

· 临床论著 ·

机器人辅助与常规全膝关节置换的比较[△]李伟^{1,2}, 刘承耀², 于赋斌², 张文强^{3*}

(1. 滨州医学院, 山东滨州 256603; 2. 济南市章丘区人民医院骨关节科, 山东济南 250200;

3. 山东第一医科大学第一附属医院骨关节外科, 山东济南 250000)

摘要: [目的] 比较机器人辅助全膝关节置换术 (robotic-assisted total knee arthroplasty, RA-TKA) 与常规膝关节置换术 (conventional total knee arthroplasty, C-TKA) 的假体安放位置及短期临床疗效。[方法] 回顾性分析 2023 年 2 月—2023 年 10 月 43 例行 TKA 手术患者的临床资料, 根据医患沟通结果, 将患者分为 RA-TKA 组 21 例, C-TKA 组 22 例。比较两组围手术期、随访及影像学资料。[结果] 所有患者均顺利完成手术, RA-TKA 组手术时间 [(99.8±15.2) min vs (82.4±11.5) min, $P<0.001$]、切口总长度 [(13.1±1.1) cm vs (12.3±0.7) cm, $P=0.011$] 均显著长于 C-TKA 组。平均随访时间 (15.2±2.4) 个月。与术前相比, 两组患者末次随访时 VAS、HSS、KSS、WOMAC 评分及膝伸屈 ROM 均显著改善 ($P<0.05$), 两组术前及末次随访时上述指标的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。影像方面, RA-TKA 组术后即刻及末次随访时, 髁-膝-踝角 (hip-knee-ankle angle, HKA) [(178.1±1.3)° vs (176.1±2.3)°, $P<0.001$; (178.2±0.9)° vs (177.0±2.3)°, $P=0.023$]、矢状面胫骨组件角 (lateral tibia component, LTC) [(87.9±1.1)° vs (89.2±1.8)°, $P=0.009$; (88.0±0.9)° vs (89.1±1.6)°, $P=0.006$] 均显著优于 C-TKA 组, 而两组冠状面胫骨组件角 (frontal femoral component, FFC)、矢状面股骨组件角 (lateral femoral component, LFC)、冠状面胫骨组件角 (frontal tibia component, FTC) 比较的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。[结论] RA-TKA 术后具有更好的下肢机械轴、更精准的截骨及假体植入位置, 与 C-TKA 相比, 短期临床疗效并无差异。

关键词: 膝关节骨性关节炎, 机器人, 全膝关节置换术, 疗效评估**中图分类号:** R687.4**文献标志码:** A**文章编号:** 1005-8478 (2025) 16-1464-06

Comparison of robot-assisted and conventional total knee arthroplasty // LI Wei^{1,2}, LIU Cheng-yao², YU Fu-bin², ZHANG Wen-qiang^{3*}. 1. Binzhou Medical College, Binzhou 256603, Shandong, China; 2. Department of Bone and Joint Surgery, People's Hospital of Zhangqiu District, Jinan 250200, Shandong, China; 3. Department of Bone and Joint Surgery, The First Affiliated Hospital, Shandong First Medical University, Jinan 250000, Shandong, China

Abstract: [Objective] To compare the clinical consequences of robot-assisted total knee arthroplasty (RA-TKA) versus conventional total knee arthroplasty (C-TKA). [Methods] A retrospective study was conducted on 43 patients who received TKA from February 2023 to October 2023. According to the doctor-patient communication, 21 patients underwent RA-TKA, while other 22 patients received C-TKA. The documents regarding perioperative period, follow-up and imaging were compared between two groups. [Results] All patients in both groups had TKA performed successfully. The RA-TKA group proved significantly greater than the C-TKA group in terms of operative time [(99.8±15.2) min vs (82.4±11.5) min, $P<0.001$] and the total incision length [(13.1±1.1) cm vs (12.3±0.7) cm, $P=0.011$]. All patients in both groups were followed up for (15.2±2.4) months in a mean. The VAS, HSS, KSS, WOMAC scores and knee extension-flexor ROM were significantly improved in both groups at the last follow-up compared with those before surgery ($P<0.05$), which were not statistically significant between the two groups at any time points accordingly ($P>0.05$). As for imaging, the RA-TKA proved significantly superior to the C-TKA in terms of hip-knee-ankle angle (HKA) [(178.1±1.3)° vs (176.1±2.3)°, $P<0.001$; (178.2±0.9)° vs (177.0±2.3)°, $P=0.023$], lateral tibia component (LTC) [(87.9±1.1)° vs (89.2±1.8)°, $P=0.009$; (88.0±0.9)° vs (89.1±1.6)°, $P=0.006$] immediately after surgery and at the last follow-up. However, there were no significant differences in frontal femoral component (FFC), lateral femoral component (LFC), and frontal tibia component (FTC) between the two group postoperatively ($P>0.05$). [Conclusion] The RA-TKA has better lower limb alignment, more accurate osteotomy and implant position after operation, regardless of that no difference in short-term clinical efficacy is found compared with C-TKA.

DOI:10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.110658

[△]基金项目: 山东省自然科学基金面上项目 (编号: ZR2022MH299)

作者简介: 李伟, 主治医师, 研究方向: 关节置换, (电子信箱) libaitian312@163.com

* 通信作者: 张文强, (电子信箱) qfswzq@sina.com

Key words: knee osteoarthritis, robot, total knee arthroplasty, efficacy evaluation

全膝关节置换术 (total knee arthroplasty, TKA) 是目前全球公认有效且临床效果良好的治疗终末期膝关节炎的手术技术, 可以明显缓解疼痛、纠正膝关节畸形、降低残疾率并提高生活质量^[1-3]。在 TKA 中, 良好的下肢力线重建及精准的假体置入有利于增加假体的使用寿命并改善肢体功能^[4]。尽管近年来 TKA 手术技术不断得以改进及完善, 但术后只有 82%~89% 的患者对手术效果感到满意^[5], 术后假体的置入位置不良、生物力学缺陷等引起的膝关节功能损害严重影响了 TKA 的预后^[6, 7]。根据一项来自 6 个国家关节置换中心的数据分析, 5 年内有高达 6% 的接受初次膝关节置换术的患者需要进行翻修手术^[8], 翻修的原因复杂多样, 但假体松动及聚乙烯衬垫的磨损占据主要原因^[9, 10], 而术后假体安放位置偏差、力线纠正不到位等均可造成假体磨损及松动^[11]。我国膝关节骨性关节炎 (knee osteoarthritis, KOA) 的患者数量不断增加, 接受膝关节置换的患者亦将不断增加, 如何提高手术技术、延长膝关节假体使用寿命、降低翻修率及提高患者满意度已成为骨科医生面临的重大挑战。

近年来, 机器人辅助全膝关节置换术 (robotic-assisted total knee arthroplasty, RA-TKA) 已受到越来越多骨科医生的青睐。机器人技术在关节置换中的应用旨在精确重建下肢力线、提高假体放置的精准度, 以期提高临床疗效、降低术后并发症的发生率^[12]。我国已有多款关节机器人投入市场, 其中中华 (HURWA) 关节机器人已在国内多家医院顺利开展手术, 为临床提供多模态、数字化的术前规划信息和高精准、自动化的术中配准与执行方案。本研究主要探讨国产关节机器人辅助 TKA 能否提高假体安放的精准度及改善短期临床疗效, 现报道如下。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准: (1) 明确诊断为 KOA, 并行初次单侧 TKA; (2) 经保守治疗 3~6 个月效果不佳, 仍持续性疼痛, 且已排除其他关节性疾病; (3) 膝关节内翻畸形 5°~20°; (4) 由同一名主刀医师进行手术, 并使用同一款膝关节假体。

排除标准: (1) 膝关节外翻畸形; (2) 术侧下肢骨折史或手术史; (3) 合并膝关节活动性感染或身体其他部位感染。

1.2 一般资料

回顾性分析 2023 年 2 月—2023 年 10 月在本院行 TKA 的终末期 KOA 患者的临床资料。共 43 例患者符合上述标准, 纳入本研究, 根据医患沟通结果, 21 例采用 RA-TKA, 另外 22 例采用常规全膝关节置换术 (conventional total knee arthroplasty, C-TKA)。两组患者一般资料见表 1, 两组年龄、性别、身体质量指数 (body mass index, BMI)、病程、手术侧别等一般资料比较的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。本研究经本院伦理委员会批准 (编号: 2023079), 所有患者均签署知情同意书。

表 1. 两组患者术前一般资料比较

Table 1. Comparison of general data between the two groups before treatment

指标	RA-TKA 组 (n=21)	C-TKA 组 (n=22)	P 值
年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	67.0 $\pm$ 5.7	68.6 $\pm$ 6.0	0.364
性别 (例, 男/女)	5/16	6/16	0.795
BMI (kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	27.2 $\pm$ 2.7	26.7 $\pm$ 3.5	0.648
病程 (月, $\bar{x} \pm s$)	91.4 $\pm$ 58.2	103.2 $\pm$ 54.1	0.494
侧别 (例, 左/右)	8/13	9/13	0.850

1.3 手术方法

RA-TKA 组: 患者术前均进行下肢全长 CT 扫描, 应用机器人计算机系统对影像资料进行分析及术前截骨规划。切开显露关节后于股骨近端切口处及胫骨中段分别安装机器人示踪器后进行配准, 机器人根据术前规划指导机械臂调整截骨位置, 由术者操作机械臂摆锯进行股骨及胫骨截骨。截骨完成后安装试模, 测试膝关节伸屈间隙, 根据机器人显示的内外侧间隙数据有目的地进行软组织松解。然后启用气压止血带, 冲洗枪冲洗骨质清洁, 使用骨水泥固定股骨及胫骨假体, 安装衬垫, 缝合包扎切口。

C-TKA 组: 常规显露膝关节后, 股骨与胫骨的截骨使用髓内、髓外定位工具及截骨模具辅助进行, 设置股骨外翻 6°、外旋 3°、胫骨后倾 3°, 胫骨距离外侧平台下 9 mm 截骨, 截骨完成后放置假体试模进行测试, 根据测试结果以决定是否加截股骨或胫骨及松解周围软组织。假体的安装同 RA-TKA 组。

两组患者术前计划使用胫骨衬垫厚度均为 6 mm、胫骨平台后倾 3°, 计划术后下肢力线中立位对齐。

两组患者均由同一名资深主刀医生完成手术; 均采用髁旁内侧入路并使用同一款固定平台 PS 假体;

均未行髌骨置换及放置引流管；术后均给予预防感染、抗凝、止痛等一般治疗。

1.4 评价指标

记录围手术期资料，包括手术时间、切口长度、术中失血量、胫骨衬垫厚度、下地行走时间、住院时间、并发症等。采用完全负重活动时间、膝关节活动度（range of motion, ROM）、疼痛视觉模拟评分（visual analogue scale, VAS）、美国特种外科医院（Hospital for Special Surgery, HSS）膝关节评分、美国膝关节协会评分（Knee Society Score, KSS）及西安大略和麦可马斯特大学骨关节炎指数（Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index, WOMAC）评估临床疗效。行影像学检查，记录髌-膝-踝角

（hip-knee-ankle angle, HKA）、冠状面股骨组件角（frontal femoral component, FFC）、矢状面股骨组件角（lateral femoral component, LFC）、冠状面胫骨组件角（frontal tibia component, FTC）、矢状面胫骨组件角（lateral tibia component, LTC），用以评估假体的安放位置精准度，影像测量如图 1 所示。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析。计量数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示，资料呈正态分布时，组间比较采用独立样本 *t* 检验，组内比较采用配对 *T* 检验；资料呈非正态分布时，采用秩和检验。计数资料采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。等级资料两组比较采用 Mann-whitney *U* 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

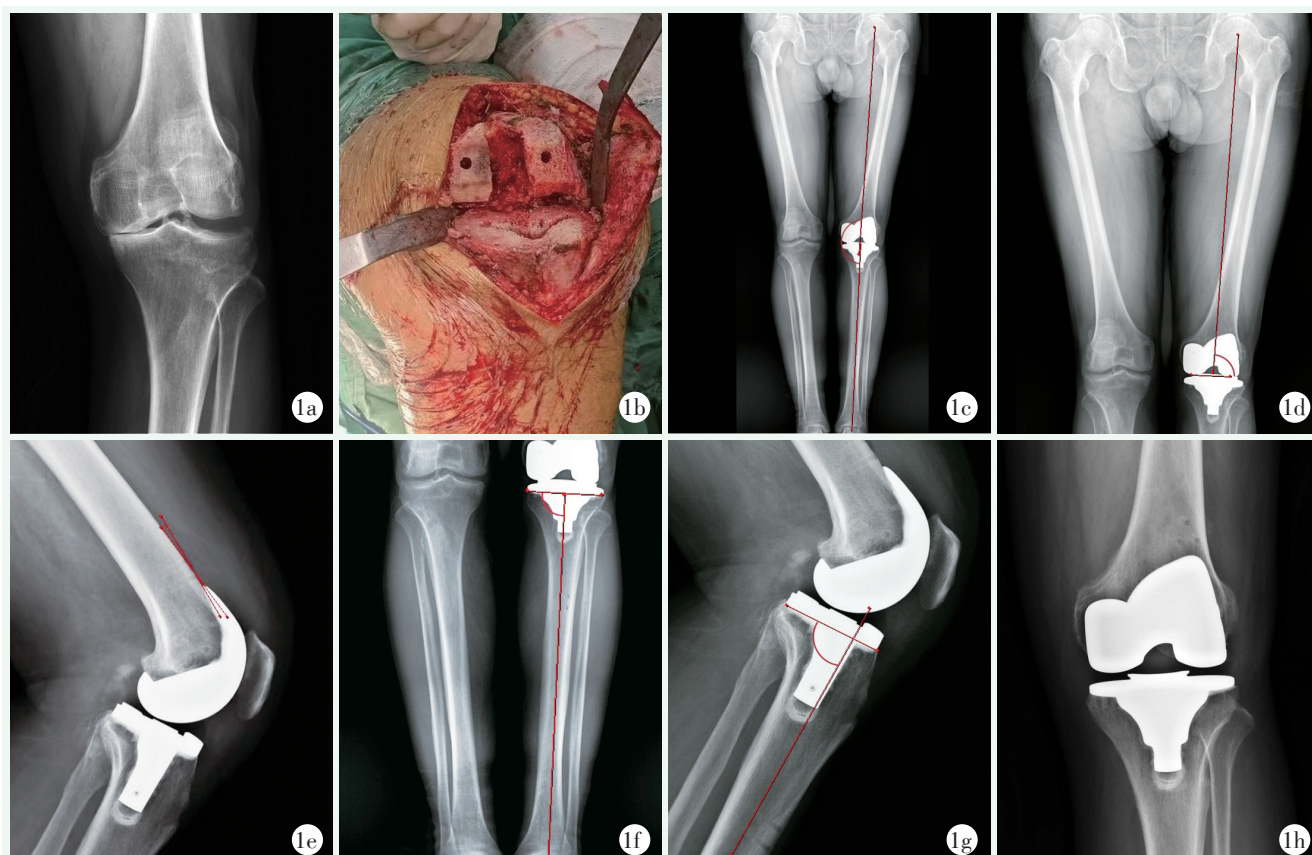


图 1. 患者男性，73 岁，左膝关节骨性关节炎，行 RA-TKA 手术治疗。1a：术前 X 线片示关节间隙狭窄、骨硬化和周缘骨赘生成；1b：术中应用机器人截骨后示意图，股骨未开髓；1c：HKA，股骨和胫骨机械轴线的内侧夹角；1d：FFC，冠状面股骨假体关节面连线中点与股骨头中点连线的内侧夹角；1e：LFC，矢状面前髌截骨面切线与矢状面股骨前皮质所成的夹角；1f：FTC，冠状面胫骨假体关节面内外侧连线中点与距骨中心连线的内侧夹角；1g：LTC，矢状面胫骨平台截骨面切线与胫骨髓腔中心长轴所成的夹角；1h：末次随访关节无透亮线等松动征象。

Figure 1. A 73-year-old male received RA-TKA for the left knee osteoarthritis. 1a: Preoperative X ray showed joint space narrowing with subchondral sclerosis, and osteophyte formation; 1b: Intraoperative bone resection with the robotic system, without femoral canal opening; 1c: HKA, the medial angle between the femoral and tibial mechanical axes; 1d: FFC, the lateral angle between the line connecting the midpoint of the femoral prosthetic articular surface on the coronal plane and the center of the femoral head; 1e: LFC, the angle between the tangent to the anterior femoral condylar resection surface and the anterior femoral cortex in the sagittal plane; 1f: FTC, the medial angle between the line connecting the midpoint of the tibial prosthetic articular surface to the center of the talus and the line connecting the medial and lateral sides of the tibial prosthetic articular surface on the coronal plane; 1g: LTC, the angle between the tangent to the tibial plateau resection surface in the sagittal plane and the long axis of the tibial canal; 1h: X ray at the latest follow-up showed no signs of prosthetic loosening.

2 结 果

2.1 围手术期资料

所有患者均顺利完成手术，术中无血管、神经损伤等严重并发症。两组围手术期资料见表 2，RA-TKA 组手术时间、切口总长度均显著长于 C-TKA 组 ($P<0.05$)，但两组术中失血量、垫片厚度、下地行走时间、住院时间差异均无统计学意义 ($P>0.05$)，两组患者手术切口均甲级愈合，无切口感染、下肢深静脉血栓形成发生。

表 2. 两组患者围手术期资料比较 Table 2. Comparison of perioperative documents between the two groups			
指标	RA-TKA 组 (n=21)	C-TKA 组 (n=22)	P 值
手术时间 (min, $\bar{x} \pm s$)	99.8±15.2	82.4±11.5	<0.001
切口总长度 (cm, $\bar{x} \pm s$)	13.1±1.1	12.3±0.7	0.011
术中失血量 (mL, $\bar{x} \pm s$)	226.2±53.7	227.3±54.6	0.948
垫片厚度 (例, 6/7/8/10 mm)	18/3/0/0	15/4/2/1	0.335
下地行走时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	1.7±0.3	1.8±0.3	0.687
切口愈合 (例, 甲/乙/丙)	21/0/0	22/0/0	ns
住院时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	8.4±1.2	8.0±0.8	0.217

2.2 随访结果

两组患者均获得 10~18 个月的随访，平均随访时间 (15.2 ± 2.4) 个月。随访资料见表 3。两组患者完全负重活动时间的差异无统计学意义 ($P>0.05$)。与术前相比，两组患者末次随访时 VAS、HSS、KSS、WOMAC 评分及膝伸屈 ROM 均显著改善 ($P<0.05$)，两组术前及末次随访时上述指标的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。

2.3 影像评估

两组患者影像评估结果见表 4。与术后即刻相比，两组患者末次随访时 HKA、FFC、LFC、FTC、LTC 均无显著变化 ($P>0.05$)，但 RA-TKA 组术后即刻及末次随访时，HKA、LTC 均显著优于 C-TKA 组 ($P<0.05$)，而两组 FFC、LFC、FTC 比较的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。

3 讨 论

KOA 是最常见的慢性关节退行性疾病^[13, 14]。有调查显示，在 60 岁以上的人群中，KOA 的患病率男性为 10%，女性为 13%，随着人口老龄化的进展和

肥胖人群的增加，KOA 的患病率还在不断增加^[13]。随着病情进展，可逐渐出现关节畸形、疼痛、僵硬、关节活动障碍等症状，严重影响患者的生活质量及心理状态^[14, 15]，而 TKA 是针对终末期 KOA 的有效治疗手术方式。

表 3. 两组患者随访资料 ($\bar{x} \pm s$) 比较 Table 3. Comparison of follow-up documents between the two groups ($\bar{x} \pm s$)			
指标	RA-TKA 组 (n=21)	C-TKA 组 (n=22)	P 值
完全负重活动时间 (d)	28.3±5.4	27.5±5.6	0.662
VAS 评分 (分)			
术前	6.1±1.0	6.0±1.0	0.758
末次随访	1.0±0.8	1.0±1.0	0.875
P 值	<0.001	<0.001	
HSS 评分 (分)			
术前	52.2±9.2	51.3±11.5	0.762
末次随访	87.3±5.0	86.5±6.5	0.620
P 值	<0.001	<0.001	
KSS (分)			
术前	48.9±13.7	50.2±15.5	0.768
末次随访	89.1±5.5	90.1±11.3	0.728
P 值	<0.001	<0.001	
WOMAC 评分 (分)			
术前	48.0±7.5	46.3±8.1	0.496
末次随访	22.0±4.9	19.4±5.6	0.109
P 值	<0.001	<0.001	
膝伸屈 ROM (°)			
术前	96.7±14.9	94.3±13.0	0.584
末次随访	104.8±11.9	101.8±11.2	0.408
P 值	0.049	0.028	

本研究发现，虽然 RA-TKA 术中避免了股骨开髓，但两组手术失血量并无明显差异，且 RA-TKA 组手术时间和切口长度明显长于 C-TKA 组，但随着使用机器人熟练度的提高及流程的优化，手术时间逐渐接近于 C-TKA 组，而在安装股骨侧示踪器时为避免影响股骨前髁的截骨遂适度延长了近端切口。一项研究发现，RA-TKA 的学习曲线在 10 例手术左右^[16]，本研究发现使用机器人辅助手术 12 例后手术时间与 C-TKA 手术时间相差无几。两组患者术后 ROM 及各项评分并无差异，表明两组患者短期临床疗效相似，Song 等^[17]的研究结果认为，使用机器人及常规工具手术的患者术后 ROM、HSS 评分、WOMAC 评分没有差异，Tian 等^[11]一项前瞻性对照

试验结果也认为，接受两种方法手术的患者，术后 ROM、KSS 评分差异无统计学意义，而在此方面，Batailler 等^[18]的研究显示，接受 RA-TKA 的患者术后 1 年的 KSS 评分、WOMAC 评分比 C-TKA 要好，虽然各研究结果表现不同，但 RA-TKA 是否能带来更好的长期临床结果还需要进一步随访观察。

表 4. 两组患者影像资料 ($\bar{x} \pm s$) 比较 Table 4. Comparison of imaging documents between the two groups ($\bar{x} \pm s$)			
指标	RA-TKA 组 (<i>n</i> =21)	C-TKA 组 (<i>n</i> =22)	<i>P</i> 值
HKA 角 (°)			
术后即刻	178.1±1.3	176.1±2.3	<0.001
末次随访	178.2±0.9	177.0±2.3	0.023
<i>P</i> 值	0.906	0.241	
FFC 角 (°)			
术后即刻	89.8±1.4	90.0±2.7	0.756
末次随访	89.9±1.2	89.8±2.4	0.933
<i>P</i> 值	0.880	0.805	
LFC 角 (°)			
术后即刻	3.2±1.4	3.1±1.8	0.853
末次随访	3.1±1.3	3.0±1.7	0.827
<i>P</i> 值	0.790	0.819	
FTC 角 (°)			
术后即刻	89.3±1.1	89.8±1.2	0.182
末次随访	89.3±0.9	89.8±1.0	0.141
<i>P</i> 值	0.866	0.965	
LTC 角 (°)			
术后即刻	87.9±1.1	89.2±1.8	0.009
末次随访	88.0±0.9	89.1±1.6	0.006
<i>P</i> 值	0.868	0.938	

影像资料显示 RA-TKA 组的术后 HKA 及 LTC 明显优于 C-TKA 组，表明 RA-TKA 术后具有更好的下肢机械轴及更精准的假体置入位置，而良好的下肢机械轴重建、假体对位及软组织平衡对维持 TKA 术后的稳定、功能的恢复及假体远期生存率的重要性已有很多研究报道。Nam 等^[4]的研究结果也显示，行 RA-TKA 的患者较 C-TKA 的患者具有更好的下肢机械轴及更高的假体置入精度。Kort 等^[19]的一项荟萃分析发现，RA-TKA 可降低胫骨平台后倾角的偏移率，但是 Lee 等^[20]的研究认为，胫骨平台后倾角的改变并不影响 TKA 术后 ROM，本研究也表明，两组患者术后 ROM 并无差异。两组患者在胫骨衬垫使用

方面虽然无统计学差异（可能是因为本研究的样本量较少），但可以发现，两组患者按照标准截骨预计使用 6 mm 厚度胫骨衬垫的比率分别为 RA-TKA 组 85.7%、C-TKA 组 68.2%，RA-TKA 组能更精准地实现手术设计并提高截骨精度，也反映出机器人术前规划可靠、术中操作稳定，同时术中根据机器人提供的数据，可以更好地进行软组织松解。Cheng 等^[21]在文中指出，机器人的软组织引导技术有助于防止胫骨过度截骨，可以帮助术者选择合适厚度的胫骨衬垫并获得更加稳定和平衡的膝关节。Berend 等^[22]指出，使用较厚的胫骨衬垫，可能会导致膝关节中度屈曲不稳，影响髌骨的功能，其对 6 070 例初次 TKA 的研究指出，使用较厚的胫骨衬垫可降低假体的使用寿命而增加翻修率。但 Rajamäki 等^[23]指出，在长期的随访中，使用较厚胫骨衬垫的膝关节假体仍有 90% 以上的生存率，并且 Garceau 等^[24]的研究也认为，较厚的胫骨衬垫不会增加翻修率，并且认为在术后功能方面，良好的手术技术（如适当的截骨、正确的韧带平衡、机械轴的恢复）比衬垫厚度的选择更重要，他认为通过机器人辅助手术可以更好地完成。

本研究的不足：（1）本研究是一项回顾性分析研究，无法比较两组截骨量的差异，且患者术后未进行 CT 检查，未能比较其他下肢对线，如胫骨旋转对线等；（2）本研究是单中心研究，仅涉及一名经验丰富主刀医生的手术，对于结果的准确概括可能受到限制，并不能代表手术经验不足医生的结果；（3）术后随访时间较短，无法评价 RA-TKA 的远期疗效及假体的生存率等。

综上所述，国产关节机器人辅助 TKA 可以提高下肢机械轴重建、假体置入及截骨的精度，虽然短期疗效并无差异，但其操作安全、可靠，可个性化提供手术方案，值得临床推广。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突
作者贡献声明 李伟：研究设计、实施和论文写作、采集分析和解释数据、统计分析及行政、技术和材料支持；刘承耀：研究设计、分析和解释数据、论文审阅、行政、技术和材料支持及支持性贡献；于赋斌：采集分析和解释数据、统计分析及行政、技术和材料支持；张文强：研究设计、指导实施、分析和解释数据、论文审阅、获取研究经费及行政、技术和材料支持

参考文献

[1] Urish KL, Conditt M, Roche M, et al. Robotic total knee arthroplasty: Surgical assistant for a customized normal kinematic knee [J]. Orthopedics, 2016, 39 (5) : e822-e827. DOI: 10.3928/01477447-20160623-13.

- [2] 杨波, 陈明, 吴学元, 等. 国人全膝置换术股骨远端截骨面解剖参数测量 [J]. 中国矫形外科杂志, 2024, 32 (10): 954-957. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2024.10.18.
- Yang B, Chen M, Wu XY, et al. Anatomic measurement of the distal femur in Chinese for total knee replacement [J]. Orthopedic Journal of China, 2024, 32 (10): 954-957. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2024.10.18.
- [3] Hermann W, Lambova S, Muller-Ladner U. Current treatment options for osteoarthritis [J]. Curr Rheumatol Rev, 2018, 14 (2): 108-116. DOI: 10.2174/1573397113666170829155149.
- [4] Nam CH, Lee SC, Kim JH, et al. Robot-assisted total knee arthroplasty improves mechanical alignment and accuracy of component positioning compared to the conventional technique [J]. J Exp Orthop, 2022, 9 (1): 108. DOI: 10.1186/s40634-022-00546-z.
- [5] Bourne RB, Chesworth BM, Davis AM, et al. Patient satisfaction after total knee arthroplasty: Who is satisfied and who is not [J]. Clin Orthop Relat Res, 2010, 468 (1): 57-63. DOI: 10.1007/s11999-009-1119-9.
- [6] Noble PC, Gordon MJ, Weiss JM, et al. Does total knee replacement restore normal knee function [J]. Clin Orthop Relat Res, 2005, 431 (1): 157-165. DOI: 10.1097/01.blo.0000150130.03519.fh.
- [7] Kazarian GS, Haddad FS, Donaldson MJ, et al. Implant malalignment may be a risk factor for poor patient-reported outcomes measures (PROMs) following total knee arthroplasty (TKA) [J]. J Arthroplasty, 2022, 37 (6S): S129-S133. DOI: 10.1016/j.arth.2022.02.087.
- [8] Labek G, Thaler M, Janda W, et al. Revision rates after total joint replacement: Cumulative results from worldwide joint register datasets [J]. J Bone Joint Surg Br, 2011, 93 (3): 293-297. DOI: 10.1302/20301-620X.93B3.25467.
- [9] Postler A, Lützner C, Beyer F, et al. Analysis of total knee arthroplasty revision causes [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2018, 19 (1): 55. DOI: 10.1186/s12891-018-1977-y.
- [10] Fraser JF, Werner S, Jacofsky DJ. Wear and loosening in total knee arthroplasty: a quick review [J]. J Knee Surg, 2015, 28 (2): 139-144. DOI: 10.1055/s-0034-1398375.
- [11] Tian R, Duan X, Kong N, et al. Robotic-assisted total knee arthroplasty is more advantageous for knees with severe deformity: a randomized controlled trial study design [J]. Int J Surg, 2023, 109 (3): 287-296. DOI: 10.1097/JS9.0000000000000002.
- [12] 张子安, 张海宁, 李海燕, 等. 机器人辅助技术在全膝关节置换手术中的应用 [J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28 (11): 937-941. DOI: CNKI:SUN:ZJXS.0.2020-11-019.
- Zhang ZA, Zhang HN, Li HY, et al. Application of robotic assisted technique in total knee arthroplasty [J]. Orthopedic Journal of China, 2020, 28 (11): 937-941. DOI: CNKI:SUN:ZJXS.0.2020-11-019.
- [13] Zhang Y, Jordan JM. Epidemiology of osteoarthritis [J]. Clin Geriatr Med, 2010, 26 (3): 355-369. DOI: 10.1016/j.cger.2010.03.001.
- [14] Sharma L. Osteoarthritis of the knee [J]. N Engl J Med, 2021, 384 (1): 51-59. DOI: 10.1056/NEJMcip1903768.
- [15] Jang S, Lee K, Ju JH. Recent updates of diagnosis, pathophysiology, and treatment on osteoarthritis of the knee [J]. Int J Mol Sci, 2021, 22 (5): 2619. DOI: 10.3390/ijms22052619.
- [16] 王璠, 刘长兴, 孙水. 机器人辅助全膝关节置换的学习曲线分析 [J]. 中国矫形外科杂志, 2023, 31 (17): 1617-1620. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.17.16.
- Wang F, Liu CX, Sun S. Learning curve analysis of robotic knee system assisted total knee arthroplasty [J]. Orthopedic Journal of China, 2023, 31 (17): 1617-1620. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.17.16.
- [17] 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. DOI: 10.1007/s11999-012-2407-3.
- [18] Batailler C, Fernandez A, Swan J, et al. MAKO CT-based robotic arm-assisted system is a reliable procedure for total knee arthroplasty: a systematic review [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2021, 29 (11): 3585-3598. DOI: 10.1007/s00167-020-06283-z.
- [19] Kort N, Stirling P, Pilot P, et al. Robot-assisted knee arthroplasty improves component positioning and alignment, but results are inconclusive on whether it improves clinical scores or reduces complications and revisions: a systematic overview of meta-analyses [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2022, 30 (8): 2639-2653. DOI: 10.1007/s00167-021-06472-4.
- [20] Lee OS, Lee J, Lee MC, et al. Effect of posterior tibial slope change on postoperative range of motion and clinical outcomes after posterior cruciate-substituting total knee arthroplasty [J]. J Knee Surg, 2023, 36 (1): 87-94. DOI: 10.1055/s-0041-1729967.
- [21] Cheng R, Kim B, Taylor WL 4th, et al. Robotic-assisted total knee arthroplasty is associated with the use of thinner polyethylene liners compared to navigation-guided and manual techniques [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2024, 32 (9): 2290-2296. DOI: 10.1002/ksa.12228.
- [22] Berend ME, Davis PJ, Ritter MA, et al. "Thicker" polyethylene bearings are associated with higher failure rates in primary total knee arthroplasty [J]. J Arthroplasty, 2010, 25 (6 Suppl): 17-20. DOI: 10.1016/j.arth.2010.04.031.
- [23] Rajamäki A, Niemeläinen M, Junnila M, et al. Thicker polyethylene inserts (≥ 13 mm) increase the risk for early failure after primary cruciate-retaining total knee arthroplasty (TKA): a single-centre study of 7643 TKAs [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2023, 31 (3): 1018-1025. DOI: 10.1007/s00167-022-07189-8.
- [24] Garceau SP, Warschawski YS, Tang A, et al. The effect of polyethylene liner thickness on patient outcomes and failure after primary total knee arthroplasty [J]. J Arthroplasty, 2020, 35 (8): 2072-2075. DOI: 10.1016/j.arth.2020.03.017.

(收稿: 2024-09-11 修回: 2025-02-05)

(同行评议专家: 祁伟, 迟增德, 刘伟)

(本文编辑: 闫承杰)