

# 机器人辅助人工全膝关节置换与传统手术临床效果比较的 Meta 分析

张国华, 李凯, 赵斌, 张勇伟, 王岩, 张芝良

(山西医科大学第二医院骨科, 山西 太原 030001)

**【摘要】** 目的: 通过 Meta 分析比较机器人辅助全膝关节置换术和传统全膝关节置换术效果的差异, 以明确机器人辅助全膝关节置换术是否可提供更好的假体下肢体力线及临床预后。方法: 计算机检索建库至 2018 年 11 月 Embase、Pubmed、Web of Science 数据库和中国期刊全文数据库(CNKI)、万方数据库、维普中文科技期刊数据库(VIP), 查找比较机器人辅助和传统全膝关节置换术效果差异的临床对照研究。根据纳入与排除标准进行文献筛选、质量评价及数据提取后, 应用 Revman 5.3 软件对文献数据进行 Meta 分析。结果: 共纳入 6 篇临床对照研究, 机器人辅助全膝关节置换术组 253 例, 传统全膝关节置换术组 231 例。Meta 分析结果: 机器人辅助 TKA 组在下肢冠状位力线角度 [WMD=-1.00, 95%CI(-1.66, -0.35),  $P=0.003$ ], 下肢冠状位力线内翻或外翻 $>3^\circ$ 发生率 [RR=0.04, 95%CI(0.01, 0.13),  $P=0.000\ 01$ ] 方面优于传统全膝关节置换术组; 但两组膝关节活动范围 [WMD=0.06, 95%CI(-5.43, 5.55),  $P=0.98$ ], 正位片胫骨角 [WMD=-0.19, 95%CI(-0.81, 0.43),  $P=0.55$ ] 与侧位片胫骨角 [WMD=-1.37, 95%CI(-3.73, 0.99),  $P=0.25$ ], 正位片股骨角 [WMD=0.30, 95%CI(-1.37, 1.96),  $P=0.72$ ] 与侧位片股骨角 [WMD=-0.93, 95%CI(-1.98, 0.12),  $P=0.08$ ], 并发症发生率 [RR=0.84, 95%CI(0.45, 1.58),  $P=0.60$ ] 比较, 差异无统计学意义。机器人辅助 TKA 组手术时间长于传统 TKA 组 [WMD=14.28, 95%CI(0.79, 27.77),  $P=0.04$ ]。结论: 在全膝关节置换术中使用机器人辅助系统可明显提高假体固定精度, 更好地重建下肢体力线, 并有减轻患者术后疼痛、促进膝关节功能恢复的潜在优势。受纳入文献数量与质量的限制, 未来仍需长期随访的高质量随机对照研究对本文结论加以佐证。

**【关键词】** 关节成形术, 置换, 膝; 外科手术; 机器人手术; Meta 分析

中图分类号: 687.4+2

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2019.09.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



**Clinical effects of robot-assisted total knee arthroplasty compared with traditional surgery: a Meta-analysis** ZHANG Guo-hua, LI Kai, ZHAO Bin, ZHANG Yong-wei, WANG Yan, and ZHANG Zhi-liang. Department of Orthopaedics, The Second Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, Shanxi, China

**ABSTRACT Objective:** To compare the difference between robotic-assisted TKA and traditional TKA by Meta-analysis in order to determine whether robotic-assisted TKA can provide better lower limb force line and clinical prognosis. **Methods:** Computerized searches of Embase, Pubmed, Web of Science and CNKI, Wanfang and VIP databases were conducted until November 2018 to find out the difference between robotic assisted TKA and traditional TKA. After screening, quality evaluation and data extraction according to inclusion and exclusion criteria, Revman 5.3 software was used for meta-analysis of literature data. **Results:** Six clinical controlled studies were included, 253 in robot-assisted TKA group and 231 in traditional TKA group. Meta-analysis showed that the incidence of coronal force line angle [WMD=-1.00, 95%CI (-1.66, -0.35),  $P=0.003$ ], coronal force line inversion or valgus $>3^\circ$  [RR=0.04, 95%CI(0.01, 0.13),  $P=0.000\ 01$ ] in robot-assisted TKA group was significantly better than that in traditional TKA group, but there were no statistical differences between two groups in range of knee joint motion [WMD=0.06, 95%CI(-5.43, 5.55)],  $P=0.98$ ], anterior position tibial angle [WMD=-0.19, 95%CI (-0.81, 0.43),  $P=0.55$ ] and lateral tibial angle [WMD=-1.37, 95%CI (-3.73, 0.99),  $P=0.25$ ], anterior position femoral angle [WMD=0.30, 95%CI(-1.37, 1.96),  $P=0.72$ ] and lateral femoral angle [WMD=-0.93, 95%CI(-1.98, 0.12),  $P=0.08$ ], the incidence of complications [RR=0.84, 95%CI (0.45, 1.58),  $P=0.60$ ]. The operation time of robot-assisted TKA group was longer than that of traditional TKA group [WMD=14.28, 95%CI(0.79, 27.77),  $P=0.04$ ]. **Conclusion:** The application of robotic assistant system in TKA surgery can significantly improve the accuracy of prosthesis fixation, better reconstruct the lower limb line of force, and has the potential advantages of reducing postoperative pain and promoting the recovery of knee joint function. Due to the limitation of the quantity and quality of the included literature, a high-quality random-

通讯作者: 李凯 E-mail: chinalikai@aliyun.com

Corresponding author: LI Kai E-mail: chinalikai@aliyun.com

ized controlled study with long-term follow-up is still needed in the future to support the conclusions of this paper.

**KEYWORDS** Arthroplasty, replacement, knee; Surgical procedures, operative; Robotic surgical procedures; Meta-analysis

传统人工全膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)主要依靠夹具系统进行切割定位,其精度主要取决于医生的经验,因此不可避免地存在误差,继而影响假体安装的精度及下肢力线(Mechanical Axis, MA)的重建。而假体下肢力线的重建和软组织平衡正是影响 TKA 成功与否的两个关键性因素<sup>[1-2]</sup>。计算机导航和机器人辅助技术可以解决传统 TKA 中假体定位不精确的问题。计算机辅助 TKA 主要依靠 CT 扫描和计算机集成系统进行导航<sup>[3]</sup>。与传统 TKA 相比,计算机辅助导航 TKA 假体对位较好,但术中仍使用夹具系统进行骨切割,切割误差依然存在。为了进一步提高假体定位和骨切割的准确性,多种机器人辅助 TKA 系统已被开发使用。机器人辅助 TKA 可严格按照术前计划进行操作,理论上可实现精准截骨和定位,完美恢复膝关节力线,从而改善膝关节功能、延长假体寿命和减少疼痛。本文对现已发表的比较机器人辅助 TKA 和传统 TKA 手术效果的临床研究进行系统回顾和 Meta 分析,以明确机器人辅助 TKA 是否可提供更好的假体下肢力线及临床预后。

## 1 资料与方法

### 1.1 纳入及排除标准

**1.1.1 纳入标准** 研究对象:行初次全膝关节置换的患者;不分年龄、性别、种族。干预措施:实验组接受机器人辅助 TKA,对照组接受传统 TKA。研究类型:国内外公开发表的比较机器人辅助 TKA 与传统 TKA 临床效果的临床对照研究。结局指标:研究结果中至少包括以下 1 项指标:下肢冠状位力线角度、下肢冠状位力线内翻或外翻 $>3^\circ$ 发生率、胫骨角、股骨角、膝关节活动范围、并发症发生率、手术时间。

**1.1.2 排除标准** (1)重复发表文献。(2)无法获得原始数据的文献。(3)非临床结果、术前术后测量结果不完整及动物实验文献、尸体力学试验。

### 1.2 文献检索

计算机检索 Embase、Pubmed、Web of Science 数据库和中国期刊全文数据库(CNKI)、万方数据库、维普中文科技期刊数据库(VIP),检索时间为建库至 2018 年 11 月。英文检索关键词包括:“total knee arthroplasty OR total knee replacement”“robotic-assisted OR robotic”;中文检索关键词包括:全膝关节置换,机器人辅助。同时通过检索纳入文献的参考文献及综述文章来获取相关研究文章。

### 1.3 文献筛选

文献检索工作经由 2 位医师按照纳入和排除标

准独立进行,通过阅读文题和摘要,排除明显不符合纳入标准的文献,再进一步阅读全文,分别对所获文献进行检索和纳入,确定最终纳入的研究,并交叉核对。如遇分歧则讨论解决或交由第 3 位高年资医师共同裁定是否纳入。

### 1.4 数据提取

提取文献基本资料并汇总于 Excel 表,包括第一作者,发表日期,研究对象的基本信息(病例数,年龄和性别),干预措施,随访时间,结局指标等。其中结局指标包括:下肢冠状位力线角度,下肢冠状位力线内翻或外翻 $>3^\circ$ 发生率,胫骨角,股骨角,膝关节活动范围,并发症发生率,手术时间。

### 1.5 文献质量评价

依据改良 Jadad 等<sup>[4]</sup>评分标准对纳入的随机对照研究(RCT)进行质量评价,主要从 4 个方面进行评价:(1)随机序列的产生:恰当(2 分),不清楚(1 分),不恰当(0 分)。(2)随机分组是否隐藏:恰当(2 分),不清楚(1 分),不恰当(0 分)。(3)是否使用盲法:恰当(2 分),不清楚(1 分),不恰当(0 分)。(4)有无病例的撤出与退出:描述了具体数目和理由(1 分),未描述具体数目或理由(0 分)。最高为 7 分,其中 1~3 分视为低质量,4~7 分视为高质量。

依据 Newcastle-Ottawa Scale(NOS)文献质量评价量表<sup>[5]</sup>对纳入的队列研究进行质量评价,包括:(1)病例定义和诊断是否恰当(1 分)。(2)病例的代表性(1 分)。(3)对照的选择(1 分)。(4)对照的确定(1 分)。(5)设计和分析阶段病例和对照的可比性(2 分)。(6)暴露的调查和评估方法(1 分)。(7)病例和对照组暴露因素的调查方法是否相同(1 分)。(8)无应答率(1 分)。最高为 9 分,分数越高则纳入研究的质量越高。

### 1.6 统计学处理

使用 Cochrane 协作网提供的 Review manager 5.3 软件对提取的数据进行 Meta 分析。二分类变量采用相对危险度(Relative Risk, RR)及 95%可信区间(confidence interval, CI)表示,连续性变量采用均数差(mean difference, MD)或标准化均数(standard mean difference, SMD)及 95%CI 表示,计算  $I^2$  值来检验不同研究之间的异质性,当  $I^2 < 50\%$  时,提示研究间的异质性较小,则采用固定效应模型(fixed effect);若  $I^2 \geq 50\%$  时,提示研究间的异质性较大,此时分析异质性原因,并采用随机效应模型(random effect)。 $P \leq 0.05$  为差异时有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 文献筛选结果

依据检索策略,共检索到相关文献 211 篇。通过阅读文题和摘要,排除重复文献 47 篇及不相关的文

献 130 篇,初筛出 34 篇相关文献;进一步阅读全文,并严格按照纳入标准和排除标准进行筛查,最终纳入 6 篇研究,机器人辅助 TKA 组 253 例,传统 TKA 组 231 例。文献筛选流程及结果见图 1。

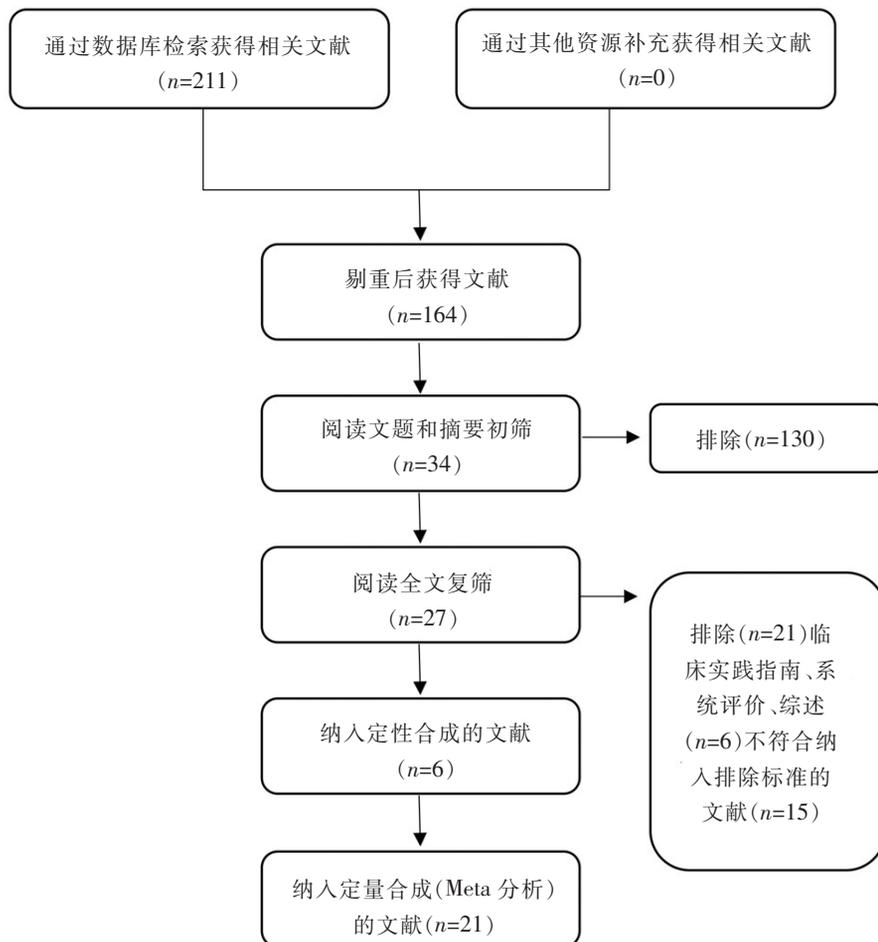


图 1 文献筛选流程和结果

Fig.1 Literature screening process and results

表 1 纳入研究基本特征

Tab.1 General information of included studies

纳入研究	研究类型	样本量(例)		年龄(岁)		男/女		随访时间(月)	结局指标	质量评分
		ROB	CON	ROB	CON	ROB	CON			
Kayani 等 <sup>[10]</sup> 2018	Pro-CS	40	40	69.7(53.1-85.3)	71.4(54.2-87.1)	18/22	15/25	1	⑤⑥⑦	8
Liow 等 <sup>[7]</sup> 2014	RCT	31	29	67.5±8.6	68.3±7.7	未提及		6	①②③④⑤⑥⑦	4
Park 等 <sup>[8]</sup> 2007	RCT	32	30	62.7±6.51	67.8±6.44	未提及		45	③④⑤	5
Siebert <sup>[11]</sup> 等 2002	Pro-CS	70	52	66(46-87)	68(48-82)	21/48	12/40	6	①②⑥	9
Song 等 <sup>[9]</sup> 2011	RCT	30	30	67±6.2		30/30		16±3.2	①②③④⑤⑦	5
Song 等 <sup>[6]</sup> 2013	RCT	50	50	66.1±7.1	64.8±5.3	4/46	5/45	65	①②③④⑤⑥⑦	3

注:ROB=机器人辅助组;CON=传统组;Pro-CS=前瞻性队列研究;RCT=随机对照研究。结局指标:①下肢冠状位力线角度;②下肢冠状位力线内翻或外翻>3°;③胫骨角;④股骨角;⑤膝关节活动范围;⑥并发症发生率;⑦手术时间

Note:ROB,robotic-assisted group;CON,conventional group;Pro-CS,prospective cohort study;RCT,randomized controlled trial. Outcomes:①mechanical axis alignment angle;②deviation of greater than 3 from neutral in mechanical axis;③tibial angle;④femoral angle;⑤range of knee joint motion;⑥complications;⑦operating time

2.2 纳入研究的基本特征与质量评价

对纳入文献中患者的年龄、性别、结局指标等基本信息进行汇总,并对文献质量进行评价(见表 1): 纳入的 6 篇文献中有 4 篇<sup>[6-9]</sup>为随机对照研究,但均未具体阐明所采用的方法,其中 1 篇<sup>[6]</sup>文献采用信封进行分配隐藏,其他文献未对分配隐藏进行说明,2 篇<sup>[8-9]</sup>在结局指标的测量中使用盲法,其余未描述;2 篇<sup>[10-11]</sup>为前瞻性对照研究,NOS 评分均较高。6 篇文献中有 1 篇<sup>[6]</sup>存在患者失访情况。

2.3 Meta 分析结果

2.3.1 下肢冠状位力线角度 4 篇文献<sup>[6,7,9,11]</sup>纳入分析。因各研究结果间异质性较大( $I^2 > 50\%$ ,  $P < 0.05$ ),故采用随机效应模型进行 Meta 分析。结果显示:机器人辅助 TKA 组下肢冠状位力线角度 [WMD=-1.00, 95% CI (-1.66, -0.35),  $P=0.003$ ] 小于传统组,差异有统计学意义,见图 2。

2.3.2 下肢冠状位力线内翻或外翻 $>3^\circ$  4 篇文献<sup>[6,7,9,11]</sup>纳入分析。因各研究结果间异质性不大( $I^2 < 50\%$ ,  $P > 0.1$ ),故采用固定效应模型进行 Meta 分析。结果显示:机器人辅助 TKA 组下肢冠状位力线内翻或外翻 $>3^\circ$  的发生率 [RR=0.04, 95% CI (0.01, 0.13),  $P < 0.000 01$ ] 低于传统组,差异有统计学意义,见图 3。

2.3.3 胫骨角 4 篇文献<sup>[6-9]</sup>纳入分析。因各研究结果间异质性较大( $I^2 > 50\%$ ,  $P < 0.05$ ),故采用随机效应模型进行 Meta 分析。结果显示:机器人辅助与传统 TKA 正位片胫骨角 [WMD=-0.19, 95% CI (-0.81,

0.43),  $P=0.55$ ] 与侧位片胫骨角 [WMD=-1.37, 95% CI (-3.73, 0.99),  $P=0.25$ ] 差异无统计学意义,见图 4。

2.3.4 股骨角 4 篇文献<sup>[6-9]</sup>纳入分析。因各研究结果间异质性较大( $I^2 > 50\%$ ,  $P < 0.05$ ),故采用随机效应模型进行 Meta 分析。结果显示:机器人辅助与传统 TKA 正位片股骨角 [WMD=0.30, 95% CI (-1.37, 1.96),  $P=0.72$ ] 与侧位片股骨角 [WMD=-0.93, 95% CI (-1.98, 0.12),  $P=0.08$ ] 差异无统计学意义,见图 5。

2.3.5 膝关节活动范围 4 篇文献<sup>[6-10]</sup>纳入分析。因各研究结果间异质性较大( $I^2 > 50\%$ ,  $P < 0.05$ ),故采用随机效应模型进行 Meta 分析。结果显示:机器人辅助与传统 TKA 膝关节活动范围 [WMD=0.06, 95% CI (-5.43, 5.55),  $P=0.98$ ] 差异无统计学意义,见图 6。

2.3.6 并发症发生率 4 篇文献<sup>[6,7,10,11]</sup>纳入分析。因各研究结果间异质性不大( $I^2 < 50\%$ ,  $P > 0.1$ ),故采用固定效应模型进行 Meta 分析。结果显示:机器人辅助与传统 TKA 并发症发生率 [RR=0.84, 95% CI (0.45, 1.58),  $P=0.60$ ] 差异无统计学意义,见图 7。

2.3.7 手术时间 4 篇文献<sup>[6,7,9,10]</sup>纳入分析。因各研究结果间异质性较大( $I^2 > 50\%$ ,  $P < 0.05$ ),故采用随机效应模型进行 Meta 分析。结果显示:机器人辅助 TKA 组手术时间 [WMD=14.28, 95% CI (0.79, 27.77),  $P=0.04$ ] 大于传统组,差异有统计学意义,见图 8。

3 讨论

3.1 机器人辅助技术在膝关节置换的应用及意义  
TKA 是终末期膝关节疾病(如风湿、类风湿性关

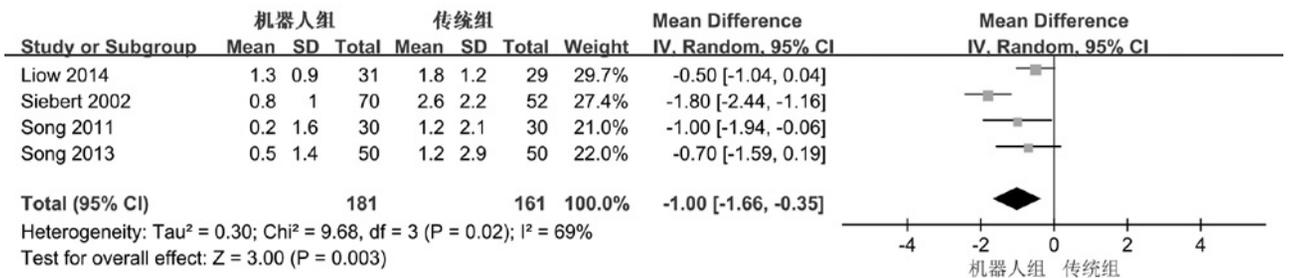


图 2 机器人辅助与传统 TKA 下肢冠状位力线角度比较的森林图

Fig.2 Forest plot to assess mechanical axis alignment angle between robotic-assisted and conventional TKA

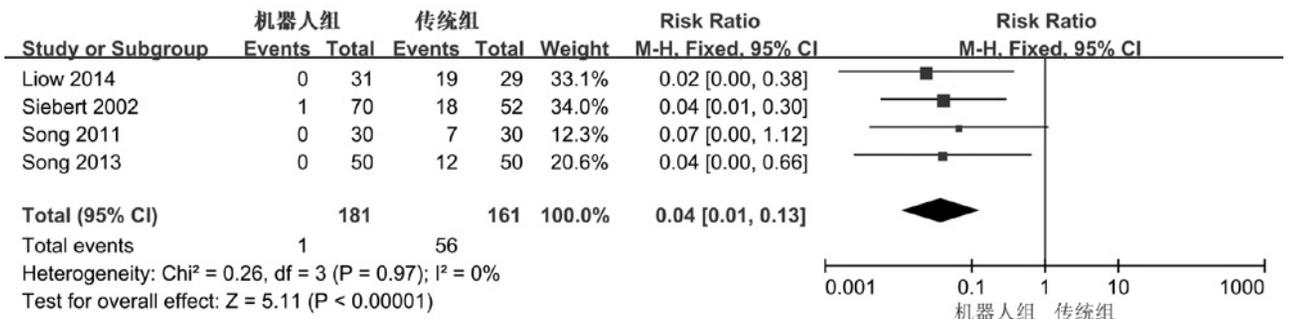


图 3 机器人辅助与传统 TKA 下肢冠状位力线内翻或外翻 $>3^\circ$  比较的森林图

Fig.3 Forest plot to assess lower limb coronal force line varus or valgus $>3$  degrees between robotic-assisted and conventional TKA

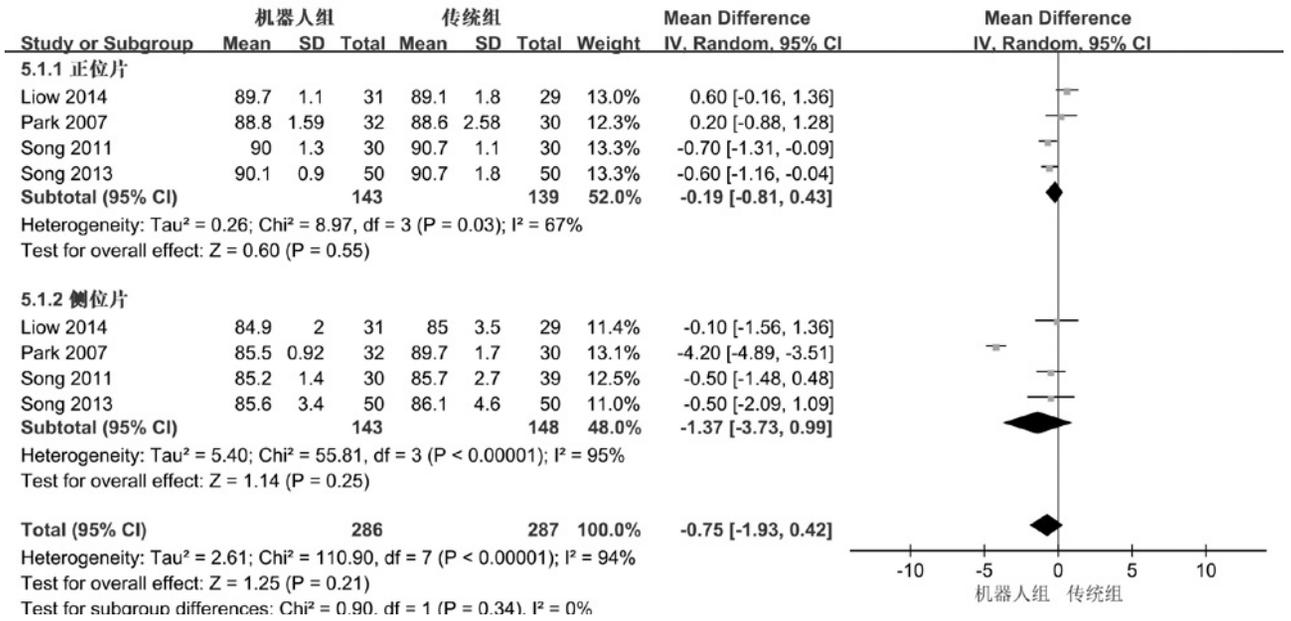


图 4 机器人辅助与传统 TKA 胫骨角比较的森林图

Fig.4 Forest plot to assess tibial angle between robotic-assisted and conventional TKA

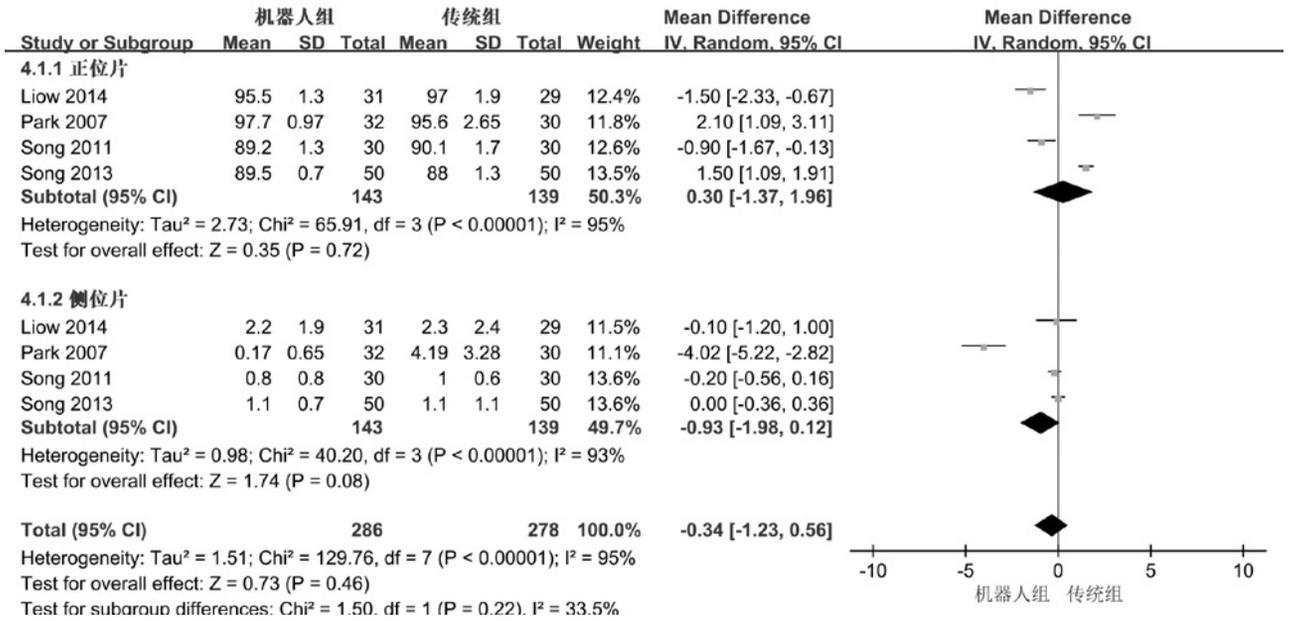


图 5 机器人辅助与传统 TKA 股骨角比较的森林图

Fig.5 Forest plot to assess femoral angle between robotic-assisted and conventional TKA

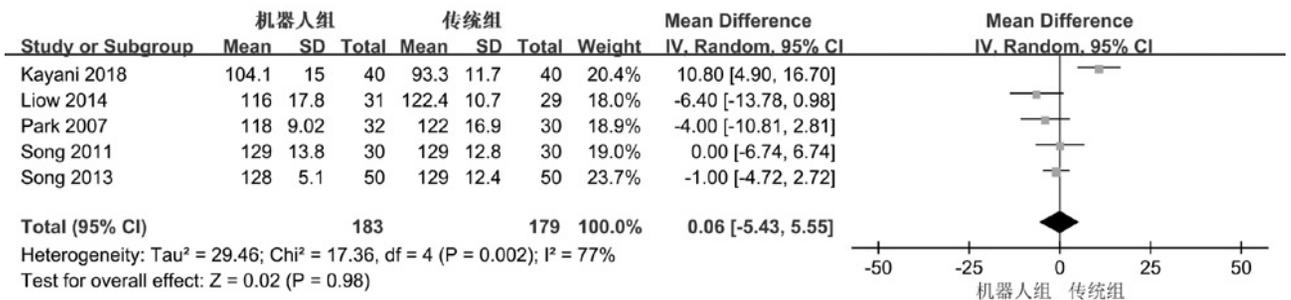


图 6 机器人辅助与传统 TKA 膝关节活动范围比较的森林图

Fig.6 Forest plot to assess range of knee joint motion between robotic-assisted and conventional TKA

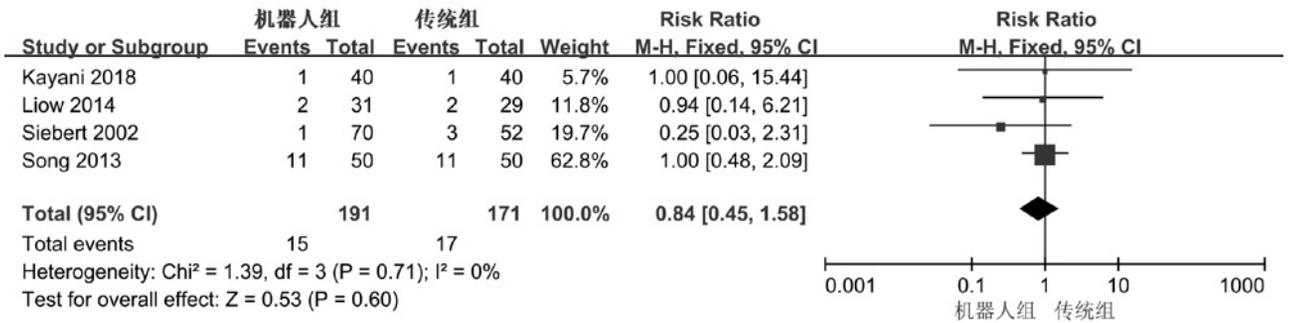


图 7 机器人辅助与传统 TKA 并发症发生率比较的森林图

Fig.7 Forest plot to assess complication between robotic-assisted and conventional TKA

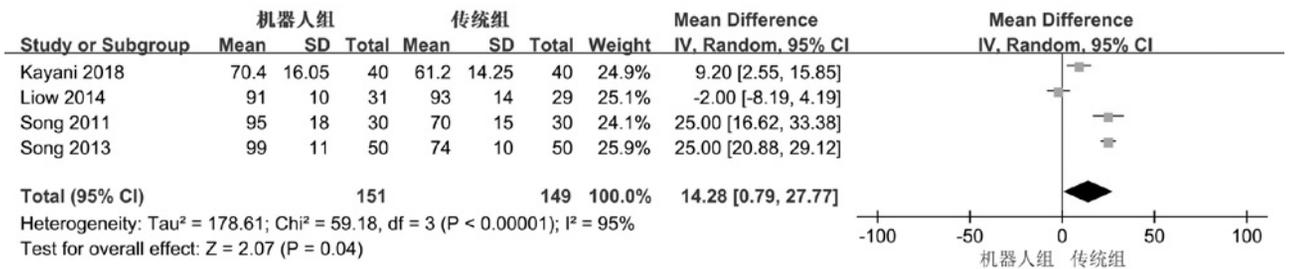


图 8 机器人辅助与传统 TKA 手术时间比较的森林图

Fig.8 Forest plot to assess operating time between robotic-assisted and conventional TKA

节炎,骨关节炎)的主要治疗方式,能够长期有效地解除患者的关节疼痛,提高生活质量。传统 TKA 常因手术失误导致力线偏离,从而出现假体磨损增加、假体不稳、术后疼痛甚至手术失败等多种问题<sup>[12-13]</sup>,是 TKA 术后翻修的最常见原因<sup>[14]</sup>。传统 TKA 术后约有 7% 的患者下肢力线偏离 >9°, 34% 的患者力线偏离 >5°<sup>[7]</sup>,从而导致约 20% 的患者对手术总体效果不甚满意<sup>[15]</sup>。TKA 术后下肢力线偏离 3° 以内假体松动率约 3%, >3° 时假体松动的风险约增加 8 倍<sup>[16]</sup>。

已有研究证实,机器人辅助 TKA 在保证假体定位精度的同时可将下肢力线偏离限制在 1°~3°<sup>[17]</sup>,这对促进患者术后功能恢复和延长假体使用寿命具有重要意义<sup>[18]</sup>。另外,机器人辅助 TKA 的精准切割不仅大大降低了神经、血管和韧带损伤的风险,亦大大增加了骨平台与假体的契合度,使机器人辅助 TKA 在理论上具备了应用非骨水泥植入物的可能,从而避免骨水泥相关并发症的出现,并有效保留骨组织以简化未来的手术翻修<sup>[7]</sup>。

### 3.2 本研究的发现

本次 Meta 分析结果表明,相较于传统 TKA,机器人辅助 TKA 在下肢冠状位力线角度、下肢冠状位力线内翻或外翻 >3° 发生率方面均具有明显的优势,但机器人辅助 TKA 手术时间相对较长,而在胫骨角、股骨角、活动范围和并发症发生率方面两者均无明显差异。

由于所纳入的文献缺乏统一评价标准,本文未

能对 TKA 术后反应膝关节功能的指标进行 Meta 分析,现对相关结果进行总结性分析。Kayani 等<sup>[10]</sup>研究发现,机器人辅助 TKA 术后疼痛评分相较于传统 TKA 更低,术后所需镇痛药物剂量更少,在更少的被动康复锻炼与物理治疗的前提下,能够更早完成直腿抬高的动作。Liow 等<sup>[7]</sup>在患者 TKA 术后 6 个月的随访中发现,机器人辅助 TKA 组除 SF-36 精力评分较高外,其他 SF-36 项目评分和 KSS 评分两组没有明显差异。Song 等<sup>[6,9]</sup>对反映患者术后膝关节疼痛与功能的 HSS 评分、WOMAC 评分进行了统计,发现机器人辅助 TKA 与传统 TKA 没有明显差异,但机器人辅助 TKA 组的患者对手术效果满意度相对更高。因此,笔者认为机器人辅助 TKA 在实现精准定位、高精度切割及磨削的前提下亦能减轻患者术后疼痛并促进膝关节功能的恢复,较传统 TKA 更具优势。

### 3.3 研究的局限性

本研究尚存在一定的局限性:(1)所纳入的文献数量较少。(2)纳入文献均为外文,国内尚缺乏此类研究。(3)纳入文献随访时间长短不一。(4)纳入文献中使用的机器人辅助 TKA 系统不统一,对结果存在一定的影响。(5)因机器人辅助 TKA 须在胫骨近端额外插入定位针,所以纳入文献实施盲法难度较大,降低了纳入文献的质量。(6)纳入文献缺乏统一的 TKA 术后膝关节功能评价标准,无法对相关结局指标进行 Meta 分析。因此,未来仍需长期随访的高质量随机对照研究对本文结论加以佐证。

### 3.4 结论和展望

改进操作技术以精准重建下肢力线、提高假体安装精度是 TKA 最近的发展重点<sup>[19-20]</sup>。辅助类手术机器人技术因能实现精确的定位及精准的切割、磨削、钻孔等操作,改善假体固定效果显著,现已在欧美发达国家广泛应用于关节外科、脊柱外科等领域。虽然现阶段机器人辅助 TKA 仍具有手术时间更长、成本更高,临床结果与传统 TKA 相比没有明显优势等问题,但随着自动化技术及操作系统的进步与发展,机器人辅助 TKA 的优势将会被证实,并存在成为 TKA 操作标准的可能。希望本文能对国内相关技术的发展提供些许参考。

综上所述,在 TKA 手术中使用机器人辅助系统可明显提高假体固定的精度,更好的重建下肢力线,并具有减轻患者术后疼痛、促进膝关节功能的恢复的潜在优势。

#### 参考文献

- [1] Panzica M, Kenaway M, Liodakis E, et al. Effect of intraoperative weight-bearing simulation on the mechanical axis in total knee arthroplasty[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2014, 134(5): 673-677.
- [2] Goudie S, Deep K. Collateral soft tissue release in primary total knee replacement[J]. Comput Aided Surg, 2014, 19(1-3): 29-33.
- [3] Lustig S, Badet R, Alsaati MF. Computer-assisted total knee arthroplasty [M]. 2014.
- [4] Jadad AR, Moore RA, Carroll D, et al. Assessing the quality of reports of randomized clinical trials: is blinding necessary[J]. Control Clin Trials, 1996, 17(1): 1-12.
- [5] Stang A. Critical evaluation of the Newcastle-Ottawa scale for the assessment of the quality of nonrandomized studies in meta-analyses [J]. Eur J Epidemiol, 2010, 25(9): 603-605.
- [6] 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.
- [7] Liow MH, Xia Z, Wong MK, et al. Robot-assisted total knee arthroplasty accurately restores the joint line and mechanical axis. A prospective randomised study[J]. J Arthroplasty, 2014, 29(12): 2373-2377.
- [8] Park SE, Lee CT. Comparison of robotic-assisted and conventional manual implantation of a primary total kneearthroplasty [J]. J Arthroplasty, 2007, 22(7): 1054-1059.
- [9] Song EK, Seon JK, Park SJ, et al. Simultaneous bilateral total knee arthroplasty with robotic and conventional techniques: a prospective, randomized study[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2011, 19(7): 1069-1076.
- [10] 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 jigbased total kneearthroplasty: a prospective cohort study[J]. Bone Joint J, 2018, 100B(7): 930-937.
- [11] Siebert W, Mai S, Kober R, et al. Technique and first clinical results of robot-assisted total knee replacement[J]. Knee, 2002, 9(3): 173-180.
- [12] Bell SW, Young P, Drury C, et al. Component rotational alignment in unexplained painful primary total knee arthroplasty[J]. Knee, 2014, 21(1): 272-277.
- [13] 余华晨, 张宇, Wong P. 个性化截骨工具与传统人工全膝关节置换治疗膝骨关节炎的临床对照试验[J]. 中国骨伤, 2016, 29(6): 513-516.  
YU HC, ZHANG Y, Wong P. Case-control study on individual osteotomy instrument and conventional total knee arthroplasty for the treatment of knee osteoarthritis[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2016, 29(6): 513-516. Chinese with abstract in English.
- [14] Postler A, Lütznert C, Beyer F, et al. Analysis of total knee arthroplasty revision causes [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2018, 19(1): 55.
- [15] 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.
- [16] Quack VM, Kathrein S, Rath B, et al. Computer-assisted navigation in total knee arthroplasty: a review of literature[J]. Biomed Tech (Berl), 2012, 57(4): 269-275.
- [17] Konan S, Maden C, Robbins A. Robotic surgery in hip and knee arthroplasty[J]. Br J Hosp Med (Lond), 2017, 78(7): 378-384.
- [18] Zhang QH, Cossey A, Tong J. Stress shielding in periprosthetic bone following a total knee replacement: Effects of implant material, design and alignment [J]. Med Eng Phys, 2016, 38(12): 1481-1488.
- [19] 梅炯. 膝关节置换手术的技术要点及并发症处理[J]. 中国骨伤, 2015, 28(10): 881-883.  
MEI J. Main technique points and complication management of total knee arthroplasty[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2015, 28(10): 881-883. Chinese.
- [20] 孙长蛟, 杨凯, 李慧敏, 等. 机器人系统在膝关节置换中的应用 [J]. 中华医学杂志, 2018, 98(21): 1726-1728.  
SUN CJ, YANG K, LI HM, et al. Application of robotic system in knee joint replacement[J]. Zhonghua Yi Xue Za Zhi, 2018, 98(21): 1726-1728. Chinese.

(收稿日期: 2019-02-20 本文编辑: 王玉蔓)