

## ·病例报告·

## 国产机器人辅助间隙平衡法在重度内外翻膝关节置换中的应用体会——病例报道与临床经验

祖力皮喀尔·买买提<sup>1,2</sup> 黄腾<sup>3</sup> 延廷芳<sup>4</sup> 赵亚兰<sup>4</sup> 孟庆虎<sup>4</sup> 张卓<sup>2</sup> 柴伟<sup>2</sup>

**【摘要】** 本文旨在报道国产骨圣元化全膝关节置换手术辅助系统(YUANHUA-TKA)在复杂内外翻全膝关节置换术(TKA)中的应用体会。国产机器人在复杂内外翻TKA术中具有提高手术精准度,能实时地评估间隙平衡等优势,不再使用截骨导板,从而减少因导板偏移、移位造成的截骨不准等问题。同时,通过分析病案报道和临床经验,我们还发现了一些操作技巧和注意事项,以提高手术成功率和术后康复效果。

**【关键词】** 关节成形术,置换,膝;机器人辅助手术;外翻膝;内翻膝

全膝关节置换术(TKA)是治疗严重膝关节疾病的主要方法之一。随着人口老龄化程度的不断加剧,TKA手术的需求量不断增加<sup>[1]</sup>。据统计,TKA已成为全球范围内最常见的外科手术之一<sup>[2]</sup>。然而,复杂初次TKA的技术难度仍然很高,手术过程中存在一系列挑战,如骨质疏松、关节解剖畸形和软组织紧张等<sup>[3-4]</sup>。因此,寻找一种高效且可靠的手术辅助工具变得尤为重要。近年来,国内外机器人辅助手术系统在TKA中的应用日益增多<sup>[5-8]</sup>,这些系统利用先进的计算机和图像导航技术,能够提供高精度的手术导引和实时的解剖结构信息,为外科医生提供更准确的操作指导。国外已有一些研究表明,机器人辅助下的TKA可以显著提高手术精准度,减少手术创伤,并缩短病人的康复时间<sup>[9-10]</sup>。

随着医疗技术的不断进步,国产机器人辅助下行复杂初次TKA将成为未来研究的重要方向。尽管当前国内研究人员积极探索机器人辅助手术在TKA中的应用<sup>[11-13]</sup>,但对于国产机器人辅助下行复杂初次TKA的研究相对较少。当前医疗技术支持下,国产机器人辅助手术在复杂初次TKA中具有很高的可行性,所以有必要深入研究和探索该领域的潜力和应用。因此,本研究旨在总结国产机器人辅助下行复杂初次TKA的应用体会,并通过特殊病例的临床经验进行分析,以评估其优势和不足,最终总结出操作技巧和注意事项,提高手术成功率和术后康复效果,为后续的临床实践提供参考。

## 临床资料

## 一、病例一

病例1,女,67岁,身体质量指数(BMI)为26.1 kg/m<sup>2</sup>,病人于10年前无明显诱因出现双膝关节疼痛,为负重时隐痛,休息后可缓解,不伴发热、寒颤等症状,近3年来双膝关节疼痛逐渐加重,右侧较重,疼痛性质同前,合并行走活动受限,门诊以“双膝关节疼痛伴活动受限10年,疼痛加重3年”就诊。

跛行步态,右侧膝关节内翻25°、屈曲30°畸形(图1 a、b)。右膝内侧间隙压痛,右膝活动度:(屈)110°~30°(伸),髌骨研磨试验阳性,右膝浮髌试验、过伸过屈试验、前后抽屉试验、Lachman试验、麦氏征试验、轴移试验、Babinski征均阴性。

术前影像学检查提示右膝骨赘增生,内侧间隙明显狭窄伴下肢内翻畸形(图1 c~e)。右下肢髌膝踝角(hip-knee-ankle angle, HKA)为162°,右侧胫骨近端内侧角(medial proximal tibial angle, MPTA)为82.0°,右侧股骨远端外侧角(lateral distal femoral angle, LDFA):87.8°,右膝关节线会聚角(joint line convergence angle, JLCA)为6.6°,右侧胫后角(posterior proximal tibial angle, PPTA)为77°。

完善检查后,在全麻下行元化机器人辅助下右膝TKA术。病人取平卧位,消毒铺巾(预留股骨胫骨参考架置钉位置),安装脚托及固定底座,安装股骨示踪器、胫骨示踪器。显露并置入股骨胫骨检查钉;注册配准、配准验证、检查点获取、软骨厚度获取;术中规划(主控台录入测得软骨厚度、调整假体位姿)。

基于CT以及假体类型进行术前规划,拟选用4号股骨及胫骨假体,6 mm衬垫,股骨远端及胫骨平台各截骨9 mm,股骨假体外旋3.7°、外翻0°、屈曲5°,胫骨平台假体外旋10.7°、后倾3°。注册完成后,病人屈曲畸形较重,元化机器人显示病人右侧膝关节最大被动伸直至23°(图2 a)。由于机器人只能在屈曲20°内显示膝关节内外侧间隙情况,为完成关节

DOI:10.3969/j.issn.1674-8573.2024.02.014

基金项目:北京市自然科学基金(M22016);北京市科技项目(Z221100003522014)

作者单位:1. 首都医科大学附属北京潞河医院骨中心,北京101149;2. 中国人民解放军总医院第四医学中心骨科医学部关节外科,北京100048;3. 河北省人民医院,石家庄050051;4. 元化智能科技(深圳)有限公司,广东深圳518055

通信作者:柴伟, E-mail: chawei301@163.com;张卓, E-mail: zhangzhuo301@yahoo.com

祖力皮喀尔·买买提和黄腾为共同第一作者

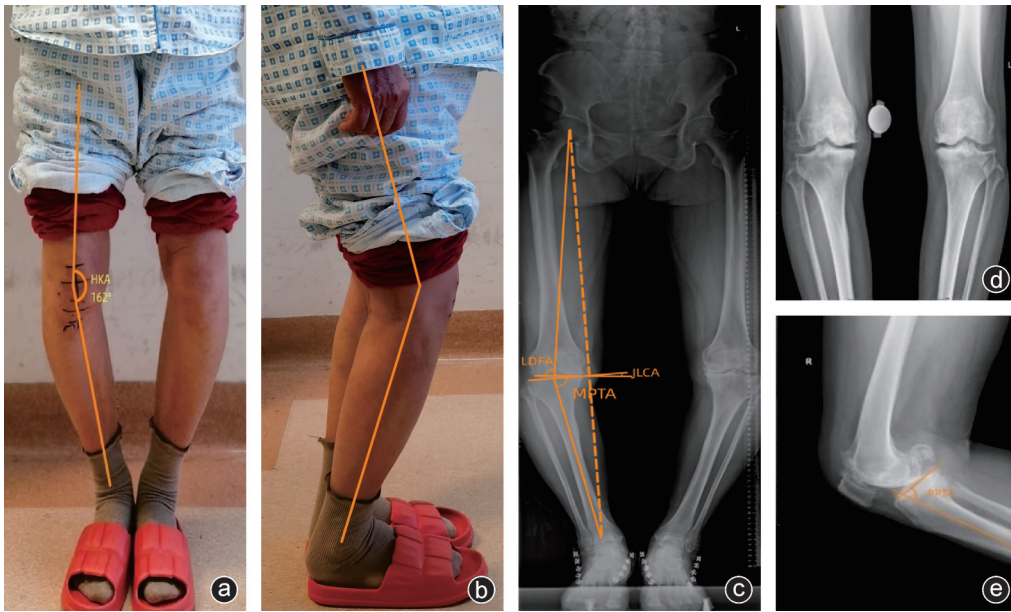


图1 病例1,女,双侧膝关节重度骨关节炎伴内翻畸形 a:正位外观照示病人右侧膝关节严重内翻畸形;b:侧位外观照示病人右膝屈曲畸形;c:术前下肢全长X线片示右膝严重内翻畸形;d:正位X线片示内侧软骨下骨硬化伴内外侧骨赘形成;e:侧位X线片示前后髌大量骨赘形成

间隙的评估,观察病人膝关节伸直受限主要为胫骨髁间棘增生、股骨髁间窝增生和髌股关节填塞,去除相应增生骨赘后,再次测试见右膝关节可伸直至15°。此时伸直间隙内外极度不平衡:伸直位内侧间隙为16 mm,外侧间隙为27 mm(图2 b);屈曲位内侧间隙为14 mm,屈曲位外侧间隙为19 mm(图2 c)。

术中调整规划。伸直间隙(图2 d):股骨远端外侧截骨减少至2.8 mm,内侧髁截骨减少至4.9 mm,股骨假体内翻3°,胫骨外侧截骨减少至7.4 mm,胫骨平台假体内翻2°。屈曲间隙(图2 e):股骨假体外旋增加至6°。可见屈曲和伸直间隙明显改善,此时显示伸直位内侧间隙为12 mm,外侧间隙为18 mm;屈曲位内侧间隙为15 mm,外侧间隙为17 mm。预估可通过部分软组织松解完成伸直位、屈曲位间隙平衡,依计划在机械臂辅助下行股骨远端及胫骨近端截骨。截骨时机器人系统的屏幕上可以实时显示骨面截骨进度和骨量信息,待截骨的骨骼被标记为绿色,过度磨削时标记为橙色。待股骨远端及胫骨近端截骨完成后依原有手术器械行股骨髁间截骨及胫骨平台近端成型,术中无徒手二次截骨情况发生,安装假体后可将机器人切换到“术中规划”模块,调整股骨胫骨屈曲伸直状态,实时查看伸直、屈曲间隙等参数,验证伸直、屈曲位关节间隙平衡(图2 f、g)。关闭切口、器械清点、设备关机归位(注意取出股骨、胫骨检查钉)。

术后给予镇痛、抑酸、抗凝等治疗,预防性使用抗生素24 h,术后回病房后指导功能锻炼,复查术后X线片及外观均良好(图3),开始下地行走。

## 二、病例二

病例2,女,67岁,BMI为26.7 kg/m<sup>2</sup>,病人于2年前右侧膝关节无明显诱因出现疼痛,间断性发作,伴屈曲功能受限、行走受限。于当地医院行X线检查,诊断为“右膝骨关节炎”,给予保守治疗效果欠佳。门诊以“右侧膝关节疼痛2年,加重半年”入院。于久行、久站后加重,休息后症状缓解,伴屈曲功能受限、行走受限。7年前因右髌关节发育不良保髌术

后、髌关节骨关节炎,于我院行右侧全髌关节置换术,术后功能恢复良好。

跛行步态,右侧膝关节外翻17°畸形(图4 a、b)。右膝活动度:(屈)100°~15°(伸),右膝内翻应力试验阳性,外翻应力试验阴性,髌骨研磨试验、右膝浮髌试验、过伸过屈试验、前后抽屉试验、Lachman试验、麦氏征试验、轴移试验以及双侧Babinski征均阴性。

术前影像学检查提示右膝骨赘增生,外侧间隙明显狭窄伴下肢外翻畸形(图4 c~e)。右下肢HKA:197°,右侧MPTA:85.4°,右侧LDFA:94.6°,右JLCA:7.6°,右侧PPTA:78°。

完善检查后,在硬膜外麻醉下行元化机器人辅助右侧TKA术。该流程与前病例相同。

基于CT以及假体类型进行术前规划,拟选用1号股骨及胫骨假体,6 mm垫片,股骨远端及胫骨平台各截骨9 mm,股骨假体外旋3.1°、屈曲4.0°,平台后倾3°、外旋0.9°,注册完成后,测试显示伸直位内侧间隙为24 mm,外侧间隙为14 mm(图5 a);屈曲位内侧间隙为20 mm,外侧间隙为14 mm(图5 b)。因术前排格检查发现施加内翻应力可纠正伸直位外翻畸形,此时施加内翻应力机器人提示伸直位内侧间隙为20 mm,外侧间隙为19 mm(图5 c);屈曲位内侧间隙为19 mm,外侧间隙为20 mm(图5 d)。考虑膝关节内侧关节间隙较大、外侧副韧带挛缩程度较轻,可通过减少股骨远端内侧截骨量、部分外侧软组织松解,以减小截骨后关节间隙,避免术后关节间隙过大或使用限制性假体。

术中重新规划。股骨远端内侧减少截骨至8 mm,股骨假体外翻0°、外旋4°、屈曲4°,胫骨外侧减少截骨至4 mm,胫骨平台假体内翻0°、后倾3°,可见屈曲和伸直间隙明显改善。施加内翻应力时显示伸直位内侧间隙为19 mm,外侧间隙为12 mm(图5 e);屈曲位内侧间隙为18 mm,外侧间隙为11 mm(图5 f)。预估可通过部分软组织松解完成伸直位、屈曲位间隙平衡,依计划截骨、松解,安装假体后再次测试可见

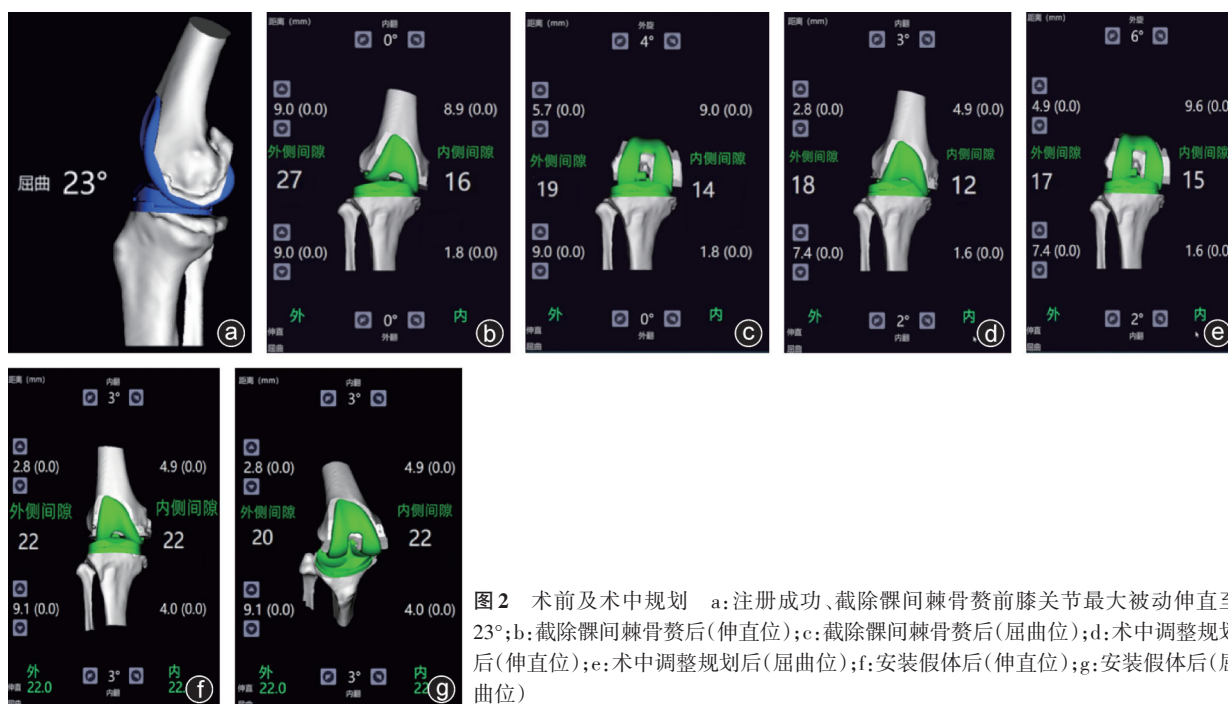


图2 术前及术中规划 a:注册成功、截除髁间棘骨赘前膝关节最大被动伸直至23°;b:截除髁间棘骨赘后(伸直位);c:截除髁间棘骨赘后(屈曲位);d:术中调整规划后(伸直位);e:术中调整规划后(屈曲位);f:安装假体后(伸直位);g:安装假体后(屈曲位)

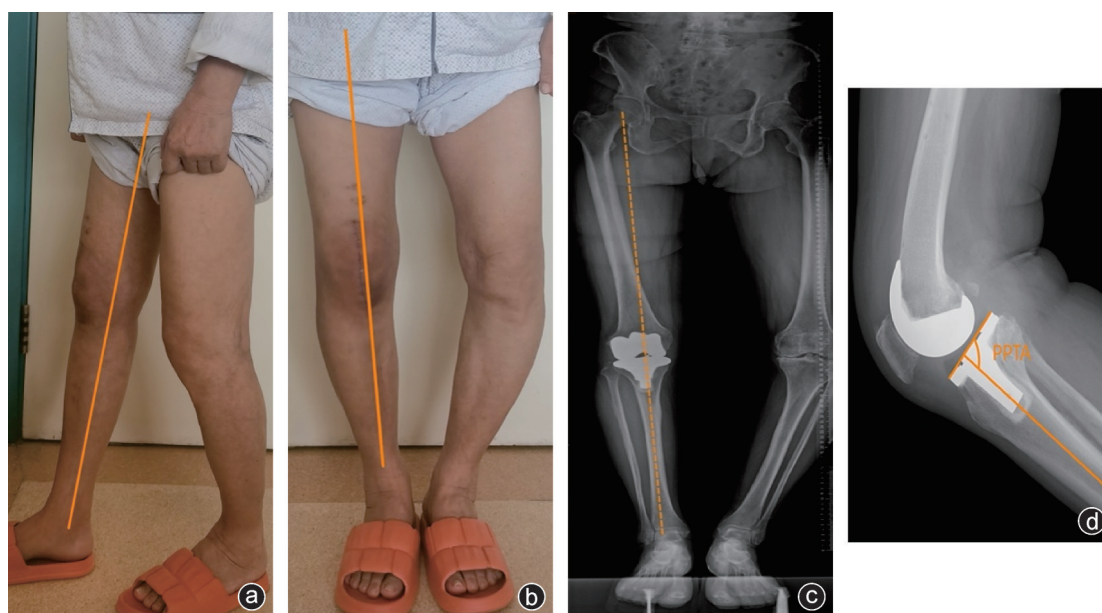


图3 术后外观(a,b)以及复查X线片(c,d)均示假体位置和力线良好

伸直、屈曲位平衡,期间术中调整及截骨操作与病例1一致(图5g,h)。

待医生安装完试模或假体后,可切换到“术中规划”模块,调整股骨胫骨屈曲伸直状态,实时查看伸直、屈曲间隙等参数;关闭切口,清点器械、设备关机归位(注意取出股骨、胫骨检查钉)。术后给予镇痛、抑酸、抗凝等治疗,预防性使用抗生素24h,回病房后指导病人行功能锻炼,并开始下地行走;复查术后X线片与术中计划基本一致(图6)。

### 讨 论

本研究通过对国产机器人辅助下行复杂内外翻TKA的

应用体会进行报道和分析,探讨了其优势、不足与挑战,并提出了相关的讨论和观点。传统手术解决严重内外翻对术者的要求较高,与此相比手术机器人的应用对于复杂初次TKA,尤其是伴有严重成角畸形、关节外畸形或内植物存留的病例具有其独特的优势,包括基于影像学检查的精准术前规划、更友好的骨与软组织保护机制以及实时的术中软组织平衡评估。在术中对下肢力线、截骨位置和假体位置进行调整,可以实现实时的关节间隙联动评估,获得更合理的软组织平衡,进而保证手术后的良好功能。手术机器人的边界保护和触觉反馈机制能够提供有效的骨与软组织保护,避免发生不必要的医源性损伤,减少术后康复和功能恢复的时间和

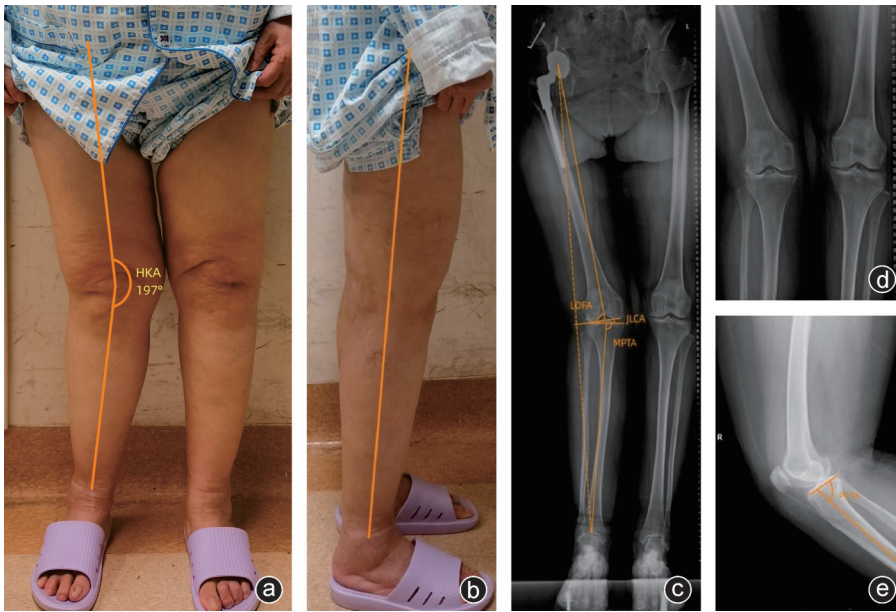


图4 病例2,女,右侧膝重度骨关节炎 a:正位外观照示右膝外翻畸形;b:侧位外观照示未见明显畸形;c:术前下肢全长X线片示右膝严重外翻畸形;d:双膝正位X线片示右膝关节外侧间隙明显狭窄;e:侧位X线片

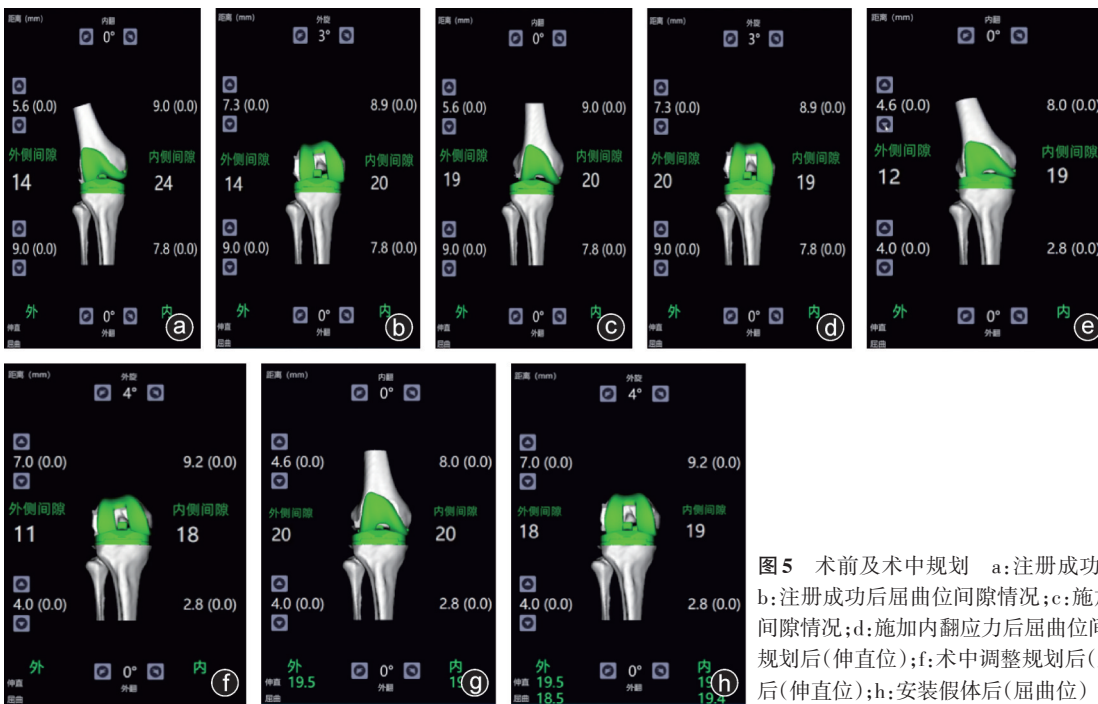


图5 术前及术中规划 a:注册成功后伸直位间隙情况;b:注册成功后屈曲位间隙情况;c:施加内翻应力后伸直位间隙情况;d:施加内翻应力后屈曲位间隙情况;e:术中调整规划后(伸直位);f:术中调整规划后(屈曲位);g:安装假体后(伸直位);h:安装假体后(屈曲位)

成本<sup>[9,14-15]</sup>。

在处理严重内翻伴屈曲畸形时,可在完成注册后去除部分骨性阻挡结构,包括去除髁间棘和髌股关节增生骨赘等,将屈曲畸形减少至机器人系统识别范围之内。此外,术前通过影像学检查和测量,判断内翻畸形的原因。本研究病例1中内翻畸形的主要原因是胫骨近端的内翻,而膝关节外侧间隙增大。由于严重内翻畸形病人膝关节外侧稳定结构松弛、内侧稳定结构挛缩,适当减少股骨远端外侧髁截骨量、增加股骨远点内侧髁,可以减小伸直位内、外侧间隙差异,减少内侧稳定结构松解,降低达到内外侧间隙平衡的难度。在病例1中考虑到截骨后股骨后髁骨赘的清除和后续胫骨平台内侧缩窄截骨可进一步获得额外的伸直间隙,因此需为后续

操作造成的伸直位内侧间隙增大预留部分空间。以胫骨截骨平面为参考,调整股骨外旋截骨,获得平衡的屈曲间隙。此时,无需再对软组织进行进一步松解,有效避免了软组织松解相关的并发症<sup>[16-17]</sup>。最后,在完成截骨后,术者会对膝关节进行试模复位,再次评估屈伸间隙、下肢力线和关节活动度,如果仍然存在间隙不平衡则应考虑升级假体限制性至踝限制性假体,同时需要考虑是否加延长杆,从而避免应力过度集中而影响假体的寿命<sup>[18-19]</sup>。

膝关节外翻畸形常出现于伸直位,屈曲时外翻畸形可消失,通过术前体检及影像学检查可评估膝关节内外侧稳定结构张力情况。本研究病例2术前下肢全长X线片提示患膝伸直位内侧间隙增大、外侧间隙减小,术前伸直位行内翻应力

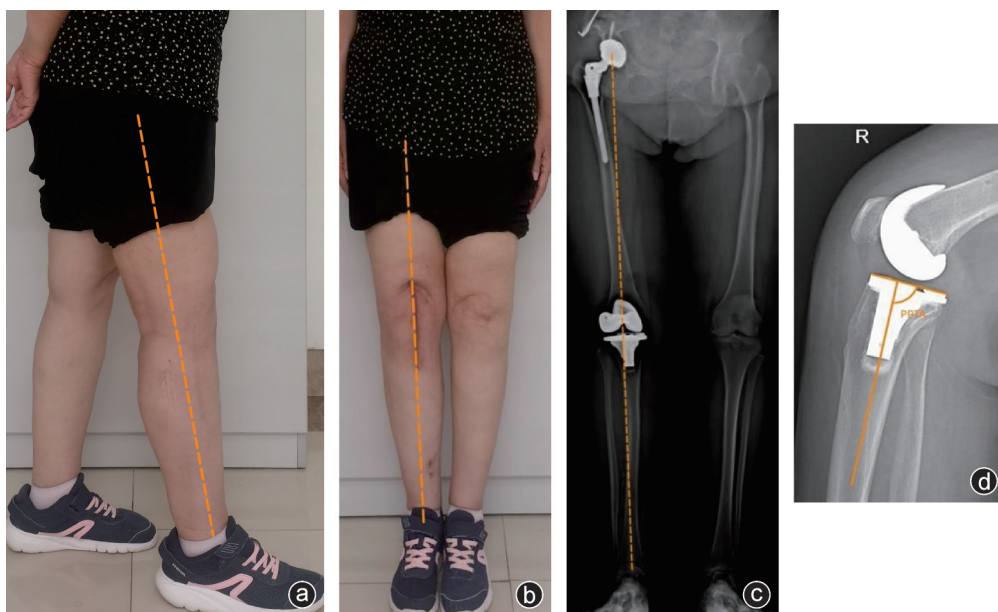


图6 术后外观(a,b)以及复查X线片(c,d)均示假体位置和力线良好

试验可部分缓解下肢外翻角度,提示患膝内侧稳定结构延长,外侧稳定结构无明显挛缩,按传统手术方案可通过适当调整股骨远端外翻角度及截骨量减小膝关节内外侧间隙差距,但该方案需依病人个体差异进行调整,对术者经验及手术技巧有较大考验,调整不合适时常会造成内外侧间隙不平衡,因截骨后难以再次调整手术方案,最终只能选择限制性假体<sup>[19]</sup>。在机器人辅助下行TKA术中,暴露完成后即可通过机器人测量显示膝关节内外侧间隙动态变化,通过精准调整股骨远端外翻截骨角度及截骨量<sup>[20-21]</sup>,以减小伸直位膝关节内、外侧间隙差距,通过松解膝关节外侧稳定结构达到内外侧间隙平衡的目的,并可为术者提供预估截骨后的间隙大小,极大降低了手术难度。术前行膝关节内外翻应力位X线检查虽可对膝关节内外侧稳定结构的评估提供一定帮助,但会增加病人辐射暴露,在此方面机器人系统也较传统手术存在一定优势<sup>[22]</sup>。

机器人辅助间隙平衡法的适应证和假体选择与传统手术并无明显差异,机器人系统能够提供实时截骨后的关节间隙预测,从而避免盲目截骨和软组织松解所造成的间隙失衡。机器人系统的安全边界设定是为了更好的软组织保护,通常与适应证选择无明显相关性。同时,机器人系统允许在可控范围内对下肢力线进行有限调整。研究显示,当前绝大多数骨科医生可以接受 $\pm 3^\circ$ 以内的偏斜,不会对远期假体在位率产生明显影响<sup>[23-24]</sup>。对于通过机器人调整力线和截骨方案仍然无法获得平衡的间隙,如内侧间隙过于松弛、屈伸间隙难以平衡等,则应考虑升级假体限制性至髌限制性假体,同时需要考虑是否加延长杆,从而避免应力过度集中而影响假体的寿命<sup>[18-19]</sup>。

现代机器人辅助技术在关节置换手术中取得了显著的成果<sup>[25]</sup>。研究表明机器人辅助手术可以减少手术创伤,缩短住院时间,减轻术后疼痛,病人术后康复更快,恢复效果更好<sup>[6,26]</sup>,还可以根据病人的个体化情况定制手术方案,提供更

精确和个性化的治疗<sup>[27]</sup>。此外,机器人辅助手术可以提高手术的标准化和一致性,降低手术操作的主观性和难度,使手术更容易被不同水平的医生实施<sup>[5,9,28]</sup>。重度膝关节内外翻、屈伸挛缩、关节外畸形等复杂膝关节置换,对手术医生的经验和技术要求较高,要求年轻医生的学习曲线较长。然而,年轻医生借助机器人辅助系统,可在截骨前预估截骨后的假体位置、大小及内外侧张力情况,获得更精准导航和实时反馈<sup>[29]</sup>。对操作机器人进行TKA手术的医生而言,应充分了解手术流程,掌握基础的手术技巧<sup>[30]</sup>,只有在具备相关手术理念、技巧基础上才能在术中进行个体化的手术计划,更加从容应对突发情况,为病人手术安全提供保证。

国产机器人辅助下行重度内外翻TKA术在提高手术精确度、实时的术中间隙调整等方面具有明显的优势。然而,本研究为病例系列研究,未设置对照组,研究仅对现有复杂病例的治疗进行了回顾,分享了手术技术和相关理念,后续仍然需要组织对照研究,增加相关评价标准,从而对机器人辅助手术获得更为客观可信的评价结果,提升其在临床实践中的应用价值,将有助于为病人提供更好的手术效果和术后恢复,推动TKA手术水平的提升。

## 参 考 文 献

- [1] Kurtz S, Ong K, Lau E, et al. Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030 [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2007, 89(4): 780-785.
- [2] Tedesco D, Gori D, Desai KR, et al. Drug-free interventions to reduce pain or opioid consumption after total knee arthroplasty [J]. *JAMA Surg*, 2017, 152(10): e172872.
- [3] McPherson EJ, Cushner FD, Schiff CF, et al. Natural history of uncorrected flexion contractures following total knee arthroplasty [J]. *J Arthroplasty*, 1994, 9(5): 499-502.
- [4] Yan D, Yang J, Pei F. Total knee arthroplasty treatment of rheumatoid arthritis with severe versus moderate flexion contracture [J]. *J Orthop*

- Surg Res, 2013, 8: 41.
- [5] Kayani B, Konan S, Ayuob A, et al. Robotic technology in total knee arthroplasty: a systematic review [J]. EFORT Open Rev, 2019, 4(10): 611-617.
- [6] Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, et al. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved early functional recovery and reduced time to hospital discharge compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study [J]. Bone Joint J, 2018, 100-B(7): 930-937.
- [7] 柴伟. 关节外科机器人的现状与思考[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2022, 15(8): 563-568.
- [8] 翁习生. 拥抱机器人辅助关节置换手术新时代[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2022, 15(8): 561-562.
- [9] Choi BS, Kim SE, Yang M, et al. Functional alignment with robotic-arm assisted total knee arthroplasty demonstrated better patient-reported outcomes than mechanical alignment with manual total knee arthroplasty [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2023, 31(3): 1072-1080.
- [10] Kayani B, Tahmassebi J, Ayuob A, et al. A prospective randomized controlled trial comparing the systemic inflammatory response in conventional jig-based total knee arthroplasty versus robotic-arm assisted total knee arthroplasty [J]. Bone Joint J, 2021, 103-B(1): 113-122.
- [11] 乔桦, 何锐, 张经纬, 等. 机器人辅助全膝关节置换术的多中心临床研究[J]. 中华骨科杂志, 2023, 43(1): 23-30.
- [12] 荣根祥, 张金陵, 张弘景, 等. 机器人辅助全膝关节置换术治疗膝骨关节炎的临床研究[J]. 实用骨科杂志, 2022, 28(11): 976-981.
- [13] 袁铭成, 石小军, 苏强, 等. 国产机器人辅助人工全膝关节置换术近期疗效的前瞻性随机对照研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2021, 35(10): 1251-1258.
- [14] Shalhoub S, Plaskos C, Todorov A, et al. Development of an active soft-tissue balancing system for robotic-assisted total knee arthroplasty. Handbook of Robotic and Image-Guided Surgery [M]. Amsterdam: Elsevier, 2020: 459-473.
- [15] Siddiqi A, Mont MA, Krebs VE, et al. Not all robotic-assisted total knee arthroplasty are the same [J]. J Am Acad Orthop Surg, 2021, 29(2): 45-59.
- [16] Sultan AA, Piuze N, Khlopas A, et al. Utilization of robotic-arm assisted total knee arthroplasty for soft tissue protection [J]. Expert Rev Med Devices, 2017, 14(12): 925-927.
- [17] Kayani B, Konan S, Pietrzak JRT, et al. Iatrogenic bone and soft tissue trauma in robotic-arm assisted total knee arthroplasty compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study and validation of a new classification system [J]. J Arthroplasty, 2018, 33(8): 2496-2501.
- [18] Cholewinski P, Putman S, Vasseur L, et al. Long-term outcomes of primary constrained condylar knee arthroplasty [J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2015, 101(4): 449-454.
- [19] Rai S, Liu X, Feng X, et al. Primary total knee arthroplasty using constrained condylar knee design for severe deformity and stiffness of knee secondary to post-traumatic arthritis [J]. J Orthop Surg Res, 2018, 13(1): 67.
- [20] Song EK, Seon JK, Yim JH, et al. Robotic-assisted TKA reduces postoperative alignment outliers and improves gap balance compared to conventional TKA [J]. Clin Orthop Relat Res, 2013, 471(1): 118-126.
- [21] Sires JD, Craik JD, Wilson CJ. Accuracy of bone resection in MAKO total knee robotic-assisted surgery [J]. J Knee Surg, 2021, 34(7): 745-748.
- [22] Sousa PL, Sculco PK, Mayman DJ, et al. Robots in the operating room during hip and knee arthroplasty [J]. Curr Rev Musculoskelet Med, 2020, 13(3): 309-317.
- [23] 高嘉翔, 邢丹, 林剑浩. 下肢体线的测量及其在全膝关节置换术中的应用[J]. 中华外科杂志, 2020, 58(6): 478-480.
- [24] Parratte S, Pagnano MW, Trousdale RT, et al. Effect of postoperative mechanical axis alignment on the fifteen-year survival of modern, cemented total knee replacements [J]. J Bone Joint Surg Am, 2010, 92(12): 2143-2149.
- [25] 付君, 倪明, 陈继营. 机器人辅助关节置换手术——一项关乎现在和未来的新兴技术[J]. 中国修复重建外科杂志, 2021, 35(10): 1217-1220.
- [26] Sinha R. Outcomes of robotic arm-assisted unicompartmental knee arthroplasty [J]. Am J Orthop (Belle Mead NJ), 38(2 Suppl): 20-22.
- [27] Bautista M, Manrique J, Hozack WJ. Robotics in total knee arthroplasty [J]. J Knee Surg, 2019, 32(7): 600-606.
- [28] Blyth MJG, Anthony I, Rowe P, et al. Robotic arm-assisted versus conventional unicompartmental knee arthroplasty: Exploratory secondary analysis of a randomised controlled trial [J]. Bone Joint Res, 2017, 6(11): 631-639.
- [29] Herry Y, Batailler C, Lording T, et al. Improved joint-line restitution in unicompartmental knee arthroplasty using a robotic-assisted surgical technique [J]. Int Orthop, 2017, 41(11): 2265-2271.
- [30] Lonner JH, John TK, Condit MA. Robotic arm-assisted UKA improves tibial component alignment: a pilot study [J]. Clin Orthop Relat Res, 2010, 468(1): 141-146.

(收稿日期: 2023-12-25)

(本文编辑: 陈姗姗)

## 引用格式

祖力皮喀尔·买买提, 黄腾, 延廷芳, 等. 国产机器人辅助间隙平衡法在重度内外翻膝关节置换中的应用体会——病例报道与临床经验[J]. 骨科, 2024, 15(2): 173-178. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8573.2024.02.014.