

· 综述 ·

全膝关节置换后关节线高度的研究进展

李亚楠¹, 赵建伟², 贾庆卫^{1, 2*}

(1. 山东第一医科大学运动与康复学院, 山东泰安 271000; 2. 山东第一医科大学第二附属医院关节与运动医学科, 山东泰安 271000)

摘要: 全膝关节置换术 (total knee arthroplasty, TKA) 后关节线高度改变可能造成膝关节屈伸活动受限, 过度上移可导致膝关节屈曲过程中胫骨平台或垫片与髌骨下缘撞击, 影响伸膝装置, 增加髌股关节应力, 引起屈曲受限及髌骨疼痛, 甚至引起伸肌机制失效。目前关于关节线高度改变后的研究大多局限于理论, 而有关临床研究相对较少, 本文通过知网、Pubmed、SCI 检索库, 回顾近年来国内外文献, 从关节线高度的测量、生物力学研究、对临床功能的影响及其预防策略等方面对其进行综述, 为临床外科医师提供理论参考, 以改善临床功能, 提高患者满意度。

关键词: 关节线高度, 全膝关节置换术, 生物力学, 临床功能, 综述

中图分类号: R687.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2024) 24-2251-06

Research progress of joint line height changes in total knee arthroplasty // Li Ya-nan¹, ZHAO Jian-wei², JIA Qing-wei^{1, 2}. 1. College of Sports Medicine and Rehabilitation, Shandong First Medical University, Tai'an 271000, China; 2. Department of Joint and Sports Medicine, The Second Affiliated Hospital, Shandong First Medical University, Tai'an 271000, China

Abstract: The change of joint line height after total knee arthroplasty (TKA) may lead to the limitation of flexion and extension after operation. Excessive upward migration of joint line can lead to the impact of tibial plateau or spacer on the lower edge of patella during knee flexion, which affects the knee extension device, increases the stress of patellofemoral joint, causes flexion limitation and patellar pain, even causes failure of the extensor mechanism. At present, most of the studies on the change of joint line height are theoretical, and the clinical research is relatively less. This article reviews the domestic and foreign literature in recent years through the databases of CNKI, Pubmed and SCI, and reviews the measurement of joint line height, biomechanical research, influence on clinical function and prevention strategies to provide theoretical reference for clinical surgeons, so as to improve the clinical function and patient's satisfaction.

Key words: joint line height, total knee arthroplasty, biomechanics, clinical function, review

对于膝骨性关节炎终末期的患者, 目前临床上以全膝关节置换术 (total knee arthroplasty, TKA) 治疗为主, 能明显缓解疼痛、重建关节结构及改善活动度^[1]。然而, 有研究报道, 膝骨性关节炎患者行TKA后主观满意度仅为70%~89%^[2, 3], 其主要影响因素包括术后力线改变、软组织平衡、股骨假体外旋程度及术后关节线高度的改变等。关节线 (joint line, JL) 定义为股骨内外髁最远端连线及其延长线^[4]。JL抬高可能改变膝关节运动学轨迹^[5-8], 若抬高5 mm或更多会产生不利影响, 如中间屈曲不稳、髌骨撞击、活动度降低、股四头肌无力和髌股接触力增加^[9], 可能出现膝前痛, 甚至引起伸肌机制失效^[10]。本文通过回顾近年来国内外文献, 从JL高度

的测量、生物力学、临床研究及预防策略方面对其进行综述, 为临床外科医师提供理论参考, 以提高患者的满意度。

1 测量方法

目前, JL高度的测量方法没有统一标准, 寻找准确可靠的解剖标志点是准确测量JL的重要前提, 股骨内收肌结节、股骨内髁、股骨外髁、腓骨头、胫骨结节和髌骨下极都是测量中经常用到的解剖参考标志^[11]。

Figgie等^[12]报告手术前、后均拍摄膝关节非负重侧位X线片, 在术前侧位X线片上平行于胫骨平

DOI:10.20184/j.cnki.issn1005-8478.100485

作者简介: 李亚楠, 在读硕士研究生, 研究方向: 关节与运动医学, (电子信箱)499784181@qq.com

* 通信作者: 贾庆卫, (电话)0538-6230792, (电子信箱)jqingwei@126.com

台负重关节面作一条直线，测量它到胫骨结节的垂直距离 (L)；在术后侧位 X 线片上平行于胫骨假体负重关节面作一条直线，测量它到胫骨结节的垂直距离 (L')，L-L'即为 JL 的改变量。

Hofmann 等^[13]提出的方法是测量从股骨 AT 至股骨远端 JL 的距离。Maderbacher 等^[14]认为，股骨内髁和股内收肌结节 (Adductor Tubercle, AT) 是测量膝 JL 最为准确的解剖标志，而且不受膝关节屈伸位置的影响。DiMatteo 等^[15]通过系统综述指出，AT 比值也可以帮助术者重建正确的 JL 和实现韧带平衡。即使在复杂的翻修病例中，亦可安全定位 AT。

最近，Tuecking 等^[16]运用 3D 表面扫描技术在人工骨模型上分析 TKA 术后的内、外侧 JL 差异，并与术前、术后的三维扫描和全股骨 X 线片进行比较。在 X 线片测量内、外髁至股骨最远端点的垂直距离。结果 X 线片测量显示，与三维体表扫描测量相比，内侧平均差 0.9 mm，外侧平均差 0.6 mm。测量精度的可靠性为 ≤ 1 mm。认为这种 JL 测量方法具有足够的可靠性和准确性，可提供 TKA 术中内、外侧 JL 改变的独立的信息。Aljuhani 等^[17]对 130 个正常膝关节进行 MRI 研究，测量并记录 JL、内上髁、外上髁等。研究显示，外上髁至膝 JL 的绝对距离为 (24.4 \pm 2.8) mm，是测量膝 JL 最可靠、最精确的骨性标志。

综上所述，究竟哪个解剖标志点更准确，目前说法不一，各解剖参照点均有其优缺点，术者应根据具体情况选取，但大多数学者认为 AT 可作为定义 JL 的可靠标志^[18]。

2 生物力学研究

生物力学研究显示，关节线改变可影响髌股关节接触面积，同时改变伸膝装置力学特性。徐长明等^[19]以尸体为对象的研究指出，TKA 后，JL 高度为 +4、+6 mm 时的外侧髌股关节峰值压强显著高于 JL 高度为 0、+2 mm 时的峰值压强 ($P < 0.05$)；JL 高度为 +6 mm 时的内侧髌股关节峰值压强显著高于 JL 高度为 0、+2、+4 mm 时的峰值压强 ($P < 0.05$)。因此，TKA 中，JL 的高度抬高 > 4 mm 就会进一步导致髌股关节的峰值压强增加，应该尽量将 JL 的变化控制在 4 mm 之内。魏文兴等^[20]研究指出，TKA 后假性低位髌骨会导致髌股关节接触应力增高，进而增加了术后膝前疼痛、髌股关节炎等并发症的发生风险，TKA 后假性低位髌骨主要是因关节线抬高所致。但

该研究仅纳入 2 名志愿者数据，且为静态条件下的 3 个膝关节屈曲角度，结论仍需扩大样本量、尸体标本生物力学研究和临床研究进一步证实，为防治 TKA 后假性低位髌骨提供参考。Kwak 等^[21]将 16 具 (8 对) 新鲜冰冻尸体膝关节固定在定制的下蹲膝关节模拟器上，测量膝关节屈曲中段时股骨后滚及内侧副韧带变化。每具尸体的一侧膝关节随机分配至 KA-TKA 组 (JL 恢复到关节炎前状态)，另一侧膝关节分配至 MA (mechanically aligned) -TKA 组 (JL 垂直于机械轴)。结果发现，KA (kinematically aligned) -TKA 术后恢复的 JL 能有效地再现膝关节原有的中屈后滚和 MCL (medial collateral ligament) 应变，而 MA-TKA 术后改变的 JL 不能再现膝关节原有的中屈后滚和 MCL 应变。比起接受 MA-TKA 的患者，接受 KA-TKA 的患者在日常活动中获得更好的结局和更自然的膝关节感觉。然而，恢复关节炎前的 JL 能否模拟自然的中间屈曲生物力学仍不清楚，仍需进一步进行相关机制的研究。

3 临床研究

3.1 关节线高度与膝前痛

膝前痛是 TKA 术后的主要并发症之一，当 JL 抬高时，造成假性髌骨低位，导致髌骨运动轨迹不良，进而可能引起膝前痛。Dos-Santos^[22]回顾性分析 612 例接受 TKA 的患者信息，其中 64 个膝关节发生假性髌骨低位，发生率为 10.5%，屈曲挛缩和膝前痛发生率较高 ($P = 0.039$)，且功能评分较低。因此，通过重建 JL 的自然位置来预防假性髌骨低位是非常重要的。同样，魏文兴等^[20]研究指出，TKA 术后假性髌骨低位会影响髌股关节生物力学，保持 JL 位置、避免假性髌骨低位的发生，有利于降低因髌股关节应力增高导致的膝前疼痛、髌股关节炎等并发症发生风险。

3.2 关节线高度与活动度

JL 的恢复有利于 TKA 后膝关节活动度的恢复。Han 等^[23]回顾性分析 166 例 (144 例患者) TKA 术后至少 2 年的临床资料，结果有 14 膝 (8.4%) 股骨 JL 抬高 > 5 mm，79 膝 (47.6%) 胫骨 JL 抬高 > 5 mm。线性混合模型显示，股骨 JL 位置是影响 TKA 术后活动度变化的唯一显著因素。Lieshout 等^[5]通过系统综述得出，初次 TKA 后平均 JL 抬高 3.0 mm，翻修术后为 3.6 mm，术后膝关节协会评分与 JL 高度呈负相关，认为术后 JL 改变的高度不应超过 4 mm。另有研

究指出, 屈曲畸形患者初次膝关节置换术后关节线改变较无屈曲畸形患者明显, 屈曲组 13 例 (24.5%) 关节线改变超过 4 mm, 非屈曲组关节线改变均未超过 4mm, 且术后关节线具有升高趋势^[4]。然而, 有研究指出, 术前抬高 5 mm 的病例, 其疗效评分较关节线抬高 <5 mm 的病例差, 但就关节活动度而言差异无统计学意义^[9], 仍需进一步临床研究。

3.3 关节线高度与下蹲能力

Li 等^[24] 回顾性分析 300 例使用高屈曲假体初次 TKA 且随访至少 3 年的患者资料, 根据下蹲姿势和负重时膝关节屈曲角度, 将患者分为两组 (不能下蹲组和能下蹲组), 结果显示, 不能下蹲组术前关节活动度、关节线改变分别为 $(82.9 \pm 12.6)^\circ$ 、 (3.2 ± 1.1) mm, 能下蹲组分别为 $(107.0 \pm 9.6)^\circ$ 、 (1.8 ± 0.9) mm, 多因素分析显示, 术前膝关节活动度和 JL 位置是 TKA 术后下蹲能力的独立影响因素。Klemm^[25] 研究了 30 例单侧双交叉韧带保留 TKA 患者在单腿深弓步和坐-站过程中使用经过验证的计算机断层扫描和双透视成像系统进行评估, 结果显示 JL 抬高与单腿深弓步的最大屈曲角度、单腿深弓步的最大内翻关节角度和坐-站角度呈显著负相关。JL 抬高与膝关节运动学和患者结局报告评分均呈线性负相关。可见虽使用高屈曲假体, 如果不控制关节线的改变量, 仍不能改善术后下蹲能力及关节活动度。

3.4 关节线高度与中间屈曲不稳定

中间屈曲不稳定最早是由 Martin 和 Whiteside^[26] 提出的, 当 JL 从其自然位置上升时, 在膝关节活动的中间范围内观察到不稳定。随后, Luyckx 等^[27] 的一项尸体膝的研究指出, 尽管在伸直和 90° 屈曲时膝关节平衡良好, 但在 JL 升高的标本中, 冠状面中屈曲松弛明显增加。并发现在膝关节屈曲 30° 时内侧 JL 每增加 2 mm, 膝关节韧带松弛度亦增加 (2 mm 增加 64%, 4 mm 增加 111%)。而且, 由此产生的 JL 抬高增加了中屈松弛, 即使增加垫片厚度也不能缓解冠状面的松弛^[28]。相反, Minoda 等^[29] 在了一项计算建模的临床研究中发现, 内翻型膝关节骨关节炎患者中, 2 mm 的 JL 抬高与中间屈曲松弛度无关。综上所述, 目前仅局限于生物力学研究, 有关 JL 高度改变是否或者多少会导致中间屈曲不稳定仍需进一步的临床研究。

4 关节线高度改变的原因分析

及松洁等^[11] 研究发现, 最容易造成 JL 升高的原

因是术中股骨远端截骨过多, 尤其术前存在屈曲畸形时, 软组织松解不够彻底, 依靠增加股骨远端截骨量来纠正畸形, 就会出现 JL 升高。常见的 JL 下降的原因是术中胫骨近端截骨过度, 胫骨平台畸形严重甚至有骨缺损时, 为了消除缺损盲目增加胫骨侧截骨量, 就会出现 JL 下降。

5 关节线高度改变的预防策略

5.1 间隙平衡 (gap balancing, GB) 技术和测量截骨 (measured resection, MR) 技术

MR 技术由 Hungerford 于 20 世纪 80 年代初提出, 不准确的关节线可能会导致难以放松韧带来平衡膝关节, 甚至可能导致过度或不完全的平衡。MR 技术强烈提示应保留后交叉韧带, 并在截骨到位后平衡外侧副韧带。GB 技术是由 Freeman 在 1986 年提出的, 最初, 胫骨垂直于机械轴切割, 然后在不依赖任何解剖标志的情况下切除后髁和远髁, 产生对称的矩形屈伸间隙。虽然改良 GB 技术首先平衡了伸直间隙, 但在一些严重畸形的膝关节中, 仍可能导致 JL 抬高。Van 等^[2] 提出了优先屈曲平衡技术, 该技术通过恢复内侧后髁偏心距和内侧 JL 来维持内侧副韧带的等长, 是防止中屈曲松弛的必要条件。同样 Migliorini^[30] 进行了一项荟萃分析研究, 以探讨 GB 与 MR 相比的优势, 研究的重点是临床和功能评分, 影像学测量和进一步的并发症。结果显示, GB 和 MR 在 TKA 中获得了相似的疗效, GB 组 JL 有抬高趋势。Hao 等^[31] 回顾性分析 30 例接受 MR 技术, 30 例接受 GB 技术, 30 例接受混合技术 (融合了 MR 和 GB 技术优点) 的临床资料, 评估 3 组患者的 JL 水平, 研究发现, 混合技术更有助于维持 JL 原有高度, 与 MR 技术相似。然而, Kelft 等^[32] 比较了使用先屈曲平衡技术与经典间隙平衡技术 TKA 术后患者的冠状面力线、JL 高度和髁突后偏心距, 结果显示, 使用经典间隙平衡技术时, 后髁偏心距减少, 而使用先屈曲平衡技术时, 后髁偏心距没有变化, JL 高度和冠状位力线差异无统计学意义。综上所述, 混合技术是首先通过 MR 技术确定股骨远端解剖标志, 然后通过 GB 技术对软组织张力进行检查和平衡, 这种理念在手术中经常被有经验的外科医师所采用, 测量截骨技术和间隙平衡技术均有各自的优缺点, 在膝关节后内侧存在大量骨赘的病例, 韧带没有完全平衡时, 宜采用 MR 技术。而在股骨滑车发育不良、Whiteside 线和外科经股骨上髁轴辨认困难的病例, 宜采

用 GB 技术^[33]，避免股骨侧过多截骨，而导致 JL 抬高。

5.2 假体

不同假体恢复膝关节固有 JL 的结果不同。Lee 等^[34]回顾性分析 60 例接受 TKA 翻修并获得 1 年以上随访的病例，根据假体后移距离分为 3 组：I 组（偏移量 2 mm），II 组（偏移量 4.5 mm），III 组（偏移量 2、4、6 mm）。结果：III 组的 JL 抬高显著低于其他组，与股骨直型假体相比，偏心型假体在 TKA 翻修术中 JL 位置抬高幅度较小。刘凯等^[35]对使用后交叉韧带牺牲型 Innex（Zimmer, Warsaw, Indiana）假体行 TKA 的 88 例（98 膝）患者行平均 5 年的随访，观察假体位置、关节线高度改变、胫骨平台后倾角、髌骨位置，有无假体松动、骨溶解，结果患者术前的膝关节活动度平均 91°（45°~130°），随访时膝关节活动度平均 108°（90°~132°）；术前 HSS 评分为 49 分（18~86 分），随访时提高到 90 分（54~98 分），关节线高度的改变为 4.2 mm（-15~14 mm），胫骨平台后倾角平均 5.4°。所有的髌骨未出现错位、倾斜、半脱位。截至随访时，无 1 例因松动、骨溶解或其他原因翻修。认为 Innex 假体中期疗效良好，长期效果仍需进一步随访。综上，不同假体置换也存在着不同比例的关节线抬高问题，有关偏心假体的临床效果仍需进一步研究。

5.3 3D 打印、导航及机器人

随着科技的进步，有研究发现，机器人技术显著提高了 TKA 的准确性，与传统方法相比，几乎实现了 JL 的解剖位置。Song 等^[36]在无影像导航下进行 93 例初次 TKA，在膝关节屈曲 0°和 90°时控制软组织平衡，结果各内、外侧间室屈伸间隙差值及屈伸内侧间隙差值均为 3 mm，所有膝关节均无屈曲中段不稳定，术后 JL 高度保留良好。Vaidya 等^[37]前瞻性、随机对照研究指出，传统 TKA 可提高 JL，而机器人辅助 TKA 可准确恢复 JL，从而获得更好的髌股运动学。然而，Kim 等^[38]回顾性分析了 975 例机器人辅助 TKA 和 990 例传统 TKA 的临床资料，平均随访 13 年，JL 的改变和股骨后髁偏心距，两组差异无统计学意义，并且在至少 10 年的随访中，发现功能评分、无菌性松动、总体生存率和并发症方面两组没有差异，考虑到机器人辅助 TKA 的额外时间和费用，不建议广泛应用。可见机器人技术的使用可能更好地保留自然 JL，不过仍需大样本、多中心的研究。

6 小结与展望

TKA 已经成为缓解终末期膝关节炎的有效治疗方法，对于 JL 高度改变的认识和处理仍存在不足，目前尚无统一解剖标志点。随着对膝关节解剖和生物力学的认识不断增加、手术技术的优化、假体设计的改善、导航及机器人等更精准的技术进一步完善，相信预防 JL 高度改变的策略一定会不断优化，TKA 后可能会有更自然的膝关节出现。

参考文献

- [1] 杨植栋, 冯宗权, 陈坚锋, 等. 保留后交叉韧带与否在全膝关节置换术中的影响 [J]. 中国矫形外科杂志, 2018, 26 (9): 826-829. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2018.09.12.
Yang ZD, Feng ZQ, Chen JF, et al. Effect of preserving posterior cruciate ligament or not in total knee arthroplasty [J]. Orthopedic Journal of China, 2018, 26 (9): 826-829. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2018.09.12.
- [2] van Lieshout WAM, Koenraadt KLM, Elmans L, et al. Flexion First Balancer: description of new technique in TKA to reproduce joint line and pre-disease mechanical alignment [J]. J Exp Orthop, 2020, 7 (1): 23. DOI: 10.1186/s40634-020-00241-x.
- [3] Price AJ, Alvand A, Troelsen A, et al. Knee replacement [J]. Lancet, 2018, 392 (10158): 1672-1682. DOI: 10.1016/S0140-6736 (18) 32344-4.
- [4] 陈骁, 金毅, 马卓娅, 等. 屈曲畸形患者初次膝关节置换术后关节线改变的临床研究 [J]. 中国矫形外科杂志, 2015, 23 (15): 1356-1359. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2015.15.03.
Chen X, Jin Y, Ma ZY, et al. Clinical study on the changes of joint line after primary total knee arthroplasty in patients with flexion deformity [J]. Orthopedic Journal of China, 2015, 23 (15): 1356-1359. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2015.15.03.
- [5] Lieshout WAMv, Valkering KP, Koenraadt KLM, et al. The negative effect of joint line elevation after total knee arthroplasty on outcome [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2019, 27 (5): 1477-1486. DOI: 10.1007/s00167-018-5099-8.
- [6] Canovas F, Dagneaux L. Quality of life after total knee arthroplasty [J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2018, 104 (1S): S41-S46. DOI: 10.1016/j.otsr.2017.04.017.
- [7] Lin Y, Chen X, Li L, et al. Comparison of patient satisfaction between medial pivot prostheses and posterior-stabilized prostheses in total knee arthroplasty [J]. Orthop Surg, 2020, 12 (3): 836-842. DOI: 10.1111/os.12687.
- [8] Lieshout WAM, Duijnsveld BJ, Koenraadt KLM, et al. Adequate joint line restoration and good preliminary clinical outcomes after total knee arthroplasty using the Flexion First Balancer technique [J]. Knee, 2019, 26 (3): 794-802. DOI: 10.1016/j.knee.2019.04.002.
- [9] Spandan K, Shekhar MS, Anil KS, et al. The influence of joint line restoration on functional outcome after primary total knee arthroplasty: A prospective study [J]. J Clin Orthop Trauma, 2022, 34:

102023. DOI: 10.1016/j.jcot.2022.
- [10] Ng J, Balcells-Nolla P, James PJ, et al. Extensor mechanism failure in total knee arthroplasty [J]. *EFORT Open Rev*, 2021, 6 (3) : 181-188. DOI: 10.1302/2058-5241.6.200119.
- [11] 及松洁, 田伟, 姜旭, 等. 全膝关节置换术后关节线位置变化及其与膝关节临床功能的关系 [J]. *山东医药*, 2015, 55 (12) : 10-13. DOI: 10.3969/j.issn.1002-266X.2015.12.003.
- Ji SJ, Tian W, Jiang X, et al. Joint line position change after total knee arthroplasty, and its relationship with knee clinical function [J]. *Shandong Medicine*, 2015, 55 (12) : 10-13. DOI: 10.3969/j.issn.1002-266X.2015.12.003.
- [12] Figgie HE, Goldberg VM, Heiple KG, et al. The influence of tibial-patellofemoral location on function of the knee in patients with the posterior stabilized condylar knee prosthesis [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1986, 68 (7) : 1035-1040.
- [13] Hofmann AA, Kurtin SM, Lyons S, et al. Clinical and radiographic analysis of accurate restoration of the joint line in revision total knee arthroplasty [J]. *J Arthroplasty*, 2006, 21 (8) : 1154-1162. DOI: 10.1016/j.arth.2005.10.026.
- [14] Maderbacher G, Keshmiri A, Schaumburger J, et al. Accuracy of bony landmarks for restoring the natural joint line in revision knee surgery: an MRI study [J]. *Int Orthop*, 2014, 38 (6) : 1173-1181. DOI: 10.1007/s00264-014-2292-3.
- [15] Di Matteo B, Altomare D, Dorotei A, et al. The reliability of adductor tubercle as an anatomical landmark for joint line restoration in revision knee arthroplasty: a systematic review [J]. *Ann Transl Med*, 2021, 9 (1) : 71. DOI: 10.21037/atm-20-3681.
- [16] Tuecking LR, Ettinger M, Nebel D, et al. 3D-surface scan based validated new measurement technique of femoral joint line reconstruction in total knee arthroplasty [J]. *J Exp Orthop*, 2021, 8 (1) : 16. DOI: 10.1186/s40634-021-00330-5.
- [17] Aljuhani WS, Alsaeed AA, Alrashed MO, et al. Lateral epicondyle to the joint line distance is a precise landmark for determination of an accurate knee joint line: an observational retrospective study [J]. *J Exp Orthop*, 2023, 10 (1) : 62. DOI: 10.1186/s40634-023-00621-z.
- [18] 高振中, 向川. 关节线位置对初次全膝关节置换术及关节置换翻修术后功能的影响 [J]. *中华骨科杂志*, 2020, 40 (8) : 553-560. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20191204-00485.
- Gao ZZ, Xiang C. The location of the joint line of primary total knee arthroplasty and joint replacement overhaul the effect of postoperative function [J]. *Chinese Journal of Orthopaedics*, 2020, 40 (8) : 553-560. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20191204-00485.
- [19] 徐长明, 储小兵, 冯明光, 等. 全膝关节置换术中不同关节线高度对髌股关节接触压强的影响 [J]. *第二军医大学学报*, 2006, 27 (11) : 1235-1238. DOI: 10.16781/j.0258-879x.2006.11.023.
- Xu CM, Chu XB, FENG MG, et al. Total knee replacement in different joint line height on the influence of patellofemoral joint contact pressure [J]. *Academic Journal of the Second Military Medical University*, 2006, 27 (11) : 1235-1238. DOI: 10.16781/j.0258-879x.2006.11.023.
- [20] 魏文兴, 聂涌, 吴元刚, 等. 人工全膝关节置换术后假性低位髌骨对髌股关节影响的生物力学研究 [J]. *中国修复重建外科杂志*, 2021, 35 (7) : 841-846. DOI: 10.7507/1002-1892.202101166.
- Wei WX, Nie Y, Wu YG, et al. Biomechanical Study on the effect of pseudo-patella baja on patellofemoral joint after total knee arthroplasty [J]. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, 2021, 35 (7) : 841-846. DOI: 10.7507/1002-1892.202101166.
- [21] Kwak DS, Kim YD, Cho N, et al. restoration of the joint line configuration reproduces native mid-flexion biomechanics after total knee arthroplasty: a matched-pair cadaveric study [J]. *Bioengineering (Basel)*, 2022, 9 (10) : 564. DOI: 10.3390/bioengineering9100564.
- [22] Dos-Santos G, Gutierrez M, Leite MJ, et al. Pseudo-patella baja after total knee arthroplasty: Radiological evaluation and clinical repercussion [J]. *Knee*, 2021, 33:334-341. DOI: 10.1016/j.knee.2021.10.017.
- [23] Han HS, Yu CH, Shin N, et al. Femoral joint line restoration is a major determinant of postoperative range of motion in revision total knee arthroplasty [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2019, 27 (7) : 2090-2095. DOI: 10.1007/s00167-019-05361-1.
- [24] Li T, Sun J, Du Y, et al. Factors affecting squatting ability in total knee arthroplasty using high flexion prosthesis [J]. *Ther Clin Risk Manag*, 2021, 17: 1249-1256. DOI: 10.2147/TCRM.S343460.
- [25] Klemm C, Padmanabha A, Tirumala V, et al. The effect of joint line elevation on in vivo knee kinematics in bicruciate retaining total knee arthroplasty [J]. *J Knee Surg*, 2022, 35 (13) : 1445-1452. DOI: 10.1055/s-0041-1724132.
- [26] Martin JW, Whiteside LA. The influence of joint line position on knee stability after condylar knee arthroplasty [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1990, 10 (259) : 146-156. DOI: 10.1097/00003086-199010000-00021.
- [27] Luyckx T, Vandenuecker H, Ing LS, et al. Raising the joint line in TKA is associated with mid-flexion laxity: a study in cadaver knees [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2018, 476 (3) : 601-611. DOI: 10.1007/s11999-000000000000067.
- [28] Elmasry SS, Kahlenberg CA, Mayman DJ, et al. A mid-level constrained insert reduces coupled axial rotation but not coronal mid-flexion laxity induced by joint line elevation in posterior-stabilized total knee arthroplasty: a computational study [J]. *J Arthroplasty*, 2022, 37 (6S) : S364-S370. DOI: 10.1016/j.arth.2022.02.089.
- [29] Minoda Y, Sugama R, Ohta Y, et al. Joint line elevation is not associated with mid-flexion laxity in patients with varus osteoarthritis after total knee arthroplasty [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28 (10) : 3226-3231. DOI: 10.1007/s00167-019-05828-1.
- [30] Migliorini F, Eschweiler J, Mansy YE, et al. Gap balancing versus measured resection for primary total knee arthroplasty: a meta-analysis study [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2020, 140 (9) : 1245-1253. DOI: 10.1007/s00402-020-03478-4.
- [31] Hao K, Wei M, Ji G, et al. Comparison of the imaging and clinical

- outcomes among the measured resection, gap balancing, and hybrid techniques in primary total knee arthroplasty [J]. *Orthop Surg*, 2023, 15 (1) : 93-102. DOI: 10.1111/os.13525.
- [32] Kelft A-SVd, Mulder KD, Schepper JD, et al. Balancing the flexion gap first in total knee arthroplasty leads to better preservation of posterior condylar offset resulting in better knee flexion [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2023, Feb 21. DOI: 10.1007/s00167-023-07346-7.
- [33] 苗卫华, 王宏, 李康. 测量截骨联合间隙平衡全膝关节置换治疗膝骨关节炎 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (14) : 1254-1258. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.14.02.
Miao WH, Wang H, Li K. Measurement of osteotomy combined with gap balance total knee arthroplasty in the treatment of knee osteoarthritis [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2021, 29 (14) : 1254-1258. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.14.02.
- [34] Lee J, Wang S, Kim K. Is there a difference in joint line restoration in revision total knee arthroplasty according to prosthesis type [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2018, 19 (1) : 382. DOI: 10.1186/s12891-018-2295-0.
- [35] 刘凯, 沈彬, 裴福兴, 等. Innex 假体 5 年治疗结果: 临床疗效及存活率分析 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2011, 19 (11) : 893-896. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2011.11.04.
- Liu K, Shen B, Pei FX, et al. Innex prosthetic treatment results: 5 years clinical curative effect and survival analysis [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2011, 19 (11) : 893-896. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2011.11.04.
- [36] Song SJ, Lee HW, Park CH. Intraoperative assessment of gap balancing in total knee arthroplasty using navigation with joint stability graphs [J]. *J Knee Surg*, 2023, 36 (5) : 540-547. DOI: 10.1055/s-0041-1739200.
- [37] Vaidya NV, Deshpande AN, Panjwani T, et al. Robotic-assisted TKA leads to a better prosthesis alignment and a better joint line restoration as compared to conventional TKA: a prospective randomized controlled trial [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2022, 30 (2) : 621-626. DOI: 10.1007/s00167-020-06353-2.
- [38] Kim YH, Yoon SH, Park JW. Does robotic-assisted TKA result in better outcome scores or long-term survivorship than conventional TKA? A randomized, controlled trial [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2020, 478 (2) : 266-275. DOI: 10.1097/CORR.0000000000000916.
- (收稿: 2023-07-09 修回: 2024-01-22)
(同行评议专家: 陈威, 魏开斌, 李军)
(本文编辑: 宁桦)

(上接 2250 页)

- [40] 保国锋, 陈佳佳, 李卫东, 等. 基于术中三维影像的经皮椎椎弓根螺钉内固定治疗 Hangman 骨折 [J]. *脊柱外科杂志*, 2019, 17 (4) : 230-234, 287. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2957.2019.04.002.
Bao GF, Chen JJ, Li WD, et al. Percutaneous minimally invasive axial pedicle screw fixation for Hangman's fracture based on intraoperative three-dimensional fluoroscopy [J]. *Journal of Spinal Surgery*, 2019, 17 (4) : 230-234, 287. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2957.2019.04.002.
- [41] Zhao J, Liu Y, Zhang Q, et al. Robot-assisted percutaneous pars-pedicle screw fixation for treating Hangman's fracture [J]. *J Orthop Surg Res*, 2023, 18 (1) : 271. DOI: 10.1186/s13018-023-03765-x.
- [42] 靳培浩, 田伟, 刘亚军, 等. 计算机导航经后路 C_{2/3} 椎弓根螺钉内固定术治疗不稳定型 Hangman 骨折 [J]. *山东医药*, 2016, 56 (11) : 18-20. DOI: 10.3969/j.issn.1002-266X.2016.11.006.
Jin PH, Tian W, Liu YJ, et al. Posterior C_{2/3} fixation for unstable Hangman's fractures by computer-assisted minimally invasive technique [J]. *Shandong Medical Journal*, 2016, 56 (11) : 18-20. DOI: 10.3969/j.issn.1002-266X.2016.11.006.
- (收稿: 2023-09-18 修回: 2024-04-03)
(同行评议专家: 钱列, 谢宁, 陈金水)
(本文编辑: 宁桦)