

· 综述 ·

# 全膝关节置换前后人体矢状位生物力学改变<sup>△</sup>

许昊天<sup>1</sup>, 黄健<sup>2\*</sup>

(1. 内蒙古医科大学, 内蒙古呼和浩特 010030; 2. 内蒙古医科大学第二附属医院, 内蒙古呼和浩特 010090)

**摘要:** 膝骨关节炎 (knee osteoarthritis, KOA) 是一种常见的老年退行性疾病, 终末期 KOA 可能会造成膝关节屈曲畸形 (knee flexion deformity, KFD), KFD 可能会导致原有的人体矢状面失衡。人体则通过脊柱、骨盆、下肢等部位代偿性改变来维持平衡。然而, 全膝关节置换术 (total knee arthroplasty, TKA) 主要是针对膝关节进行的一种手术, 目的是为了矫正 KFD。这种手术不仅会影响手术部位的解剖结构和功能, 还可能对脊柱、骨盆、髋关节、踝关节产生一定影响, 以适应新的膝关节功能和稳定性。本文就 TKA 前后的脊柱、骨盆、下肢等部位的矢状位生物力学改变的研究进展进行综述。

**关键词:** 骨关节炎, 全膝关节置换术, 矢状位平衡, 生物力学

**中图分类号:** R687.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-8478 (2025) 04-0335-05

**Biomechanical changes in sagittal plane of human body before and after total knee arthroplasty // XU Hao-tian<sup>1</sup>, HUANG Jian<sup>2</sup>. 1. Inner Mongolia Medical University, Hohhot, Inner Mongolia 010030, China; 2. The Second Affiliated Hospital, Inner Mongolia Medical University, Hohhot, Inner Mongolia 010090, China**

**Abstract:** Knee osteoarthritis (KOA) is a common degenerative disease in the elderly, and the end-stage KOA usually has knee flexion deformity (KFD), which may lead the original sagittal plane imbalance of the human body. Therefore, human body maintains balance through compensatory changes in the areas, such as the spine, pelvis, and lower limbs. However, total knee arthroplasty (TKA) is a primarily surgical procedure aimed at correcting KFD. This type of surgery not only affects the anatomical structure and function of the surgical site, but may also have certain impacts on the spine, pelvis, hip joint, and ankle joint to adapt to the new knee function and stability. This article provides a review of the research progress on the sagittal biomechanical changes in the spine, pelvis, lower limbs, and other areas before and after TKA.

**Key words:** osteoarthritis, total knee arthroplasty, sagittal balance, biomechanics

KOA 是一种常见的老年退行性疾病, 终末期 KOA 可能会出现 KFD。然而, 正常的矢状面脊柱-骨盆-下肢对线是维持人体工学直立姿势的关键, 任何关节部位一旦发生变化便会导致矢状位对线失衡。为了维持身体的平衡, 患者会发生腰椎前凸角 (lumbar lordosis, LL) 减小、骨盆向后倾斜、髋关节伸展、膝关节屈曲和踝关节背屈等代偿性改变<sup>[1]</sup>。TKA 是一种安全有效的治疗方法, 其以减少疼痛、矫正畸形、恢复胫股关节对线、提高患者的生活质量为目标<sup>[2]</sup>。KOA 患者接受 TKA 后 KFD 得到矫正, 便会引起脊柱、骨盆、髋关节、膝关节及踝关节的代偿性改变。本文就近年来国内外 TKA 术前与术后的人体矢状位生物力学改变的研究进展作一综述。

## 1 KOA 患者人体矢状位平衡

在生物力学概念上认为, 人体相邻关节的协同作用是通过多关节部位来执行的。任何存在病理特征的脊柱-骨盆-下肢节段都可能损害人体姿势平衡并对肌肉骨骼结构、功能产生一定影响, 进而导致身体其他部位的代偿性改变<sup>[3, 4]</sup>。严重的 KOA 对脊柱-骨盆-下肢矢状面排列的影响尤为显著。Obeid 等<sup>[5]</sup>研究发现, 当脊柱出现矢状面失衡时, 会激活代偿机制以恢复正确的平衡, 代偿从脊柱水平开始, 如果脊柱节段代偿达到最大值, 则骨盆开始代偿出现后倾, 最后当所有代偿机制都使用完毕时, 下肢会通过膝关节

DOI:10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.110323

**△基金项目:** 内蒙古自治区科技计划项目任务书 (编号: 2021GG0194); 内蒙古自治区首府地区公立医院高水平临床专科建设科技项目任务书 (编号: 2024SGGZ091)

**作者简介:** 许昊天, 硕士研究生, 研究方向: 关节外科方向, (电子信箱) 1132389991@qq.com

**\* 通信作者:** 黄健, (电子信箱) 1446742302@qq.com

屈曲来帮助恢复水平视角。

### 1.1 全脊柱矢状位平衡

临床上主要通过重力线 (gravity line, GL) 分析方法和矢状面垂直轴 (sagittal vertical axis, SVA) 分析方法来研究描述脊柱平衡, SVA 是矢状体平衡的指标之一。SVA 会随着年龄的增长而增加, 较高的 SVA 表明身体躯干向前弯曲, 从而导致腰痛<sup>[6]</sup>。此外, 背部肌肉力量降低和椎体运动受限等因素可能导致人体矢状位失衡、行走障碍和跌倒。Dubousset 等<sup>[7]</sup>首次描述了“经济椎”的概念: 在一个较窄的范围内, 身体在没有外部支持的时候是用最小的肌肉动作和能量消耗来维持最佳直立姿势。若人体躯干超出经济椎之外没有获得支持的话就会摔倒。这表明脊柱失衡时需要使用更多的能量来维持平衡, 从而引起疲劳和疼痛。

### 1.2 腰椎矢状位平衡

膝关节和脊柱在人体矢状位平衡和对线方面相互作用。脊柱失衡可能导致膝关节屈曲挛缩 (knee flexion contracture, KFC), KFC 也可能影响脊柱平衡, 两者密切相关。因此, KOA 会导致 LL 的丧失, 以作为 KFC 的代偿。在 KOA 患者中, 膝关节屈曲角度 (knee flexion angle, KFA) 和股骨倾斜角 (femoral inclination, FI) 呈正相关, FI 增加越多, LL 的丧失就越大, SVA 变得越靠前<sup>[8]</sup>。这可能是在 KOA 和股骨后倾导致 KFC 的情况下, 躯干倾向于向后移动。此时, 腰椎通过减少 LL、髋关节弯曲以使重心向前移动来维持人体平衡。Murata 等<sup>[9]</sup>描述了“膝腰综合征”的概念, 当患者 KFD $>5^{\circ}$ 时, LL 显著降低。当 LL $<30^{\circ}$ 时, 患者 KFD 更为显著。KOA 患者下肢肌无力也被认为与 LL 丧失有关。另外, 合并腰椎退行性变患者的 LL 低于非腰椎退行性变患者<sup>[10]</sup>。这说明全身性骨关节炎除了影响 KOA 的进展, 还会降低 LL。Tauchi 等<sup>[11]</sup>报道了脊柱倾斜角 (spinal inclination angle, SIA) 增加是 KOA 发生的独立因素, 并且 SIA 与 LL、腰椎倾角和总 SIA 呈负相关, 与 KFA 呈正相关。

然而, 有学者认为 KFA 与 LL 相关, KFA 增加, LL 也增大。原因是 KFC 引起骨盆前倾代偿, 骶骨倾斜角 (Sacral Slope, SS) 增大, 进而引起 LL 增大<sup>[12]</sup>。这种相关性不直接等于因果关系, 尽管 KOA 可能会影响到 LL, 但这并不意味着所有 KOA 患者的 LL 都会减小。由于患者具有个体差异性, 部分 KOA 患者的 LL 可能会增加, 这可能是由于不同的疼痛机制、疼痛程度和生活方式所致。

### 1.3 骨盆矢状位平衡

KOA 患者随着 KFD 增加, 与之相邻的骨盆会产生相应的代偿。一些学者认为骨盆可能会发生后倾, 且在不同情况下可能会出现骨盆的前移位和后移位。然而, 另外一些学者则认为骨盆可能会出现前倾。

KOA 的严重程度与骨盆矢状面对齐有关, 特别是与骨盆后倾的关系<sup>[13]</sup>。有学者将成年人 SVA 分为三组: 矢状位前倾组 (SVA $>2.5$  cm), 当 SVA 前移时, T-1 骨盆角升高, 为了代偿 SVA 前移失衡, 会出现胸部扁平, 骨盆后倾和后移位、髋关节伸展、膝关节屈曲和踝关节屈曲<sup>[5, 14]</sup>。矢状位后倾组 (SVA $<-2.5$  cm), 当 SVA 后移时, T-1 骨盆角降低, 会造成骨盆后倾和前移位, 髋关节伸展而无膝关节屈曲<sup>[15]</sup>。矢状面中立组 ( $-2.5$  cm $\leq$ SVA $\leq$ 2.5 cm), 患者的骨盆前移小, 无骨盆后倾, 下肢没有代偿<sup>[14, 16]</sup>。这表明骨盆移位可以通过与膝和踝关节屈曲相关的骨盆后倾来解释。当 SVA 前移或后移增加时, 会造成骨盆后倾, 从而导致髋关节伸展, 使骨盆相对于足部明显后倾。在肌肉能量消耗方面, Mahaudens 等<sup>[17]</sup>证明了脊柱矢状位失调增加了肌肉能量消耗。

SVA 是稳定站立姿势的指标, 其中股骨固定, 臀大肌收缩, 骨盆后倾。然而, 在动态状态下, 股骨不固定, 骨盆可能前倾<sup>[18, 19]</sup>。因此, 在完成正常活动时, 必须由其他部位的代偿来完成矢状位动态对线。KOA 患者的 KFD 会导致重心后移位, 那么骨盆前倾可能是一种代偿方法<sup>[20]</sup>。Harato 等<sup>[21]</sup>的报道中 10 名健康女性膝关节模拟屈曲至  $30^{\circ}$ , 在站立时骨盆呈后倾状态, 而在行走时躯干和骨盆前倾。刘飞等<sup>[22]</sup>报道了 KOA 组 FI 值较正常对照组增大, 而骶骨股骨角值和骨盆股骨角值较正常对照组减小, 这表明患者膝和髋关节呈屈曲状态时, 能导致其脊柱和骨盆前倾。因此, KFC 可引起脊柱盆腔矢状面排列 (spinopelvic sagittal alignment, SSA) 的改变, 从而证明了脊柱骨盆矢状面参数 (sagittal spinopelvic parameters, SSPs) 对 KFD 的影响。

KOA 可能导致骨盆的前后倾斜, 这种变化通常是由于患者为了减轻膝关节疼痛而采取的不自然姿势所致的。每位患者的生理结构和病情严重程度都具有个体差异性, 因此并不是所有的 KOA 患者都会出现前倾或后倾的情况。骨盆的代偿变化可能是单纯的前倾或者后倾, 也可能是复杂的早期前倾、后期后倾或者早期后倾、后期前倾。

### 1.4 膝关节、踝关节矢状位平衡

对于 KFC 严重程度和腰椎灵活度的不同, 人体主要代偿机制也会不同。Lee 等<sup>[23]</sup> 对 30 名年轻男性模拟 KFC, 使膝关节屈曲到 15° 和 30°, 发现 KFC 可导致没有任何脊柱病变的年轻人的 LL 丧失和 SVA 前移, 并且不影响骨盆。然而, 老年患者 KFC 的脊柱代偿能力有限, 因为他们的脊柱柔韧性较差并可能有脊柱畸形。若矢状面发生错位, 则头部向前移动, SVA 增加, LL 减少, 进而导致腰痛。

轻度 KFC ( $FI \leq 10^\circ$ ) 患者的 LL 更少, 主要由腰椎来代偿矢状位失衡; 严重 KFC ( $FI > 10^\circ$ ) 的患者, 主要表现为脊柱和骨盆前倾, 髋关节屈曲<sup>[3]</sup>。这表明 KOA 患者随着病情的变化会引起多部位的代偿改变, 一旦形成恶性循环, 即膝关节疼痛造成腰椎和骨盆的代偿性变化, 这些代偿性的变化又加重了膝关节的负担, 使得 KOA 进一步加重。Kohno 等<sup>[24]</sup> 研究发现: 与轻、中度 KOA 患者相比, 老年退行性腰椎滑脱合并重度 KOA 患者矢状面错位增加, LL 消失, 骨盆后倾和 KFC 更大。

脊柱前移失衡除了会引起骨盆后倾、髋关节伸展和膝关节屈曲, 还会引起踝关节背侧屈曲。下肢力线异常排列造成应力不平衡作用于踝关节, 加快踝关节软骨的磨损速度, 最终导致踝关节炎的出现<sup>[25]</sup>。

## 2 TKA 后人体矢状位平衡

据统计, 2019 年我国 TKA 手术量已经超过了 37 万例, 且以接近每年 28% 的速度增长<sup>[26]</sup>。已有调查发现 TKA 后的平均不满意率高达 10%<sup>[27]</sup>。目前, TKA 后患者满意率低的常见原因有疼痛、焦虑和抑郁。TKA 后 KFD 得到矫正, 脊柱、骨盆和下肢等部位会发生矢状位再代偿的过程。所以, 了解并研究 TKA 后人体矢状位的改变至关重要。

### 2.1 TKA 后全脊柱矢状位平衡

脊柱矢状位对线不良对膝关节生物力学的影响较为显著, 因此, 了解其对 TKA 后膝关节生物力学的影响也是尤为重要的。TKA 后可能会发生 SVA 后移和 LL 增加, 全脊柱矢状位平衡并没有明显的变化。而是, SVA 向前移动, 然后逐渐后移, 也就是术后恢复期躯干前弯加重, 术后 6 个月后改善为中立位<sup>[28]</sup>。然而, 在多数情况下, SVA 前移的不平衡没有得到代偿, 而站立位置的 GL 更向前偏移, 没有得到前凸腰椎的平衡<sup>[29]</sup>。正常的全脊柱矢状面对线对于保持 GL 在骨盆中心和保持站立姿势至关重要。TKA 后短时间内, 整体矢状面失衡可能无法恢复,

则身体需要更多的能量来维持其平衡。Oshima 等<sup>[30]</sup> 报道, TKA 后 KFD 得到纠正并改善了下肢对线, 即使是术前 SVA 正常的患者, 在 TKA 后腰椎和骨盆参数也会改变。此外, 术前 SVA 异常的患者随着膝关节和腰椎参数的改变而减少。

### 2.2 TKA 后腰盆矢状位平衡

TKA 后膝关节的功能和稳定性得到恢复, 而对于腰椎和骨盆参数可能会产生影响。Kim 等<sup>[31]</sup> 报道了腰椎灵活的患者, 在 TKA 后 LL 增加和 SVA 改善, 而骨盆灵活的患者显示 SS 升高。Kitagawa 等<sup>[29]</sup> 测量了 PI 和 LL, 发现超过 50% 的患者有  $>10^\circ$  的差异, 且 KFA 与 SVA 呈正相关, 与 SS 和 LL 呈负相关。此外, TKA 后患者的 SSPs 也有显著改善, 包括 SS 的增加, SVA 和骨盆倾斜角 (pelvic tilt, PT) 降低。然而, 学者对 TKA 后患者进行 3 个月的随访发现, 在矫正 KFD 后 SSA 没有显著变化<sup>[32]</sup>。尽管 TKA 后 KFD 有显著的矫正, 但是 SSPs 没有显著变化。这可能是因为随访时间较短, 患者术后运动量下降, 脊柱、骨盆及下肢区域代偿不明显。

TKA 后除了可能会发生 PT 降低和 SS 增加, 还可能会出现骨盆前倾减少, 骨盆倾角 ROM 降低, 而对脊柱排列几乎没有影响<sup>[20, 33]</sup>。这意味着对线矫正很复杂, 因为它包括三维变化, 并且可能与脊柱骨盆和下肢对线有关。TKA 后腰椎和骨盆可能会出现 SSPs 改善、骨盆倾斜调整、肌肉力量改变等一系列代偿机制来帮助患者适应新的生理状态。同时, 也会给患者带来腰痛和平衡失调等新的问题。所以, 这值得临床更进一步的研究。

### 2.3 TKA 后膝关节、踝关节矢状位平衡

TKA 改变了膝关节的解剖结构和力学特性, 因此膝关节矢状位平衡可能会发生变化。KFC  $< 15^\circ$  的 KOA 患者在 TKA 后 KFC 立即下降, 而 KFA 在手术后没有显著变化, 但在 2 年内逐渐改善并接近 KFC<sup>[34]</sup>。在 SSPs 中, PT 显著降低, 这与 KFA 的变化有关。然而, 随访调查发现, TKA 后一部分患者 KFC 仍超过  $5^\circ$ <sup>[35, 36]</sup>。TKA 后与健康的膝关节相比, 患者的膝关节屈曲范围较小, 行走时膝关节伸长减少, 步长和节奏减少。

TKA 后踝关节面的对线有显著改善。然而, 过度追求下肢力线的中立位对线, 可能导致已有明显改变的踝关节不适应术后的矫正状态, 亦成为患者 TKA 后行走时踝关节疼痛的主要原因<sup>[37, 38]</sup>。Norton 等<sup>[39]</sup> 建议, TKA 应在踝关节手术前进行, 这样可以延迟一部分患者踝关节炎的发展。TKA 后患者的下



肢肌肉力量减弱、关节僵硬、下肢对线改变以及患者的自身情况等因素可能会影响膝和踝关节的矢状位平衡。

### 3 小结与展望

综上所述, KOA 患者的矢状位代偿机制是复杂的。当 KOA 患者出现 KFD 时, 可能会改变下肢力线分布, 进而影响腰椎和骨盆矢状位的对线和力学平衡。人体则通过 SVA 前移、LL 减小或增加、骨盆后倾或前倾、髌关节伸展或屈曲及踝关节背屈等方式来维持平衡。腰椎和骨盆出现不同的代偿情况, 这可能是因个体差异而异, 也可能受病情严重程度、不同的疼痛机制、生活习惯和生理结构等多种因素影响。由于腰椎和骨盆在矢状位的对线不良, 进一步加重了膝关节的负担, 也进一步加重了 KFD。并且, TKA 后 KFD 被矫正, 可能会出现 SVA 后移, LL 增加, SS 增加, PT 减小。患者相较术前下肢力线得到了改善, 疼痛减轻以及膝关节的功能恢复。本文对 TKA 前后人体矢状位代偿机制做一总结, 以期提高关节外科医生对除膝关节的其他关节部位的重视, 在 TKA 前对其他关节部位做出评估, 制定个体化的治疗策略, 进而提高患者生活质量。

**利益冲突声明** 所有作者声明无利益冲突

**作者贡献声明** 许昊天: 论文写作; 黄健: 文章审阅、指导、获取研究经费、支持性贡献

### 参考文献

[1] Roussouly P, Nnadi C. Sagittal plane deformity: an overview of interpretation and management [J]. *Eur Spine*, 2010, 19 (11): 1824-1836. DOI: 10.1007/s00586-010-1476-9.

[2] Ro DH, Han HS, Lee DY, et al. Slow gait speed after bilateral total knee arthroplasty is associated with suboptimal improvement of knee biomechanics [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2018, 26 (6): 1671-1680. DOI: 10.1007/s00167-017-4682-8.

[3] Wang WJ, Liu F, Zhu YW, et al. Sagittal alignment of the spine-pelvis-lower extremity axis in patients with severe knee osteoarthritis [J]. *Bone Joint Res*, 2016, 5 (5): 198-205. DOI: 10.1302/2046-3758.5.2000538.

[4] 刘飞, 王渭君, 邱勇, 等. 髌关节疾病患者脊柱-骨盆-下肢矢状面形态异常的研究进展 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2014, 22 (13): 1195-1198. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2014.13.09.

Liu F, Wang WJ, Qiu Y, et al. Spine-pelvis-lower limb morphological abnormalities progress of the sagittal: hip disease patients [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2014, 22 (13): 1195-1198. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2014.13.09.

[5] Obeid I, Hauger O, Aunoble S, et al. Global analysis of sagittal spi-

nal alignment in major deformities: correlation between lack of lumbar lordosis and flexion of the knee [J]. *Eur Spine J*, 2011, 20 (S5): 681-685. DOI: 10.1007/s00586-011-1936-x.

[6] Hasegawa K, Okamoto M, Hatsushikano S, et al. Standing sagittal alignment of the whole axial skeleton with reference to the gravity line in humans [J]. *J Anat*, 2017, 230 (5): 619-630. DOI: 10.1111/joa.12586.

[7] Dubouset J. Three-dimensional analysis of the scoliotic deformity [J]. *Pediatr Spine Princ Pract*, 1994, 2: 479-496.

[8] Katsumi R, Mannen EM, Bajaj G, et al. The influence of knee osteoarthritis on spinopelvic alignment and global sagittal balance [J]. *J Knee Surg*, 2022, 36 (9): 917-924. DOI: 10.1055/s-0042-1747947.

[9] Murata Y, Takahashi K, Yamagata M, et al. The knee-spine syndrome. Association between lumbar lordosis and extension of the knee [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2003, 85 (1): 95-99. DOI: 10.1302/0301-620x.85b1.13389.

[10] Habibi Z, Maleki F, Meybodi AT, et al. Lumbosacral sagittal alignment in association to intervertebral disc diseases [J]. *Asian Spine J*, 2014, 8 (6): 813-819. DOI: 10.4184/asj.2014.8.6.813.

[11] Tauchi R, Imagama S, Muramoto A, et al. Influence of spinal imbalance on knee osteoarthritis in community-living elderly adults [J]. *Nagoya J Med Sci*, 2015, 77 (3): 329-337. DOI: 10.18999/NAGJMS.77.3.329.

[12] 张胜国, 刘海鹰, 王波, 等. 膝关节屈曲畸形与腰椎和骨盆矢状位对线的相关性研究 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2013, 21 (9): 914-917. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2015.09.04.

Zhang SG, Liu HY, Wang B, et al. Study of the correlation between knee contracture deformity lumbar-pelvis sagittal alignment [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2013, 21 (9): 914-917. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2015.09.04.

[13] Yasuda T, Togawa D, Hasegawa T, et al. Relationship between knee osteoarthritis and spinopelvic sagittal alignment in volunteers over 50 years of age [J]. *Asian Spine J*, 2020, 14 (4): 495-501. DOI: 10.31616/asj.2018.0266.

[14] Lafage V, Schwab F, Skalli W, et al. Standing balance and sagittal plane spinal deformity: analysis of spinopelvic and gravity line parameters [J]. *Spine*, 2008, 33 (14): 1572-1578. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31817886a2.

[15] Ferrero E, Liabaud B, Challier V, et al. Role of pelvic translation and lower-extremity compensation to maintain gravity line position in spinal deformity [J]. *J Neurosurg Spine*, 2016, 24 (3): 436-446. DOI: 10.3171/2015.5.SPINE14989.

[16] Protosaltis T, Schwab F, Bronsard N, et al. The T1 pelvic angle, a novel radiographic measure of global sagittal deformity, accounts for both spinal inclination and pelvic tilt and correlates with health-related quality of life [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2014, 96 (19): 1631-1640. DOI: 10.2106/JBJS.M.01459.

[17] Mahaudens P, Mousny M. Gait in adolescent idiopathic scoliosis. Kinematics, electromyographic and energy cost analysis [J]. *Stud Health Techn Inf*, 2010, 158: 101-106. DOI: 10.3233/978-1-60750-573-0-101.

- [18] Le Huec JC, Aunoble S, Philippe L, et al. Pelvic parameters: origin and significance [J]. *Eur Spine J*, 2011, 20 (S5) : 564–571. DOI: 10.1007/s00586-011-1940-1.
- [19] Marks MC, Stanford CF, Mahar AT, et al. Standing lateral radiographic positioning does not represent customary standing balance [J]. *Spine*, 2003, 28 (11) : 1176–1182. DOI: 10.1097/01.BRS.0000067271.00258.51.
- [20] Polat EA, Polat Y, Karatay GM, et al. Does total knee arthroplasty affect pelvic movements? A prospective comparative study [J]. *Rev Assoc Méd Bras*, 2023, 69 (9) : e20221231. DOI: 10.1590/1806-9282.20221231.
- [21] Harato K, Nagura T, Matsumoto H, et al. A gait analysis of simulated knee flexion contracture to elucidate knee–spine syndrome [J]. *Gait Posture*, 2008, 28 (4) : 687–692. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2008.05.008.
- [22] 刘飞, 王渭君, 翁文杰, 等. 膝关节骨关节炎患者脊柱–骨盆–下肢矢状面形态变化的初步研究 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2015, 23 (9) : 784–789. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2015.09.04.  
Liu F, Wang WJ, Weng WJ, et al. A study on the sagittal alignment of the spinal–pelvic–lower leg and its clinical relevance in patients with knee osteoarthritis [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2015, 23 (9) : 784–789. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2015.09.04.
- [23] Lee CS, Park SJ, Chung SS, et al. The effect of simulated knee flexion on sagittal spinal alignment: novel interpretation of spinopelvic alignment [J]. *Eur Spine J*, 2013, 22 (5) : 1059–1065. DOI: 10.1007/s00586-013-2661-4.
- [24] Kohno M, Iwamura Y, Inasaka R, et al. Influence of comorbid knee osteoarthritis on surgical outcome and sagittal spinopelvic/lower–extremity alignment in elderly patients with degenerative lumbar spondylolisthesis undergoing transforaminal lumbar interbody fusion [J]. *J Neurosurg Spine*, 2020, 32 (6) : 850–858. DOI: 10.3171/2019.11.SPINE19978.
- [25] 吴子光, 郑炜宏, 何君源, 等. 膝内翻畸形对全膝置换手术前后踝关节的影响研究 [J]. *中国骨与关节杂志*, 2022, 11 (5) : 374–379. DOI: 10.3969/j.issn.2095-252X.2022.05.009.  
Wu ZG, Zheng WH, He JY, et al. Effect of knee varus deformity on the ankle before and after total knee arthroplasty [J]. *Chinese Journal of Bone and Joint*, 2022, 11 (5) : 374–379. DOI: 10.3969/j.issn.2095-252X.2022.05.009.
- [26] 边焱焱, 程开源, 常晓, 等. 2011至2019年中国人工髌膝关节置换手术量的初步统计与分析 [J]. *中华骨科杂志*, 2020, 40 (21) : 1453–1460. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20200320-00177.  
Bian YY, Cheng KY, Chang X, et al. Reports and analysis of amount of hip and knee arthroplasty in China from 2011 to 2019 [J]. *Chinese Journal of Orthopaedics*, 2020, 40 (21) : 1453–1460. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20200320-00177.
- [27] Defrance MJ, Scuderi GR. Are 20% of patients actually dissatisfied following total knee arthroplasty? A systematic review of the literature [J]. *J Arthroplasty*, 2023, 38 (3) : 594–599. DOI: 10.1016/j.arth.2022.10.011.
- [28] Han HS, Yun KR, Cho K, et al. Relationships between the changes in flexion contracture and standing flexion angle of the knee and sagittal spinal alignment after total knee arthroplasty [J]. *Knee*, 2021, 29 : 374–380. DOI: 10.1016/j.knee.2021.02.027.
- [29] Kitagawa A, Yamamoto J, Toda M, et al. Spinopelvic alignment and low back pain before and after total knee arthroplasty [J]. *Asian Spine J*, 2021, 15 (1) : 9–16. DOI: 10.31616/asj.2019.0359.
- [30] Oshima Y, Watanabe N, Iizawa N, et al. Knee–hip–spine syndrome: improvement in preoperative abnormal posture following total knee arthroplasty [J]. *Adv Orthop*, 2019, 2019 : 8484938. DOI: 10.1155/2019/8484938.
- [31] Kim SC, Kim JS, Choi HG, et al. Spinal flexibility is an important factor for improvement in spinal and knee alignment after total knee arthroplasty: evaluation using a whole body EOS System [J]. *J Clin Med*, 2020, 9 (11) : 3498. DOI: 10.3390/jcm9113498.
- [32] Puthiyapura LK, Jain M, Tripathy SK, et al. Effect of osteoarthritic knee flexion deformity correction by total knee arthroplasty on sagittal spinopelvic alignment in Indian population [J]. *World J Clin Cases*, 2022, 10 (21) : 7348–7355. DOI: 10.12998/wjcc.v10.i21.7348.
- [33] Kim SC, Choi HG, Kim JS, et al. Effects of total knee arthroplasty on coronal and sagittal whole–body alignments: serial assessments using whole–body EOS [J]. *J Clin Med*, 2021, 10 (15) : 3242. DOI: 10.3390/jcm10153242.
- [34] Kishimura Y, Matsui Y, Matsuura M, et al. Changes in postoperative extension angle after total knee arthroplasty: Effect of polyethylene insert thickness [J]. *J Orthop Sci*, 2019, 24 (4) : 674–697. DOI: 10.1016/j.jos.2018.12.013.
- [35] Kim SH, R DH, Cho Y, et al. What is the ideal degree of extension after primary total knee arthroplasty [J]. *J Arthroplasty*, 2017, 32 (9) : 2717–2724. DOI: 10.1016/j.arth.2017.03.074.
- [36] Tibbo ME, Limberg AK, Salib CG, et al. Acquired idiopathic stiffness after total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2019, 101 (14) : 1320–1330. DOI: 10.2106/JBJS.18.01217.
- [37] Gursu S, Sofu H, Verdonk P, et al. Effects of total knee arthroplasty on ankle alignment in patients with varus gonarthrosis: Do we sacrifice ankle to the knee [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2016, 24 (8) : 2470–2475. DOI: 10.1007/s00167-015-3883-2.
- [38] Rames RD, Mathison M, Meyer Z, et al. No impact of under–correction and joint line obliquity on clinical outcomes of total knee arthroplasty for the varus knee [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2018, 26 (5) : 1506–1514. DOI: 10.1007/s00167-017-4507-9.
- [39] Norton AA, Callaghan JJ, Amendola A, et al. Correlation of knee and hindfoot deformities in advanced knee OA: compensatory hindfoot alignment and where it occurs [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2015, 473 (1) : 166–174. DOI: 10.1007/s11999-014-3801-9.

(收稿:2024-04-26 修回:2024-10-09)

(同行评议专家: 张立峰, 王明明, 张国梁, 张元智)

(本文编辑: 宁桦)