

· 技术创新 ·

## 计算机引导机械臂单髁置换术<sup>△</sup>

张国宁, 鲁怡然, 张阳洋, 程千\*

(上海交通大学医学院附属同仁医院骨科, 上海 200336)

**摘要:** [目的] 介绍计算机引导机械臂单髁置换术 (unicondylar knee arthroplasty, UKA) 的手术技术和初步临床效果。[方法] 20例膝内侧间室骨性关节炎患者接受手术。术前采集患者膝关节CT数据, 导入天眼系统, 选出匹配假体并规划假体位置。术中应用计算机引导机械臂, 于胫骨近端打入3枚克氏针确定胫骨截骨平面, 精准截骨, 放置匹配假体, 实施计算机引导下UKA手术。术后6个月对患者膝关节功能及影像学资料进行随访, 评估手术疗效。[结果] 20例患者均顺利完成手术。手术时间平均(48.5±8.6) min, 手术出血量平均(47.5±10.1) ml。与术前相比, 术后6个月膝关节ROM [(88.9±12.3)° vs (102.8±8.4)°,  $P<0.05$ ]、KSS临床评分 [(51.4±10.3) vs (89.7±3.0),  $P<0.05$ ] 及KSS功能评分 [(41.7±14.4) vs (83.3±6.9),  $P<0.05$ ] 均较术前显著增加 ( $P<0.05$ )。[结论] 使用计算机引导机械臂进行胫骨截骨, 在UKA手术中的应用效果明确, 操作简便, 可缩短学习曲线。

**关键词:** 单髁置换, 计算机导航, 机械臂, 克氏针, 胫骨截骨

**中图分类号:** R687 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2023) 15-1420-04

**Computer-guided mechanical arm assisted unicondylar knee arthroplasty // ZHANG Guo-ning, LU Yi-ran, ZHANG Yang-yang, CHENG Qian. Department of Orthopedics, Tongren Hospital, School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200336, China**

**Abstract:** [Objective] To introduce the surgical technique and preliminary clinical outcomes of unicondylar knee arthroplasty (UKA) with tibial precise osteotomy by the mechanical arm guided by celestial eye computer surgery system. [Methods] A total of 20 patients with medial-compartment osteoarthritis of the knee received the abovesaid surgery. The CT data of patients were collected before operation, and then imported into the celestial eye system to select appropriate prosthesis and plan the position of prosthesis. During the operation, a computer guided mechanical arm was used to insert 3 Kirschner wires into the proximal tibia, perform precise osteotomy along the direction of the Kirschner wires, place matching tibial component to finish the computer guided UKA surgery. The postoperative knee function and imaging data were followed up 6 months after operation to evaluate the surgical outcomes. [Results] All 20 patients were successfully operated on, with operation time of (48.5±8.6) min and blood loss of (47.5±10.1) ml, whereas without serious complications. Compared with those preoperatively, 6 months after operation the knee range of motion (ROM) [(88.9±12.3)° vs (102.8±8.4)°,  $P<0.05$ ], KSS clinical score [(51.4±10.3) vs (89.7±3.0),  $P<0.05$ ] and KSS functional scores [(41.7±14.4) vs (83.3±6.9),  $P<0.05$ ] significantly improved. In addition, the posterior tibial slope, varus and valgus, internal and external rotation angles of tibial component placed, as well as the tibial osteotomy thickness proved highly consistent with those of preoperative planning ( $P>0.05$ ). [Conclusion] The UKA with tibial precise osteotomy by the mechanical arm guided by celestial eye computer surgery system is considerably effective and convenient, with shortening learning curve of this procedure.

**Key words:** unicondylar knee arthroplasty, computer navigation system, mechanical arm, Kirschner wires, tibial osteotomy

膝关节单髁置换术 (unicondylar knee arthroplasty, UKA) 是指对膝关节进行单间室表面置换, 主要用于治疗单间室的骨关节炎或骨坏死。与全膝关节置换术相比, UKA 能最大限度保留膝关节的正常运动形态<sup>[1]</sup>, 手术时间短、创伤小、失血量少、术后住

院及康复时间短、恢复快、术后膝关节活动度更大<sup>[2-4]</sup>。

假体的准确放置是影响UKA手术疗效和假体使用寿命的重要因素。假体置入位置不当, 会导致其松动、磨损, 从而影响假体的使用寿命, 同时引发对侧

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2023.15.15

<sup>△</sup>基金项目: 上海交通大学“交大之星”计划医工交叉研究基金项目(编号: YG2021QN142); 上海市长宁区科学技术委员会基金项目(编号: CNKW2018Y09); 上海市卫生健康委员会项目(编号: 202140433)

作者简介: 张国宁, 主治医师, 医学博士, 研究方向: 骨关节外科, (电话)18121226658, (电子信箱)ZGN1858@shtrhospital.com

\*通信作者: 程千, (电话)18121222110, (电子信箱)chengqian@shsmu.edu.cn

间室骨关节炎，增加术后的翻修率<sup>[5, 6]</sup>，影响术后功能恢复，降低患者的满意度。传统 UKA 手术在很大程度上依赖于术者的经验，有文献报道传统 UKA 手术假体置入的误差发生率高达 30%<sup>[7]</sup>。

近年来机器人技术被广泛应用于 UKA，能为手术的精确性提供巨大的帮助<sup>[8]</sup>，但其软件程序繁琐，操作步骤复杂，不利于广泛使用和推广。UKA 手术的关键步骤在于胫骨截骨，因此，笔者所在医院利用天眼计算机手术导引系统（以下简称天眼系统），引导机械臂，利用 3 枚克氏针定位，进行精准胫骨截骨，实施计算机引导下 UKA 手术，初步临床效果满意，现报道如下。

## 1 手术技术

### 1.1 术前准备

所有患者术前均行患膝 CT 扫描，将 CT 图像导入医学影像控制系统（Materialise's interactive medical image control system, MIMICS），生成膝关节 3D 立体图，导入假体试模的三维模型，根据患者内侧胫骨平台大小，确定拟安放假体的型号，规划假体的放置位置。

选择对应的假体试模，放置于胫骨平台上方，逐渐平行下移至前后缘皮质与试模高度一致，以后缘骨皮质为基准，使试模与内侧平台完全匹配，内侧缘及前后缘尽量不要悬出，外侧缘不要超过胫骨前后轴（anteroposterior axis, AP 轴，即后交叉韧带胫骨止点中点与髌腱内缘连线）<sup>[9]</sup>。平行于试模下缘，放置模拟截骨导向器（横截面与胫骨平台平行，矢状面与胫骨长轴平行，纵向导杆位置放置于胫骨结节内侧 1/3 处）。根据截骨导向器和试模位置，设计克氏针位置（图 1a），根据克氏针位置确定胫骨垂直截骨面和平行截骨面。模拟截骨导向器验证假体的内外翻，根据患者原有的胫骨平台后倾角度确定假体后倾角；内外旋角度原则上平行于 AP 轴。

### 1.2 麻醉与体位

所有患者均采用全身麻醉，仰卧位，患肢先平放于手术床上，待克氏针置入后，再置于外展支架上。

### 1.3 手术操作

所有手术均由同一医师主刀完成，假体均选择 Link SLED 单髁假体，材质为钴铬钼合金以及超高分子聚乙烯。在天眼系统中导入 mimics 处理好的术前 CT，规划克氏针位置（图 1b），包括垂直截骨定位的 1 枚克氏针，以及水平截骨定位的 2 枚克氏针，3 枚

克氏针确定胫骨截骨方向及骨块大小。麻醉后固定患者体位，患肢先平放于手术床上，消毒、铺巾，C 形臂 X 线机结合机械臂，拍摄正侧位片，校准图像，并输入天眼系统（图 1c）。在天眼系统中进行多模态图像融合，确定克氏针位置，将信号传输到激光定位操作平台，引导机械臂，根据术前测量胫骨平台前后径，调整克氏针长度，依次打入 3 枚克氏针，注意控制克氏针打入的深度，防止造成后方血管、神经损伤（图 1d）。待克氏针置入后，再次进行 C 形臂 X 线机透视，确定克氏针位置，观察胫骨截骨块的后倾角度、宽度、厚度，以及内外翻角度，保证克氏针位置与术前规划一致（图 1e, 1f）。拔除水平方向偏内侧的 1 枚克氏针，仅留针道，方便切口。将患肢置于外展支架上，重新消毒铺单。取髌旁内侧切口，近端平髌骨上极，经克氏针将皮肤切开，远端至关节线下方 2 cm，依次切开皮肤、筋膜及关节囊，显露胫骨平台内侧前缘，暴露截骨位置，同时显露水平方向内侧的克氏针孔道，重新插入克氏针，将截骨导向器套入水平方向的 2 枚克氏针上。先沿第 1 枚克氏针方向，垂直截骨，使锯片正好与克氏针纵轴平行接触，再根据截骨导向器水平导板，平行于 2 枚克氏针平面，水平截骨。保护内侧副韧带，精准截取并完整取出受损胫骨骨块，与术前规划模块相比，大小一致，后倾角度接近生理后倾角，测试截骨间隙，松紧度良好，完成胫骨截骨（图 1g, 1h）。按手术步骤，进行股骨截骨，并依次放置股骨、胫骨假体，完成 UKA 手术。

### 1.4 术后处理

术后预防性应用抗生素 1 d；所有患者术后第 1 d 即予以膝关节直腿抬高及屈伸活动锻炼，术后第 2 d 予以换药、摄片及 CT 检查，在助行器辅助下行走练习，术后 3~5 d 予以出院，定期门诊复查，记录术后 6 个月膝关节 ROM 和 KSS 评分，并与术前对照。术后复查 CT，将数据导入 mimics 系统，测量胫骨假体后倾角、内外翻、内外旋角度、截骨厚度等参数，与术前规划参数作对照，评估假体置入位置的精确性。

## 2 临床资料

### 2.1 一般资料

对 2021 年 1 月—2022 年 1 月在上海交通大学医学院附属同仁医院接受天眼系统引导机械臂行 UKA 手术的 20 例单间室内侧骨关节炎患者进行回顾性分析，所有患者 Kellgren-Lawrence (K-L) 分级均为 IV

级<sup>[11]</sup>，外侧间室完整性较好，前交叉韧带功能完好，年龄 $\geq 60$ 岁，BMI $\leq 28$  kg/m<sup>2</sup>；均无存在明显外侧间室狭窄、合并严重内外翻畸形或屈曲挛缩畸形及前交叉韧带缺失者。其中男 6 例，女 14 例，平均年龄

(70.2 $\pm$ 4.1) 岁，平均 BMI (25.4 $\pm$ 1.4) kg/m<sup>2</sup>，平均病程 (67.2 $\pm$ 28.7) 个月，均为初次内侧单髁置换。本研究通过医院医学伦理委员会批准（伦理号：同仁伦理 2021-006-01），所有患者均签署知情同意书，

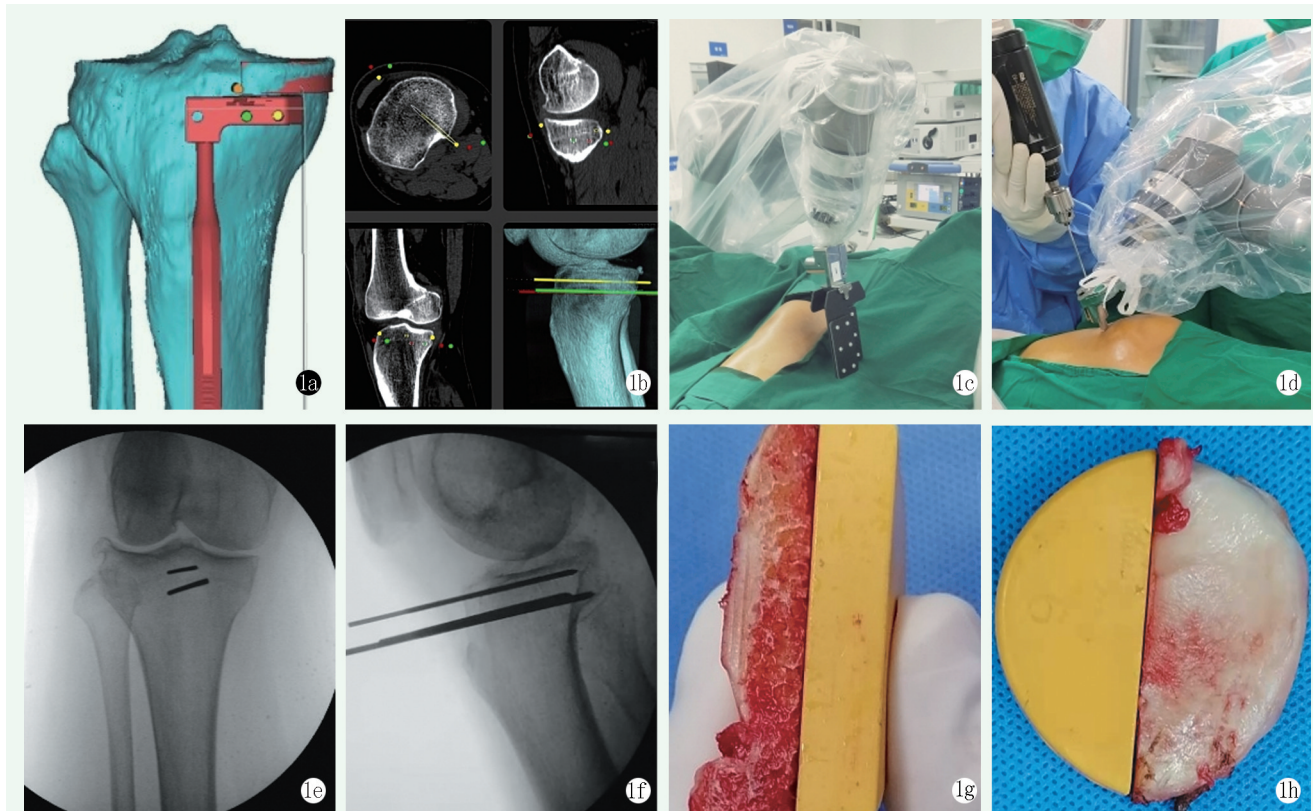


图 1 天眼计算机手术导引系统引导机械臂行胫骨精准截骨完成 UKA 手术示意图。1a: 术前 MIMICS 上规划匹配假体，模拟放置胫骨假体及截骨导向器；1b: 在天眼系统中规划克氏针通道位置；1c: C 形臂 X 线机结合机械臂，摄片校准图像；1d: 在天眼系统中进行多模态图像融合，将信号传输到激光定位操作平台，引导机械臂置入克氏针；1e, 1f: 待 3 枚克氏针置入后，再次进行 C 形臂 X 线机透视，确定克氏针位置与术前规划一致；1g, 1h: 术中根据克氏针位置进行胫骨精准截骨。

## 2.2 初步结果

手术时间平均 (48.5 $\pm$ 8.6) min，手术出血量平均 (47.5 $\pm$ 10.1) ml。术后胫骨假体后倾角、内外翻、内外旋角度，截骨厚度与术前规划相比较误差在距离 1 mm 和角度 1° 的范围内，提示计算机引导机械臂单髁置换手术，胫骨假体放置位置精确性高。术后随访时间 6 个月，膝关节 ROM 由术前的 (88.9 $\pm$ 12.3)° 显著增加至术后的 (102.8 $\pm$ 8.4)° ( $P < 0.001$ )、KSS 临床 [(51.4 $\pm$ 10.3) 分 vs (89.7 $\pm$ 3.0) 分,  $P < 0.001$ ] 及功能评分 [(41.7 $\pm$ 14.4) 分 vs (83.3 $\pm$ 6.9) 分,  $P < 0.001$ ] 均较术前显著增加<sup>[10]</sup>。均无严重并发症发生。

## 3 讨论

从 21 世纪初开始，计算机导航技术逐步运用于 UKA 手术<sup>[12, 13]</sup>，其最大的优势是简化手术操作，缩短手术时间，减少手术创伤，使手术变得更安全、

更准确、更微创<sup>[14]</sup>。

天眼计算机手术导引系统，遵循建模 (Setup) - 配准 (registration) - 规划 (Planning) - 执行 (Execution) 的步骤<sup>[14]</sup>，利用多模态影响融合及智能成像技术，能够在术中实时反馈置入物位置的准确性，结合精准手术导引，双重提升手术安全。该系统具有机械通道定位及嵌入式激光定位两种模式，功能灵活，人机协同度高，且定位系统为红外线无创，避免给患者带来额外损伤，可根据不同手术使用需求，用系统指导机械臂，实现手-眼-脑灵活组合使用，打造真正的人机共融的手术体验。

UKA 手术的关键是胫骨截骨，每位患者的胫骨形状、大小、内外翻、内外旋和后倾角度均不相同。作者利用计算机将患者数据建模，输入天眼系统，使无形的人体参数转变成直接的图像，可使需要截骨的位置在术中影像上动态显示，引导机械臂，快速、精准地打入 3 枚克氏针定位，确立胫骨

垂直及水平截骨平面,进行精准截骨,完成UKA手术。术中截骨一次成功,避免反复截骨,恢复患者的生理后倾角,对于临床经验不甚丰富的年轻医师来说,可缩短学习曲线,缩短手术时间,降低感染风险,提高手术成功率。

术后随访半年,膝关节ROM、KSS评分均较术前有显著提高。患者膝关节自然感觉更好,满意度更高,达到了预期效果。术后CT检查发现,假体位置与术前规划吻合,能将误差控制在1mm和1°的范围内,表明计算机引导机械臂进行胫骨截骨,能有效地提高UKA手术假体置入的精确性。手术过程简便,只需定位3枚克氏针,即可确定截骨平面,无需反复截骨,更有利于推广。

综上所述,使用天眼手术导引系统引导机械臂进行精准胫骨截骨在单髁置换手术中的应用结果可靠,疗效显著,操作简便,具有很强的临床转化价值,值得进一步推广。

#### 参考文献

- [1] Liddle AD, Judge A, Pandit H, et al. Adverse outcomes after total and unicompartmental knee replacement in 101,330 matched patients: a study of data from the National Joint Registry for England and Wales [J]. *Lancet (London, England)*, 2014, 384 (9952): 1437-1445.
- [2] Amin AK, Patton JT, Cook RE, et al. Unicompartmental or total knee arthroplasty? Results from a matched study [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2006, 451: 101-106.
- [3] 许志庆, 龚志兵, 庄至坤, 等. 膝内侧室骨关节炎 Oxford 第三代单髁置换近期效果 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2022, 30 (10): 940-942, 946.
- [4] 马尚, 王上增. 单室膝骨关节炎单髁与全膝置换术短期效果比较 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (15): 1359-1363.
- [5] Kim MS, Koh IJ, Choi YJ, et al. Differences in patient-reported outcomes between unicompartmental and total knee arthroplasties: a propensity score-matched analysis [J]. *J Arthroplasty*, 2017, 32 (5): 1453-1459.
- [6] van der List JP, Chawla H, Zuiderbaan HA, et al. Patients with isolated lateral osteoarthritis: Unicompartmental or total knee arthroplasty [J]. *Knee*, 2016, 23 (6): 968-974.
- [7] Inui H, Taketomi S, Tahara K, et al. A modified technique to reduce tibial keel cutting errors during an Oxford unicompartmental knee arthroplasty [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthroscopy*, 2017, 25 (3): 710-716.
- [8] van der List JP, Chawla H, Pearle AD. Robotic-assisted knee arthroplasty: an overview [J]. *Am J Orthop (Belle Mead, NJ)*, 2016, 45 (4): 202-211.
- [9] Akagi M, Oh M, Nonaka T, et al. An anteroposterior axis of the tibia for total knee arthroplasty [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2004, 420 (420): 213-219.
- [10] Insall JN, Dorr LD, Scott RD, et al. Rationale of the Knee Society clinical rating system [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1989, 248 (248): 13-14.
- [11] Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteoarthritis [J]. *Ann Rheum Dis*, 1957, 16 (4): 494-502.
- [12] Saragaglia D, Cognault J, Refaie R, et al. Computer navigation for revision of unicompartmental knee replacements to total knee replacements: the results of a case-control study of forty six knees comparing computer navigated and conventional surgery [J]. *Int Orthop*, 2015, 39 (9): 1779-1784.
- [13] Jenny JY, Boeri C. Unicompartmental knee prosthesis implantation with a non-image-based navigation system: rationale, technique, case-control comparative study with a conventional instrumented implantation [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthroscopy*, 2003, 11 (1): 40-45.
- [14] Picard F, Deakin AH, Riches PE, et al. Computer assisted orthopaedic surgery: Past, present and future [J]. *Med EngPhy*, 2019, 72 (1): 55-65.

(收稿:2022-07-28 修回:2023-02-10)  
(同行评议专家:张启栋 付国建)  
(本文编辑:郭秀婷)