

## •临床研究•

## 全膝关节手术定位系统临床效果的 Meta 分析

顾一纯 何达 黄佳妤 朱宇安 孙辉 张涛涛 张琴华 许明飞

**【摘要】** 目的 比较全膝关节手术定位系统辅助全膝关节置换术(TKA)与常规TKA的临床效果。方法 检索CNKI、万方、SinoMed、Ovid-EMBASE、Web of science 和 PubMed 等数据库,根据纳入和排除标准,收集所有相关随机对照试验(RCT),检索截止日期为2022年2月,由2位评价员独立筛查文献、提取资料和评估方法学质量,采用RevMan 5.3 软件进行Meta分析。结果 最终纳入分析25篇RCT,其中导航组833膝,常规组858膝。与常规组相比,导航组力线偏移角显著减小(WMD=-2.34,  $P<0.001$ , 95%CI: -2.59~-2.09),膝关节活动度增加(WMD=6.07,  $P<0.05$ , 95%CI: 0.62~11.51),术中出血量减少(WMD=-72.99,  $P<0.001$ , 95%CI: -110.88~-35.11),引流量减少(WMD=-49.46,  $P<0.001$ , 95%CI: -74.95~-23.96),但手术时间增加(WMD=12.47,  $P<0.05$ , 95%CI: 4.75~20.20)。两组间膝关节协会评分(KSS)临床评分、功能评分差异均无统计学意义。结论 在定位系统辅助下的TKA可以显著提高手术精度,更好地重建下肢力线,在促进膝关节功能恢复上有潜在优势,但两种方式术后KSS功能与临床评分没有显著性差异。

**【关键词】** 全膝关节置换;手术定位系统;临床效果;Meta分析

DOI: 10.3969/j.issn.1673-7083.2022.03.011

**Clinical efficacy of navigation systems assisting total knee arthroplasty: a Meta-analysis** GU Yichun<sup>1</sup>, HE Da<sup>1</sup>, HUANG Jiayu<sup>2</sup>, ZHU Yu'an<sup>3</sup>, SUN Hui<sup>1</sup>, ZHANG Taotao<sup>4</sup>, ZHANG Qinhu<sup>4</sup>, XU Mingfei<sup>1</sup>. Shanghai Health Development Research Center<sup>1</sup>, Shanghai 201199, China; Department of Medical Instrumentation, Shanghai University of Medicine & Health Sciences<sup>2</sup>, Shanghai 201318, China; School of Finance and Business, Shanghai Normal University<sup>3</sup>, Shanghai 201108, China; Department of Public Health, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine<sup>4</sup>, Shanghai 201203, China

Corresponding author: XU Mingfei E-mail: xumingfei@shdrc.org

**【Abstract】 Objective** This paper aims to compare the clinical effects of navigation systems assisting total knee arthroplasty (TKA) with traditional surgery. **Methods** The China National Knowledge Infrastructure, Wanfang, SinoMed, Ovid-EMBASE, Web of science, and PubMed databases were searched. According to the inclusion and exclusion criteria, all relevant randomized controlled trials published from inception to February 2022 were included. Additionally, study selection and assessment and data collection and analysis were undertaken by two authors independently. Meta-analysis was performed using RevMan 5.3 software. **Results** Twenty-five randomized controlled trials were analyzed, including 833 knees in the navigation group and 858 knees in the conventional group. Results of Meta-analysis suggested that deviation of the force line angle (WMD=-2.34,  $P<0.001$ , 95% CI: -2.59~-2.09), intraoperative blood loss (WMD=-72.99,  $P<0.001$ , 95% CI: -110.88~-35.11), and drainage volume (WMD=-49.46,  $P<0.001$ , 95% CI: -74.95~-23.96) in the navigation group were less than that of the conventional group. Range of knee joint motion (WMD=6.07,  $P<0.05$ , 95% CI: 0.62~11.51) in the navigation group was significantly better than that in the traditional TKA group. However, the operation time was increased (WMD=12.47,  $P<0.05$ , 95% CI: 4.75~20.20). There were no significant differences in the clinical score of the knee society score (KSS) or the KSS function score between the two groups. **Conclusion** TKA assisted by navigation systems can significantly improve the surgical accuracy and better reconstruct the lower limb force line, which has potential advantages in promoting knee joint function recovery. However, there were no significant differences in KSS function or clinical scores between the two groups.

**【Key words】** Total knee arthroplasty; Navigation systems; Clinical effect; Meta-analysis

随着我国老龄人口的增加,对膝关节置换术需求呈现逐年增长的态势。术中精确的下肢力线

作者单位:201199,上海市卫生和健康发展研究中心(顾一纯、何达、孙辉、许明飞);201318,上海健康医学院医疗器械学院(黄佳妤);201108,上海师范大学商学院(朱宇安);201203,上海中医药大学公共健康学院(张涛涛、张琴华)

通信作者:许明飞 E-mail: xumingfei@shdrc.org

对全膝关节置换术 (TKA) 远期结果至关重要, 它可以较大程度地减少假体磨损和松动率。在传统的TKA中, 假体定位主要基于肉眼对肢体和假体的观察, 定位的精确度无法保证。即使是专业水平较高的骨科医生, 应用传统技术行TKA也难以保证手术能获得优异结果, 尤其是对于骨骼严重畸形或髓腔硬化的患者, 手术难度更大<sup>[1]</sup>。针对上述问题, 全膝关节手术定位系统将空间导航技术、无线传输技术与临床手术结合起来, 使TKA在精确化、微创化和智能化方面得到极大提升。本研究通过Meta分析比较采用全膝关节手术定位系统的TKA与常规TKA的临床效果, 以期为临床治疗中手术方式的选择提供循证医学证据。

## 1 资料与方法

### 1.1 文献检索策略

本研究检索的数据库包括CNKI、万方、SinoMed、Ovid-EMBASE、Web of science 和PubMed, 各数据库检索时间范围均从建库至2022年2月10日。英文检索词包括total knee arthroplasty、total knee replacement、accelerometer-based navigation、hand-held navigation or portable navigation等; 中文检索词包括全膝关节置换术、便携式导航、手持式导航、计算机导航等。同时检索纳入研究的参考文献, 以补充获取相关资料。

### 1.2 纳入与排除标准

纳入标准: ①研究类型为随机对照试验(RCT), 不限研究地域, 仅限中、英文文献; ②研究对象为经保守治疗无效需行初次TKA的患者, 不限研究地域、假体类型; ③干预措施为便携式导航辅助TKA与常规TKA的临床效果比较; ④重要相关结局指标包括下肢力线角度、出血量、引流量、并发症发生情况, 次要相关结局指标包括膝关节协会评分(KSS)、健康调查简表SF-12评分、力线与假体存活率的关联、膝关节活动度、股骨侧角度、胫骨侧角度、手术时间、住院时间。

排除标准: ①重复发表文献; ②综述、述评等研究; ③动物或尸体研究; ④无对照组的研究; ⑤未明确指出相关结局观察指标; ⑥缺乏相关数据且无法获取。

### 1.3 文献质量评价

采用Cochrane评分量表评价所纳入的文献资料, 评价指标包括选择偏倚、分配隐藏、实施偏倚、分类结局、测量偏倚、盲法、失访偏倚、分类结局、

发表偏倚、选择偏倚、其他偏倚等。

### 1.4 统计学分析

使用RevMan 5.3软件进行分析。进行异质性检验, 计算 $I^2$ 统计量。综合考虑 $I^2$ 统计量结果, 判断研究结果的异质性, 若无异质性则采用固定效应模型进行数据合并, 反之则采用随机效应模型。绘制森林图展示Meta分析结果, 舍弃低分文献进行敏感性分析, 绘制漏斗图展示发表偏倚结果。

## 2 结果

### 2.1 检索结果

共检索到340篇文献, 经过逐层筛选, 最终纳入25篇RCT。文献筛选由2名研究人员合作开展, 文献检索情况见图1。

所检索的数据库及检出文献: CNKI ( $n=92$ )、万方 ( $n=42$ )、SinoMed ( $n=26$ )、Pubmed ( $n=65$ )、ENBASE ( $n=53$ )、Web of science ( $n=62$ )。

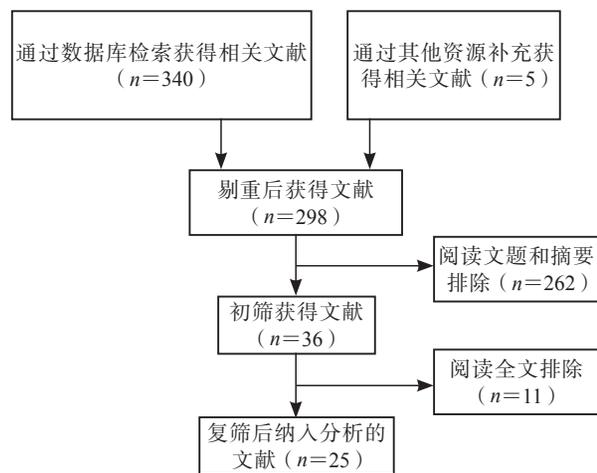


图1 文献检索情况

### 2.2 纳入研究的基本特征及质量评价

最终纳入分析25篇RCT, 根据手术方式, 分为导航组和常规组。其中导航组833膝, 常规组858膝。各研究一般资料见下页表1, 偏倚风险评价结果见下页图2。

### 2.3 分析结果

#### 2.3.1 手术时间

共纳入15篇文献, 961膝, 其中导航组482膝, 常规组479膝。 $I^2=98%$ ,  $P<0.001$ , 表明文献存在一定异质性, 采用随机效应模型。统计结果显示,  $WMD=12.47$ ,  $P<0.05$ ,  $95\%CI: 4.75\sim 20.20$ , 两组手术时间存在统计学差异, 导航组手术时间显著长于常规组(表2)。

表1 纳入研究的一般资料

序号	纳入研究	性别/例 (男/女)		平均年龄/岁		手术例数/例		结局指标
		导航组	常规组	导航组	常规组	导航组	常规组	
1	李程等 <sup>[2]</sup>	4/20	12/60	67.4	64.6	24	72	⑩⑥⑦⑧
2	冷重光等 <sup>[3]</sup>	7/11	5/12	67	65	22	22	①⑥⑦⑧⑩⑪
3	Cobb等 <sup>[4]</sup>	13/5	15/8	69.8	70.4	13	14	③⑩⑪
4	宫云昭 <sup>[5]</sup>	18/19	15/22	68	65	37	37	①⑥⑦⑧⑩
5	刘晓亮 <sup>[6]</sup>	5/15	7/13	66.7	65.3	25	24	①⑤⑦⑧⑩⑫
6	吴毛等 <sup>[7]</sup>	3/2	2/3	52.4	58.6	5	5	⑩⑥⑦⑧
7	张建雷 <sup>[8]</sup>	20	20	N/A	N/A	24	22	②①⑥⑦⑧
8	王伟等 <sup>[9]</sup>	32	32	N/A	N/A	40	62	⑤⑥⑦⑧⑫⑬⑭⑮
9	杜辉等 <sup>[10]</sup>	25	26	67.6	67.6	26	26	②⑦⑫⑬⑭⑯⑰⑱
10	Yan等 <sup>[11]</sup>	4/26	6/24	66.7 ± 7.2	69.5 ± 8.4	30	30	⑤⑦⑨⑬⑭⑯⑰⑱⑲
11	Gan等 <sup>[12]</sup>	10/25	9/26	68.5 ± 4.8	67.8 ± 3.4	35	35	⑦⑩⑪⑬⑭⑮
12	Belle等 <sup>[13]</sup>	N/A	N/A	N/A	N/A	62	58	③④⑥⑦⑧
13	Blyth等 <sup>[14]</sup>	N/A	N/A	N/A	N/A	75	75	⑬⑭⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚
14	田书畅等 <sup>[15]</sup>	6/14	7/13	66.8 ± 8.2	63.7 ± 13.3	20	20	④⑥⑦⑫⑬⑭⑯⑰⑱
15	Gilmour等 <sup>[16]</sup>	N/A	N/A	N/A	N/A	58	54	⑬⑭⑯⑰
16	程国芳等 <sup>[17]</sup>	51/59	28/48	65.6 ± 14.3	66.7 ± 13.8	110	76	①⑦⑫⑬⑭⑮
17	虞宵等 <sup>[18]</sup>	10/13	8/15	64.16 ± 6.26	65.21 ± 6.73	23	23	①⑤⑦⑧⑩⑪⑫⑬⑭⑮
18	Xu等 <sup>[19]</sup>	9/30	9/31	66.58	65.33	39	40	⑥⑦⑩⑪
19	孙茂淋 <sup>[20]</sup>	9/21	6/24	65.2	62.7	30	30	⑦⑩⑫⑬⑭⑮⑯
20	靳丹 <sup>[21]</sup>	12/11	13/10	68.5 ± 8.5	68.5 ± 7.5	23	23	①⑤⑬⑭
21	张述东等 <sup>[22]</sup>	19/19	17/21	59.25 ± 7.4	59.48 ± 7.14	38	38	②④⑬⑭⑮⑯⑰⑱
22	刘宇博等 <sup>[23]</sup>	9/11	8/12	68.5 ± 1.3	69.3 ± 1.6	20	20	⑦⑩⑫⑰
23	张波等 <sup>[24]</sup>	12/8	10/10	73.27 ± 5.62	72.44 ± 6.29	20	20	③④⑤⑦⑩⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱
24	Beyer等 <sup>[25]</sup>	N/A	N/A	N/A	N/A	40	40	⑬⑭⑮⑯
25	Saiki等 <sup>[26]</sup>	N/A	N/A	N/A	N/A	45	45	④⑤⑥⑦⑧⑨⑩

注：①下肢冠状位力线角度；②切口长度；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；⑧软组织平衡 ⑨使用止血带时间；⑩α、β、γ及δ角；⑪术中出血量；⑫引流流量；⑬KSS评分；⑭西安大略和麦克马斯特大学骨关节炎指数(WOMAC)；⑮美国纽约特种外科医院(HSS)评分；⑯牛津大学膝关节评分(OKS)；⑰胫骨假体尺寸；⑱股骨假体尺寸；⑲衬垫厚度；⑳遗忘关节评分；㉑下肢机械轴；㉒医院焦虑抑郁量表；㉓加州大学洛杉矶分校(UCLA)活动量表；㉔SF-12；㉕疼痛灾难化量表；㉖躯体疾病(精神障碍评分的初级护理评估)；㉗疼痛视觉模拟评分(VAS评分)；㉘镇痛剂；㉙满意度；㉚翻修手术；㉛冠状面髌-膝-踝(HKA)角；㉜血红蛋白(Hb)；㉝红细胞沉降率(ESR)；㉞C-反应蛋白(CRP)；㉟异常值比例；㊱日本骨科协会(JOA)评分；㊲股骨假体位置；㊳胫骨假体位置；㊴输血量

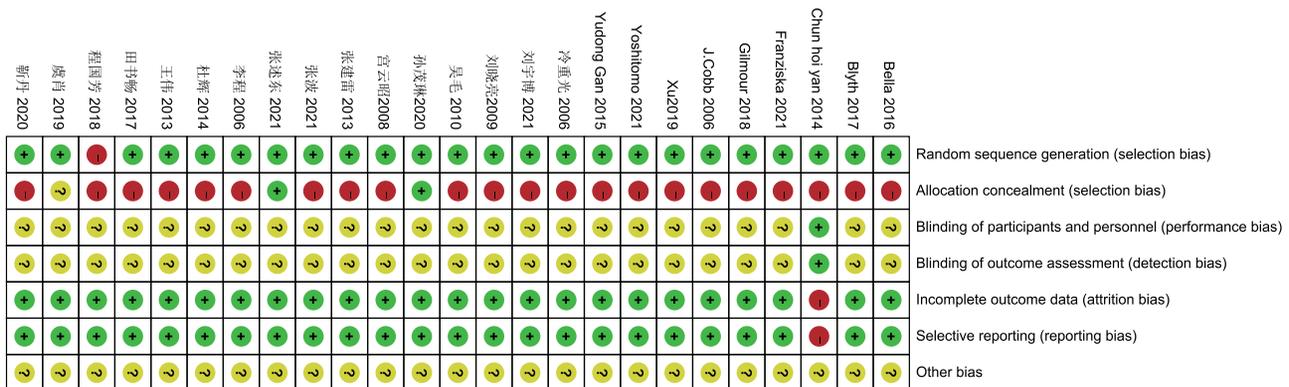


图2 文献偏倚的风险评估结果

### 2.3.2 膝关节活动度

共纳入5篇文献, 244膝, 其中导航组111膝, 常规组133膝。 $I^2=76%$ ,  $P<0.05$ , 表明文献存在一定异质性, 采用随机效应模型。统计结果显示,  $WMD=6.07$ ,  $P<0.05$ ,  $95\%CI: 0.62\sim 11.51$ , 两组膝关节活动度存在统计学差异, 导航组术后膝关节活动度优于常规组(表2)。

### 2.3.3 KSS 临床评分

共纳入6篇文献, 419膝, 其中导航组211膝, 常规组208膝。 $I^2=49%$ ,  $P>0.05$ , 表明文献不存在异质性, 采用固定模型。统计结果显示,  $WMD=0.29$ ,  $P>0.05$ ,  $95\%CI: -1.27\sim 1.85$ , 两组KSS临床评分无统计学差异(表2)。

### 2.3.4 KSS 功能评分

共纳入4篇文献, 228膝, 其中导航组114膝, 常规组114膝。 $I^2=61%$ ,  $P=0.05$ , 表明文献存在一定异质性, 采用随机效应模型。统计结果显示,  $WMD=2.48$ ,  $P>0.05$ ,  $95\%CI: 1.48\sim 6.44$ , 两组KSS功能评分无统计学差异(表2)。

### 2.3.5 术中出血量

共纳入8篇文献, 381膝, 其中导航组190膝, 常规组191膝。 $I^2=99%$ ,  $P<0.05$ , 表明文献存在一定异质性, 采用随机效应模型。统计结果显

示,  $WMD=-72.99$ ,  $P<0.001$ ,  $95\%CI: -110.88\sim -35.11$ , 两组术中出血量存在统计学差异, 导航组术中出血量显著少于常规组(表2)。

### 2.3.6 引流量

共纳入6篇文献, 307膝, 其中导航组153膝, 常规组154膝。 $I^2=99%$ ,  $P<0.05$ , 表明文献存在一定异质性, 采用随机效应模型。统计结果显示,  $WMD=-49.46$ ,  $P<0.001$ ,  $95\%CI: -74.95\sim -23.96$ , 两组引流量存在统计学差异, 导航组引流量少于常规组(表2)。

### 2.3.7 力线偏移角

共纳入3篇文献, 155膝, 其中导航组78膝, 常规组77膝。 $I^2=0%$ ,  $P>0.05$ , 表明文献不存在异质性, 采用固定效应模型。统计结果显示,  $WMD=-2.34$ ,  $P<0.001$ ,  $95\%CI: -2.59\sim -2.09$ , 两组力学偏移角存在统计学差异, 导航组力学偏移角显著小于常规组(表2)。

## 2.4 文献发表偏倚和敏感性分析

基于膝关节活动度结局指标绘制漏斗图进行发表偏倚检验, 漏斗图基本呈对称分布(图3), 发表偏倚较小。敏感性分析显示, 单独剔除低分文献后, 对Meta分析结果产生的影响并不明显, 提示结果具有一定稳定性。

表2 Meta分析结果整理

评价指标	研究数量/篇	异质性检验结果		Meta分析结果	
		P值	$I^2$	效应量(95%CI)	P值
手术时间	15	<0.001	98%	$WMD=12.37, 4.75\sim 20.20$	0.002
膝关节活动度	5	0.002	76%	$WMD=6.07, 0.62\sim 11.51$	0.03
KSS临床评分	6	0.08	49%	$WMD=0.29, -1.27\sim 1.58$	0.71
KSS功能评分	4	0.05	61%	$WMD=2.48, -1.48\sim 6.44$	0.22
出血量	8	<0.001	99%	$WMD=-72.99, -110.88\sim -35.11$	<0.001
引流量	6	<0.001	99%	$WMD=-49.46, -74.95\sim -23.96$	<0.001
力线偏移角	3	0.54	0%	$WMD=-2.34, -2.59\sim -2.09$	<0.001

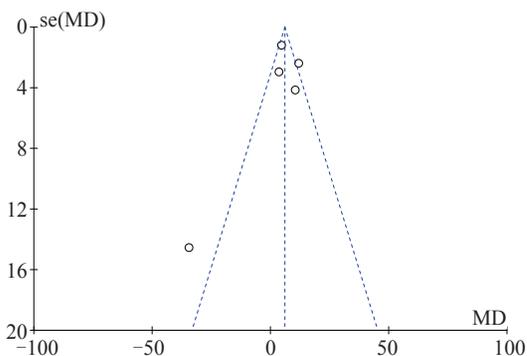


图3 膝关节活动度漏斗图

## 3 讨论

关节置换术是目前治疗终末期骨关节疾病的主要方式。尽管髋、膝关节置换技术相对成熟, 但仍无法解决术中精准定位截骨位置和准确安放假体等问题。在常规TKA中, 假体定位主要基于肉眼对肢体和假体的观察, 定位的精确度无法保证, 即使是专业水平较高的骨科医生, 也难以保证手术获得优异结果, 尤其是对于骨骼严重畸形或髓腔硬化的患者, 手术难度更大<sup>[27]</sup>。此外, 常规TKA主要依赖于医生经验和术中扫描影像, 需要

打开髓腔和插入力线杆进行定位, 创伤大, 存在髓内感染、脂肪栓塞及恢复慢等风险<sup>[28]</sup>。在TKA中, 恢复正常的下肢力线和软组织平衡对膝关节动力学重建至关重要, 直接关系到术后人工关节使用寿命和患者生活质量。目前临床上以股骨解剖轴线外翻 $5^{\circ}\sim 7^{\circ}$ 确定下肢力线以及凭借手指感觉评估软组织平衡, 这两种方法主要凭借术者主观的经验决断, 缺乏精确客观的力线定位和压力测量方法, 这也成为影响常规TKA质量的重要原因。

针对这些问题, 临床上出现多种新型导航技术如计算机导航、手术机器人、3D打印导板辅助关节置换技术及智能测量仪辅助操作等, 可提供精准定位。计算机导航、手术机器人等通过髓外定位可以实现膝关节下肢力线精确定位, 但传统光学导航存在操作复杂、费用昂贵、手术时间长、学习曲线长等缺点。智能测量仪辅助操作作为TKA辅助技术, 运用位置、力线、张力测量仪等传感器辅助精准完成关节置换手术, 操作简单, 但功能单一, 更适用于我国大部分地区二级医院或县级医院。本研究纳入的各种技术存在不同的优势和缺陷, 但均可提供精准的手术定位。

吴德胜等<sup>[29]</sup>的Meta分析共纳入截止2018年11篇临床文献, 包括4篇RCT以及7篇非RCT, 结果显示便携式导航辅助TKA恢复下肢机械轴线的精准性优于常规TKA, 但两者在冠状面和矢状面假体植入位置准确性方面无差异。张国华等<sup>[30]</sup>的Meta分析共纳入截止2018年6篇RCT, 结果显示相较于常规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 $>3^{\circ}$ 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、膝关节活动度和并发症发生率方面两者均无明显差异。本研究进一步聚焦于多种新型导航技术, 在已有的Meta研究的基础上发现, 相较于常规TKA, 定位系统辅助TKA手术时间较长, 但在减少术中出血量、引流量、力线偏移角, 增加膝关节活动度方面有显著优势, 然而两组间KSS临床评分、功能评分差异均无统计学意义。这说明定位系统辅助TKA可实现精准定位, 增加膝关节活动度, 但不能解释两者在KSS临床评分、KSS功能评分无统计学差异的原因。考虑到纳入研究缺乏长期随访且KSS评分是一种基于观测者角度创建的评分方法, 在不同测试者之间使用时会出现一定的偏倚,

未来仍需要更多样本、更佳质量的试验来进行进一步验证。

由于TKA智能传感器引导系统为创新技术, 缺乏长期随访及数据质量和数量等, 本研究结果存在一定的局限性, 主要体现在: ①再入院率(翻修率)和并发症发生率是本研究重要的结局指标, 但因纳入文献随访时间长短不一, 加之TKA智能传感器引导系统为创新技术, 应用时间不长, 目前纳入的文献普遍缺乏长期的持续跟踪, 致使本研究中无法纳入此类结局指标进行分析; ②纳入文献中使用的手术定位系统、假体类型不同, 对研究结果存在一定影响; ③纳入文献采用了HSS评分、KSS评分等不同的评分量表, 缺乏统一的术后膝关节功能评价; ④本研究纳入的大多是已发表的文献, 存在发表偏倚, 且普遍未报道随机方法、分配隐藏, 可能存在选择、实施、测量等多种偏倚, 会影响研究结论的真实性与客观性; ⑤与常规TKA相比, 导航系统辅助TKA无需开髓且需要使用定位仪器, 所以在RCT中实施盲法难度较大, 降低了纳入文献的质量。因此, 未来有待进一步开展大样本、多中心、长期随访的RCT, 强化数据颗粒度采集, 以辅助临床决策和技术准入决策。

#### 参考文献

- [1] 刘丙根, 庞清江. 计算机导航与传统全膝关节置换疗效比较的Meta分析[J]. 中国组织工程研究, 2014, 18(40): 6542-6547.
- [2] 李程, 裴福兴, 杨静, 等. 计算机导航全膝关节置换系统的初步临床应用[A]. 中华医学会、中华医学会骨科学分会. 中华医学会第八届骨科学术会议暨第一届国际COA学术大会论文摘要集[C]. 中华医学会、中华医学会骨科学分会: 中华医学会, 2006: 2.
- [3] 冷重光, 赵江涛, 陈崇民, 等. 计算机导航辅助下人工全膝关节置换术[J]. 中华骨科杂志, 2006, 26(10): 666-670.
- [4] Cobb J, Henckel J, Gomes P, et al. Hands-on robotic unicompartmental knee replacement: a prospective, randomised controlled study of the acrobot system[J]. J Bone Joint Surg Br, 2006, 88(2): 188-197.
- [5] 官云昭. 计算机导航辅助下人工全膝关节置换术[D]. 辽宁中医药大学, 2008.
- [6] 刘晓亮. 计算机导航辅助下人工全膝关节置换术的临床应用[D]. 辽宁中医药大学, 2009.
- [7] 吴毛, 顾晓峰, 许宏俊, 等. 计算机导航下解剖标志异常的膝关节置换术[J]. 中华创伤杂志, 2010, 26(11): 977-981.
- [8] 张建雷. 个体化导航模板辅助全膝关节置换的基础研究[D]. 昆明医科大学, 2013.
- [9] 王伟, 徐永胜, 吕龙. 红外线计算机导航与传统人工全膝关节置换的相关性研究[J]. 内蒙古医学杂志, 2013, 45(2): 129-132.
- [10] 杜辉, 张纪, 唐浩, 等. 计算机辅助导航人工膝关节置换术的效

- 果观察 [J]. 山东医药, 2014, 54(36): 74-77.
- [11] Yan CH, Chiu KY, Ng FY, et al. Comparison between patient-specific instruments and conventional instruments and computer navigation in total knee arthroplasty: a randomized controlled trial[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2015, 23(12): 3637-3645.
- [12] Gan Y, Ding J, Xu Y, et al. Accuracy and efficacy of osteotomy in total knee arthroplasty with patient-specific navigational template[J]. *Int J Clin Exp Med*, 2015, 8(8):12192-12201.
- [13] Bell SW, Anthony I, Jones B, et al. Improved accuracy of component positioning with robotic-assisted unicompartmental knee arthroplasty: data from a prospective, randomized controlled study[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2016, 98(8): 627-635.
- [14] 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.
- [15] 田书畅, 姚庆强, 刘帅, 等. iASSIST 智能辅助定位系统在人工全膝关节置换术中的应用 [J]. 中国数字医学, 2017, 12(3): 26-29.
- [16] Gilmour A, MacLean AD, Rowe PJ, et al. Robotic-Arm-assisted vs conventional unicompartmental knee arthroplasty. The 2-year clinical outcomes of a randomized controlled trial[J]. *J Arthroplasty*, 2018, 33(7S): S109-S115.
- [17] 程国芳, 何宝林, 王小伟, 等. 计算机导航辅助与传统手术行人工膝关节置换的疗效比较 [J]. 临床骨科杂志, 2018, 21(5): 558-561.
- [18] 虞宵, 郭东昇, 周晓强, 等. 红外线计算机辅助导航的全膝关节置换术 [J]. 中国矫形外科杂志, 2019, 27(5): 426-430.
- [19] Xu X, Liu P, Yuan Z, et al. Comparison of a novel handheld accelerometer-based navigation system and conventional instrument for performing distal femoral resection in total knee arthroplasty: a randomized controlled trial[J]. *Ann Transl Med*, 2019, 7(22): 659.
- [20] 孙茂淋. 3D 打印个体化导航模板辅助全膝关节置换术后临床疗效及步态分析 [D]. 中国人民解放军陆军军医大学, 2020.
- [21] 靳丹. 3D 打印个性化导航模板在全膝关节置换术中的临床效果 [J]. 现代诊断与治疗, 2020, 31(10): 1519-1521.
- [22] 张述东, 李世盛. 基于 3D 打印技术的个性化导航模板应用于全膝关节置换术中的临床价值 [J]. 中国骨与关节杂志, 2021, 10(1): 61-66.
- [23] 刘宇博, 虞宵, 张向鑫, 等. OrthoPilot 计算机红外线导航系统在膝内翻畸形全膝关节置换术中的应用 [J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2021, 36(8): 834-836.
- [24] 张波, 江敞, 朱云森, 等. 计算机导航系统辅助全膝关节置换术治疗膝关节骨性关节炎的早期疗效 [J]. 临床骨科杂志, 2021, 24(6): 792-797.
- [25] Beyer F, Pape A, Lützner C, et al. Similar outcomes in computer-assisted and conventional total knee arthroplasty: ten-year results of a prospective randomized study[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2021, 22(1): 707.
- [26] Saiki Y, Ojima T, Kabata T, et al. Accuracy of different navigation systems for femoral and tibial implantation in total knee arthroplasty: a randomised comparative study[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2021, 141(12): 2267-2276.
- [27] Bathis H, Perlick L, Tingart M, et al. Alignment in total knee arthroplasty. A comparison of computer-assisted surgery with the conventional technique[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2004, 86(5): 682-687.
- [28] Nam D, Weeks KD, Reinhardt KR, et al. Accelerometer-based, portable navigation vs image less, large-console computer-assisted navigation in total knee arthroplasty: a comparison of radiographic results[J]. *J Arthroplasty*, 2013, 28(2): 255-261.
- [29] 吴德胜, 邓仲豪, 廖哲霆, 等. 便携式导航辅助全膝关节置换术力线校准的 Meta 分析 [J]. 中华关节外科杂志 (电子版), 2019, 13(1): 86-92.
- [30] 张国华, 李凯, 赵斌, 等. 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 [J]. 中国骨伤, 2019, 32(9): 846-852.

(收稿日期: 2022-03-17)

(本文编辑: 卢千语)