

· 临床论著 ·

膝骨关节炎内翻畸形导航辅助全膝置换术

汪俊红, 柳海平, 赵宁, 马继海, 李兴国*

(甘肃省中医院关节骨一科, 甘肃兰州 730050)

摘要: [目的] 比较导航辅助与传统技术全膝置换 (total knee arthroplasty, TKA) 治疗膝骨关节炎内翻畸形的临床疗效。[方法] 回顾性分析 2021 年 1 月—2023 年 10 月在本院采用 TKA 术治疗的膝骨关节炎内翻畸形 92 例患者的临床资料。依据术前医患沟通结果, 46 例采用导航辅助 TKA 术 (导航组), 46 例采用传统 TKA 术 (传统组)。比较两组围术期、随访以及影像资料。[结果] 导航组的手术时间显著长于传统组 [(97.2±7.8) min vs (86.7±6.5) min, $P<0.001$], 但前者的出血量显著少于后者 [(224.1±21.8) mL vs (240.2±23.6) mL, $P<0.001$], 两组切口长度、首次下床时间、住院时间、切口愈合时间、并发症发生率差异无统计学意义 ($P>0.05$)。随着时间推移, 两组患者 WOMAC 评分、VAS 评分均逐渐降低, HSS 评分、伸-屈 ROM 均逐渐升高 ($P<0.05$), 相应时间点两组间上述指标的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。影像方面, 与术前相比, 末次随访时两组的 FTA 角显著降低, 而 MPTA 角和 PTS 角均增加 ($P<0.05$)。末次随访时, 导航组的 FTA 角显著小于传统组 [(172.7±10.5)° vs (178.4±12.6)°, $P<0.05$], 而前者的 MPTA 角显著大于后者 [(87.7±7.4)° vs (78.8±6.5)°, $P<0.001$]。[结论] 导航辅助 TKA 术治疗膝骨关节炎内翻畸形能获得与传统 TKA 手术治疗一致的临床疗效, 导航辅助手术时间长, 但出血量更少, 下肢力线矫正效果更佳。

关键词: 导航, 全膝关节置换术, 膝骨关节炎, 膝关节内翻畸形, 下肢力线

中图分类号: R684.2

文献标志码: A

文章编号: 1005-8478 (2025) 11-0981-06

Robot-assisted total knee arthroplasty for knee osteoarthritis complicated with varus deformity // WANG Jun-hong, LIU Hai-ping, ZHAO Ning, MA Ji-hai, LI Xing-guo. Department of Bone and Joint Surgery, Gansu Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730050, Gansu, China

Abstract: [Objective] To compare the clinical efficacy of robot-assisted total knee arthroplasty (TKA) versus traditional technique TKA for knee osteoarthritis complicated with varus deformity. [Methods] A retrospective study was conducted on 92 patients who received TKA for knee osteoarthritis complicated with varus deformity in our hospital from January 2021 to October 2023. According to preoperative doctor-patient communication, 46 patients received robot-assisted TKA (robot group), while other 46 patients received traditional TKA (traditional group). The perioperative, follow-up and imaging data were compared between the two groups. [Results] Although the robot group consumed significantly longer operative time than the traditional group [(97.2±7.8) min vs (86.7±6.5) min, $P<0.001$], the former had significantly less blood loss than the latter group [(224.1±21.8) mL vs (240.2±23.6) mL, $P<0.001$]. However, there was no significant difference in incision length, bed rest time, hospital stay, incision healing time and complication rate between the two groups ($P>0.05$). The WOMAC score and VAS score were significantly decreased, while HSS score and extension-flexion ROM were significantly increased in both groups over time ($P<0.05$), which were not statistically significant between the two groups at any time points accordingly ($P>0.05$). Regarding to imaging, the FTA was significantly decreased, while the MPTA and PTS were increased in both groups postoperatively compared with those preoperatively ($P<0.05$). At the latest follow-up, the robot group had significantly lesser FTA [(172.7±10.5)° vs (178.4±12.6)°, $P<0.05$], while significantly greater MPTA than the traditional group [(87.7±7.4)° vs (78.8±6.5)°, $P<0.001$]. [Conclusion] Robot-assisted TKA for knee osteoarthritis complicated with varus deformity achieves the same clinical efficacy as traditional TKA surgery. However, the robot-assisted surgery has longer operation time, less blood loss, and better lower limb alignment correction.

Key words: robot, total knee arthroplasty, knee osteoarthritis, knee varus deformity, lower limb alignment

膝骨关节炎是膝关节退行性病变, 常见于老年人群, 表现为膝关节红肿痛、行动不便等, 若治疗不及时

则可能导致关节畸形, 常见内翻畸形^[1]。全膝关节置换手术 (total knee arthroplasty, TKA) 是膝骨关节炎内翻

DOI:10.20184/j.cnki.issn1005-8478.11097A

作者简介: 汪俊红, 副主任医师, 研究方向: 髋、膝关节病变的中西医及手术治疗, (电子信息) wangjh0375@163.com

* 通信作者: 李兴国, (电子信箱) vfxjn9@163.com

畸形最有效的治疗手段,手术目标在于通过关节假体替换病变关节来缓解患者膝关节疼痛以及活动障碍,恢复膝关节功能,提升患者生活质量^[2]。传统 TKA 术采用截骨板开展模块截骨,主要参考影像资料、骨性标志等进行测量,术中采用截骨板进行手动操作,该技术主要依靠术者的技术与经验进行下肢力线矫正、间隙平衡,并确认假体安装位置,体位变化、软组织厚度等均会影响术者判断,影响手术准确性,导致间隙不平衡,下肢力线矫正不佳^[3]。骨科导航用于 TKA 术已有十余年的历史,各种导航均遵循以下几个步骤:参考影像资料构建精准骨骼模型,拟定手术计划;术中参考模型与计划在工作站注册;完成注册后导航根据注册信息进行操作,获得更为理想的假体安装位置以及下肢力线重建效果^[4, 5]。本院近年引进导航技术辅助 TKA 术治疗膝骨关节炎内翻畸形,报道如下。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准:(1)单侧膝骨关节炎内翻畸形患者;(2)年龄 40~80 岁;(3)患者知情同意;(4)临床资料完整。

排除标准:(1)下肢骨折或手术史;(2)合并心、肺等重大疾病;(3)先天性下肢骨骼发育不良。

1.2 一般资料

回顾性分析 2021 年 1 月—2023 年 10 月本院采用 TKA 术治疗的膝骨关节炎内翻畸形患者的临床资料,共 92 例符合上述标准,纳入本研究。依据术前医患沟通结果,46 例采用导航辅助 TKA 术(导航组),另外 46 例采用传统 TKA 术(传统组)。两组一般资料差异无统计学意义($P>0.05$),见表 1。本研究获得医院伦理委员会批准(2020-159-01),所有患者均知情同意。

表 1. 两组一般资料比较

Table 1. Comparison of general information between the two groups

指标	导航组 (n=46)	传统组 (n=46)	P 值
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	68.8 $\pm$ 7.8	69.2 $\pm$ 8.0	0.809
性别(例,男/女)	20/26	18/28	0.697
BMI(kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	24.8 $\pm$ 2.1	25.0 $\pm$ 2.2	0.657
病程(年, $\bar{x} \pm s$)	6.3 $\pm$ 1.8	6.4 $\pm$ 1.7	0.786
手术侧(例,左/右)	21/25	19/27	0.674

1.3 手术方法

导航组:采用北京和华瑞博医疗科技有限公司全

膝关节置换手术导航定位系统。术前将 CT 数据导入规划软件建模,观察三维模型,并在模型确定股骨头旋转、膝关节、踝关节 3 个中心点,相连作为冠状面下肢力线。参考模型明确假体型号以及安装角度。硬膜外联合蛛网膜下腔麻醉,行膝前正中切口。在切口远端胫骨以及近端股骨 8~10 cm 处安装定位器,定位器形状分别为 T 形、Y 形。调整导航,使得膝关节在伸直至屈曲运动过程两端定位器均显示在视图内。选择股骨内上髁最凸处的前、上 10 mm 处以及胫骨结节内侧 10 mm(距离截骨面>10 mm)处,定位钉插入软组织至皮质骨。系统自动完成股骨头中心、股骨等部位的配准。注册时参照系统页面提示的位置取点,点、点距超过 5 mm,在骨表面采用注册探针定位。确认术前规划,伸直、屈曲 90°开展内、外侧间隙测试,可稍调整假体型号、位置、角度等以获得内、外侧间隙平衡。根据术前计划通过机械臂辅助截骨,试模并观察屈伸间隙平衡、下肢力线等,满意后安装假体,后续操作与传统组一致。

传统组:麻醉与切口同上。去除增生滑膜、病变半月板、韧带以及可能导致假体位置异常的骨赘。股骨扩髓后采用定位杆定位。参考导板进行 5°外翻截骨,参考通髁线进行截骨板的安装,3°~5°外旋截骨后开展髁间窝成形。将胫骨平台前脱位,参考截骨板进行 3°后倾截骨。试模,伸直、屈曲 90°测试间隙平衡性。伸膝间隙较屈膝间隙低时提高股骨远端截骨量;较屈膝间隙高时提高股骨后髁截骨量,并下调假体型号;两间隙相等,但假体无法容纳时,提高胫骨平台截骨量。评估满意后取出试模并开展“鸡尾酒”疗法。安装假体,腔内注射氨甲环酸 1 g,逐层关闭并缝合切口,切口加压包扎,解除止血带。术后处理:术后进行常规的抗生素、镇痛以及抗凝治疗。麻醉失效后即可进行踝泵和股四头肌锻炼;术后 24 h 左右辅助下床,逐步进行直腿抬高、关节屈伸功能锻炼等,根据耐受情况增加锻炼量。

1.4 评价指标

记录围手术期资料,包括手术时间、术中出血量、切口长度、首次下床时间、住院时间、切口愈合时间、并发症。收集临床资料,包括特种外科医院膝关节评分(hospital for special surgery, HSS)^[6]、西安大略和麦克马斯特大学(Western Ontario and McMaster University, WOMC)骨关节炎指数^[7]、疼痛视觉模拟评分量表(visual analogue score, VAS)^[8]、膝关节伸-屈活动度(range of motion, ROM)。行影像检查,

测量股胫角（femorotibial angle, FTA）、胫骨近端内侧角（medial proximal tibial angle, MPTA）、胫骨平台后倾角（posterior tibial slope, PTS）。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 24.0 软件进行数据分析。计量资料符合正态分布的资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示，采用 t 检验和单因素方差分析，不符合正态分布的资料则采用中位数表示，采用秩和检验。计数资料采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 围手术期资料

所有患者均顺利手术，术中无严重并发症。两组围手术期资料见表 2，导航组手术时间显著长于传统组，术中出血量少于传统组，两组切口长度、首次下床时间、住院时间、切口愈合时间、并发症发生率差异均无统计学意义（ $P > 0.05$ ）。

2.2 随访结果

两组患者均随访 1 年以上，期间均发生了 1 例假

体周围感染，采用一期翻修术治疗。两组随访资料见表 3，两组完全负重时间以及评分指标差异无统计学意义（ $P > 0.05$ ）。随着时间推移，两组患者 WOMAC 评分和 VAS 评分均显著降低（ $P < 0.05$ ），HSS 评分和伸-屈 ROM 均显著增加（ $P < 0.05$ ）；相应时间点，两组间上述指标的差异均无统计学意义（ $P > 0.05$ ）。

表 2. 两组围术期资料比较			
Table 2. Comparison of perioperative data between the two groups			
指标	导航组 (n=46)	传统组 (n=46)	P 值
手术时间 (min, $\bar{x} \pm s$)	97.2±7.8	86.7±6.5	<0.001
术中失血量 (mL, $\bar{x} \pm s$)	224.1±21.8	240.2±23.6	<0.001
切口长度 (cm, $\bar{x} \pm s$)	6.4±1.4	6.7±1.6	0.341
首次下床时间 (h, $\bar{x} \pm s$)	22.8±2.5	23.3±2.7	0.359
住院时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	9.2±2.0	9.4±2.1	0.641
切口愈合时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	10.4±1.8	10.5±2.0	0.802
并发症发生率 [例 (%)]	4 (8.7)	6 (13.0)	0.503
假体周围感染	1 (2.2)	2 (4.4)	0.557
下肢深静脉血栓	2 (4.4)	2 (4.4)	1.000
褥疮	1 (2.2)	1 (2.2)	1.000
肺部感染	0	1 (2.2)	0.315

表 3. 两组临床资料（ $\bar{x} \pm s$ ）与比较				
Table 3. Clinical data of the two groups ($\bar{x} \pm s$) and comparison				
指标	时间点	导航组 (n=46)	传统组 (n=46)	P 值
完全负重时间 (d)		30.2±3.8	30.5±4.0	0.713
WOMAC 评分 (分)	术前	47.3±4.6	47.6±4.5	0.753
	术后 3 个月	38.2±3.2	39.0±3.4	0.248
	末次随访	32.6±2.8	33.0±3.0	0.510
	P 值	<0.001	<0.001	
VAS 评分 (分)	术前	5.6±0.8	5.7±0.9	0.575
	术后 3 个月	2.2±0.7	2.3±0.8	0.525
	末次随访	1.4±0.4	1.4±0.5	ns
	P 值	<0.001	<0.001	
HSS 评分 (分)	术前	56.3±6.0	56.0±5.8	0.808
	术后 3 个月	77.8±7.4	77.0±8.0	0.620
	末次随访	84.0±6.2	83.1±5.9	0.478
	P 值	<0.001	<0.001	
伸-屈 ROM (°)	术前	86.1±7.9	85.7±8.0	0.810
	术后 3 个月	104.7±10.4	102.8±10.2	0.379
	末次随访	112.3±11.0	110.3±10.6	0.377
	P 值	<0.001	<0.001	

2.3 影像评估

两组影像资料见表 4，与术前相比，末次随访两组的 FTA 角显著减少（ $P < 0.05$ ），而 MPTA 和 PTS 显著增

加（ $P < 0.05$ ）。术前两组间上述影像指标的差异无统计学意义（ $P > 0.05$ ），但是，末次随访时导航组的 FTA 显著小于传统组，而 MPTA 角显著大于传统组（ $P < 0.05$ ）。

表 4. 两组影像指标 ($\bar{x} \pm s$) 与比较
Table 4. Comparison of image data ($\bar{x} \pm s$) between the two groups

指标	时间点	导航组 (n=46)	传统组 (n=46)	P 值
FTA (°)	术前	191.3±16.6	192.0±17.0	0.842
	末次随访	172.7±10.5	178.4±12.6	0.021
	P 值	<0.001	<0.001	
MPTA (°)	术前	74.7±5.4	74.4±5.1	0.785
	末次随访	87.7±7.4	78.8±6.5	<0.001
	P 值	<0.001	<0.001	
PTS (°)	术前	8.4±1.9	8.5±1.8	0.796
	末次随访	10.2±2.0	9.9±2.0	0.496
	P 值	<0.001	<0.001	

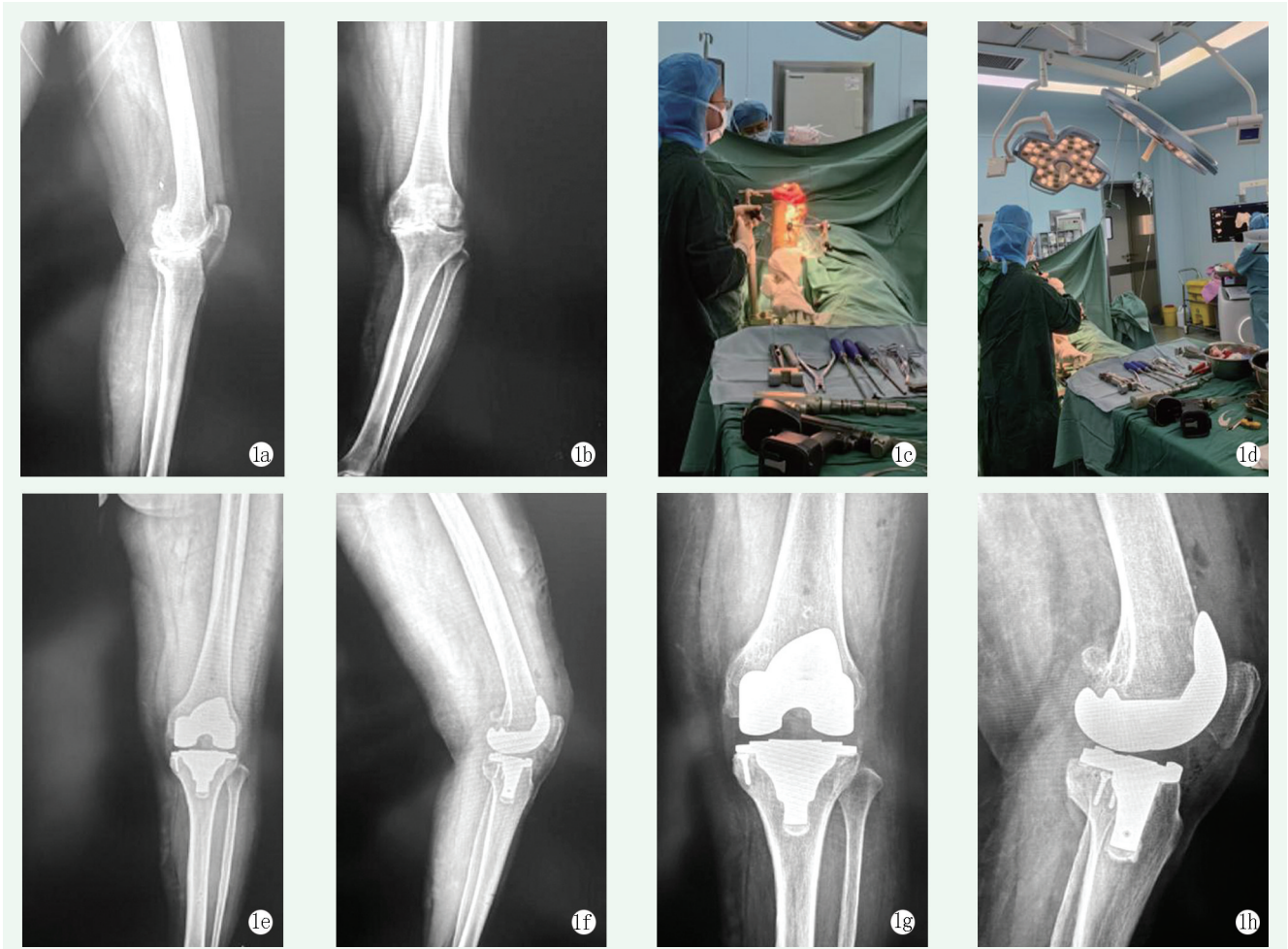


图 1. 患者女性, 67 岁。1a, 1b: 术前 X 线片显示左膝关节明显退变, 内翻畸形, 内侧间室狭窄; 1c, 1d: 术中导航辅助操作; 1e~1h: 术后 1 周和末次随访时 X 线片显示假体在位, 下肢线矫正好。
Figure 1. A 67-year-old female. 1a, 1b: Preoperative radiographs showed obvious degeneration of the left knee with varus deformity and medial compartment space stenosis; 1c, 1d: Intraoperative navigation-assisted TKA operation; 1e~1h: X-rays one week after surgery and at the last follow-up revealed the prosthetic components in proper positions and the lower limb alignment corrected well.

3 讨论

膝骨关节炎关节畸形以内翻畸形最常见, 在膝骨

关节炎关节畸形病例中占比超过 90%^[9]。目前, TKA 术是膝骨关节炎内翻畸形有效的治疗方法, 用于病情严重或保守治疗无效的患者, 能够有效缓解疼痛、改善关节功能、提升生活质量^[10]。但随着手术病例的

增多,TKA术后关节不稳定、慢性疼痛等问题逐渐凸显,其可能原因在于,传统手术预后效果与术者经验、技术关系密切,如软组织张力、下肢力线等判断有误会对手术效果造成影响^[11, 12]。因此,越来越多的辅助手段用于TKA术,如3D打印、计算机导航、骨科导航技术等^[13-15]。

骨科导航在TKA术中的运用已有十余年的历史,早期主要进口国外设备,如今国内已推出多款骨科导航^[16, 17]。导航辅助TKA术具有以下原理:参考CT数据制定手术计划,提前确定假体型号、截骨范围等,术中注册后进行准确截骨以及安装假体,恢复下肢力线以及软组织张力平衡^[18, 19]。本研究结果显示,导航组手术时间显著长于传统组,说明导航辅助TKA术会延长手术操作时间,主要原因在于,术中注册耗时,设备调试、步骤衔接不紧密等。Kim等^[20]报道显示,导航辅助TKA术会延长手术时间,本研究结果与之相符。因此,需要术者充分熟悉手术器械,提升手术步骤衔接度,缩短系统调试、注册等时间。但导航组术中出血量更少,总结其原因在于:(1)机械臂准确到达截骨部位,指定区域截骨,降低骨及软组织损伤程度,减少静脉、毛细血管出血量;(2)导航辅助无需手动股骨髓内定位,减少了髓腔内出血量;(3)导航的运用使得旋转对线定位更准确,有效矫正下肢力线,量化截骨量,不用反复截骨,减少出血量^[21, 22]。这一观点在李亦丞等^[23]采用导航辅助TKA术治疗膝骨关节炎的研究中被证实。

比较临床资料发现,两组患者WOMAC评分、VAS评分、HSS评分、伸-屈ROM等均获得了良好的改善,均逐渐升高,但组间无显著差异,说明导航辅助TKA术治疗膝骨关节炎内翻畸形能获得与传统TKA手术治疗一致的临床疗效。下肢力线对于假体使用时间、功能恢复效果等至关重要,有报道显示,导航辅助TKA较传统手术能够提高下肢力线重建的精确程度。本研究结果显示,末次随访时导航组FTA角显著小于传统组,MPTA角显著大于传统组,提示,导航辅助TKA术治疗膝骨关节炎内翻畸形下肢力线矫正效果更佳。导航辅助TKA下肢力线矫正效果更佳主要有以下原因^[24, 25]:(1)术前利用三维模型确定主要骨性标志物的中心点,连接中心点后确定冠状面下肢力线,并明确假体型号以及安装角度;(2)术前测量伸屈间隙能够自动计算出与患者匹配度较高的关节假体,安装合适的假体能获得理想的伸屈间隙平衡;(3)相比于传统手术参考截骨板截骨,导航辅助下实际截骨与计划截骨范围更加接近,截骨更

精准;(4)机械臂辅助截骨时设置有安全区,在提升截骨精确性的同时避免截骨过多和过度松解。

综上所述,导航辅助TKA术治疗膝骨关节炎内翻畸形能获得与传统TKA手术治疗一致的临床疗效,导航辅助手术时间长,但出血量更少,下肢力线矫正效果更佳。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 汪俊红: 酝酿和设计实验、采集数据、分析和解释数据、起草文章、文章审阅、统计分析、指导; 柳海平: 酝酿和设计实验、采集数据、分析和解释数据、文章审阅、指导; 赵宁: 采集数据、分析和解释数据、起草文章、统计分析; 马继海: 采集数据、分析和解释数据、统计分析; 李兴国: 采集数据、分析和解释数据、统计分析、支持性贡献

参考文献

- [1] Mahmoudian A, Lohmander LS, Mobasheri A, et al. Early-stage symptomatic osteoarthritis of the knee – time for action [J]. *Nat Rev Rheumatol*, 2021, 17 (10): 621–632. DOI: 10.1038/s41584-021-00673-4.
- [2] Best MJ, Amin RM, Raad M, et al. Total knee arthroplasty after anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *J Knee Surg*, 2022, 35 (8): 844–848. DOI: 10.1055/s-0040-1721423.
- [3] 樊宗庆, 储成顶, 聂宇, 等. 全膝关节置换个性化联合间隙平衡 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2022, 30 (20): 1830–1835. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.20.02.
Fan ZQ, Chu CD, Nie Y, et al. [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2022, 30 (20): 1830–1835. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.20.02.
- [4] 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: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.11.15.
Zhang ZA, Zhang HN, Li HY, et al. Robot assistive technology application in total knee replacement surgery [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2020, 28 (11): 937–941. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.11.15.
- [5] 康健, 冯晓雷, 付志厚, 等. 两种导航辅助全膝关节置换的比较 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2023, 31 (10): 876–880. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.10.03.
Kang J, Feng XL, Fu ZH, et al. The comparison of two navigation-assisted total knee arthroplasty [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2023, 31 (10): 876–880. DOI: 1005-8478.2023.10.03.
- [6] Ang ZH, Wong S, Truskett P. General Surgeons Australia's 12-point plan for emergency general surgery [J]. *ANZ J Surg*, 2019, 89 (7-8): 809–814. DOI: 10.1111/ans.15327.
- [7] Salehi R, Valizadeh L, Negahban H, et al. The Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis, Lequesne Algofunctional index, Arthritis Impact Measurement Scale-short form, and Visual Analogue Scale in patients with knee osteoarthritis: responsiveness and minimal clinically important differences [J]. *Disabil*

- Rehabil, 2023, 45 (13) : 2185–2191. DOI: 10.1080/09638288.2022.
- [8] Shafshak TS, Elnemr R. The Visual Analogue Scale Versus Numerical Rating Scale in measuring pain severity and predicting disability in low back pain [J]. J Clin Rheumatol, 2021, 27 (7) : 282–285. DOI: 10.1097/RHU.0000000000001320.
- [9] Hall M, van der Esch M, Hinman RS, et al. How does hip osteoarthritis differ from knee osteoarthritis [J]. Osteoarthritis Cartilage, 2022, 30 (1) : 32–41. DOI: 10.1016/j.joca.2021.09.010.
- [10] Naylor BH, Tarazi JM, Salem HS, et al. Wound management following total knee arthroplasty: An updated review [J]. J Knee Surg, 2023, 36 (3) : 274–283. DOI: 10.1055/s-0041-1731740.
- [11] Men J, Liang HG, Wang ZW, et al. Efficacy analysis of selection of distal reference point for tibial coronal plane osteotomy during total knee arthroplasty: A literature review [J]. Orthop Surg, 2021, 13 (5) : 1682–1693. DOI: 10.1111/os.13054.
- [12] 李晨恺, 张子安, 李涛, 等. 膝关节活动平台单髁置换中期并发症分析 [J]. 中国矫形外科杂志, 2022, 30 (3) : 193–197. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.03.01.
- Li CK, Zhang ZA, Li T, et al. Analysis of mid-term complications in unicompartmental knee arthroplasty using knee activity platform [J]. Orthopedic Journal of China, 2022, 30 (3) : 193–197. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.03.001.
- [13] van der Lelij TJN, Marang-van de Mheen PJ, Kaptein BL, et al. Continued stabilization of a cementless 3D-printed total knee arthroplasty: Five-year results of a randomized controlled trial using radiostereometric analysis [J]. J Bone Joint Surg Am, 2023, 105 (21) : 1686–1694. DOI: 10.2106/JBJS.23.00221.
- [14] Novoa-Parra CD, Sanjuan-Cerveró R, Franco-Ferrando N, et al. Complications of computer-assisted navigation in total knee replacement: retrospective cohort of eight hundred and seventy eight consecutive knees [J]. Int Orthop, 2020, 44 (12) : 2621–2626. DOI: 10.1007/s00264-020-04675-x.
- [15] Thomas TL, Goh GS, Nguyen MK, et al. Pin-related complications in computer navigated and robotic-assisted knee arthroplasty: A systematic review [J]. J Arthroplasty, 2022, 37 (11) : 2291–2307. DOI: 10.1016/j.arth.2022.05.012.
- [16] 马崇文, 李睿, 阎亮, 等. 计算机导航技术在全膝关节置换术中的应用进展 [J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36 (3) : 369–372. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2019.03.025.
- Ma CW, Li R, Yan L, et al. Computer navigation technology in the application of total knee arthroplasty progress [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 4 (3) : 369–372. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2019.03.025.
- [17] 孙敬华, 齐志明, 阮文礼, 等. 全膝关节置换中 Brainlab Knee 3 导航辅助间隙平衡技术的应用优势 [J]. 中国组织工程研究, 2024, 33 (33) : 5333–5339. DOI: 10.12307/2024.655.
- Sun JH, Qi ZM, Ruan WL, et al. Application advantages of Brainlab Knee 3 navigation-assisted space balance technique in total knee replacement [J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2018, 33 (33) : 5333–5339. DOI: 10.12307/2024.655.
- [18] 张江礼, 刘金辉, 潘西庆, 等. 全膝关节置换应用智能辅助手术导航系统治疗膝骨关节炎 [J]. 中华关节外科杂志 (电子版), 2024, 18 (3) : 346–351. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-134X.2024.03.007.
- Zhang JL, Liu JH, Pan XQ, et al. Total knee replacement application intelligent aided surgery navigation system in the treatment of knee osteoarthritis [J]. Chinese Journal of Joint Surgery (electronic version), 2024, 19 (3) : 346–351. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-134X.2024.03.007.
- [19] 余沐洋, 徐溢明, 王英杰, 等. 精确截骨技术在运动学对线全膝关节置换术的应用研究进展 [J]. 中华骨与关节外科杂志, 2024, 17 (6) : 504–510. DOI: 10.3969/j.issn.2095-9958.2024.06.03.
- Yu MY, Xu YM, Wang YJ, et al. Application of precise osteotomy technique in total knee arthroplasty with kinematic alignment [J]. Chinese Journal of Bone and Joint Surgery, 2024, 17 (6) : 504–510. DOI: 10.3969/j.issn.2095-9958.2024.06.03.
- [20] Kim YH, Yoon SH, Park JW. Does robotic-assisted TKA result in better outcome scores or long-term survivorship than conventional TKA? A randomized, controlled trial [J]. Clin Orthop Relat Res, 2020, 478 (2) : 266–275. DOI: 10.1097/CORR.0000000000000916.
- [21] Hönecke T, Schwarze M, Wangenheim M, et al. Noise exposure during robot-assisted total knee arthroplasty [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2023, 143 (6) : 2813–2819. DOI: 10.1007/s00402-022-04454-w.
- [22] Zhang JJY, Chen JY, Tay DKJ, et al. Cost-effectiveness of robot-assisted total knee arthroplasty: A Markov decision analysis [J]. J Arthroplasty, 2023, 38 (8) : 1434–1437. DOI: 10.1016/j.arth.2023.02.022.
- [23] 李亦丞, 张晓岗, 曹力, 等. 国产机器人辅助与传统人工全膝关节置换术疗效比较: 一项多中心随机对照研究 [J]. 中国修复重建外科杂志, 2023, 37 (11) : 1326–1334. DOI: 10.7507/1002-1892.202307078.
- Li YC, Zhang XG, Cao L, et al. Comparison of the efficacy of domestic robot-assisted and conventional total knee arthroplasty: a multicenter randomized controlled study [J]. Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery, 2019, 37 (11) : 1326–1334. DOI: 10.7507/1002-1892.202307078.
- [24] Cai L, Liu Y, Wei Z, et al. Robot-assisted rehabilitation training improves knee function and daily activity ability in older adults following total knee arthroplasty [J]. Res Nurs Health, 2023, 46 (2) : 203–209. DOI: 10.1002/nur.22290.
- [25] Bautista M, Manrique J, Hozack WJ. Robotics in total knee arthroplasty [J]. J Knee Surg, 2019, 32 (7) : 600–606. DOI: 10.1055/s-0039-1681053.

(收稿:2024-12-02 修回:2025-02-10)

(同行评议专家:郭洪章,赵耀东,谢兴文)

(本文编辑:郭秀婷)