. *Int Orthop*, 2023, 47(10): 2401–2407.
- [54] FAUCETT S C, GEISLER B P, 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 [J]. *Am J Sports Med*, 2019, 47(3): 762–769.
- [55] VON REHLINGEN-PRINZ F, RILK S, GOODHART G C, et al. Double-anchor stapled repair of the medial meniscus posterior root [J]. *Arthrosc Tech*, 2024, 13(10): 103076.
- [56] FURUMATSU T, OKAZAKI Y, KODAMA Y, et al. Pullout repair using modified Mason-Allen suture induces better meniscal healing and superior clinical outcomes: A comparison between two surgical methods [J]. *Knee*, 2019, 26(3): 653–659.
- [57] PANGAUD C, RARCHAERT M, BELGAID V, et al. An anatomical study of the meniscal roots of the knee: landmarks for its surgical reconstruction and implications for knee surgeons [J]. *Surg Radiol Anat*, 2022, 44(7): 971–977.
- [58] 任富继, 吴疆, 赵栋, 等. 拨号试验——内侧半月板后根部撕裂未识别的预测因素 [J]. *中国运动医学杂志*, 2024, 43(5): 335–340.
- [59] HIRANAKA T, FURUMATSU T, OKAZAKI Y, et al. Post-operative external tibial rotation is correlated with inferior meniscal healing following pullout repair of a medial meniscus posterior root tear [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2022, 30(4): 1491–1498.
- [60] DEAN R S, DEPHILLIPO N N, MONSON J K, et al. Peripheral stabilization suture to address meniscal extrusion in a revision meniscal root repair: surgical technique and rehabilitation protocol [J]. *Arthrosc Tech*, 2020, 9(8): e1211–e1218.
- [61] 张理选, 霍佳邦, 郭汉明, 等. 两种股骨隧道止点在单束前交叉韧带解剖重建术中的应用效果比较 [J]. *临床骨科杂志*, 2023, 26(4): 523–527.
- [62] WU T Y. Arthroscopic medial meniscus posterior root repair with centralization using knotless suture anchors [J]. *Arthrosc Tech*, 2022, 11(4): e661–e668.
- [63] OZEKI N, KOGA H, MATSUDA J, et al. Biomechanical analysis of the centralization procedure for extruded lateral menisci with posterior root deficiency in a porcine model [J]. *J Orthop Sci*, 2020, 25(1): 161–166.
- [64] KUBOTA R, KOGA H, OZEKI N, et al. The effect of a centralization procedure for extruded lateral meniscus on load distribution in porcine knee joints at different flexion angles [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2020, 21(1): 205.
- [65] KOHNO Y, KOGA H, OZEKI N, et al. Biomechanical analysis of a centralization procedure for extruded lateral meniscus after meniscectomy in porcine knee joints [J]. *J Orthop Res*, 2022, 40(5): 1097–1103.
- [66] 贾科江, 关津京, 宋志勇, 等. 胫骨内侧高位截骨联合关节镜下清理术治疗膝内侧单间室骨关节炎 [J]. *临床骨科杂志*, 2021, 24(3): 362–365.
- [67] WILLINGER L, LANG J J, 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.
- [68] 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): 2309499019888836.
- [69] KE X, QIU J, CHEN S, et al. Concurrent arthroscopic meniscal repair during open-wedge high tibial osteotomy is not clinically beneficial for medial meniscus posterior root tears [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2021, 29(3): 955–965.
- [70] ITOU J, KUWASHIMA U, ITOH M, et al. High tibial osteotomy for medial meniscus posterior root tears in knees with moderate varus alignment can achieve favorable clinical outcomes [J]. *J Exp Orthop*, 2022, 9(1): 65.
- [71] 谢国庆, 金文孝, 杨坤, 等. 胫骨高位截骨术与单髁置换术治疗膝内侧单间室骨关节炎的疗效 [J]. *临床骨科杂志*, 2021, 24(2): 211–215.

(收稿日期: 2024-10-01 本文编辑: 郭毅曼)