

内翻膝置换术后力线与步态的比较

周 剑¹, 华兴一¹, 陆军勤², 唐 康¹, 方 伟³

(¹ 安徽医科大学第一附属医院骨科, 合肥 230022; ² 连云港市第一人民医院骨科, 连云港 222000;

³ 黟县人民医院骨科, 黄山 245500)

摘要 目的 探讨采用全膝关节置换术(TKA)治疗内翻膝后下肢力线与膝关节功能步态的关系。**方法** 94例膝关节炎合并内翻膝患者采用机械学对线进行了TKA,在术前和术后1个月评估患者膝关节协会评分(KSS),下肢髌膝踝角(HKA),内侧近端胫骨角(mMPTA),步态指标(步长、步速、步频、大腿抽动加速度、大腿摆动功)的变化情况以及KSS评分和下肢力线变化的相关性。**结果** 患者手术侧膝关节KSS临床评分由术前的(39.19±9.55)分提升至(73.01±6.90)分($P<0.001$),KSS功能评分由术前的(41.12±10.66)分提升至(56.33±7.41)分,差异有统计学意义($P<0.001$)。患者手术侧下肢步长、步速、步频、大腿摆动功在TKA后1个月差异有统计学意义(均 $P<0.001$),而大腿抽动加速度未有明显变化($P=0.525$),患肢HKA角由术前的170.61±4.39增大到177.30±3.49($P<0.001$)。患肢mMPTA角由术前的83.95±3.32增加到89.15±1.94($P<0.001$)。相关性分析显示KSS临床评分与下肢力线HKA呈正相关($P<0.001$),与mMPTA呈正相关($P<0.05$),KSS功能评分与HKA呈正相关($P<0.05$),与mMPTA无相关性($P>0.05$)。**结论** 膝内翻引起的重度膝关节炎在TKA术后1个月患肢疼痛即可明显减轻,膝关节临床评分及功能评分均得到提高。而将下肢力线尽量恢复机械对线和关节功能恢复呈正相关,并可提升膝关节的步态功能。

关键词 膝关节炎;全膝关节置换;内翻膝;髌膝踝角;步态分析;机械学对线

中图分类号 R 684.3

文献标志码 A **文章编号** 1000-1492(2025)10-1932-05

doi:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2025.10.020

膝骨关节炎(knee of arthritis, KOA)是慢性退行性骨关节疾病,表现于膝关节软骨破坏,关节间隙狭窄,骨赘形成,关节活动受限^[1-2]。对于膝内翻引起的重度膝关节炎患者来说,采用全膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)可以有效缓解患者的疼痛,改善患者的生活质量^[3-4]。TKA的疗效取决于膝关节假体的精确安放及良好的软组织平衡,一般认为术后将患者下肢肢体力线纠正到接近下肢机械轴的角度,即机械学对线(mechanical alignment, MA)^[5],可以提高膝关节假体的功能和使用寿命,而力线对位不良会导致假体松动,加速聚乙烯衬垫的磨损^[6]。实验者引入了便携式步态分析仪(portable motion analyzer, PMA)来记录内翻膝患者行TKA术前术后下肢步态的变化情况,并通过膝关节协会评分(knee society score, KSS)评估患者膝关节功能变化情况,分析KSS评分和下肢力线变化的相关性。

1 材料与方法

1.1 病例资料 选取2019年7月—2023年2月在安徽医科大学第一附属医院高新院区骨科行单侧TKA的内翻膝关节炎患者。纳入研究标准:①术前术后有双下肢负重位全长片;②影像学资料显示均为膝关节骨性关节炎终末期合并膝内翻畸形,分级为Kellgren-Lawrence 4级膝关节骨性关节炎;③行单侧初次TKA手术。排除标准:①术前为中立位或外翻膝;②影像学资料不完整;③合并脊柱、髋关节、足踝或其他影响行走功能的疾病;④同时行双膝置换。根据纳入标准,共94例膝关节炎合并内翻膝患者纳入研究,其中男性患者26例,女性68例,年龄51~81(67.53±6.67)岁,体质量(65.79±10.50)kg,身高(1.60±7.60)m,体质量指数为(25.48±3.81)kg/m²。

1.2 术前处理 拍摄术前双下肢负重位全长片,术前半小时预防性使用抗生素以及氨甲环酸。

1.3 手术方法 麻醉效果满意后,患者取仰卧位下肢上止血带,常规术野消毒铺巾,取膝前正中皮肤切口约10cm,逐层切开皮肤及深筋膜,沿髌骨内侧缘

2025-07-13 接收

基金项目:安徽省自然科学基金项目(编号:2208085MH212)

作者简介:周 剑,男,副主任医师,通信作者,E-mail:zhoujian831207

@163.com

切开关节囊,外翻髌骨,切除部分髌下脂肪垫,屈曲膝关节,股骨髁间窝开口开髓,设置股骨定位器解剖轴外翻 6° ,打入股骨定位装置,安装股骨髁截骨模块,测试内外侧髁截骨厚度,股骨内外髁分别截骨。再切除内外侧半月板及交叉韧带,咬除平台周围增生骨赘,安装胫骨截骨定位装置调整力线垂直,测试截骨厚度后行胫骨平台截骨。股骨假体型号测量器测量后选择股骨截骨模块,完成股骨远端前后髁外旋 3° 截骨,选择合适试模安装,测试力线、伸屈间隙及稳定性满意后,胫骨、股骨依次安装骨水泥假体稳定,安装半月板垫片,关节复位伸直位,修正髌骨周围骨赘,去神经化处理,待骨水泥稳定后,复位髌骨,检查膝关节活动及力线良好,内外侧副韧带张力良好,髌骨活动轨迹良好;生理盐水冲洗后,放置引流管1根,逐层缝合至皮肤,无菌敷料加压包扎。术后24 h去除引流管,嘱患者扶助行器下地活动,并循序渐进开始膝关节功能锻炼。

1.4 观察指标

1.4.1 下肢角度测量指标 术前术后负重位拍摄双下肢全长位片(图1)。拍摄时患者直立,膝关节尽量伸直,足部与双肩同宽,双髌骨朝正前方。测量:①下肢髋膝踝角(hip-knee-ankle angle, HKA),骨机械轴即股骨头中心与股骨髁间嵴的中心或胫骨髁间嵴的中心的连线,胫骨机械轴即股骨髁间嵴的中心或胫骨髁间嵴的中心与距骨中点的连线,股骨机械轴与胫骨机械轴内侧夹角即HKA角;②机械轴胫骨近端内侧角(mechanical medial proximal tibial angle, mMPTA),胫骨机械轴线与胫骨内外侧平台切线的内侧夹角;2名医师分别测量后,取平均值。

1.4.2 随访指标 根据患者KSS功能评分量表评估患者TKA术前及术后1个月患肢膝关节的临床评分和功能评分情况。

1.4.3 便携式能量分析仪 TKA术前术后患者均采用PMA进行步态信息数据的采集,时间点与膝关节功能评分一致。PMA由1个主机和7个肢体微型传感器组成。行走时通过粘贴在患者双大腿、双踝、双足和胸骨上的三维加速度传感器,采集步态数据,并即时传输至腰部的主机,受试者佩戴行走无任何干扰。

设备调试成功后输入患者信息,嘱患者先站立10 s后,以平时自然的速度平地直线行走约10 m先适应所佩戴仪器,再正常行走约20 m供数据采集用。测试完成将分析仪连接计算机将数据存档,根据分析软件输出步态参数结果。纳入研究包括3个

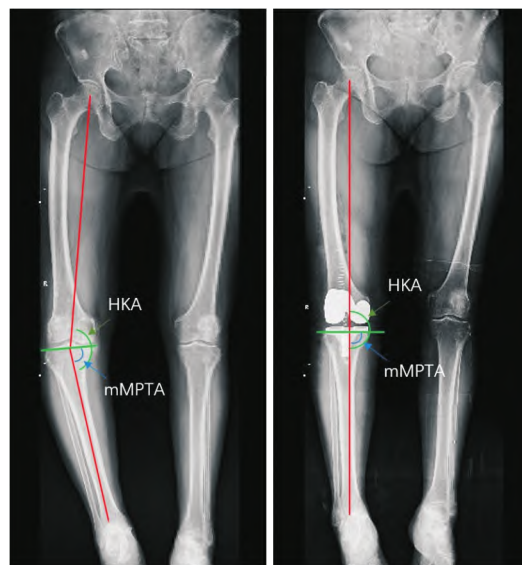


图1 TKA术前和术后HKA及mMPTA角变化情况

Fig.1 Changes in HKA and mMPTA angles before and after TKA

时空参数(步长、步速、步频)和2个加速度步态参数(大腿抽动加速度、大腿摆动功)。

1.5 统计学处理 用PMA配套的GaitView软件记录及分析步态数据并导出,采用SPSS软件对所有数据进行统计学分析,计量资料采用均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,配对资料采用配对样本 t 检验,相关性分析采用Pearson相关分析方法, $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 主观评分结果 纳入研究的94例内翻膝行TKA患者,在术前和术后1个月评估患者手术侧膝关节KSS评分,患者手术侧膝关节KSS临床评分术前术后差异有统计学意义($P < 0.001$)。KSS功能评分术前术后差异有统计学意义($P < 0.001$)。见表1。

表1 患者术前和术后1个月KSS评分结果($\bar{x} \pm s, n = 94$)

Tab.1 Preoperative and postoperative (1-month) KSS scores of patients ($\bar{x} \pm s, n = 94$)

Item	KSS clinical score	KSS functional score
Preoperative	39.19 $\pm$ 9.55	41.12 $\pm$ 10.66
Postoperative (1-month)	73.01 $\pm$ 6.90	56.33 $\pm$ 7.41
t value	-30.95	-17.07
P value	<0.001	<0.001

2.2 步态参数变化 TKA术前和术后1个月用PMA测量患者步态数据,患者手术侧下肢步长、步速、步频、大腿摆动功在TKA后1个月有明显改善,

表2 患者术前和术后1个月步态参数变化结果 ($\bar{x} \pm s, n=94$)Tab.2 Preoperative and 1-month postoperative gait parameters ($\bar{x} \pm s, n=94$)

Item	Step length (m)	Gait speed (m/s)	Cadence (spm)	Thigh jerk acceleration (m/s ²)	Thigh swing work (J)
Preoperative	0.38 ± 0.06	34.97 ± 8.17	90.72 ± 7.09	1.06 ± 0.12	0.41 ± 0.06
Postoperative (1-month)	0.42 ± 0.06	41.67 ± 8.48	97.69 ± 6.50	1.06 ± 0.11	0.45 ± 0.60
<i>t</i> value	-15.500	-21.370	-17.330	0.638	-15.980
<i>P</i> value	<0.001	<0.001	<0.001	0.525	<0.001

差异有统计学意义(均 $P < 0.001$), 而大腿抽动加速度无明显变化($P = 0.525$), 差异无统计学意义。见表2。

2.3 下肢角度测量指标 患者手术侧的下肢 HKA 角由术前术后差异有统计学意义($P < 0.001$)。手术侧下肢的 mMPTA 角由术前 83.95 ± 3.32 增加到术后的 89.15 ± 1.94 , 差异有统计学意义($P < 0.001$)。见表3。

表3 患者术前和术后下肢角度测量指标变化结果 ($\bar{x} \pm s, n=94$)Tab.3 Preoperative and postoperative changes in lower limb alignment angles ($\bar{x} \pm s, n=94$)

Item	HKA	mMPTA
Preoperative	170.61 ± 4.39	83.95 ± 3.32
Postoperative (1-month)	177.30 ± 3.49	89.15 ± 1.94
<i>t</i> value	-7.56	-5.94
<i>P</i> value	<0.001	<0.001

2.4 步态变化和下肢角度变化的关系 将下肢力线变化结果与 KSS 评分进行采用 Pearson 相关性检验, 结果显示, KSS 临床评分与下肢力线 HKA 呈正相关($P < 0.001$), 与 mMPTA 呈正相关($P < 0.05$), KSS 功能评分与 HKA 呈正相关($P < 0.05$), 与 mMPTA 无相关性($P > 0.05$)。见表4。

表4 KSS 评分与下肢力线相关性分析 ($n=94$)Tab.4 Correlation analysis between KSS scores and lower limb alignment ($n=94$)

Item	Correlation analysis	HKA	mMPTA
KSS clinical score	<i>r</i> value	0.56	0.26
	<i>P</i> value	<0.001	0.010
KSS functional score	<i>r</i> value	0.27	0.17
	<i>P</i> value	0.010	0.990

3 讨论

膝关节内翻畸形是膝关节骨关节炎的最常见表现形式, 胫骨结构异常及膝关节周围软组织失衡是膝关节内翻畸形的重要发生机制^[7]。TKA 作为膝

关节骨关节炎患者的最终治疗方案能减轻关节疼痛、纠正畸形改善膝关节功能, 已经得到了临床的广泛认可和应用^[8-9]。在本研究中, 患者 TKA 采用了 MA 方法, 术后膝关节 HKA 角, mMPTA 角均较术前得到明显纠正, 患者在 TKA 术后1个月即可获得较好的 KSS 临床评分及功能评分, 且相关性分析表明 TKA 术后, HKA 角和 mMPTA 角变化与 KSS 膝关节临床评分呈正相关, HKA 角与 KSS 膝关节功能评分呈正相关, 表明 TKA 纠正膝内翻对于缓解膝关节疼痛及膝关节功能恢复有重要意义。

步态分析已经广泛应用于骨骼肌肉系统疾病的诊断以及治疗的评估上, 患者术前、术后的患肢步态参数与正常值的偏差程度可以作为病情的严重程度及治疗效果的定量指标。本研究采用的 PMA 方便携带, 在测量腿部运动瞬间的力量改变的同时, 可以采集较长时间的时空参数及细分的步态周期时相, 更能反映下肢功能综合改善情况^[10]。股四头肌是膝关节最重要的维持稳定性和步态的肌肉, 对其肌力的测量是步态分析的重要组成部分, 而大腿抽动加速度反映了肢体摆动起始时的力量变化, 特别是股四头肌的作用。大腿摆动功则反映了腘绳肌及小腿肌群在肢体摆动时的功能情况。

通过 PMA 测量的数据分析得知, KOA 患者 TKA 术后患肢的步速、步频、步长、大腿摆动功有明显增强。KOA 患者在术前多采用减痛步态, 减少患侧肢体的承重以减少疼痛^[11]。步速可以体现患者的自主活动水平, 而步频与步速呈正相关, 两者增加表明患者运动能力增强。内翻膝患者由于膝关节内翻及屈曲畸形, 减少了膝关节活动度, 患肢在单侧支撑期无法提供足够动力, 摆动期膝关节伸直角度不足, 从而减少步长。术后1个月评估发现患者步长大于术前, 表明患者内翻屈曲畸形已较术前改善。这些结果显示 TKA 减轻了患者疼痛症状, 改善了患肢的膝关节功能, 下肢的肌肉力量和功能也得到了改善, 也有助于患肢步长及步速的提升。

TKA 术后患肢的大腿抽动加速度无明显改善,

这一方面可能由于 TKA 相比膝关节单髁置换 (unicompartmental knee arthroplasty, UKA) 未保留膝关节交叉韧带^[12], 损伤了本体感受器, 术后患者害怕行走跌倒, 限制关节活动及患侧关节负重, 导致关节受力不均衡, 肌肉得不到充分锻炼^[13], 另一方面长期的关节内翻畸形, 关节疼痛, 炎性刺激及髌股关节面的磨损, 造成股四头肌力量、耐力和收缩速度的下降^[14], 同时传统的髌旁内侧入路对股四头肌的损伤也会延缓股四头肌肌力的恢复^[15], 造成术后大腿抽动加速度无明显改善。故 TKA 术后股四头肌的康复十分重要, 同时对于合适的患者采用股内侧肌下入路, 减少股四头肌损伤^[16-17], 而有研究^[18]表明 UKA 在术后步速、步长、步频及 KSS 评分等方面优于 TKA, 也为临床医师在“KOA 空窗期”的手术治疗方面提供了另一个思路。

膝内翻引起的重度膝关节炎在 TKA 术后 1 个月患肢疼痛即可明显减轻, 膝关节临床评分及功能评分均得到提高。而将下肢力线尽量恢复机械对线和关节功能恢复呈正相关, 并可提升膝关节的步态功能。

参考文献

- [1] 魏松松, 徐 斌, 汪 昊, 等. IL-21 在骨性关节炎中的作用及机制研究[J]. 安徽医科大学学报, 2021, 56(11): 1829-33. doi:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2021.11.030.
- [1] Wei S S, Xu B, Wang H, et al. The role and mechanism of IL-21 in knee osseous joint[J]. *Acta Univ Med Anhui*, 2021, 56(11): 1829-33. doi:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2021.11.030.
- [2] Zhang H, Ma J, Tian A, et al. Analysis of cartilage loading and injury correlation in knee Varus deformity[J]. *Medicine*, 2024, 103(19): e38065. doi:10.1097/MD.0000000000038065.
- [3] Hashimoto S, Terauchi M, Hatayama K, et al. Younger patients with high Varus malalignment of the contralateral knee may be candidates for simultaneous bilateral total knee arthroplasty[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2019, 27(7): 2173-80. doi:10.1007/s00167-019-05472-9.
- [4] Hauer G, Hörlesberger N, Klim S, et al. Mid-term results show no significant difference in postoperative clinical outcome, pain and range of motion between a well-established total knee arthroplasty design and its successor: a prospective, randomized, controlled trial[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2021, 29(3): 827-31. doi:10.1007/s00167-020-06027-z.
- [5] Graichen H, Luderer V, Strauch M, et al. Navigated, gap-balanced, adjusted mechanical alignment achieves alignment and balancing goals in a very high percentage but with partially non-anatomical resections[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2023, 31(3): 768-76. doi:10.1007/s00167-022-07014-2.
- [6] Zinno R, Di Paolo S, Ambrosino G, et al. Migration of the femoral component and clinical outcomes after total knee replacement: a narrative review[J]. *Musculoskelet Surg*, 2021, 105(3): 235-46. doi:10.1007/s12306-020-00690-8.
- [7] Sherman S L, Thompson S F, Clohisy J C F. Distal femoral varus osteotomy for the management of valgus deformity of the knee[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2018, 26(9): 313-24. doi:10.5435/JAAOS-D-16-00179.
- [8] Olsen U, Lindberg M F, Rose C, et al. Factors correlated with physical function 1 year after total knee arthroplasty in patients with knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis[J]. *JAMA Netw Open*, 2022, 5(7): e2219636. doi:10.1001/jamanetworkopen.2022.19636.
- [9] Tampere T, Arnout N, Victor J. Total knee arthroplasty: the need for better patient selection[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2025, 33(3): 784-8. doi:10.1002/ksa.12514.
- [10] 凯赛尔江·艾合买提, 张秀丽. 不同手术治疗膝关节骨关节炎后的生物力学分析[J]. 国际骨科学杂志, 2021, 42(3): 189-92. doi:CNKI:SUN:GWGK.0.2021-03-013.
- [10] Kaisaierjiang · A H M T, Zhang X L. The biomechanical analysis of knee osteoarthritis patients undergoing high tibial osteotomy, unicompartmental or total knee arthroplasty[J]. *Int J Orthop*, 2021, 42(3): 189-92. doi:CNKI:SUN:GWGK.0.2021-03-013.
- [11] Ornetti P, Maillefert J F, Laroche D, et al. Gait analysis as a quantifiable outcome measure in hip or knee osteoarthritis: a systematic review[J]. *Joint Bone Spine*, 2010, 77(5): 421-5. doi:10.1016/j.jbspin.2009.12.009.
- [12] Wilson H A, Middleton R, Abram S G F, et al. Patient relevant outcomes of unicompartmental versus total knee replacement: systematic review and meta-analysis[J]. *BMJ*, 2019, 364: l352. doi:10.1136/bmj.l352.
- [13] Soleimani R, Jalali M M, Mirbolook A R. Predictors of fear of falling among Iranian older adults with hip fracture and controls[J]. *Clin Gerontol*, 2020, 43(4): 391-9. doi:10.1080/07317115.2019.1704958.
- [14] Yasuda T, Honda S, Matsunaga K, et al. Association of preoperative muscle composition of the lower extremity with gait function after total knee arthroplasty[J]. *J Orthop Sci*, 2023, 28(1): 188-94. doi:10.1016/j.jos.2021.10.001.
- [15] Khan M N H, Abbas K, Faraz A, et al. Total knee replacement: a comparison of the subvastus and medial parapatellar approaches[J]. *Ann Med Surg*, 2021, 68: 102670. doi:10.1016/j.amsu.2021.102670.
- [16] 魏 波, 姚庆强, 唐 成, 等. 经股内侧肌下入路行内轴型全膝关节假体置换的优势[J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(4): 552-7. doi:10.12307/2022.751.
- [16] Wei B, Yao Q Q, Tang C, et al. Advantage of medial pivot prosthesis in total knee arthroplasty via medial subvastus approach[J]. *Chin J Tissue Eng Res*, 2023, 27(4): 552-7. doi:10.12307/2022.751.

- [17] Migliorini F, Aretini P, Driessen A, et al. Better outcomes after mini-subvastus approach for primary total knee arthroplasty: a Bayesian network meta-analysis[J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2020, 30(6): 979–92. doi:10.1007/s00590-020-02648-9.
- [18] Dong M, Fan H, Yang D, et al. Comparison of spatiotemporal, kinematic, and kinetic gait characteristics in total and unicompartmental knee arthroplasty during level walking: a systematic review and meta-analysis[J]. *Gait Posture*, 2023, 104: 58–69. doi:10.1016/j.gaitpost.2023.06.005.

Analysis of lower limb alignment and gait after TKA for varus knees

Zhou Jian¹, Hua Xingyi¹, Lu Junqin², Tang Kang¹, Fang Wei³

(¹Dept of Orthopedics, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022;

²Dept of Orthopedics, The First People's Hospital of Lianyungang, Lianyungang 222000;

³Dept of Orthopedics, Yixian People's Hospital, Huangshan 245500)

Abstract **Objective** To investigate the relationship between lower limb alignment and knee functional gait after total knee arthroplasty (TKA) for varus knee deformity. **Methods** A total of 94 patients with knee osteoarthritis and varus deformity underwent mechanically aligned TKA. The knee society score (KSS), hip-knee-ankle angle (HKA), medial proximal tibial angle (mMPTA), and gait parameters (step length, gait speed, cadence, thigh jerk acceleration, and thigh swing work) were assessed preoperatively and one month postoperatively. The correlation between KSS scores and changes in lower limb alignment was also analyzed. **Results** The KSS clinical score of the operated knee significantly improved from 39.19 ± 9.55 preoperatively to 73.01 ± 6.90 postoperatively ($P < 0.001$). The KSS functional score increased from 41.12 ± 10.66 to 56.33 ± 7.41 ($P < 0.001$). Postoperative gait analysis revealed significant improvements in step length, gait speed, cadence, and thigh swing work ($P < 0.001$), while thigh jerk acceleration showed no significant change ($P = 0.525$). The HKA angle of the affected limb increased from 170.61 ± 4.39 preoperatively to 177.30 ± 3.49 postoperatively ($P < 0.001$). Similarly, the mMPTA angle increased from 83.95 ± 3.32 to 89.15 ± 1.94 ($P < 0.001$). Correlation analysis indicated that The KSS clinical score was positively correlated with HKA ($P < 0.001$) and mMPTA ($P < 0.05$) of the lower limb force line. The KSS functional score was positively correlated with HKA ($P < 0.05$) but not with mMPTA ($P > 0.05$). **Conclusion** In patients with severe knee osteoarthritis due to varus deformity, TKA significantly alleviates pain and improves both clinical and functional KSS scores within one month postoperatively. Restoring lower limb mechanical alignment is positively associated with joint functional recovery and enhances gait performance.

Key words knee arthritis; total knee replacement; varus knee; hip knee ankle angle; analysis of gait; mechanical alignment

Fund program Natural Science Foundation of Anhui Province (No. 2208085MH212)

Corresponding author Zhou Jian, E-mail: zhoujian831207@163.com