

• 临床研究 •

机器人辅助膝关节置换与人工膝关节置换
早期疗效对比及差异分析卞恒杰¹ 周宇¹ 王睿¹ 王津^{2△} 李同林¹ 周飞¹ 李鑫¹ 李义凯³ 孙玉明⁴

[摘要] 目的:对比机器人辅助膝关节置换与人工膝关节置换早期临床疗效,探讨机器人辅助膝关节置换的优势及存在的问题。方法:回顾 2024 年 9 月至 2025 年 2 月全膝关节置换手术病例,其中 Mako 辅助组 82 例,Cori 辅助组 69 例,人工组 86 例,根据手术前及术后初期随访资料,通过手术前后疼痛视觉模拟量表(VAS)评分、膝关节活动范围(ROM)、髌-膝-踝角(HKA)、美国特种外科医院膝关节功能评分(HSS 评分)等指标对比三组患者临床疗效。结果:三组患者术前基础资料差异无统计学意义($P>0.05$),三组患者全膝关节置换术后均取得良好的临床疗效,Mako 和 Cori 机器人辅助的全膝关节置换术后 2 周临床效果更好,表现为疼痛更轻(VAS 评分分别为 Mako 辅助组 (3.1 ± 0.3) 分,Cori 辅助组 (3.6 ± 0.5) 分,人工组 (4.3 ± 0.6) 分)、活动度更大(膝关节活动范围分别为 Mako 辅助组 $115.2^{\circ}\pm6.4^{\circ}$,Cori 辅助组 $109.5^{\circ}\pm7.6^{\circ}$,人工组 $101.7^{\circ}\pm8.3^{\circ}$)、下肢力线恢复更理想(髌-膝-踝角分别为 Mako 辅助组 $177.2^{\circ}\pm1.8^{\circ}$,Cori 辅助组 $176.5^{\circ}\pm2.6^{\circ}$,人工组 $172.3^{\circ}\pm3.4^{\circ}$)、功能更好(HSS 评分分别为 Mako 辅助组 (57.2 ± 3.4) 分,Cori 辅助组 (53.6 ± 4.5) 分,人工组 (49.4 ± 4.3) 分),差异有统计学意义($P<0.05$)。术后 3 个月时三组患者 VAS 评分、膝关节活动范围、髌-膝-踝角、膝关节 HSS 评分同样表现为机器人辅助组较人工组效果更好,差异有统计学意义($P<0.05$)。结论:机器人辅助全膝关节置换术可做到软组织平衡、截骨量、下肢力线及运动轨迹数字可视化,患者术后在疼痛及关节活动度方面恢复得更快,较人工置换具有精度更高、骨损伤更小、发挥更稳定等优点。

[关键词] 人工智能;机器人;膝关节置换;早期疗效

[中图分类号] R684.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2026)08-0046-08

DOI:10.20085/j.cnki.issn1005-0205.260807

Comparison and Difference Analysis of Early Curative Effect
between Robot Assisted and Artificial Knee ArthroplastyBIAN Hengjie¹ ZHOU Yu¹ WANG Rui¹ WANG Jin^{2△} LI Tonglin¹ZHOU Fei¹ LI Xin¹ LI Yikai³ SUN Yuming⁴

基金项目:国家中医药管理局监测统计中心中医药监测统计
研究课题(2025JCTJC155)

江苏省中医药科技发展计划面上项目(MS2022045)

江苏省省级中医重点专科(Ⅱ类)建设项目(苏中医
医政[2023]5 号)

南京市中医药传承创新发展示范试点项目-南京市
市级柔性人才引进项目(李义凯岐黄学者工作室)
(宁卫财务[2024]49 号)

南京市卫生科技发展专项(YKK22186,ZKX23058)

¹ 南京中医药大学附属南京市中西医结合医院(南京,210014)

² 上海交通大学附属上海市第六人民医院

³ 南方医科大学南方医院

⁴ 南京中医药大学附属医院

△通信作者 E-mail:215580038@qq.com

¹ Nanjing Hospital of Integrated Traditional Chinese and
Western Medicine Affiliated to Nanjing University of
Chinese Medicine, Nanjing 210014, China;

² Shanghai Sixth People's Hospital Affiliated to Shanghai
Jiao Tong University, Shanghai 200233, China;

³ Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou
510515, China;

⁴ Affiliated Hospital of Nanjing University of Chinese Medi-
cine, Nanjing 210029, China.

Abstract Objective: To compare the early clinical efficacy of
robot assisted and artificial knee arthroplasty and to explore
the advantages and existing problems of robot assisted knee
arthroplasty. **Methods:** Reviewing the cases of total knee
arthroplasty (TKA) surgery from September 2024 to Febru-
ary 2025, including 82 cases assisted by Mako, 69 cases assis-

ted by Cori, and 86 cases assisted by artificial surgery, the clinical efficacy of the three groups was compared based on the initial follow-up data before and after surgery using indicators such as visual analog scale (VAS) scores, range of motion (ROM), hip knee ankle (HKA) angle, and knee joint function score from the American Hospital for Special Surgery (HSS scores). **Results:** There was no significant difference in the preoperative baseline data among the three groups ($P>0.05$). All the three groups achieved good clinical efficacy after TKA. The clinical effect of TKA assisted by Mako and Cori robot was better 2 weeks after TKA, with lighter pain (VAS scores were (3.1 ± 0.3) points in Mako group, (3.6 ± 0.5) points in Cori group, (4.3 ± 0.6) points in artificial group), and greater activity (ROM was $115.2^{\circ}\pm6.4^{\circ}$ in Mako group, $109.5^{\circ}\pm7.6^{\circ}$ in Cori group, $101.7^{\circ}\pm8.3^{\circ}$ in artificial group), and better recovery of lower limb force line (HKA angle was $177.2^{\circ}\pm1.8^{\circ}$ in Mako group, $176.5^{\circ}\pm2.6^{\circ}$ in Cori group, $172.3^{\circ}\pm3.4^{\circ}$ in artificial group), and the function was better (HSS scores were (57.2 ± 3.4) points in Mako group, (53.6 ± 4.5) points in Cori group, (49.4 ± 4.3) points in artificial group), the difference was statistically significant ($P<0.05$). At 3 months after operation, the VAS score, ROM, HKA angle and knee HSS score of the three groups also showed that the robotic group achieved better outcomes than the artificial group, and the difference was statistically significant ($P<0.05$). **Conclusion:** Robot assisted TKA can achieve the digital visualization of soft tissue balance, osteotomy volume, lower limb force line and motion trajectory. Patients recover faster in pain and joint range of motion after operation. Compared with artificial TKA, it has the advantages of higher accuracy, less bone damage and more stable performance.

Keywords: artificial intelligence; robot; knee arthroplasty; early and mid-term outcomes

全膝关节置换术 (Total Knee Arthroplasty, TKA) 是退变性膝关节病的终末治疗手段, 通过修整并放置特定的人工关节假体, 使膝关节重新获得正常功能, 缓解疼痛并提高患者生存质量, 是外科领域最成功的手术之一^[1]。人工膝关节置换术在我国开展已有半个世纪的历史, 技术早已相当成熟, 发展处于缓慢阶段。近些年, 随着人工智能的发展, 膝关节置换技术的发展又一次进入了快车道, 3D 打印技术的应用为特殊患者提供了定制假体, 截骨导板为膝关节置换提供了精确的截骨指导, 机器人的应用则融合了软组织平衡和力线平衡的理念, 备受推崇。机器人辅助下的全膝关节置换术通过人机交互, 在截骨前就能够给主刀医生提供可视化的全流程规划, 包括韧带松紧、截骨量、截骨角度、下肢力线、假体大小选择、假体安放的位置及运动轨迹的模拟等多个方面, 精准度更高, 发挥更稳定; 另外, 机器人辅助下的全膝关节置换术中不再依赖髓腔定位, 减少了损伤; 以上两点也是机器人辅助全膝关节置换术后恢复更快的理论依据^[2-3]。然而机器人辅助全膝关节置换术尚未在国内全面推广应用, 原因之一是机器人价格昂贵, 另一个重要的原因是很多熟练掌握全膝关节置换术的医生对机器人辅助的疗效及性价比存在疑虑。

为了更加客观地验证机器人辅助全膝关节置换术的临床疗效, 本研究回顾 2024 年 9 月至 2025 年 2 月上海市第六人民医院关节外科全膝关节置换术病例, 按手术方式分为 Mako 辅助组、Cori 辅助组和人工组, 根据三组患者术前及术后早期随访资料, 对比其临床效果, 探讨每种手术方式的利弊, 现报告如下。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

调取 2024 年 9 月至 2025 年 2 月上海市第六人民医院关节外科收治的 237 例全膝关节置换术患者资料, 根据患者及家属自愿选择的手术方式分组, Mako 辅助组 82 例, Cori 辅助组 69 例, 人工组 86 例。本研究为回顾性分析, 经医院医学伦理委员会审批同意 (批号为 20230017)。

1.2 纳入标准

1) 因退变、创伤、非急性期感染或非感染性炎症引起的膝关节疼痛、畸形、功能受限; 2) 要求手术治疗, 接受单侧初次全膝关节置换术。

1.3 排除标准

1) 合并下肢周围神经肌肉系统病变; 2) 合并膝关节内外侧副韧带断裂、关节前后不稳定。

1.4 治疗方法

三组患者均由同一组手术医生完成, 仅手术方式不同, 机器人辅助手术根据相应机器人使用手册, 按标准步骤操作, 型号及系统版本分别为: Stryker 公司 Mako™ 机器人, TKA2.0 系统; Smith&Nephew 公司 real intelligence™ Cori™ 机器人, TKA2.0 系统。对于手术入路、术中假体 (史赛克或施乐辉公司的 PS 假体)、术后用药、康复训练等均按统一标准执行, 参考《中国髋、膝关节置换术加速康复-围术期管理策略专家共识》^[4]。手术效果主要参考手术前后患者视觉模拟量表 (VAS) 评分、膝关节活动范围、髋-膝-踝角、美国特种外科医院膝关节功能评分 (HSS 评分) 四个指标去评判。全膝关节置换术典型案例影像资料见图 1-图 3。



图 1 Mako 机器人辅助全膝关节置换术典型病例(患者,女,80岁,左膝关节炎,内翻畸形)



图 2 Cori 机器人辅助全膝关节置换术典型病例(患者,女,71岁,右膝关节炎,内翻畸形)

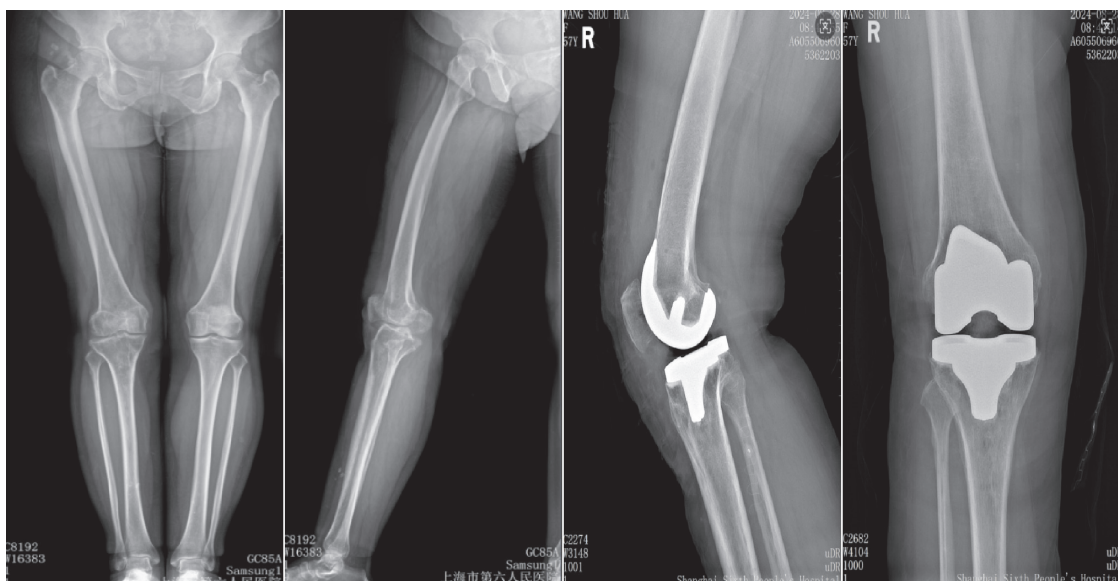


图 3 人工全膝关节置换术典型病例(患者,女,57岁,右膝关节炎(微创术后))

1.5 信息采集方法

整理患者基本信息(性别、年龄、身体质量指数),分别于术前、术后 2 周及 3 个月通过下肢全长片检查、关节活动度检查、问卷调查等方式得到患者临床病情评估资料(VAS 评分、膝关节活动范围、髌-膝-踝角、HSS 评分),信息采集通过住院期间及术后随访当面完成问卷调查及相关测量,对比手术前后三组患者的数据。同一项信息采集尽可能同一个人负责完成,参与数据采集的人员进行统一培训,确保信息采集及数据测量的同质性,减少误差。

1.6 统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件进行统计分析。正态分布的计量数据以 $\bar{x} \pm s$ 形式表示,对计量数据进行描述性分析,符合正态分布的数据采用 t 检验,等级资料数据采用卡方检验,非正态分布数据选择非参数检验。 $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

2 结果

表 2 三组患者术前临床指标比较($\bar{x} \pm s$)

组别	VAS 评分/分	膝关节活动范围/(°)	髌-膝-踝角/(°)	HSS 评分/分
Mako 辅助组	7.2±0.8	101.2±7.8	172.3±5.7	43.5±2.8
Cori 辅助组	6.8±0.7	97.7±8.1	170.2±6.3	41.4±3.2
人工组	6.8±0.6	98.3±8.7	171.1±6.5	42.3±3.6

2.2 三组患者术后临床疗效指标比较

237 例患者均顺利完成手术,术后按计划积极康复训练,未发生严重并发症。三组患者术后 VAS 评分、膝关节活动范围、髌-膝-踝角、HSS 评分四项指标较术前均有明显改善,差异有统计学意义($P < 0.05$);术后 VAS 评分降低 2.5~5.9 分,膝关节活动范围增加 3.4°~74.0°,髌-膝-踝角纠正 1.2°~6.3°,HSS 评分增加 7.1~43.0 分,三组患者组内比较表明手术均取得较好

2.1 一般资料

患者中男 110 例,女 127 例,平均年龄为(56.2±6.4)岁,平均身体质量指数为(25.5±2.8)kg/m²,VAS 评分平均为(6.8±0.4)分,膝关节活动度平均为 98.5°±7.3°,髌-膝-踝角平均为 170.3°±5.6°,膝关节功能 HSS 评分平均为(42.3±3.6)分。

237 例全膝关节置换术患者中 Mako 辅助组 82 例,Cori 辅助组 69 例,人工组 86 例;三组患者术前性别、年龄、身体质量指数、VAS 评分、膝关节活动范围、髌-膝-踝角、HSS 评分等资料差异无统计学意义($P > 0.05$),同质性较好,具有可比性,见表 1 和表 2。

表 1 三组患者基础资料比较

组别	性别		身体质量指数	年龄/岁
	男/例	女/例	/(kg·m ⁻²)	
Mako 辅助组	34	48	26.7±3.9	54.7±9.3
Cori 辅助组	33	36	24.6±4.1	52.1±8.6
人工组	43	43	25.5±3.2	57.6±7.5

临床疗效。三组患者术后 2 周及 3 个月时 VAS 评分、膝关节活动范围、髌-膝-踝角、HSS 评分四项指标存在差异,Mako 辅助组及 Cori 辅助组较人工组在 VAS 评分、膝关节活动范围、髌-膝-踝角、HSS 评分方面有明显优势,术后 2 周时 Mako 辅助组较其他组在 VAS 评分、膝关节活动范围、HSS 评分方面表现更优,以上差异有统计学意义($P < 0.05$),组间比较表明机器人辅助的全膝关节置换术患者术后早期膝关节功能更好,见表 3。

表 3 三组患者术后临床疗效指标比较($\bar{x} \pm s$)

组别	VAS 评分/分		膝关节活动范围/(°)	
	术后 2 周	术后 3 个月	术后 2 周	术后 3 个月
Mako 辅助组	3.1±0.3 ¹⁾²⁾	1.3±0.2	115.2±6.4 ¹⁾²⁾	132.4±7.6
Cori 辅助组	3.6±0.5 ¹⁾	1.4±0.3	109.5±7.6 ¹⁾	129.3±8.4
人工组	4.3±0.6	1.3±0.3	101.7±8.3	131.3±8.5

组别	髌-膝-踝角/(°)		HSS 评分/分	
	术后 2 周	术后 3 个月	术后 2 周	术后 3 个月
Mako 辅助组	177.2±1.8 ¹⁾	176.9±1.9 ¹⁾	57.2±3.4 ¹⁾²⁾	86.5±9.1 ¹⁾
Cori 辅助组	176.5±2.6 ¹⁾	176.3±2.2 ¹⁾	53.6±4.5 ¹⁾	84.1±8.7 ¹⁾
人工组	172.3±3.4	172.6±2.8	49.4±4.3	81.7±9.6

注:1)与人工组相比, $P < 0.05$;2)与 Cori 辅助组相比, $P < 0.05$ 。

2.3 三组患者手术时间、术中出血量、住院时间等比较

三组患者手术时间比较,人工组手术时间较机器人辅助组短,差异有统计学意义($P < 0.05$);三组患者术中出血量、住院时间、并发症例数差异无统计学意义

($P > 0.05$),见表 4。

3 讨论

机器人辅助全膝关节置换术可以通过人机交互精准识别股骨和胫骨的形态和空间位置,通过模拟截骨和试模进行精准的术前规划,提高截骨后本体骨与假

表 4 三组患者手术时间、术中出血量、住院时间等资料比较($\bar{x} \pm s$)

组别	手术时间/mins	术中出血量/mL	住院时间/d	并发症例数/例
Mako 辅助组	84.6 $\pm$ 13.7 ¹⁾	97.5 $\pm$ 16.3	4.5 $\pm$ 0.7	0
Cori 辅助组	83.5 $\pm$ 14.2 ¹⁾	98.6 $\pm$ 18.1	4.6 $\pm$ 0.6	0
人工组	78.4 $\pm$ 11.3	94.6 $\pm$ 18.5	4.8 $\pm$ 0.7	0

注:1)与人工组相比, $P<0.05$;2)与 Cori 辅助组相比, $P<0.05$ 。

体的匹配和契合程度,争取实现全膝关节置换术后最佳状态,具有广阔的应用前景。

3.1 机器人辅助全膝关节置换术后早期功能恢复更快

从随访的全膝关节置换术患者术后早期信息来看,三组患者术后 VAS 评分、膝关节活动范围、髌-膝-踝角、HSS 评分四项指标较术前均有明显改善,Mako 辅助组及 Cori 辅助组较人工组在 VAS 评分、HSS 评分、膝关节活动范围、髌-膝-踝角方面有明显优势,究其原因有以下三点:1)机器人辅助不需要借助髓腔定位,截骨时有视觉反馈边界(腓血管、后交叉韧带),损伤更小^[5];2)机器人可根据获取的患者膝关节空间形态,根据大数据模型在屏幕中给出截骨数据及假体型号,医者可直观地评估和调整截骨量、截骨角度、假体大小及安放位置、安放角度、运动轨迹等,更好地兼顾软组织平衡和机械平衡^[6],而人工全膝关节置换术更多需要依赖医者的经验、感觉等,人工的盲目性更多一些^[7];3)机器人辅助对下肢的力线把握更准确,由术中的下肢运动抓取下肢力线及运动轨迹,而人工手术需要借助髓腔去评估力线,对于存在关节外畸形、髓腔不通等影响比较大。Mako 辅助组及 Cori 辅助组患者术后 VAS 评分、膝关节活动范围、髌-膝-踝角、HSS 评分四项指标均差均较人工组数值小,说明机器人辅助的全膝关节置换术临床效果较人工发挥更加稳定,不容易犯大错误。

从住院期间其他记录信息来看,机器人辅助组手术用时更长,主要原因有以下几点:1)机器人辅助组需要术中调试、识别摄像头机组及动力机组的空间位置;2)需要在胫腓骨安装定位架及识别点;3)需要识别针进行胫腓骨空间位置识别;4)需要根据识别的位置进

行截骨量、假体安装型号及位置等参数调试;5)借助动力机械臂进行截骨。以上步骤可能会增加手术时间,但从手术整体角度来看,良好的截骨量、假体型号、位置等参数设定,为手术的顺利开展、减少术中试错及多次调整也会节约时间,正所谓磨刀不误砍柴工,相信随着机器人的更新迭代及医者操作熟练度提升,将来机器人辅助组较人工组手术用时更短。三组患者术中出血量差异无统计学意义,虽然机器人组用时长,但术中使用止血带情况下,三组患者出血量并没有太大差异。三组患者住院时间无明显差异,所有患者在住院前已进行麻醉评估,住院后基本都是按临床路径实施,因此无显著差异。三组患者随访期间无并发症出现,随访期间并发症主要包括假体周围骨折、切口感染、假体松动、下肢血栓、髌骨弹响等。根据患者手术时间、术中出血量、住院时间、并发症等信息评估,机器人辅助并不会给患者带来太大安全隐患。

3.2 两组机器人操作过程中的异同

Mako 和 Cori 机器人在调节假体位置这个核心流程上理念相同,但在人机交互和截骨等方面存在不同之处,主要体现在以下几点。

1)人机交互阶段:Cori 机器人不需要术前的患肢 CT 检查结果,术中采用识别针录入骨形态及位置,无法完美地录入患者的骨形态,依靠术中录入的点位去重建股骨远端和胫骨平台的形态;Mako 机器人需要术前的患肢 CT 检查结果,将患者术前 CT 信息导入 Mako 机器人计算机系统,术中只需用识别针识别部分特征性点位,确定股骨远端和胫骨平台所在的空间位置,对骨形态的确定不依赖术中主刀医生的录入,对骨赘的判断更加精确^[8-9]。Cori 及 Mako 机器人骨形态录入见图 4。



图 4 Cori 及 Mako 机器人骨形态录入

2)骨赘处理方面:Cori 机器人是识别前先去骨赘,Mako 机器人是识别后去除骨赘。Cori 机器人是术中依赖识别针录入骨形态,因此需要先去多余的骨赘,这样术中所采集到的骨形态才是理想的,这种理想的骨形态也是后期最好规划的基础。Mako 机器人则有术前的 CT 结果指导,可以告诉医者哪些地方骨赘较多,给下一步去除骨赘提供指导,需要先用探针去识别验证股骨和胫骨的空间位置,保证术前录入的 CT 结果和当前验证的骨形态一致。当然,若医者习惯先去骨赘,那么在探针识别时则需要避开去除骨赘的位置,否则机器人无法精确识别,不容易通过验证并且后期更容易出现误差。在识别好膝关节的空间位置后,可以先初步看一下患膝所处的状态,如屈曲挛缩角度、内外翻角度、屈曲和伸直状态内外侧韧带松紧程度等,然后去除骨赘后再次观察上述情况,也可以省掉去骨赘前的软组织平衡验证,因为去除骨赘后的参数调整是精确指导下一步截骨计划和假体安放位置的依据。对于骨赘较多的患者,术中要引起重视,骨赘会影响

韧带走行,骨赘去除前后韧带的走行状态不同,有些原来是被骨赘顶凸起的,在截骨后恢复直线走行状态;另外截骨量对韧带同样有影响,原来附着于截骨处的韧带是固定的,伸缩度没有释放出来,而截骨后释放出了一些具有自由度的韧带,具有收缩性,因此骨赘去除及截骨前后其周围的韧带自由度是不同的,这也是容易带来误差的一个因素,因此机器人辅助截骨后的间隙往往比规划时的间隙大。

3)软组织平衡、解剖轴平衡、假体规划方面,两组机器人在安放定位识别架的基础上,通过人机交互确定股骨和胫骨的形态及位置,通过感知膝关节在应力下的间隙变化确定并调节软组织平衡,在此过程调节股骨和胫骨侧假体的大小和安放的角度(假体的旋转角度、内外翻角度、抬头或低头程度、前后左右移动距离等),随着假体的大小及安放位置确定,其对应的截骨形态也就确定了,在这个阶段两组机器人的处理方式相似,这也是机器人辅助全膝关节置换术的核心阶段^[10-11]。Cori 及 Mako 机器人软组织平衡调整见图 5。

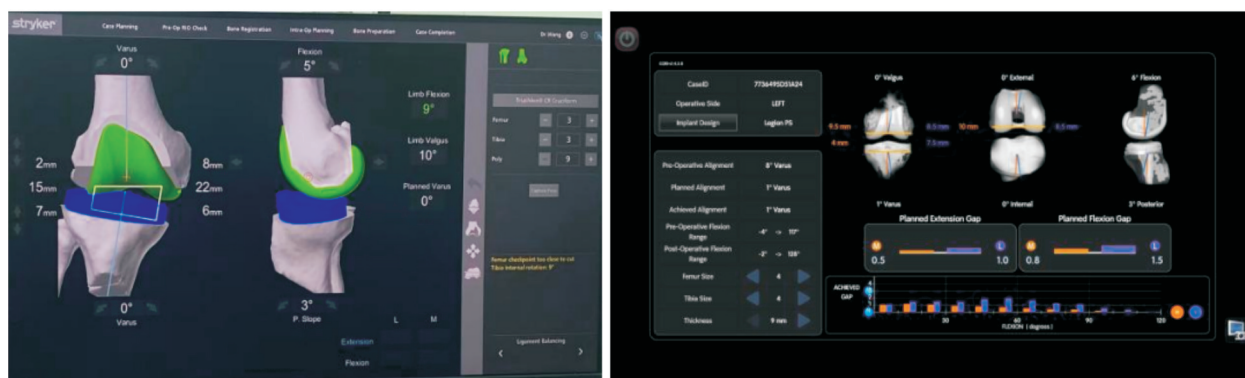


图 5 Cori 及 Mako 机器人软组织平衡调整

4)截骨方面,两组机器人都有精密的截骨方式设定,术中机器人可随时调整截骨器械的运行状态,避免误伤正常组织及医者。Cori 机器人是导航下的磨头完成股骨远端和胫骨侧的截骨。股骨远端面截骨后会有两个定位点确定四合一截骨板安放的位置,此时可用磨头完成其余四面的截骨,也可通过四合一截骨板完成其余面的截骨。在胫骨侧截骨时对胫骨平台的暴露要求更高,术中胫骨平台后侧往往无法充分暴露,难以通过磨头去除整个胫骨平台,此时可通过磨头磨去胫骨前三分之一,形成一个截骨参考面后,再通过摆锯完成其余部分截骨,这样也可以相对节约时间。Cori 机器人在截骨过程中没有机械臂辅助,磨头和把手相对轻便,但对手部把控力量要求更高,磨的过程中会溅出一些骨屑,操作相对耗时。Mako 机器人通过机械臂辅助截骨,截骨可采用摆锯或者磨头,通常采用摆锯,截骨效率更高,同时对胫骨平台后侧的暴露要求不高;术中在机械臂的导航下完成股骨和胫骨多个层面的截骨,机械臂可设定摆锯的运动界限,避免伤及周围

软组织、血管神经及正常骨组织,从把控上来说更加省力,但机械臂存在一定的机械阻力,截到比较坚硬的骨质时会出现锯片飘移现象,导致截骨面不精确^[12-14]。Cori 及 Mako 机器人截骨差异见图 6。

3.3 机器人辅助全膝关节置换术潜在的问题

机器人辅助全膝关节置换体现出很多优点,同时也带来了一些问题,主要表现在以下几点。1)术前准备的时间相对增加^[15],Mako 机器人需要术前完善患侧下肢 CT 检查,将数据导入主机,Mako 和 Cori 机器人都需要机器安装到位,术前需要对机器进行无菌包裹,对机器进行位置识别验证,在患肢安装识别定位架和标记点等^[16-17]。2)术中机械工具参与,若人机交互阶段出现较大问题,如术中定位架松动、位置变化,术中则存在验证不同步、无法进行下一道程序,或者将错就错。3)人机交互阶段环节较多,存在误差,会带来不精准的结果,如股骨侧各个截骨面往往不能很完美契合假体形态,特别是存在骨硬化时,截骨面会出现飘移。4)人机交互阶段应力测试时主刀医师所给力度无

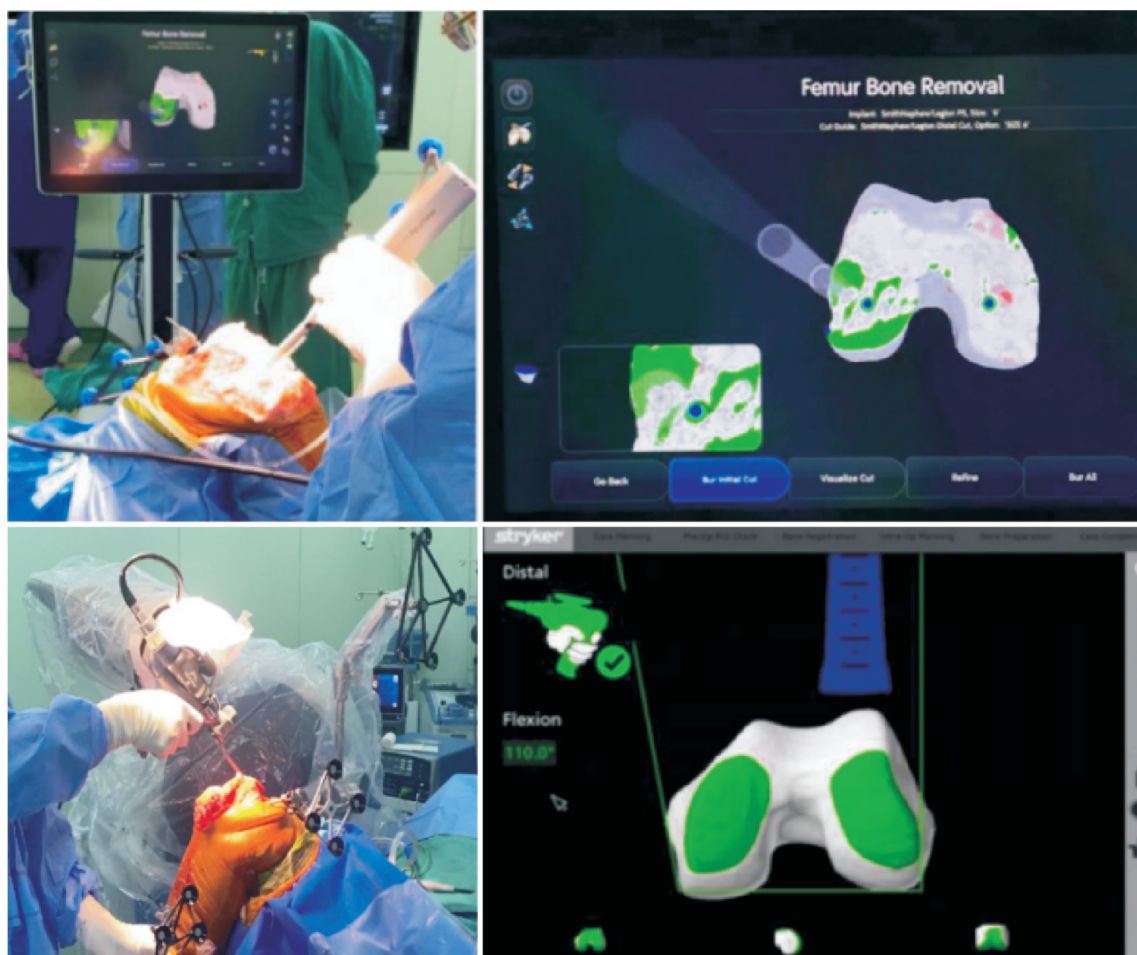


图6 Cori及Mako机器人截骨差异

法精确,往往根据主刀医师的手感,不同主刀医师的手感不同,即使同一位主刀医师在不同时间不同位置所给的应力也不完全相同。5)去除骨赘和截骨前后对韧带的自由度存在影响,术中后髁的骨赘去除与否,后关节囊松解与否等因素对关节的软组织平衡同样存在影响。6)术中识别钉可能遗留体内^[18]。7)定位架螺钉折断可能残留于骨骼中^[19]。8)尚缺乏远期疗效对比数据。

3.4 机器人辅助全膝关节置换术的未来

人机交互误差、截骨飘移、骨赘和截骨对韧带自由度的影响、术中对后关节囊的松解与否等因素对机器人辅助截骨后的关节间隙都会产生影响,与规划时的关节间隙存在差异。机器人辅助全膝关节置换术虽然存在一些误差,在无定位架松动等较大问题时仍然是相对精密的工具,很多误差在术中安放骨水泥假体时能够弥补。

目前膝关节辅助机器人主要的服务对象是膝关节初次置换病例^[20],应用的假体主要是后交叉韧带保留型膝关节假体(CR)或后方稳定型膝关节假体(PS)。对于内外翻特别严重的、内侧副韧带功能严重不佳的、关节二次手术翻修的、关节稳定性极差的病例还是需要人工完成膝关节置换^[21],这类手术往

往需要用到特殊限制性假体(如限制性踝型膝关节假体(CCK)、活动平台型膝关节假体(AHK)等)。随着该技术的不断应用、经验积累及软硬件更新,机器人辅助膝关节置换术的精度和效率将进一步提升,适应证也会逐渐拓展至复杂的病例(如畸形严重的、多次翻修手术的膝关节患者等),这些复杂病例对手术的精准度和个性化要求更高,机器人辅助的优势将会更加明显^[22]。未来的机器人系统可能集成更多高级功能(如实时软组织变形补偿、更精细的截骨控制和更直观的人机交互界面),从而提供精准度更高、个性化更强的辅助方案,进一步提高手术效果并减少手术风险。同时,机器人所采集的术前、术中的数据也可以为患者术后提供定制性的康复方案,实现机器人辅助全病程的参与管理。虽然面临一些挑战和限制因素,但随着技术的不断进步和应用的推广普及,机器人辅助有望在未来成为膝关节置换手术的主流方式之一。

本研究随访时间较短,仅比较了术前、术后2周及3个月的临床及影像学数据,没有远期疗效对比。本研究纳入数据较少,缺乏多中心大样本的数据。本研究为回顾性分析,患者分组的方式是自愿选择的手术方式,期间可能存在文化程度、经济基础、耐受程度等

多方面的干扰因素。另外,影像学测量为手动完成,可能存在测量误差,导致偏倚。

参考文献

- [1] 康俊峰,揭立士,廖太阳,等.膝痹宁Ⅱ治疗寒湿痹阻型膝骨关节炎的随机对照研究[J].中国中医骨伤科杂志,2025,33(1):27-32.
- [2] 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.
- [3] 王坤正.国产人工智能与骨科机器人在关节置换手术中的应用现状与前景[J].中华骨科杂志,2023,43(1):1-4.
- [4] 国家卫生计生委公益性行业科研专项《关节置换术安全性与效果评价》项目组,中华医学会骨科学分会关节外科学组,中国医疗保健国际交流促进会骨科分会关节外科学委员会.中国髌、膝关节置换术加速康复-围术期管理策略专家共识[J].中华骨与关节外科杂志,2016,9(1):1-9.
- [5] MITCHELL J, WANG J, BUKOWSKI B, et al. Relative clinical outcomes comparing manual and robotic-assisted total knee arthroplasty at minimum 1-year follow-up[J]. HSS Journal; the Musculoskeletal Journal of Hospital for Special Surgery, 2021, 17(3): 267-273.
- [6] SIRES J D, CRAIK J D, WILSON C J, 等. Mako 机器人辅助下全膝关节置换术截骨精度[J].临床骨科杂志, 2022, 25(1): 71.
- [7] FONTALIS A, KAYANI B, ASOKAN A, et al. Inflammatory response in robotic-arm-assisted versus conventional jig-based TKA and the correlation with early functional outcomes; results of a prospective randomized controlled trial[J]. Journal of Bone and Joint Surgery, 2022, 104(21): 1905-1914.
- [8] KHLOPAS A, SODHI N, HOZACK W J, et al. Patient-reported functional and satisfaction outcomes after robotic-arm-assisted total knee arthroplasty; early results of a prospective multicenter investigation[J]. The Journal of Knee Surgery, 2020, 33(7): 685-690.
- [9] 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.
- [10] 刘宁宁,王程,耿霄,等.机器人辅助与传统全膝关节置换术早期功能及患者满意度的比较[J].中国微创外科杂志,2024,24(8):545-552.
- [11] 张鹏远,马明阳,孔祥朋,等. MAKO 机器人辅助与传统手工全膝关节置换术后下肢体力的对比研究[J].骨科,2023,14(2):155-160.
- [12] DECKEY D G, ROSENOW C S, VERHEY J T, et al. Robotic-assisted total knee arthroplasty improves accuracy and precision compared to conventional techniques[J]. The Bone & Joint Journal, 2021, 103-B(6 SA): 74-80.
- [13] 刘杠,李国庆,汪洋,等. MAKO 机器人辅助全膝关节置换术的早期临床疗效[J].中华骨与关节外科杂志,2023,16(3):232-238.
- [14] 汝跃方,何荣新. Mako 机器人辅助全膝关节置换术在膝骨性关节炎的早期应用[J].中国骨伤,2023,36(2):133-139.
- [15] ONGGO J R, ONGGO J D, DE STEIGER R, et al. Robotic-assisted total knee arthroplasty is comparable to conventional total knee arthroplasty: a meta-analysis and systematic review[J]. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 2020, 140(10): 1533-1549.
- [16] 卜延民,赵慧雯,郑得志,等.关节置换术机器人手术系统的现状及发展趋势[J].中国矫形外科杂志,2024,32(19):1780-1785.
- [17] 夏增兵,胡文林,吴荣,等.机器人辅助全膝关节置换术的近期疗效与安全性评价[J].中国医刊,2023,58(3):276-279.
- [18] 中华医学会骨科学分会关节外科学组.机器人辅助关节置换术操作规范(草案)[J].中华骨与关节外科杂志,2024,17(9):769-780.
- [19] 张帅,孔祥朋,柴伟.2021 年度关节外科手术机器人临床应用盘点[J].骨科,2022,13(6):562-567.
- [20] 张成,李超,韩向东,等.骨科手术机器人临床应用综述[J].医疗卫生装备,2021,42(1):97-101.
- [21] 徐溢明,赵天昊,翁习生.机器人辅助髌膝关节置换术发展现状[J].中华骨与关节外科杂志,2022,15(8):633-640.
- [22] 高宇,翟吉良,丁大伟,等.人工智能在骨科手术机器人中的应用与展望[J].中华骨与关节外科杂志,2022,15(2):155-160.

(收稿日期:2025-09-07)