

# 膝单髁置换术中髌股关节运动轨迹的相关研究进展

吕世民 杨阳\*

承德医学院附属医院关节外科 河北承德 067000

**摘要:** 膝关节单髁置换术 (Unicompartmental Knee Arthroplasty, UKA) 因其手术创伤小、手术并发症风险低、术后恢复快以及本体感觉良好等优点, 成为膝关节骨性关节炎治疗中的重要选择。髌股关节作为膝关节的重要组成部分, 其运动轨迹在 UKA 术后可能发生一定程度上的改变, 对术后临床疗效和长期功能恢复具有重要影响。本文就髌股关节的运动轨迹、相关影响因素和未来方向进行综述。

**关键词:** 膝关节骨性关节炎; 膝单髁置换; 髌股关节; 运动轨迹

膝关节骨性关节炎 (Knee Osteoarthritis, KOA) 是膝关节最常见的退行性疾病之一, 常累及单侧膝关节间室, 主要临床表现为关节疼痛、僵硬以及关节畸形等, 随着疾病的进展将严重影响日常生活。当疾病进展到后期, 常规的保守治疗不足以满足患者的需求, 此时, 手术治疗成为了必要的选择。常见的膝关节手术治疗方式包括膝关节单髁置换术 (Unicompartmental Knee Arthroplasty, UKA) 以及全膝关节置换术 (Total Knee Arthroplasty, TKA)。其中, UKA 作为一种针对膝关节单一间室病变的成熟手术治疗方式, 相较于 TKA, UKA 具有手术创伤小、手术并发症风险低、术后恢复快以及保留较好本体感觉等优点<sup>[1,2]</sup>。

尽管 UKA 保留了大部分的膝关节结构, 但其对髌股关节运动轨迹的影响仍是临床和研究中广泛关注的问题。髌股关节作为膝关节的重要组成部分, 其运动轨迹的异常变化可能导致髌骨-股骨接触压力分布不均, 进而引起疼痛、功能障碍等并发症。<sup>[3]</sup> 因此, 本文旨在探讨 UKA 术后髌股关节运动轨迹的相关研究进展, 深入理解 UKA 术后髌骨运动轨迹的变化, 为优化手术技术、提升术后康复效果提供一定的理论依据。

## 1. 髌股关节的运动轨迹

髌股关节位于髌骨与股骨髁之间, 正常情况下, 髌骨在股骨滑车沟内平滑滑动, 其运动轨迹在膝关节屈伸活动中呈现复杂的曲线变化。髌骨的运动轨迹受到股四头肌、髌韧带及周围软组织的共同影响。当轨迹发生异常时, 可能导致接触面积减少、髌骨倾斜、脱位或半脱位, 从而引起关节面应力分布不均, 进而加速关节磨损<sup>[4]</sup>。因此, 髌骨的稳定性

对保持正常的髌股关节运动轨迹至关重要。

早期评估髌股关节的对合关系主要依赖于 CT 及膝关节 X 线片 (包括前后位、侧位以及轴位), 结合二维静态影像学测量, 如髌骨倾斜角、髌骨合适角、髌骨外侧移位及胫骨结节-股骨滑车 (Tibial Tubercle-Trochlear Groove, TT-TG) 距离等进行评价。Dejour H 等人通过影像学分析提出了髌骨上移、滑车发育不良、胫骨结节-股骨滑车 (Tibial Tubercle-Trochlear Groove, TT-TG) 距离增加、髌骨异常外侧倾斜四个主要的髌骨不稳危险因素<sup>[5]</sup>。随着动态 MRI 以及计算机技术的发展, 研究者们能够在运动过程中实时观察髌股关节的运动轨迹, 并通过动态影像学分析髌骨在不同屈膝角度下的运动。三维建模和运动捕捉技术也已逐步应用于临床实践。例如, Shi B 等人<sup>[6]</sup> 提出了一种利用三维医学影像模拟膝关节运动模型的方法, 这些技术使得髌股关节运动的定量分析成为可能, 帮助研究者能够更精确地评估假体设计、手术技术和术后恢复对髌股关节功能的影响。

## 2. UKA 对髌股关节运动轨迹的影响

近年来, 越来越多的研究表明, UKA 假体的长期在位率已经达到了令人满意的数字。Price AJ 等人的研究表明, UKA 假体 10 年及 15 年的在位率分别达到 95% 和 94%<sup>[7]</sup>。国内王冰等人的研究也表明 512 例患者中 5 年的假体在位率达到了 92.2%<sup>[8]</sup>。尽管影响 UKA 术后效果与中远期翻修的因素众多<sup>[9]</sup>, 其中髌股关节问题通常被认为是 UKA 术后临床效果不良及翻修的潜在因素, 但近些年来, 学者们逐渐认为髌股关节炎并非 UKA 绝对禁忌症, 同时指出 Kozinn 和 Scott 等提出的手术适应症过于严苛<sup>[1,10]</sup>。但是髌股关节始终

是 UKA 术前评估及可能影响预后的重要因素之一<sup>[11, 12]</sup>。

与 TKA 不同, UKA 通常保留部分原有髌股关节结构, 这使得髌骨能够在屈膝过程中更好地沿着股骨的正常轨迹滑动。通过对关节间隙的调整, UKA 能够促进髌骨在运动过程中的滑动, 减少磨损和损伤。Miller 等人<sup>[13]</sup>将 UKA 术后髌股关节症状改善的原因描述为: 术前膝关节内翻畸形增加了髌股内侧关节的负荷, 膝关节屈曲时, 股骨内侧髌上的骨赘与髌骨发生撞击。UKA 矫正了内翻畸形, 减轻内侧负荷, 去除骨赘, 缓解了疼痛。

此外, UKA 不仅矫正了关节力线, 还恢复了膝关节的正常负荷分布。膝关节内侧或外侧的软骨和骨质损伤常会导致应力集中在髌股关节的某些区域。UKA 通过替换受损的关节面, 均匀分配负荷, 减轻髌骨在运动过程中所承受的过度应力, 并通过调整关节的机械轴线, 减少关节内外失衡所带来的髌骨外侧或内侧偏移。这种力线的矫正对恢复髌骨的正常应力分布至关重要。Kwon 等人<sup>[14]</sup>通过有限元分析 (Finite Element Analysis, FEA) 评估内侧 UKA 后的接触应力和股四头肌肌力, 以 2mm 的间隔将关节线分为从 -6-6mm 的平面, 并在 ISO 步态加载条件下对 7 种有限元模型进行了分析和比较, 发现 2mm 和 4mm 关节线位置的聚乙烯 (PE) 垫片、关节软骨和外侧半月板的接触应力与参考关节线 (0mm) 相匹配, 在 -6mm 关节线上, PE 垫片的接触应力高于关节软骨的接触应力。

UKA 假体的设计、安装角度和术后关节对齐度也会影响髌股关节的应力分布。由于每位患者的解剖结构不同, 假体设计可能无法与每位患者的髌股关节完美匹配。如果假体的设计不理想或安放不精确, 则可能导致髌骨运动轨迹偏离正常路线。谷天蕴等人<sup>[15]</sup>通过 3D 建模、DFIS 扫描获得动态 2D 影像和 4D 运动分析, 发现 UKA 术后患侧髌骨的明显前移可能会导致与股骨的接触面积减少, 髌骨关节应力增加, 从而引起软骨退变和疼痛。这进一步说明了髌股关节运动轨迹的异常对膝关节正常生理活动及应力分布的影响。常见的 UKA 假体包括固定轴承 (Fixed-bearing, FB) 假体和移动轴承 (Mobile-bearing, MB) 假体。一项研究表明, MB UKA 可以更好的恢复正常的膝关节运动学, 理论上可以转化为更好的髌骨轨迹和长期预后<sup>[16]</sup>。使用牛津膝关节系统的多项研究表明, 术前膝关节前部疼痛和中度髌股关节炎都不会影响 MB UKA 后患者长期临床结果和生存<sup>[17,18,19]</sup>。

虽然两种假体在疗效上的效果评价都很确切, 但在术后髌股关节轨迹的变化上仍存在差异。Kwon 等人<sup>[20]</sup>评估了髌股关节上使用固定轴承假体和移动轴承假体的内侧 UKA 的生物力学效果, 发现在早期的屈膝角度下, FB 和 MB 内侧 UKA 模型的接触应力结果没有显著差异, 但相较术前, 患者需要更大的股四头肌力量才能屈曲到相同的角度。在高度屈膝角度下, FB 模型的接触应力和股四头肌肌力显著增加。

### 3. 未来方向

近些年来关于 UKA 中髌股关节运动轨迹的研究取得了一定进展, 但是仍存在一些挑战和问题: (1) 个性化手术方案: 如何根据患者的具体情况制定个性化的软组织平衡方案和假体选择, 仍需要进一步研究。(2) 新型假体设计: 开发更符合生物力学特性的假体, 尤其是优化髌骨滑槽设计, 是未来研究的重要方向。(3) 多模态评估方法: 结合影像学检查和临床评估, 建立更全面、准确的髌股关节运动轨迹评估体系, 将有助于提高手术效果和患者术后满意度。

### 4. 总结

UKA 作为一种有效的膝关节微创手术, 对髌股关节运动轨迹的影响不容忽视。通过优化手术技术和假体设计, 可以有效改善髌股关节的运动轨迹, 提高手术效果和患者术后满意度。未来, 随着研究的不断深入和技术的不断发展, UKA 在髌股关节运动轨迹方面的研究有望取得更多突破, 为患者提供更优质的治疗效果和生活质量。

### 参考文献:

- [1] Murray, D.W. and R.W. Parkinson. Usage of unicompartmental knee arthroplasty. *The Bone & Joint Journal*, 2018. 100-B(4): p. 432-435.
- [2] 郭万首, 张启栋, 刘朝晖, 等. 小切口单髁置换术治疗膝关节内侧间室骨关节炎 94 膝的中短期疗效研究. *中国矫形外科杂志*, 2011, 19(17):1412-1415.
- [3] 谷天蕴, 郑楠, 邹第洋, 等. 单髁膝关节置换术后髌股关节表现出更大的内旋、内翻和内侧脱位 [J]. *医用生物力学*, 2024, 39(S1):599.
- [4] Wheatley, M.G.A., M.J. Rainbow, and A.L. Clouthier. Patellofemoral Mechanics: a Review of Pathomechanics and Research Approaches. *Current Reviews In Musculoskeletal Medicine*, 2020. 13(3): p. 326-337.

- [5] Dejour, H., et al. Factors of patellar instability: an anatomic radiographic study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy : Official Journal of the ESSKA*, 1994. 2(1): p. 19–26
- [6] Shi, B., et al. Automatic generation of knee kinematic models from medical imaging. *Computer Methods and Programs In Biomedicine*, 2024. 256: p. 108370.
- [7] Price AJ, Waite JC, Svard U. Long-term clinical results of the medial Oxford unicompartmental knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2005;435:171 - 180.
- [8] 王冰, 于秀淳, 孙海宁等. 人工单髁关节置换治疗膝内侧间室骨性关节炎临床疗效分析 [J]. *生物骨科材料与临床研究*, 2020,17(05):15–20.
- [9] Walter, N., et al. Revision arthroplasty after unicompartmental knee arthroplasty. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 2021. 16(1): p. 666.
- [10] Kozinn SC, Scott R. Unicompartmental knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 1989 Jan;71(1):145–150.
- [11] Beard D J, Pandit H, Gill H S, et al. Murray D W. Pre-operative clinical and radiological assessment of the patellofemoral joint in unicompartmental knee replacement and its influence on outcome. *J Bone Joint Surg Br*, 2007, 89: 1602–1607.
- [12] Munk S, Odgaard A, Madsen F, et al. Preoperative lateral subluxation of the patella is a predictor of poor early outcome of Oxford phase-III medial unicompartmental knee arthroplasty. *Acta Orthop*, 2011, 82(5):582–588.
- [13] Miller, R.K., et al. In vitro measurement of patellofemoral force after three types of knee replacement. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 1998. 80(5): p. 900–906.
- [14] Kwon, O.-R., et al. Importance of joint line preservation in unicompartmental knee arthroplasty: Finite element analysis. *Journal of Orthopaedic Research : Official Publication of the Orthopaedic Research Society*, 2017. 35(2): p. 347–352.
- [15] 谷天蕴, 郑楠, 邹第洋, 等. 单髁膝关节置换术后髌股关节表现出更大的内旋 内翻和内侧脱位 [J]. *医用生物力学*, 2024,39(S1):599.
- [16] Argenson, J.-N.A. and S. Parratte. The unicompartmental knee: design and technical considerations in minimizing wear. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 2006. 452: p. 137–142.
- [17] Beard, D.J., et al. Pre-operative clinical and radiological assessment of the patellofemoral joint in unicompartmental knee replacement and its influence on outcome. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 2007. 89(12): p. 1602–1607.
- [18] Hamilton, T.W., et al. Anterior knee pain and evidence of osteoarthritis of the patellofemoral joint should not be considered contraindications to mobile-bearing unicompartmental knee arthroplasty: a 15-year follow-up. *The Bone & Joint Journal*, 2017. 99-B(5): p. 632–639.
- [19] Kim, K.T., et al. Long-Term Clinical Results of Unicompartmental Knee Arthroplasty in Patients Younger than 60 Years of Age: Minimum 10-Year Follow-up. *Knee Surgery & Related Research*, 2018. 30(1): p. 28–33.
- [20] Kwon, H.M., et al. Effects of contact stress on patellofemoral joint and quadriceps force in fixed and mobile-bearing medial unicompartmental knee arthroplasty. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 2020. 15(1): p. 517.

#### 作者简介:

吕世民 (1998.09), 男, 汉族, 河北省邯郸市人, 研究生在读, 研究方向: 骨科学 (关节与运动医学)。