

人工膝关节单髁置换术治疗膝关节骨性关节炎的最新研究进展

刘蒙飞*, 陈刚*, 姜侃#, 巨啸晨#

新疆医科大学第六附属医院关节外科, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2023年3月5日; 录用日期: 2023年3月29日; 发布日期: 2023年4月7日

摘要

人工单髁膝关节置换术(UKA)作为一种新的膝关节置换方式, 是治疗孤立性内侧单室性膝关节炎患者的最佳选择。可有效减少手术暴露、减少失血、保留天然关节运动学和本体感觉、加速术后恢复和兼顾成本效益。尽管UKA后早期并发症相对较低, 但在远期随访中, 无论是固定平台UKA还是活动平台的UKA, 均表现出来比全膝关节置换术(TKA)更高的翻修率。UKA的术后并发症是造成较短假体使用寿命和较高翻修率的主要原因。本文对UKA治疗膝关节骨性关节炎进行综述, 并讨论其未来前景。

关键词

膝关节, 骨性关节炎, 单髁置换, 全膝关节置换

The Latest Research Progress in the Treatment of Knee Osteoarthritis with Artificial Knee Single Condyle Replacement

Mengfei Liu*, Gang Chen*, Kan Jiang#, Xiaochen Ju#

Joint Surgery Department of the Sixth Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi Xinjiang

Received: Mar. 5th, 2023; accepted: Mar. 29th, 2023; published: Apr. 7th, 2023

Abstract

As a new method of knee joint replacement, artificial unicondylar knee arthroplasty (UKA) is the best choice for the treatment of patients with isolated medial univentricular knee arthritis. It can

*共同第一作者。

#通讯作者。

effectively reduce surgical exposure, reduce blood loss, preserve natural joint kinematics and proprioception, accelerate postoperative recovery and give consideration to cost-effectiveness. Although the early complications after UKA are relatively low, in the long-term follow-up, both fixed platform UKA and mobile platform UKA show a higher revision rate than total knee arthroplasty (TKA). Postoperative complications of UKA are the main reasons for shorter service life and higher revision rate of prosthesis. This article reviews the treatment of knee osteoarthritis with UKA and discusses its future prospects.

Keywords

Knee Joint, Osteoarthritis, Single Condylar Replacement, Total Knee Replacement

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

膝关节骨性关节炎(Knee osteoarthritis, KOA)是一种常见于中老年人的退行性关节疾病,其特征在于关节软骨的退化和软骨下骨的增生,其发生与年龄、肥胖、炎症、创伤及遗传等因素相关[1]。当前世界很多国家,包括中国已是人口老龄化国家, KOA 的发病率逐年增加[2]。自 20 世纪中叶以来, KOA 的患病率已翻倍[3]。研究表明,在 60 岁以上的成年人中, KOA 的发病率在男性中约为 10%,在女性中约为 13% [4],并以每年 1.4%的速度逐渐增加[5]。

据相关研究[6] [7]报道,85%的 KOA 患者存在孤立性内侧室骨关节炎,临床中此类患者也较为常见。UKA (unicondylar knee arthroplasty)是治疗孤立性内侧膝关节炎患者的一种有吸引力的替代 TKA 的手术。随着手术技术的改进和较好的前中期结果,使其得到了迅速发展。但是,UKA 中远期假体使用寿命较短和假体无菌性松动等并发症是一直存在的问题,这些并发症也会使关节外科医生对 UKA 的临床使用产生部分顾虑。本文针对 UKA 的特点、翻修、并发症、适应症、假体选择、有限元分析法进行综述。

2. UKA 的特点

UKA 始于 20 世纪 70 年代,主要应用于胫股关节单一间室的 KOA,仅对患侧间室膝关节的股骨与胫骨部分进行置换,而保留了大多数固有软组织,可以最大程度的恢复膝关节本体感觉,有效缓解膝关节疼痛并改善患者的生活质量,能够获得和 TKA 相同的手术效果[8]。一些研究指出,与 TKA 相比,UKA 的优势包括保存更多骨量、更短和更容易恢复、更低的总成本、更好的功能结果以及更自然的膝关节主观感觉[9]。因此,在过去二十年中,UKA 越来越多地用于治疗内侧室性骨关节炎[10]。由于其侵入性更小,75 岁以上接受 UKA 的患者与 TKA 相比,初期恢复更快,同时保持了可比的并发症和中期存活率。对于符合 UKA 选择标准的老年患者,应选择 UKA [11]。Marcel [12]等的研究指出,与胫骨高位截骨术(HTO)比,UKA 在功能结果、疼痛评估、翻修和并发症方面产生了更好的结果。

近年来随着假体设计的创新、手术器械的改进、微创技术的应用以及手术适应证的扩大,UKA 的使用率也逐步增加,据报道,英格兰和威尔士国家关节登记处的报告显示 2017 年 UKA 的使用率为 8.9% [13]。Bolognesi [14]等报道了美国 2000 至 2009 年 10 年间全膝置换量仅增长了 1.7 倍,而膝关节单髁置换的数量却增长了 6.2 倍。UKA 作为保膝手术的一种技术,由于其独特优势,已被广泛用于治疗 KOA [15]。UKA 的优势显得越来越明显。

3. UKA 的翻修及并发症

随着假体设计的创新、手术器械的改进、微创技术的应用, UKA 的优势也越来越明显。UKA 后早期并发症的死亡率和发病率相对较低。然而, 随着对 UKA 认识的深入, 其弊端也逐渐显露出来。在远期随访中, 无论是固定平台 UKA 还是活动平台 UKA, 均表现出来比 TKA 更高的翻修率。澳大利亚注册处 2016 年的年度报告显示, 自 1999 年以来, 已植入 46,000 多个 UKA, 10 年和 15 年的累积翻修率分别为 14.6% 和 21.0% [16]。此外, 英国国家联合注册处(NJR)在 2016 年的报告显示, 自 2003 年以来, 共植入 784,000 例 TKA 和 75,000 例 UKA, 12 年累计翻修率分别为 3.87% 和 15.0% [17]。Carlos [18]等的研究表明, UKA 假体 10 年的生存率是 94%, 而 15 年生存率是 91%。Aleto [19]等回顾了 32 例进行翻修的 UKA, 其中 15 例翻修的原因是胫骨内侧塌陷, 且主要发生于全聚乙烯假体。慢性疼痛也是 UKA 的并发症, UKA 术后疼痛可达 1 年。Robinson [20]等根据系统评价和荟萃分析的结果, 指出 UKA 手术的高翻修率与多种因素有关, 如复杂的手术过程、外科医生缺乏经验、手术过程中假体位置不当以及下肢对正不准确, 后两个因素被认为是最重要的。

UKA 并发症与多个方面有关, 比如手术因素、假体因素、患者身体状况等。VanderList [21]等进行了一项系统回顾, 以评估横向 UKA 的失效机制, 并将队列研究中的失效机制与基于登记的研究中的失效机制进行了比较。UKA 最常见的失败形式是 OA 进展(29%)、无菌性松动(23%)和假体脱位(10%)。在队列研究中, OA 进展(36%)比轴承脱位(17%)和无菌性松动(16%)更为常见, 而在基于登记的研究中, 无菌性松动(28%)比 OA 进展(24%)和假体脱位(5%)更为普遍[6] [22] [23]。Tommaso [24]等对现有文献进行了综述, 指出 UKA 最常见的并发症是内侧室 OA 的进展, 其次是假体脱位, 其他并发症包括深静脉血栓形成、假体周围感染、持续疼痛、髌股 OA 进展、无菌性松动。Postler [25]等在进行的前瞻性评估中指出无菌性松动、感染和假体周围骨折是 TKA 假体翻修的主要原因。

4. UKA 适应症与假体选择

UKA 的主要适应症是孤立的前内侧骨关节炎。当 UKA 在 20 世纪 70 年代首次引入时, 它与早期失败率高有关。1989 年, Kozinn 和 Scott [26]确定了患者选择的适应症, 包括: 1) 年龄小于 60 岁; 2) 体重小于 82 kg; 3) 不能进行剧烈的劳动; 4) 最小的基线疼痛; 5) 术前屈曲活动大于 90°、屈曲挛缩小于 5°和角畸形小于 15°。禁忌症包括髌股关节或对侧髌的骨关节炎、炎性关节炎、软骨钙沉着症和十字韧带功能不全。而坚持传统适应症限制了合格患者的数量。Hamilton [27]等的研究表明, 在接受 UKA 的 1000 名患者中, 68% 有一个或多个先前提到的禁忌症。有一个或多个禁忌症的患者和“理想”患者在 10 年时的疼痛或功能评分没有差异, 与有禁忌症的患者相比, “理想”患者中更多的患者在 10 年时功能评分较差(18%对 7%)。“禁忌症”组 15 年植入物存活率为 90.7%, “理想”组为 88.5%, 失败机制和翻修时间无差异。Deshmukh [28]等将 UKA 适应症定义为: 1) 非炎性关节炎; 2) 内翻膝关节的机械轴偏离中性点不超过 10 度; 3) 完整的前交叉韧带, 没有胫骨股骨内侧半脱位的迹象; 4) 髌股室可以出现 II 级或 III 级变化, 没有髌股症状。这些标准比传统的 Kozinn 和 Scott 标准更具包容性。随着 UKA 的逐步发展, 适应症已经扩大, 髌股关节炎、前交叉韧带异常、肥胖也不是手术的绝对禁忌症。

UKA 的假体设计一个是固定平台, 一个是移动平台。哪种平台设计更优仍然存在争议。移动平台的设计旨在通过在聚乙烯胫骨插入件和下面的金属背衬之间提供第二关节来减少与疲劳磨损相关的应力, 降低接触应力, 改善膝盖运动。Kwon [29]等使用 FEA 来对活动平台和固定平台术后受力分析进行比较, 指出活动平台聚乙烯插件的接触压力低于固定平台假体。Saccomanni [30]等在其综述中指出, 活动平台在 15 年的生存率为 93%, 固定平台在 10 年的生存率为 90%。尽管如此, Manson [31]等通过回顾性队列分析, 指出 UKA 固定平台和活动平台都经历表面磨损, 假体设计的磨损模式不同, 没有明显证据表明固

定平台和移动平台植入物之间的磨损性能更理想。Kretzer [32]等使用体外膝关节模拟器进行分析指出, 活动平台胫骨聚乙烯衬垫的下表面显示出明显的磨损。与固定平台设计相比, 活动平台显示出了更高的磨损率, 其优势无法得到证实, 而固定平台设计在磨损性能和改进的运动学方面已被提出。事实上, Parratte [33]等人对 187 例 UKA 进行了回顾性审查, 并进行了至少 15 年的随访, 并注意到活动平台出现了更多的早期并发症, 且存活率无差异。Catani [34]等通过步态分析对两种假体设计进行评估, 没有发现两者明显的差异。

5. UKA 的三维有限元研究

随着信息技术的不断发展, 利用有限元分析法(Finite element analysis, FEA)进行骨科相关的生物力学研究逐渐成熟。FEA 是利用有限数量的模拟量去模仿无限单元的真实结构, 将各形质构造数字化进行计算的过程, 是矩阵结构在力学领域中的延伸。FEA 已广泛应用于膝关节生物力学的研究中, 对膝关节的康复及外科材料的发展有重要的参考价值。利用 FEA 对膝关节进行建模, 不仅能分析膝关节的静态生物力学状态, 还能施加一定的负荷, 进行动态力学分析。

关于 UKA 后假体的研究, Koh [35]等使用 FEA 评估三种不同 UKA 设计的自然膝关节运动学的保留, 指出模拟解剖(PS)的 UKA 设计更接近自然膝关节的运动学。PS UKA 中每个组件的一致性为膝关节运动学的重要因素; Kang [36]等运用 FEA 膝关节单髁置换后股骨假体位置对聚乙烯衬垫和关节软骨压力的影响, 证明股骨远髁中心是膝关节单髁置换后股骨假体安放的最佳位置。范熹微等[37]通过 FEA 对 UKA 股骨假体及胫骨假体冠状面位置变化对于股骨及胫骨生物力学的影响进行研究, 指出在下肢力线正常、关节线不变的条件下, 膝关节内侧固定平台单髁假体放置位置为股骨假体、胫骨假体内翻、外翻角度不宜超过 3° 。

关于 UKA 后关节韧带的研究, Innocenti [38]等研究建立了一个完整尸体模型, 使用 FEA 分析由 UKA 引起的胫骨应力和韧带应变, 并指出在平衡和过度缓冲配置中内侧副韧带应变显著增加。马童[39]等采用逆向工程技术重建活动衬垫单髁假体, 加载入正常膝关节三维有限元模型, 在不同屈膝角度加载载荷, 前交叉韧带(ACL)完整或缺失情况下, 膝关节的最大接触压力和位移程度, 标准位置假体植入情况下, ACL 缺失并不会导致 UKA 术后应力异常增大, 会导致在膝关节伸直位时位移增加。

关于 UKA 关节线的研究, Kwon [40]等使用 FEA 对聚乙烯嵌件、关节软骨和外侧半月板中关节线对接触应力的影响进行了数值评估, 关节线的升高与降低对聚乙烯衬垫、关节软骨及外侧半月板压力的关系, 证明关节线在升高或降低 6 mm 时可产生较大的应力集中。Kang [41]等使用 FEA 对胫骨插入物和关节软骨的接触压力进行了虚拟活动平台 UKA, 关节线高低对活动平台 UKA 中最大接触压力的增加或减少很敏感。研究表明, 术后关节线的保留对于 UKA 患者非常重要。

虽然 FEA 是现在研究 UKA 的一个热度, 但其也存在弊端。现在一些对于 UKA 的 FEA 的研究大多采用一名志愿者, 样本量远远不够, 不能代表平均水平, 每个人的具体身体条件不同, 其所承担的负荷也不同。不同患者的病变膝关节间室结构变异很大, 病变间室所造成的临近组织病变轻重不同, 如肌肉、韧带、囊等, 这些病变组织应力传递会发生很大变化。FEA 建模是虚拟出来一个近似正常的膝关节模型, 只能显示可能的应力分布模式, 无法完全代表临床中的 KOA 患者。此外, 建模时选取的材料以及操作者的技术水平都会对应力结果产生一定的影响。研究者应在熟练掌握 FEA 的基础上具体问题具体分析。

6. 总结与展望

在过去的 50 年中, UKA 已经从一种用途有限的术式发展成为一种有效的单保膝手术选择。尽管最初被忽视, 但 UKA 正处于复兴的中期, 其复兴得益于优越的功能结果、良好的成本效益和生存率的提高。

随着人工关节技术理论的不断发展和假体设计的不断改进, UKA 的适应症在扩大, 临床疗效得到了认可, 使用趋势稳步上升。机器人、定制植入物和导航技术等手术辅助技术在 UKA 中越来越受欢迎, 因为它允许外科医生在手术过程中更准确、可重复地计划和实现手术目标, 最终目标是提高寿命和优化功能。然而, 谨慎的患者选择和手术技术的精确性仍然是成功结局的关键。

UKA 治疗 KOA 还有大量令人兴奋的未来研究方向需要追求。例如, 骨质疏松和 KOA 都是与衰老相关的常见骨疾病, 与严重的并发症和残疾相关, 并且两种疾病均依赖于骨代谢。KOA 患者的骨质疏松发生率为 40.2%, 等待关节置换术的晚期 KOA 患者中有 20%~29% 患有隐性骨质疏松[42]。骨质疏松对 UKA 的并发症发生率和 UKA 的生物力学表现都有着重要影响。对于伴有骨质疏松的患者进行 UKA 手术的临床效果国内外研究较少。在目前的人工单髁膝关节置换适应症中, 没有提及关于骨质疏松情况的描述。以往的有限元研究, 均是基于正常人建模, 骨质情况良好, 未涉及骨质疏松情况, 也没有分析骨质疏松的患者进行单髁置换的生物力学特性。因此关于 UKA 治疗伴有骨质疏松的 KOA 也可以成为未来研究的热门方向。

参考文献

- [1] Berenbaum, F., Eymard, F. and Houard, X. (2013) Osteoarthritis, Inflammation and Obesity. *Current Opinion in Rheumatology*, **25**, 114-118. <https://doi.org/10.1097/BOR.0b013e32835a9414>
- [2] Spitaels, D., Mamouris, P., Vaes, B., et al. (2020) Epidemiology of Knee Osteoarthritis in General Practice: A Registry-Based Study. *BMJ Open*, **10**, e031734. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-031734>
- [3] Swain, S., Sarmanova, A., Mallen, C., et al. (2020) Trends in Incidence and Prevalence of Osteoarthritis in the United Kingdom: Findings from the Clinical Practice Research Datalink (CPRD). *Osteoarthritis and Cartilage*, **28**, 792-801. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2020.03.004>
- [4] Primorac, D., Molnar, V., Rod, E., et al. (2020) Knee Osteoarthritis: A Review of Pathogenesis and State-of-the-Art Non-Operative Therapeutic Considerations. *Genes*, **11**, Article No. 854. <https://doi.org/10.3390/genes11080854>
- [5] Wallace, I.J., Worthington, S., Felson, D.T., et al. (2017) Knee Osteoarthritis Has Doubled in Prevalence since the Mid-20th Century. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **114**, 9332-9336. <https://doi.org/10.1073/pnas.1703856114>
- [6] Kim, K.T., Lee, S., Lee, J.I. and Kim, J.W. (2016) Analysis and Treatment of Complications after Unicompartmental Knee Arthroplasty. *Knee Surgery & Related Research*, **28**, 46-54. <https://doi.org/10.5792/ksrr.2016.28.1.46>
- [7] Hernborg, J.S. and Nilsson, B.E. (1977) The Natural Course of Untreated Osteoarthritis of the Knee. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **123**, 130-137. <https://doi.org/10.1097/00003086-197703000-00055>
- [8] Goh, G.S.-H., Bin Abd Razak, H.R., Tay, D.K.-J., et al. (2018) Unicompartmental Knee Arthroplasty Achieves Greater Flexion with No Difference in Functional Outcome, Quality of Life, and Satisfaction vs Total Knee Arthroplasty in Patients Younger than 55 Years. A Propensity Score-Matched Cohort Analysis. *The Journal of Arthroplasty*, **33**, 355-361. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2017.09.022>
- [9] 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(5): 15-20.
- [10] Kwon, H.M., Lee, J.-A., Koh, Y.-G., Park, K.K. and Kang, K.-T. (2020) Effects of Contact Stress on Patellarfemoral Joint and Quadriceps Force in Fixed and Mobile-Bearing Medial Unicompartmental Knee Arthroplasty. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **15**, Article No. 517. <https://doi.org/10.1186/s13018-020-02047-0>
- [11] Siman, H., Kamath, A.F., Carrillo, N., et al. (2017) Unicompartmental Knee Arthroplasty vs Total Knee Arthroplasty for Medial Compartment Arthritis in Patients Older than 75 Years: Comparable Reoperation, Revision, and Complication Rates. *The Journal of Arthroplasty*, **32**, 1792-1797. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2017.01.020>
- [12] Mäder, M., Beyer, F., Lützner, C. and Lützner, J. (2021) Sind die Ergebnisse von Knie totalendoprothesen nach Tibiakopfumstellungsosteotomie schlechter [Are the Results of Total Knee Arthroplasty after High Tibial Osteotomy Worse]? *Der Orthopäde*, **50**, 1026-1031. <https://doi.org/10.1007/s00132-021-04134-4>
- [13] Crawford, D.A., Berend, K.R. and Thienpont, E. (2020) Unicompartmental Knee Arthroplasty: US and Global Perspectives. *Orthopedic Clinics of North America*, **51**, 147-159. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2019.11.010>
- [14] Bolognesi, M.P., Greiner, M.A., Attarian, D.E., et al. (2013) Unicompartmental Knee Arthroplasty and Total Knee Arthroplasty among Medicare Beneficiaries, 2000 to 2009. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, **95**, e174.

- <https://doi.org/10.2106/JBJS.L.00652>
- [15] Xue, H., Tu, Y., Ma, T., *et al.* (2017) Up to Twelve Year Follow-Up of the Oxford Phase Three Unicompartmental Knee Replacement in China: Seven Hundred and Eight Knees from an Independent Centre. *International Orthopaedics*, **41**, 1571-1577. <https://doi.org/10.1007/s00264-017-3492-4>
- [16] Porter, M., Rolfson, O. and de Steiger, R. (2022) International Registries: U.K. National Joint Registry, Nordic Registries, and Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry (AOANJRR). *The Journal of Bone and Joint Surgery*, **104**, 23-27. <https://doi.org/10.2106/JBJS.22.00561>
- [17] Sabah, S.A., Henckel, J., Koutsouris, S., *et al.* (2016) Are All Metal-on-Metal Hip Revision Operations Contributing to the National Joint Registry Implant Survival Curves?: A Study Comparing the London Implant Retrieval Centre and National Joint Registry Datasets. *Bone & Joint Journal*, **98**, 33-39. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.98B1.36431>
- [18] Rodríguez-Merchán, E.C. and Gómez-Cardero, P. (2018) Unicompartmental Knee Arthroplasty: Current Indications, Technical Issues and Results. *EFORT Open Reviews*, **3**, 363-373. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.3.170048>
- [19] Aleto, T.J., Berend, M.E., Ritter, M.A., Faris, P.M. and Meneghini, M. (2008) Early Failure of Unicompartmental Knee Arthroplasty Leading to Revision. *The Journal of Arthroplasty*, **23**, 159-163. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2007.03.020>
- [20] Robinson, P.G., Clement, N.D., Hamilton, D., *et al.* (2019) A Systematic Review of Robotic-Assisted Unicompartmental Knee Arthroplasty: Prosthesis Design and Type Should Be Reported. *Bone & Joint Journal*, **101**, 838-847. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B7.BJJ-2018-1317.R1>
- [21] Van der List, J.P., Zuiderbaan, H.A. and Pearle, A.D. (2016) Why Do Lateral Unicompartmental Knee Arthroplasties Fail Today? *American Journal of Orthopedics*, **45**, 432-462.
- [22] Van der List, J.P., Zuiderbaan, H.A. and Pearle, A.D. (2016) Why Do Medial Unicompartmental Knee Arthroplasties Fail Today? *The Journal of Arthroplasty*, **31**, 1016-1021. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2015.11.030>
- [23] Inui, H., Taketomi, S., Yamagami, R., *et al.* (2016) Snapping Pes Syndrome after Unicompartmental Knee Arthroplasty. *Knee Surgery & Related Research*, **28**, 172-175. <https://doi.org/10.5792/ksrr.2016.28.2.172>
- [24] Bonanzinga, T., Tanzi, P., Altomare, D., *et al.* (2021) High Survivorship Rate and Good Clinical Outcomes at Mid-Term Follow-Up for Lateral UKA: A Systematic Literature Review. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **29**, 3262-3271. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06129-8>
- [25] Postler, A., Lützner, C., Beyer, F., Tille, E. and Lützner, J. (2018) Analysis of Total Knee Arthroplasty Revision Causes. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **19**, Article No. 55. <https://doi.org/10.1186/s12891-018-1977-y>
- [26] Kozinn, S.C. and Scott, R. (1989) Unicompartmental Knee Arthroplasty. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, **71**, 145-150. <https://doi.org/10.2106/00004623-198971010-00023>
- [27] Hamilton, T.W., Pandit, H.G., Jenkins, C., *et al.* (2017) Evidence-Based Indications for Mobile-Bearing Unicompartmental Knee Arthroplasty in a Consecutive Cohort of Thousand Knees. *The Journal of Arthroplasty*, **32**, 1779-1785. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2016.12.036>
- [28] Deshmukh, R.V. and Scott, R.D. (2001) Unicompartmental Knee Arthroplasty: Long-Term Results. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **392**, 272-278. <https://doi.org/10.1097/00003086-200111000-00035>
- [29] Kwon, O.-R., Kang, K.-T., Son, J., *et al.* (2014) Biomechanical Comparison of Fixed- and Mobile-Bearing for Unicompartmental Knee Arthroplasty Using Finite Element Analysis. *Journal of Orthopaedic Research*, **32**, 338-345. <https://doi.org/10.1002/jor.22499>
- [30] Saccomanni, B. (2010) Unicompartmental Knee Arthroplasty: A Review of Literature. *Clinical Rheumatology*, **29**, 339-346. <https://doi.org/10.1007/s10067-009-1354-1>
- [31] Manson, T.T., Kelly, N.H., Lipman, J.D., Wright, T.M. and Westrich, G.H. (2010) Unicompartmental Knee Retrieval Analysis. *The Journal of Arthroplasty*, **25**, 108-111. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2010.05.004>
- [32] Kretzer, J.P., Jakubowitz, E., Reinders, J., *et al.* (2011) Wear Analysis of Unicompartmental Mobile Bearing and Fixed Bearing Knee Systems: A Knee Simulator Study. *Acta Biomaterialia*, **7**, 710-715. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2010.09.031>
- [33] Parratte, S., Pauly, V., Aubaniac, J.-M. and Argenson, J.-N.A. (2012) No Long-Term Difference between Fixed and Mobile Medial Unicompartmental Arthroplasty. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **470**, 61-68. <https://doi.org/10.1007/s11999-011-1961-4>
- [34] Catani, F., Benedetti, M.G., Bianchi, L., *et al.* (2012) Muscle Activity around the Knee and Gait Performance in Unicompartmental Knee Arthroplasty Patients: A Comparative Study on Fixed- and Mobile-Bearing Designs. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **20**, 1042-1048. <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1620-z>
- [35] Koh, Y.-G., Park, K.-M. and Kang, K.-T. (2020) Finite Element Study on the Preservation of Normal Knee Kinematics with Respect to the Prosthetic Design in Patient-Specific Medial Unicompartmental Knee Arthroplasty. *BioMed Research International*, **2020**, Article ID: 1829385. <https://doi.org/10.1155/2020/1829385>

-
- [36] Kang, K.-T., Son, J., Koh, Y.-G., *et al.* (2018) Effect of Femoral Component Position on Biomechanical Outcomes of Unicompartmental Knee Arthroplasty. *Knee*, **25**, 491-498. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2018.03.003>
- [37] 范熹微, 聂涌, 吴元刚, 等. 膝关节内侧固定平台单髁假体放置位置优化的有限元分析[J]. 中华骨科杂志, 2020, 40(3): 169-177.
- [38] Innocenti, B., Bilgen, Ö.F., Labey, L., *et al.* (2014) Load Sharing and Ligament Strains in Balanced, Overstuffed and Understuffed UKA. A Validated Finite Element Analysis. *The Journal of Arthroplasty*, **29**, 1491-1498. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2014.01.020>
- [39] 马童, 薛华明, 文涛, 等. 单髁置换术应用于骨关节炎合并前交叉韧带缺失的三维有限元研究[J]. 生物骨科材料与临床研究, 2019, 16(3): 12-17.
- [40] Kwon, O.-R., Kang, K.-T., Son, J., *et al.* (2017) Importance of Joint Line Preservation in Unicompartmental Knee Arthroplasty: Finite Element Analysis. *Journal of Orthopaedic Research*, **35**, 347-352. <https://doi.org/10.1002/jor.23279>
- [41] Kang, K.-T., Kwon, O.-R., Son, J., *et al.* (2018) Effect of Joint Line Preservation on Mobile-Type Bearing Unicompartmental Knee Arthroplasty: Finite Element Analysis. *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, **41**, 201-208. <https://doi.org/10.1007/s13246-018-0630-2>
- [42] Lingard, E.A., Mitchell, S.Y., Francis, R.M., *et al.* (2010) The Prevalence of Osteoporosis in Patients with Severe Hip and Knee Osteoarthritis Awaiting Joint Arthroplasty. *Age and Ageing*, **39**, 234-239. <https://doi.org/10.1093/ageing/afp222>