

· 临床研究 ·

## 单髁膝关节置换术后运动影像力学分析<sup>△</sup>

杨宇锋<sup>1,3</sup>, 李政甜<sup>1</sup>, 杜刚<sup>1,2\*</sup>

(1. 广西医科大学第一附属医院骨关节外科, 广西南宁 530021; 2. 美国匹兹堡大学骨科, 匹兹堡 15217;  
3. 广西平果县人民医院骨外科, 广西百色 531400)

**摘要:** [目的] 探讨内侧膝关节单髁置换对于膝关节生物力学方面的影响。[方法] 9例接受单髁置换的骨关节炎患者, 术前及术后采用双平面的X线装置收集行走时影像资料, 通过CT扫描建立骨的三维模型, 将骨的3D模型与X线中相匹配并同步。测量股骨胫骨六维度的运动及内外侧胫骨平台接触中心点位置。[结果] 术前患侧膝关节与健侧膝关节相比, 屈伸角度差异无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 但内外翻、内外旋及内侧胫骨平台接触中心差异均有统计学意义 ( $P<0.05$ )。术后患侧膝关节与健侧相比, 屈伸角度差异无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 内外翻、内外旋及内侧间室接触中心均显著改善 ( $P<0.05$ ), 内外翻、内外旋与健侧比较差异无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 内侧间室胫骨接触中心点的前移畸形也明显改善, 但与健侧相比差异仍有统计学意义 ( $P<0.05$ )。[结论] UKA可以有效改善膝关节步态周期中固有的生物力学指标, 尤其是在力线及旋转方面, 但在内侧间室接触中心方面仍残存一定的前移。

**关键词:** 膝关节单髁置换, 运动学, 旋转, 力线

**中图分类号:** R687.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-8478 (2022) 12-1134-03

**An analysis on radiographic kinematics of unicompartmental knee arthroplasty // YANG Yu-feng<sup>1,3</sup>, LI Zheng-tian<sup>1</sup>, DU Gang<sup>1,2</sup>.** 1. Department of Orthopedics, The First Affiliated Hospital, Guangxi Medical University, Nanning 530021, China; 2. Department of Orthopedics, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA 15217, USA; 3. Department of Orthopedics, Pingguo County People's Hospital, Baise 531400, China

**Abstract: [Objective]** To investigate the influence of medial unicompartmental knee arthroplasty (UKA) on knee kinematics. **[Methods]** A total of 9 patients who were undergoing UKA for medial knee osteoarthritis were included into this study. A biplane X-ray device was used to collect the imaging data during walking before and after the operation, in addition, the three-dimensional model of the bone was established by CT scanning, and the 3D model of the bone was compared with the X-ray. The six-freedom movements between the femur and tibia and the position of the contact center point of the medial and lateral tibial plateau were measured. **[Results]** Before operation, there was no significant difference in flexion and extension angle between the involved and uninvolved knees ( $P>0.05$ ), but significant difference was found in internal and external varus and rotation and medial compartment contact center ( $P<0.05$ ). After operation, the flexion and extension angle between the involved and uninvolved knees showed no significant difference as well ( $P>0.05$ ), the internal and external varus and rotation and medial compartment contact center improved significantly ( $P<0.05$ ), and no significant difference was found between involved and uninvolved knees ( $P>0.05$ ). The anterior displacement deformity of tibial medial compartment contact center improved significantly in the involved knee, however, significant difference was still noted compared to the uninvolved side ( $P<0.05$ ). **[Conclusion]** UKA can effectively improve the inherent biomechanical indexes of knee gait cycle, especially in force line and rotation, but there is still a certain forward movement in the contact center of medial compartment.

**Key words:** unicompartmental knee arthroplasty, kinematics, rotation, mechanical alignment

膝关节单髁置换 (unicompartmental knee arthroplasty, UKA) 主要用于治疗单侧关节间室的骨关节炎, 相比全膝关节置换而言, 其具有微创、快速康复、出血量少、死亡率较低等优势<sup>[1, 2]</sup>。随着假体技

术的不断改进, 其长期生存率也得到了大幅度的提升, 然而对于其生存率及翻修率仍存在争论<sup>[3]</sup>。此外, 相对于TKA, UKA由于保留了膝关节的前后交叉韧带, 理论上会更好地保留膝关节的生物力学特

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2022.12.17

<sup>△</sup>基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 81660372); 广西自然科学基金项目(编号: 桂科 AB19110030; 2017GXNSFAA198159)

作者简介: 杨宇锋, 研究方向: 骨外科, (电话)18277672815, (电子信箱)yyf414049088@qq.com

\* 通信作者: 杜刚, (电子信箱)dugangxmu@outlook.com

性,提高患者的满意度及功能<sup>[4]</sup>。既往研究通过尸体的生物力学测量证实,UKA具有更好的生物力学特性<sup>[5]</sup>。然而,目前缺乏关于UKA术后体内的生物力学研究。本研究通过收集测量UKA患者术前术后患侧膝关节行走时的生物力学及运动学的参数,并与健侧膝关节作对比,为临床手术方案的选择提供参考。

## 1 临床资料

### 1.1 一般资料

9例接受内侧固定平台的UKA患者纳入本研究。其中男5例,女4例,平均年龄(62.34±5.07)岁,本研究已通过医院伦理委员会审核,所有参与者均签署知情同意书。

### 1.2 测量方法

术前3周及术后7个月时分别接受生物力学测试。患者在可以调速的跑步机上,自行选择适合自己的步速,平均(1.35±0.20)m/s,采用平面透视成像系统收集膝关节运动时膝关节骨骼影像,采集频率为100帧/s,最大功率为90kV,160mA,1ms脉冲宽度,经过PCXMC软件测试,最大辐射量为0.48mSv。

使用双能CT扫描患者两侧膝关节,扫描范围从膝关节中心线远近各10cm,分辨率为0.6mm×0.6mm,扫描层厚度为1.25mm。使用商业软件Mimics识别骨组织并进行股骨及胫骨的三维重建。通过自动示踪软件技术将3D的股骨及胫骨模型分别与X线中

的股骨与胫骨相匹配,该技术在体内的精确度为0.7mm,旋转精度为0.9°<sup>[6]</sup>。收集膝关节股骨胫骨的运动学参数,如屈曲/伸直,内收/外展,内旋/外旋。同时,参照胫骨的解剖参照系统,测量膝关节内侧接触中心点的变化。

### 1.3 统计学方法

使用SPSS 24.0软件进行统计分析。采用配对T检验对膝关节术前及术后,患侧膝关节与健侧膝关节的差异进行统计分析。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

术前患侧膝关节与健侧膝关节相比,屈伸角度差异无统计学意义( $P>0.05$ ),见表1,但内外翻、内外旋及内侧胫骨平台接触中心差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。比较两者的差值,患侧膝关节较健侧平均内翻3.5°,平均内旋3.3°,内侧间室胫骨平台接触中心平均前移3.8mm。表明膝关节骨关节炎侧存在明显的内翻及内旋畸形。

术后患侧膝关节与健侧相比,屈伸角度差异无统计学意义( $P>0.05$ ),内外翻、内外旋及内侧间室接触中心均显著改善( $P<0.05$ ),内外翻、内外旋与健侧比较差异无统计学意义( $P>0.05$ ),这说明手术矫正了患侧膝关节的内翻、内旋畸形,内侧间室的胫骨接触中心点的前移畸形也明显改善,说明术后患侧的生物力学指标与健侧基本一致。但术后内侧间室接触中心与健侧相比差异仍有统计学意义( $P<0.05$ ),这表明UKA手术未能完全矫正内侧间室的前移。

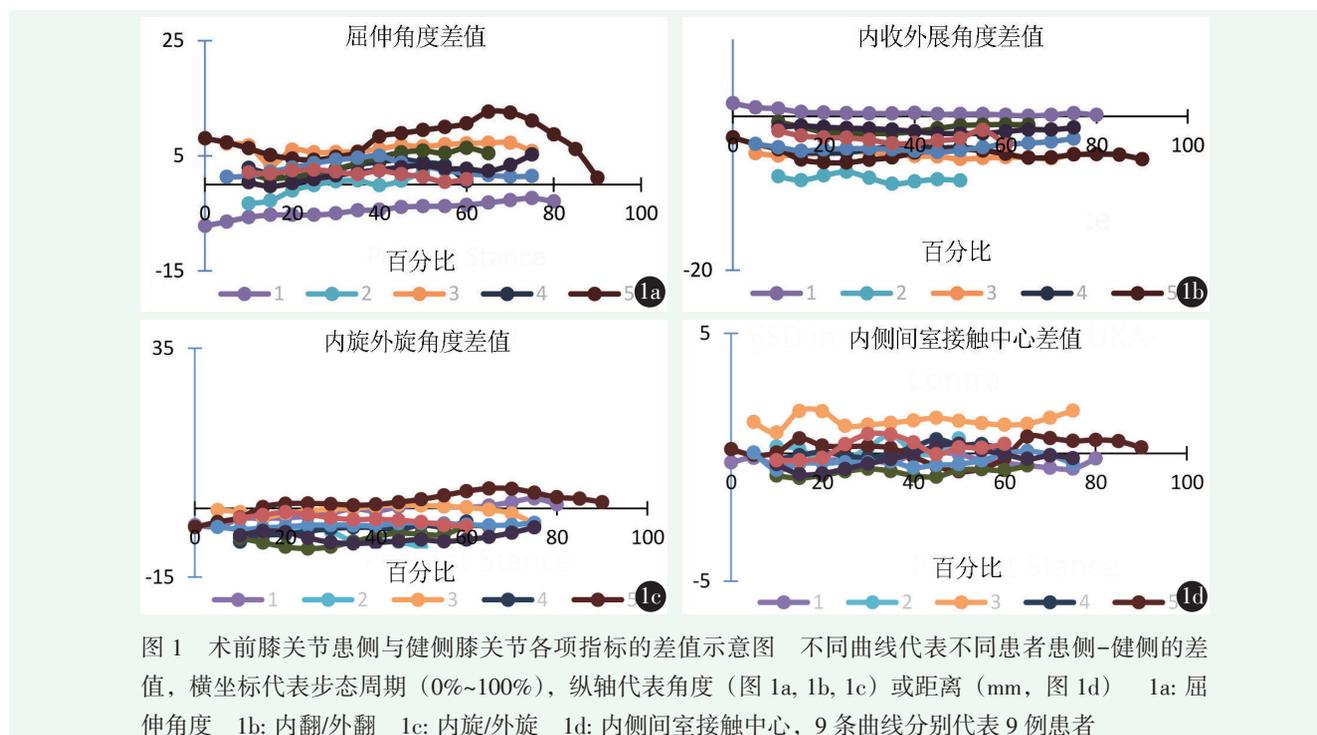


表1 手术前后膝关节患侧与健侧各项指标 ( $\bar{x} \pm s$ ) 与比较

指标	屈曲角度 (°)	外翻/内翻 (°)	内旋/外旋 (°)	内侧胫骨接触中心 (mm)
术前				
患侧	9.77±4.04	-8.91±5.63	15.02±3.91	8.84±2.19
健侧	8.52±2.66	-1.89±3.75	7.09±4.76	6.09±3.83
P值	0.310	<b>0.003</b>	<b>0.008</b>	<b>0.014</b>
术后				
患侧	7.13±4.62	-2.44±1.62	7.81±5.81	1.33±2.66
健侧	9.43±6.16	-2.08±3.51	8.07±4.87	3.81±3.18
P值	0.392	0.673	0.881	<b>0.023</b>

### 3 讨论

UKA 的术后疗效及生存率受很多因素影响,如假体的位置、软组织平衡、下肢力线、假体大小、假体设计及固定等。相比于TKA, UKA 创伤小,恢复快,并发症发生率低,且更加符合自然状态的生物力学<sup>[7, 8]</sup>。对于UKA术后的生物力学的变化及其能否保持其固有的生物力学特性一直存有争论<sup>[9-12]</sup>。

既往的生物力学研究多采用定位于皮肤的追踪器,然后通过摄像机采集各个追踪器的位置,并进行生物力学的分析<sup>[13, 14]</sup>。然后,由于定于与皮肤的追踪器并不固定于骨骼,由于皮肤肌肉组织的活动,由此采集的生物力学参数会有较大的误差<sup>[9]</sup>。而本研究中直接对股骨胫骨的3D模型进行测量,该模型的距离误差为0.7 mm,旋转误差为0.9°<sup>[10]</sup>。因此,本研究中的数据相比以前模型更加精确。

本研究中,在步态周期中UKA术前与术后相比,UKA侧膝关节与健侧相比,膝关节屈伸活动度均无明显差异,说明在屈曲角度方面,UKA未改变膝关节本身的生物力学特性。本研究结果显示,术前患侧内翻角度大于健侧3.5°,这表明UKA手术有效矫正了内翻畸形,术后恢复了膝关节初始的生物力学。

然而,也有研究认为内侧UKA不能恢复膝关节的固有生物力学<sup>[15]</sup>,本研究中内侧间室胫骨接触中心点,术前及术后患侧与健侧相比后移3.8 mm及2.45 mm,说明UKA术后未能完全纠正胫骨接触中心的位置的后移,这可能与UKA假体固有的曲率与股骨内髁的曲率并不完全一致引起的。本研究的不足是样本量较少,且随访时间较短。但优点在于采用健侧作为对比,所有数据均进行患侧-健侧差异的比较。

综上所述,UKA可以有效维持膝关节步态周期中屈曲角度、内外翻及旋转方面的固有生物力学,但

由于假体本身的设计,并不能完全维持内侧间室的接触中心点位置。

### 参考文献

- [1] Epinette JA, Brunschweiler B, Mertil P, et al. Unicompartmental knee arthroplasty modes of failure: wear is not the main reason for failure: a multicentre study of 418 failed knees [J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2012, 98 (Suppl 1): S124-S130.
- [2] 祁昕征, 张家铭, 谭传明, 等. 从生物力学角度评价单髁置换术与腓骨截骨术 [J]. *医用生物力学*, 2015, 30 (6): 479-487.
- [3] Wada K, Hamada D, Takasago T, et al. Native rotational knee kinematics is restored after lateral UKA but not after medial UKA [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthroscopy*, 2018, 26 (11): 3438-3443.
- [4] Heyse T, El-Zayat B, De Corte R, et al. UKA closely preserves natural knee kinematics in vitro [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthroscopy*, 2014, 22 (8): 1902-1910.
- [5] Lonner JH. Robotically assisted unicompartmental knee arthroplasty with a handheld image-free sculpting tool [J]. *Orthop Clin*, 2016, 47 (1): 29-40.
- [6] Anderst W, Zauel R, Bishop J, et al. Validation of three-dimensional model-based tibio-femoral tracking during running [J]. *Med Eng Phys*, 2009, 31 (1): 10-16.
- [7] Argenson JNA, Blanc G, Aubaniac JM, et al. Modern unicompartmental knee arthroplasty with cement: a concise follow-up, at a mean of twenty years of a previous report [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2013, 95 (10): 905-907.
- [8] Alnouchouki OK, Barrington JW, Berend KR, et al. Eight hundred twenty-five medial mobile-bearing unicompartmental knee arthroplasties: the first 10-year US multi-center survival analysis. *J Arthroplasty* 2018, 33 (7): 677-683.
- [9] 朱广铎, 郭万首, 程立明, 等. 活动平台单髁膝关节置换三维有限元模型的建立 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2015, 23 (Suppl B): 1994-1998.
- [10] Emerson RH, Alnouchouki O, Barrington J, et al. The results of Oxford unicompartmental knee arthroplasty in the United States: a mean ten-year survival analysis [J]. *Bone Joint J*, 2016, 98 (Suppl 1): 34-40.
- [11] Lustig S, Lording T, Frank F, et al. Progression of medial osteoarthritis and long term results of lateral unicompartmental arthroplasty: 10 to 18 year follow-up of 54 consecutive implants [J]. *Knee*, 2014, 21 (1): 26-32.
- [12] 任鹏鹏, 张启栋. 膝活动平台内侧单髁置换术后生物力学的研究进展 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2022, 30 (4): 289-292.
- [13] 李越, 田润, 杨佩, 等. 活动平台膝关节单髁置换术后蹲起活动的运动生物力学 [J/CD]. *中华关节外科杂志 (电子版)*, 2021, 15 (5): 533-539.
- [14] Heyse TJ, El-Zayat BF, De Corte R, et al. UKA closely preserves natural knee kinematics in vitro [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2014, 22 (8): 1902-1910.
- [15] Wada K, Hamada D, Takasago T, et al. Native rotational knee kinematics is restored after lateral UKA but not after medial UKA [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2018, 26 (11): 3438-3443.

(收稿:2022-05-30 修回:2022-06-01)

(本文编辑:郭秀婷)