

· 综述 ·

# 全膝关节置换术中下肢机械轴的研究进展

汪小健<sup>1</sup>, 吕帅洁<sup>2</sup>, 李少广<sup>1</sup>, 王彭禾<sup>1</sup>, 童培建<sup>2</sup>

(1. 浙江中医药大学第一临床医学院, 浙江 杭州 310053; 2. 浙江中医药大学附属第一医院骨伤科, 浙江 杭州 310006)

**【摘要】** 下肢机械轴(femorotibial mechanical axis, FTMA)是影响全膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)后临床疗效的重要因素之一。通常认为 TKA 后下肢力线对准范围控制在中性 FTMA $\pm 3^\circ$ 之内,在改善关节功能、延长假体生存率及降低翻修率等更具优势,可获得到更好的临床效果。因此,中性 FTMA 也被认为是 TKA 的金标准。然而,随着计算机辅助手术等技术的应用,FTMA 对准较前更加精确,而术后临床效果却并未明显提升。部分学者开始质疑 FTMA 中性对准的必要性,提出运动学、保留残余畸形等对线方法,认为这些对线方式可以得到更佳临床效果。近年来有文献报道认为 FTMA 可能不是影响术后临床效果的最重要因素,提出下肢的排列及测量方式,对相邻关节功能的影响等均可影响 TKA 后临床效果。本文研究认为中性 FTMA 对准仍是 TKA 成功的重要因素,其他对准方式可根据患者情况进行评估后,以中性 FTMA 对准为标准的情况下适当应用;术者应当探究其他因素对 TKA 后临床效果的影响,并对其加以改进从而达到最佳的治疗效果。

**【关键词】** 膝,关节置换; 下肢; 综述

中图分类号:R687.4

DOI:10.12200/j.issn.1003-0034.2021.02.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



**Progress on femorotibial mechanical axis of total knee arthroplasty** WANG Xiao-jian, LYU Shuai-jie, LI Shao-guang, WANG Peng-he, and TONG Pei-jian\*. \*Department of Orthopaedics, the First Affiliated Hospital of Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310006, Zhejiang, China

**ABSTRACT** Femorotibial mechanical axis (FTMA) is one of important factors influencing clinical effect after total knee arthroplasty (TKA). It is generally believed that the range of lower limb alignment after TKA is controlled within neutral FTMA  $\pm 3^\circ$ , which has more advantages in improving joint function, prolonging prosthesis survival rate and reducing revision rate, and obtain better clinical results. Therefore, neutral FTMA is also considered to be the gold standard for TKA. However, with the application of computer-assisted surgery and other technologies, the alignment of FTMA is more accurate than before, but the clinical effect after surgery has not significantly improved. Some scholars have begun to question the necessity of neutral alignment of FTMA, and proposed alignment methods such as kinematics and retained residual deformity, which could achieve better clinical effects. In recent years, it has been reported that FTMA might not be the most important factor influencing postoperative clinical effects, and it is suggested that the arrangement and measurement of lower limbs and the effects on adjacent joint functions could affect clinical effect after TKA. The paper reviews neutral FTMA alignment is still an important factor for success of TKA. After a thorough evaluation according to the patient's condition, it should be appropriately applied in the case of neutral FTMA alignment; the operator should explore other factors which affect clinical outcome after TKA, and improve it to achieve the best therapeutic effect.

**KEYWORDS** Knee, arthroplasty; Lower extremity; Review

全膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)是治疗终末期膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)的一种有效的方法。然而,术后将近 20% 的患者对手术结果不满意<sup>[1]</sup>。通常的理念是,在假体组件的设计和

对准上进行改进<sup>[2]</sup>,从而改善 TKA 后患者膝关节功能和生活质量进而提高患者满意度。因此,大量的医疗资源已经投入到计算机辅助手术(computer-assisted surgery, CAS)、机器人辅助和为特定患者定制的仪器(patient-specific instrumentation, PSI)中,这些技术可以帮助骨科医师在 TKA 中提高达到中性机械对准的能力<sup>[2]</sup>,即术后肢体的对准位置在中性机械轴的 $\pm 3^\circ$ 以内。然而,使用这些仪器就意味着骨科医师需要更长的手术时间,以及更加精准的相关仪器操作<sup>[3]</sup>。这对本就需面对由 TKA 其他操作所带来

基金项目:浙江省中医药优秀青年人才基金项目(编号:2019ZQ016);浙江省医药卫生科技青年人才计划(编号:2019RC059)

Fund program: Project of Excellent Young Talents of Traditional Chinese Medicine of Zhejiang Province (No. 2019ZQ016)

通讯作者:童培建 E-mail:tongpeijian@163.com

Corresponding author: TONG Pei-jian E-mail:tongpeijian@163.com

的许多挑战的骨科医师来说加大了手术难度;也增加了患者由于长时间手术所带来的风险并且增加了手术费用。近年来,许多学者<sup>[4-6]</sup>对下肢机械轴(femorotibial mechanical axis, FTMA)的对准位置与 TKA 后膝关节功能和假体生存之间的联系提出了不同的观点,认为 FTMA 的中性对准可能对用现代假体进行的 TKA 的临床结果影响很小,这也为我们带来了新的思考。

## 1 解剖轴与机械轴

长骨的解剖轴(anatomical axis, AA)指由长骨干各横截面中心点连接而成的轴线。长骨的机械轴(mechanical axis, MA)指连接近侧关节和远侧关节中心点的轴线<sup>[7]</sup>。

股骨的机械轴(femoral mechanical axis, FMA)指从髋关节中心到膝关节中心的轴线。FMA 与股骨解剖轴(femoral anatomical axis, FAA)相对于中线分别有 3°和 9°的外翻,因此,股骨远端关节面 FMA、FAA 夹角为 6°外翻。对于胫骨而言,胫骨机械轴(tibial mechanical axis, TMA)是指膝关节中心和踝关节中心之间的线;其解剖轴(tibial anatomical axis, TAA)相对于中线有 3°的内翻。在无关节畸形情况下, TMA 应与 TAA 重合。因此, TMA、TAA 夹角为 0°<sup>[7-9]</sup>。

股骨-胫骨解剖轴夹角(anatomical femorotibial angle, aFTA)指 FAA 和 TAA 之间所成的角度,通常为 6°外翻。FMA 呈 3°外翻, TMA 为 3°内翻, 因此, FMA 与 TMA 所组成的股骨-胫骨机械轴夹角(mechanical femorotibial angle, mFTA)为 0°,即中立位对线,有时也指髋膝踝角(hip-knee-ankle, HKA)为 0°。FTMA 称为 Maquet 线,指从股骨头中心到距骨中心的轴线;若无关节畸形,此线经过膝关节的中心。据此,有机械对线和解剖对线两种截骨方式,这两种截骨方式都可以使 FTMA 通过膝关节中心处于中立位;但由于各种因素会产生影响 FTMA 对准的畸形,并且畸形越接近膝关节,其对关节功能影响程度就越大<sup>[8]</sup>。因此,术者格外重视 TKA 中假体的对准情况,坚持中立位 $\pm 3^\circ$ 内的金标准,防止因 FTMA 对准产生偏差而导致手术失败。

## 2 肯定中性 FTMA 的早期研究

最早于 1977 年, Lotke 等<sup>[10]</sup>对 70 例 TKA 患者的假体位置与关节功能结果分析发现,失败的 5 例 TKA 中有 4 例胫骨组件位置放置不佳,从而提出 TKA 临床结果与组件放置之间存在显著相关性。Jeffrey 等<sup>[11]</sup>通过拍摄下肢全长位 X 线片来评估下肢力线的对准情况,对 115 例经过 TKA 的患者进行 8~12 年的术后随访发现, FTMA 位于中立位对线 $\pm 3^\circ$ 以内的患者,关节假体松动率为 3%; FTMA 对齐超

过此范围的患者,关节假体松动率高达 24%,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。他们认为 TKA 后下肢力线对齐范围应控制在中性 FTMA $\pm 3^\circ$ 之内,并肯定了下肢全长位 X 线片对评估 FTMA 对齐情况的价值。自此, FTMA 的对准情况可以得到有效评估及相关研究结果都将基于下肢全长位影像学评估结果。Ro 等<sup>[12]</sup>认为中立位对线可以降低膝关节内收力矩对关节力学恢复更佳。同时还有学者认为中性对准在膝关节软组织保护<sup>[13]</sup>和改善膝关节功能<sup>[14]</sup>及延长假体生存时间等方面都具有优势<sup>[15]</sup>。中性 FTMA 是目前 TKA 的金标准,但由于材料学的发展、假体固定技术的改进及患者对生活质量需求的提高,近年来中立位对线的金标准受到一些质疑。

## 3 质疑中性 FTMA 的相关研究

随着许多经历过 TKA 且 FTMA 处于中立位的患者膝关节功能不佳、假体生存率并无明显延长等临床现象出现,许多学者<sup>[16-17]</sup>开始质疑 FTMA 处于中立位对线的必要性。

### 3.1 运动学对线

由于近年来对股骨两横轴的进一步认识及股骨后髁的圆柱形理论的深入探究,许多学者<sup>[7]</sup>提倡运动学对线,认为运动学对线的 TKA(kinematic alignment total knee arthroplasty, KATKA)可以较好地还原膝关节正常运动动力学的对线情况,并通过平衡软组织从而减少踝关节的代偿性改变。而机械对准的 TKA(mechanical alignment total knee arthroplasty, MATKA)仅仅考虑了膝关节在二维层面的对线情况,并且 MATKA 在术中通过 TKA 进行定位与实际膝关节活动所围绕的轴线并不相同,所以术中通过对准 FTMA 进行重建可能带来许多不良的运动学结果,如影响相邻关节的运动轴线、关节面倾斜度的改变等。Schiraldi 等<sup>[7]</sup>研究认为, KATKA 进行的截骨可能会对韧带张力和平衡产生影响从而导致临床结果不佳。然而, Laende 等<sup>[18]</sup>进行了一项随机对照试验比较了 KATKA 与 MATKA 的假体固定情况,结果显示 KATKA 与 MATKA 之间早期胫骨组件纵向移位、OKS 评分比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。Yoon 等<sup>[19]</sup>进行了一项荟萃分析纳入更多相关因素,分析得出即使 KATKA 没有刻意进行中性 FTMA 对准,结果发现 KATKA 与 MATKA 在术后并发症发生率、血红蛋白、住院时间方面比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ );而在手术时间、总体功能结局方面比较差异有统计学意义( $P < 0.0001$ )。近期许多研究<sup>[4]</sup>结果都证实运动学对齐可能在提高膝关节功能、控制疼痛、减小手术创伤方面具有更好的效果。但其仍存在一些争议<sup>[7]</sup>,如需要应用特殊的截骨系统并且没有考虑

到膝关节在负重与非负重状态下运动学上的差异及缺乏长期随访结果等。术者在考虑应用这种对线方法行 TKA 时,应当进行全面评估,避免带来不良后果。

### 3.2 保留残余畸形对线

临床多数患者对 TKA 术后结果不满意,主要原因是术后膝关节疼痛未得到明显缓解,功能未能达到日常生活的需求等。通常认为是 FTMA 没有中性对准、假体材料不能达到要求所导致,应关注于提高对准能力及研发新的组件材料。但随着固定技术的改进,如术中应用 CAS、PSI 等,假体材料的发展问题仍未得到解决。同时,由于 FTMA 新概念的提出,Bellemans 等<sup>[20]</sup>对 250 名 20~27 岁无任何膝关节病史的志愿者拍摄下肢全长位 X 线片并分析相关参数,结果显示受试者平均 HKA 为 1.3°内翻,其中 32%的男性和 17%的女性 FTMA 自然对准为 >3°内翻;进而提出膝关节固有内翻的概念,并指出如果术中坚持将固有内翻患者 FTMA 恢复至中性,可能导致临床效果不佳。据此,有学者<sup>[21]</sup>提出 FTMA 的中性对准可能无法满足所有患者的膝关节力学要求。随之开始提倡保留 FTMA 残余内翻的对线方式。

M 就关节功能而言,研究表明<sup>[5-6]</sup>术前固有性内翻 KOA 患者在 TKA 后 FTMA 保留残余内翻与中性 FTMA 在 KSS 方面比较差异无统计学意义。但就假体生存率而言, Lee 等<sup>[22]</sup>研究发现保留残余内翻畸形比中性对准的 TKA 假体松动率更高 ( $P<0.001$ ),未翻修的保留残余内翻畸形与中性对准的 TKA 相比,患者假体的 10 年生存率较低 ( $P<0.05$ );但外翻畸形 TKA 与 MATKA 比较差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。与此相反,有研究<sup>[23]</sup>表明残余外翻角 >6°可能会导致髌骨滑脱,甚至手术失败。由此,可以发现适当保留残余内翻与 MATKA 这两种对线方式在关节功能上都能满足患者要求,但在假体生存率方面则表现出差异,前者关节假体无法达到更高的生存率;而外翻畸形对线方式对手术结果的影响还需要更多高质量研究来明确。

虽然保留 FTMA 残余内翻对线方式越来越被认可,但上述结论提示在关节假体生存率方面,此对线方式不具优势,术者应当综合考虑到 TKA 后疗效所有结局指标,选择对患者最有益的手术方式。

### 4 总结与展望

FTMA 的对准情况一直是研究的重点与热点,由于不少患者对 TKA 术后疗效不满意,且研究表明 FTMA 中性对准能明显改善 TKA 术后效果,因此大量的医疗、科研和经济资源投入研究 FTMA 的对准情况,尽可能地将其对准至中立位  $\pm 3^\circ$  范围内。但随

着新的对线方式出现及现有文献表明<sup>[24]</sup>患者术后满意程度与 FTMA 的对准无关,这为研究带来新方向。

从测量方式、固有体质畸形等考虑,同一患者下肢全长负重位 X 线与非负重测量方式如 CAS 或 MRI 等,所得到的 FTMA 并不相同,这对术前评估,使用 CAS 或 PSI 进行 TKA 术后临床随访具有重要意义<sup>[25]</sup>;女性与男性 HKA 比较差异有统计学意义 ( $P<0.05$ )<sup>[26]</sup>。这些结论都强调了在 TKA 中采用更贴近解剖学和个性化方法的必要性。

TKA 术后效果不能只对 FTMA 的对准情况、膝关节功能、假体生存率等进行评估,还必须考虑到对相邻关节的影响<sup>[27]</sup>。Graef 等<sup>[27]</sup>探讨了膝内翻校正程度对踝关节功能影响的临界值,结果表明尽管术后 FTMA 对准有所改善,但膝内翻畸形的过度校正与膝关节和踝关节的术后预后较差有关 ( $P<0.05$ ),临界值为 14.5°,超过此范围踝关节患病率增加 ( $P<0.05$ )。此观点受到多数学者认可<sup>[28]</sup>。Hess 等<sup>[29]</sup>的荟萃分析结果提出,目前 FTMA 对准原则和术前计划并未充分考虑到在 KOA 患者中下肢整体、股骨和胫骨的冠状位对位存在巨大的差异,这可能是 TKA 后临床效果不佳的原因。

笔者回顾近年来有关 FTMA 的研究,结果发现就目前研究结果而言,中性 FTMA 对准仍是 TKA 成功的重要因素,运动学、保留残余畸形等对线方式可以根据患者情况进行充分评估后,以中性 FTMA 对准为标准的情况下适当应用。同时,术者应当继续探究导致 TKA 后患者不满意的原因,综合考虑所有影响术后效果的因素,如年龄、关节线恢复、软组织平衡、下肢在矢状位上排列和横轴的旋转、下肢固有内翻畸形及相邻关节的功能等<sup>[30]</sup>,根据不同患者做好个体化术前计划,以达到最佳的治疗效果,不能追求单一的对线方法。以及针对由于 FTMA 对准方式不同而产生假体生存率的差异,笔者提出思考:是否由于假体材料的发展使组件与肢体贴切度更佳并且能够耐受更差机械对准情况从而延长了假体生存率,从而其他对线方式也能获得较好的临床效果,这一观点还有待进一步研究证实。

#### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.  
ZHANG GH, LI K, ZHAO B, et al. Clinical effects of robot-assisted total knee arthroplasty compared with traditional surgery: a Meta-analysis[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2019, 32(9): 846-852. Chinese with abstract in English.

- [3] Hsu RW, Hsu WH, Shen WJ, et al. Comparison of computer-assisted navigation and conventional instrumentation for bilateral total knee arthroplasty: The outcomes at mid-term follow-up[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2019, 98(47): e18083.
- [4] An VVG, Twigg J, Leie M, et al. Kinematic alignment is bone and soft tissue preserving compared to mechanical alignment in total knee arthroplasty[J]. *Knee*, 2019, 26(2): 466–476.
- [5] Lanting BA, Williams HA, Matlovich NF, et al. The impact of residual varus alignment following total knee arthroplasty on patient outcome scores in a constitutional varus population[J]. *Knee*, 2018, 25(6): 1278–1282.
- [6] Nishida K, Matsumoto T, Takayama K, et al. Remaining mild varus limb alignment leads to better clinical outcome in total knee arthroplasty for varus osteoarthritis[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2017, 25(11): 3488–3494.
- [7] Schiraldi M, Bonzanini G, Chirillo D, et al. Mechanical and kinematic alignment in total knee arthroplasty[J]. *Ann Transl Med*, 2016, 4(7): 130.
- [8] Lording T, Lustig S, Neyret P. Coronal alignment after total knee arthroplasty[J]. *EFORT Open Rev*, 2016, 1(1): 12–17.
- [9] 朱诗白, 陈曦, 钱文伟, 等. 浅谈全膝关节置换术中的冠状位下肢力线[J]. *中华外科杂志*, 2018(9): 665–669.  
ZHU SB, CHEN X, QIAN WW, et al. Coronal lower limb alignment in total knee arthroplasty [J]. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi*, 2018(9): 665–669. Chinese.
- [10] Lotke PA, Ecker ML. Influence of positioning of prosthesis in total knee replacement[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1977, 59(1): 77–79.
- [11] Jeffery RS, Morris RW, Denham RA. Coronal alignment after total knee replacement[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1991, 73(5): 709–714.
- [12] Ro DH, Kim JK, Lee DW, et al. Residual varus alignment after total knee arthroplasty increases knee adduction moment without improving patient function: a propensity score-matched cohort study [J]. *Knee*, 2019, 26(3): 737–744.
- [13] Hohman DW, Jr., Nodzo SR, Phillips M, et al. The implications of mechanical alignment on soft tissue balancing in total knee arthroplasty[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2015, 23(12): 3632–3636.
- [14] 王波, 胡海涛, 潘健, 等. 膝关节骨性关节炎全膝关节置换术后下肢力线与早期临床效果关系的研究[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2015, 30(10): 1044–1048.  
WANG B, HU HT, PAN J, et al. Relationship between lower limb alignment and early clinical results after TKA for osteoarthritis[J]. *Zhongguo Gu Yu Guan Jie Sun Shang Za Zhi*, 2015, 30(10): 1044–1048. Chinese.
- [15] Van Hamersveld KT, Marang-Van De Mheen PJ, Nelissen R. The effect of coronal alignment on tibial component migration following total knee arthroplasty: a cohort study with long-term radiostereometric analysis results[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2019, 101(13): 1203–1212.
- [16] Allen MM, Pagnano MW. Neutral mechanical alignment: is it necessary[J]. *Bone Joint J*, 2016, 98–b(1 Suppl A): 81–83.
- [17] Slevin O, Amsler F, Hirschmann MT. No correlation between coronal alignment of total knee arthroplasty and clinical outcomes: a prospective clinical study using 3D-CT[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2017, 25(12): 3892–3900.
- [18] Laende EK, Richardson CG, Dunbar MJ. A randomized controlled trial of tibial component migration with kinematic alignment using patient-specific instrumentation versus mechanical alignment using computer-assisted surgery in total knee arthroplasty[J]. *Bone Joint J*, 2019, 101–b(8): 929–940.
- [19] Yoon JR, Han SB, Jee MK, et al. Comparison of kinematic and mechanical alignment techniques in primary total knee arthroplasty: A meta-analysis[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2017, 96(39): e8157.
- [20] Bellemans J, Colyn W, Vandenuecker H, et al. The Chitranjan Ranawat award: is neutral mechanical alignment normal for all patients? The concept of constitutional varus[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2012, 470(1): 45–53.
- [21] Schiffner E, Wild M, Regenbrecht B, et al. Neutral or natural functional impact of the coronal alignment in total knee arthroplasty[J]. *J Knee Surg*, 2019, 32(8): 820–824.
- [22] Lee BS, Cho HI, Bin SI, et al. Femoral component varus malposition is associated with tibial aseptic loosening after TKA[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2018, 476(2): 400–407.
- [23] Lee SS, Lee H, Lee DH, et al. Slight under-correction following total knee arthroplasty for a valgus knee results in similar clinical outcomes[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2018, 138(7): 1011–1019.
- [24] Alos H, Behery OA, Levine BR. Radiographic predictors of patient satisfaction following primary total knee arthroplasty[J]. *Bull Hosp Jt Dis (2013)*, 2018, 76(2): 105–111.
- [25] Schoenmakers DAL, Feczko PZ, Boonen B, et al. Measurement of lower limb alignment: there are within-person differences between weight-bearing and non-weight-bearing measurement modalities [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2017, 25(11): 3569–3575.
- [26] Moser LB, Hess S, Amsler F, et al. Native non-osteoarthritic knees have a highly variable coronal alignment: a systematic review [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2019, 27(5): 1359–1367.
- [27] Graef F, Falk R, Tsitsilonis S, et al. Correction of excessive intra-articular varus deformities in total knee arthroplasty is associated with deteriorated postoperative ankle function[J]. *Knee Surg, Sports Traumatol Arthrosc*, 2019, Epub ahead of print.
- [28] Kim CW, Gwak HC, Kim JH, et al. Radiologic factors affecting ankle pain before and after total knee arthroplasty for the varus osteoarthritic knee[J]. *J Foot Ankle Surg*, 2018, 57(5): 865–869.
- [29] Hess S, Moser LB, Amsler F, et al. Highly variable coronal tibial and femoral alignment in osteoarthritic knees: a systematic review [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2019, 27(5): 1368–1377.
- [30] Pitta M, Khoshbin A, Lalani A, et al. Age-related functional decline following total knee arthroplasty: risk adjustment is mandatory[J]. *J Arthroplasty*, 2019, 34(2): 228–234.

(收稿日期: 2020-03-26 本文编辑: 李宜)