

# 膝关节单髁置换术下肢力线纠正及假体位置角度研究进展

丁松, 陈明亮, 谷成毅, 许涛, 周游

(三峡大学附属仁和医院骨科, 湖北 宜昌 443001)

**【摘要】** 下肢力线与单髁假体位置角度是影响单髁置换术假体长期生存率及临床疗效的重要因素。下肢力线矫正不足将加速假体磨损进而减少假体生存率, 下肢力线矫正过度会加速对侧间室关节炎的进展。通常认为单髁置换术下肢力线应纠正轻度内翻, 然而部分学者的研究认为术后下肢力线对单髁置换术后功能评分和假体生存率无影响。股骨、胫骨假体位置不佳将造成患者膝关节不明原因疼痛甚至假体磨损, 但股骨胫骨假体最佳位置存在争议。通常认为单髁置换术胫骨平台后倾角应纠正在 3°~7°, 但部分学者认为胫骨平台后倾角的改变过大也将影响膝关节间隙平衡及膝关节活动度。本文研究认为单髁置换术下肢力线的纠正至轻度内翻仍是单髁置换术最佳下肢力线, 股骨与胫骨假体最佳位置有待进一步生物力学研究证实, 胫骨平台后倾角的纠正应该根据术前患者具体原始解剖角度而变化。

**【关键词】** 单髁置换; 假体位置; 下肢力线

中图分类号: R684

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2022.10.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



**Research progress of lower limb alignment correction and prosthesis position angle in unicompartmental knee arthroplasty** DING Song, CHEN Ming-liang, GU Cheng-yi, XU Tao, and ZHOU You. Department of Orthopaedics, Renhe Hospital, Three Gorges University, Yichang 443001, Hubei, China

**ABSTRACT** The angle between the lower extremity force line and the position of the unicondylar prosthesis is an important factor affecting the long-term survival and rate clinical outcome of the unicondylar replacement prostheses. Insufficient lower limb alignment will accelerate the wear of prosthesis and reduce the survival rate of prosthesis. Excessive lower limb alignment will accelerate the progress of contralateral interventricular arthritis. It is generally believed that the lower limb force line should be corrected in mild varus after unicompartmental knee arthroplasty. However, some scholars believe that the lower limb

基金项目: 湖北省中医药科研面上项目(编号: ZY2021M074)

Fund program: General Research Projects of Traditional Chinese Medicine in Hubei Province(No. ZY2021M074)

通讯作者: 周游 E-mail: zhouyou8010@163.com

Corresponding author: ZHOU You E-mail: zhouyou8010@163.com

Shang/China J Orthop Trauma, 2021, 34(6): 522-526. Chinese with abstract in English.

[10] 张桂芳, 黄焕杰. 脉冲调整技术和关节松动术治疗肩峰下撞击综合征的临床疗效对比[J]. 中国康复医学杂志, 2018, 33(11): 1273-1278.  
ZHANG GF, HUANG HJ. Clinical comparison of pulse adjustment technique and joint loosening in the treatment of subacromial impingement syndrome[J]. Zhongguo Kang Fu Yi Xue Za Zhi, 2018, 33(11): 1273-1278. Chinese.

[11] 王敦建, 陈卓伟, 谭志勇. 电针肩周八穴治疗肩峰下撞击综合征的临床研究[J]. 内蒙古中医药, 2017, 36(18): 103-104.  
WANG DJ, CHEN ZW, TAN ZY. Clinical study on the treatment of subacromial impingement syndrome by electroacupuncture at eight points around shoulder[J]. Nei Meng Gu Zhong Yi Yao, 2017, 36(18): 103-104. Chinese.

[12] 孙菲, 田树峰, 杨晨. 肌内效贴在中的应用康复现状[J]. 中国运动医学杂志, 2019, 38(3): 235-238.  
SUN F, TIAN SF, YANG C. Application status of Kinesio Taping in rehabilitation[J]. Zhongguo Yun Dong Yi Xue Za Zhi, 2019, 38(3): 235-238. Chinese.

[13] 李帅, 赵祥虎. 肌内效贴在运动损伤中的应用研究[J]. 按摩与康复医学, 2020, 11(1): 21-24.  
LI S, ZHAO XH. Application of Kinesio Taping in sports injury[J]. An Mo Yu Kang Fu Yi Xue, 2020, 11(1): 21-24. Chinese.

[14] Chan MC, Wee JW, Lim MH. Does Kinesiology Taping improve the early postoperative outcomes in anterior cruciate ligament reconstruction? A randomized controlled study[J]. Clin J Sport Med, 2017, 27(3): 260-265.

[15] Cho HY, Kim EH, Kim J, et al. Kinesio taping improves pain, range of motion, and proprioception in older patients with knee osteoarthritis: a randomized controlled trial[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2015, 94(3): 192-200.

[16] Bigliani LU, Morrison DS. The morphology of the Subacromial and its relationship to rotator cuff tears[J]. Orthop Trans, 1986, 10(2): 216-228.

(收稿日期: 2022-05-16 本文编辑: 连智华)

alignment has no effect on the functional score and prosthesis survival rate after unicompartmental knee arthroplasty. The poor position of femoral and tibial prosthesis will cause unexplained pain and even prosthesis wear, but the optimal position of femoral and tibial prosthesis is controversial. It is generally believed that the posterior tibial slope should be corrected in the range of  $3^{\circ}$  to  $7^{\circ}$  in unicompartmental knee arthroplasty, but some scholars believe that excessive change of posterior tibial slope will also affect the balance of knee joint space and knee joint range of motion. This study shows that the correction of lower limb alignment to mild varus is still the best lower limb alignment for unicompartmental knee arthroplasty. The best position of femoral and tibial prosthesis needs to be confirmed by further biomechanical research. The correction of posterior tibial slope should be changed according to the specific original dissection angle of patients before operation.

**KEYWORDS** Unicompartmental arthroplasty; Prosthesis position; Lower limb alignment

尽管单髁置换术后手术疗效及满意率均优于全膝置换术的报道越来越多<sup>[1-2]</sup>,与全膝置换术相比,单髁置换术的假体生存率却低于全膝置换术<sup>[3]</sup>。单髁置换失败的影响因素较多,主要有患者的选择,如年龄,体质指数,前交叉韧带是否完好;医生手术技术及手术量;术后下肢力线的纠正情况,假体的位置角度等。特别是冠状面的下肢力线的纠正,假体的位置角度与手术成败息息相关。假体的对位对线良好被认为可以提高单髁置换术手术疗效和假体生存率<sup>[4-5]</sup>。股胫假体位置不佳可减少假体生存率并引起术后膝关节不明原因疼痛,有报道指出不明原因疼痛可致膝关节翻修率高达 48%<sup>[6]</sup>。所以,合理的假体对位对线对术后疗效至关重要。但目前最佳假体位置和角度还没有共识,最佳下肢力线机械轴也存在争议,正确解析各种争议才能最大发挥膝关节单髁置换术的临床疗效。

### 1 膝关节单髁置换术最佳下肢力线

全膝置换术后冠状位下肢力线的重要性已被临床医生认可并且术后下肢力线的纠正已达成共识,正常下肢力线应在中立位至轻度内翻之间<sup>[7]</sup>。传统的单髁置换术通过纠正下肢力线恢复中立位下肢力线机械轴来平衡下肢的应力分布,最常使用的下肢力线测量角为髌膝踝角(hip knee ankle, HKA),测量标准为从股骨头中心通过膝关节中心再至踝关节中心<sup>[8]</sup>。下肢力线异常可影响下肢应力分布的改变进而改变下肢生物力学,即使是动态步态条件下下肢力线同样影响下肢应力分布,进而影响膝关节骨性关节炎发生发展<sup>[9]</sup>。已有研究证实单髁置换术后假体对位对线不良可以影响手术疗效和导致手术高翻修率。然而,目前尚未对单髁置换术后最佳下肢力线机械对位对线达成共识。为研究单髁置换术下肢力线对单髁置换术疗效的影响,Slaven 等<sup>[10]</sup>将 37 例因对侧关节炎进展和 61 例因假体松动而翻修的患者各自与未行翻修术者(对照组)进行对比,结果发现因对侧间室骨关节炎进展而行翻修术 HKA 角为外翻( $0.3 \pm 3.6^{\circ}$ ),对照组为内翻( $4.4 \pm 2.6^{\circ}$ );因假体松动而行翻修术组 HKA 角为( $6.1 \pm 3.1^{\circ}$ ),对照组为

( $4.0 \pm 2.7^{\circ}$ );认为术后 10 年功能良好的患者下肢力线 HKA 角集中在轻度内翻约  $4^{\circ}$ ,而因对侧骨关节炎进展而行翻修术者下肢力线 HKA 角多为外翻,因假体松动而翻修组患者具有更大的内翻度数;因此,认为目前单髁置换术最佳的下肢力线应呈轻度内翻状态。

多数学者也支持单髁置换术后下肢呈轻度内翻最为合适<sup>[11]</sup>,下肢轻度内翻符合人体正常生物力学下肢力线。然而与此相反, Kennedy 等<sup>[12]</sup>回顾性分析了 891 例骨水泥型单髁置换者,随访时间 10 年并记录下肢力线,按术后下肢力线内外翻程度将患者分为明显内翻(平均  $10^{\circ}$ )67 例,轻度内翻(平均  $5^{\circ}$ )308 例,中立位 508 例,外翻 8 例;在 10 年随访时间里,明显内翻组(平均  $10^{\circ}$ )与轻度内翻组(平均  $5^{\circ}$ )相比有较高牛津大学膝关节评分(Oxford knee seessment, OKS)评分,而且 3 组患者假体翻修率差异无统计学意义,所以认为术后下肢力线对单髁置换术后功能评分和假体生存率无影响。由此,可以发现膝关节单髁置换术下肢力线的纠正存在争议,随着假体的进步和手术技术的不断成熟,因下肢力线纠正不足而磨损假体相关并发症已明显减少,目前更应关注纠正过多而引起对侧间室关节炎进展等问题,所以轻度内翻被大多数学者接受。比起股胫假体位置对单髁置换术的影响,下肢力线更为重要,单髁置换术的下肢力线控制在轻度内翻可能是最佳下肢力线<sup>[13]</sup>。

下肢力线相关角度包括股骨远端机械轴外侧角,胫骨近端机械轴内侧角,股胫角及膝关节线夹角。膝关节单髁置换术除了下肢力线的恢复,近年的研究发现关节线的错位可能导致关节不稳定及前膝疼痛<sup>[14]</sup>,单髁置换术后关节线的对位逐渐引起重视。为了研究术后膝关节线对单髁置换术的影响, Kwon 等<sup>[15]</sup>通过三维有限元评估分析单髁置换术后关节线对聚乙烯假体、关节软骨、外侧半月板应力分布的影响,共建 8 个模型,按关节线每 2 mm 从 +6~-6 mm 分别测出对应压力;结果发现随着关节线的升高,假体应力增加,随着关节线的减少,关节软骨和外侧半

月板的应力则增加。与此同时, Takayama 等<sup>[16]</sup>研究认为, 内侧关节线超过 5 mm 会限制膝关节的屈曲功能, 建议术者在胫骨截骨过程中应充分评估并恢复关节面的高度。另外, 张占丰等<sup>[17]</sup>对 56 例接受单髁置换术患者进行回顾性研究, 分析膝关节线改变与股胫角改变、术后膝关节功能的相互关系, 结果发现胫骨内侧关节面抬高值与股胫角改变值间有显著相关性, 但与美国特种外科医院评分 (Hospital For Special Surgery Knee Score, HSS) 评分无明显相关性。因此, 术者在进行胫骨截骨时, 除了考虑胫骨平台后倾角的纠正以外, 恢复关节线的高度可能减少关节不稳定及前膝痛的发生率, 平衡膝关节关节软骨、半月板及假体的压力, 甚至可能减少对股胫角的影响。

## 2 膝关节单髁置换术假体最佳位置

### 2.1 膝关节单髁置换术股骨假体最佳位置探讨

单髁置换术 (unicompartmental knee arthroplasty, UKA) 中的假体位置不良与接触应力在胫股关节的集中和术后不良结局有关。但很少有研究探讨股骨假体在矢状面上位置的生物力学效应。传统 UKA 股骨假体在矢状面上也会因截骨方法的不同而改变, 但术者通常较少关心股骨假体在矢状面的位置。Park 等<sup>[18]</sup>通过计算模拟股骨假体在不同矢状面上位置的生物力学效应, 发现聚乙烯假体和关节软骨的应力随着股骨假体屈曲度增加而增加, 而内侧副韧带的应力则随伸直度数的增加而增加, 认为在手术过程中也应该关注股骨假体在矢状面的位置, 因为屈曲和伸直都可能影响聚乙烯假体, 对侧间室及周围韧带和关节的应力分布, 提示术者在行单髁置换术时股骨假体在矢状面的位置偏差宜过大。股骨假体在股骨远端的中心位置偏差会导致股胫中心不一致, 进而加速假体磨损。Kang 等<sup>[19]</sup>通过三维有限元分析步态条件下股骨假体在股骨远端不同位置的接触应力, 结果发现假体位置偏外会增加聚乙烯假体磨损, 而偏内或偏外都会增加关节软骨磨损。因此, 若股骨假体位置不佳可能引起患者假体长期磨损, 降低假体生存率甚至导致翻修。Khow 等<sup>[20]</sup>为研究股骨假体对固定平台单髁置换术远期疗效的影响, 研究随访 264 例固定平台内侧单髁置换术病例, 通过术后影像学测量股骨假体, 胫骨假体冠状面位置及髁膝踝角, 根据股骨假体位置内外翻角度分为 2 组 (AG 组  $<3^\circ$  和 OG 组  $>3^\circ$ ), 随访时间为 6 个月、2 年和 10 年, 结果发现 OG 组在随访 10 年的 OKS 评分低于 AG 组, 认为固定平台内侧单髁置换术股骨假体位置内外翻角度  $>3^\circ$  会影响远期疗效。由此, 近年文献认为目前关于股骨假体安放的最佳位置虽尚无定论, 膝关节单髁置换术股骨假体的安放角度应控

制在  $0^\circ \sim 2^\circ$ <sup>[21]</sup>, 同时股骨假体安放位于胫骨假体中心可能提供最佳手术疗效和假体生存率<sup>[22]</sup>。

### 2.2 膝关节单髁置换术胫骨假体最佳位置探讨

单髁置换的高翻修率被认为与胫骨假体的内外翻角度相关, 位置不良会导致假体胫骨平台应力分布不均匀, 胫骨平台局部应力增加和微骨折可能是许多患者术后不明原因疼痛的促成因素<sup>[23]</sup>。所以, 合理的胫骨假体位置对单髁置换手术疗效及术后并发症至关重要。但胫骨假体的安放并不遵循中立位而且一些临床报道也推荐胫骨假体内翻  $3^\circ$ 。为研究胫骨假体的最佳位置, Innocenti 等<sup>[24]</sup>通过有限元分析内侧单髁置换术胫骨假体在内翻  $6^\circ$  至外翻  $6^\circ$  条件下内侧副韧带、胫骨平台和聚乙烯假体的应力分布情况, 结果发现胫骨假体在中立位及内翻  $3^\circ$  条件下应力最低, 因此, 推荐胫骨假体应在冠状面上为中立位至内翻  $3^\circ$  位置。Yamagami 等<sup>[25]</sup>将 142 例患者按膝关节损伤与关节炎评分, 日常活动评分分为 2 组, 组 1 为评分  $>80$  分, 组 2 为评分  $<80$  分, 随访时间为 1 年和 2 年, 通过多元回归分析发现在 1 年和 2 年的随访时间里, 膝关节损伤与关节炎评分  $>80$  分的患者主要集中在膝关节活动度良好及胫骨假体轻度内翻的患者, 因此认为胫骨假体轻度内翻的患者短期疗效更加满意。

Diezi 等<sup>[26]</sup>早在 10 年前的研究认为, 胫骨假体内外翻超过  $5^\circ$  会导致假体接触面积减少并增加磨损, 特别是固定平台。对于假体接触面积的减少会导致假体磨损的结论近年观点已大为不同, 现在的研究认为胫骨假体的内外翻会减少假体的接触面积, 但接触面积的减少不但不会增加假体磨损, 反而会减少<sup>[27]</sup>。最近的研究报道也指出, 只要施加在聚乙烯假体的压力不超过 22 MPa, 胫骨假体的内外翻可以减少接触面积和假体磨损<sup>[28]</sup>。目前, 胫骨假体的最佳位置还没有定论。各自文献报道推荐的最佳胫骨假体位置有各自的局限性, 最佳位置在手术平台和假体类型不同会有不同的最佳位置<sup>[29]</sup>, 最佳胫骨假体位置还需要高质量研究来明确。

### 3 膝关节单髁置换术胫骨平台后倾角最佳角度

假体安放的位置和角度是影响其寿命长短的关键因素, 而胫骨平台后倾角是单髁置换术中影响疗效的关键角度, 正常人胫骨平台后倾角约为  $8^\circ$ 。为研究胫骨平台后倾角对单髁置换术的影响, Hernigou 等<sup>[30]</sup>回顾性分析了单髁置换术时前交叉韧带缺失的 18 个膝关节, 在 16 年的随访时间里, 11 例平均胫骨平台后倾角  $<5^\circ$  的患者假体完好, 但 7 例需要翻修的患者胫骨平台后倾角  $>8^\circ$ , 建议单髁置换术中应该避免胫骨平台后倾角  $>7^\circ$ 。这成为后来许多术者推荐的

胫骨平台后倾角标准。但是,胫骨平台后倾角解剖变异较大,术前胫骨平台后倾角的报告指出近一半患者角度 $>7^\circ$ ,而且如果胫骨平台后倾角的目标是 $7^\circ$ ,那么近一半患者无法恢复其原始解剖结构<sup>[31]</sup>。Takayama 等<sup>[32]</sup>认为单髁置换术术者在进行胫骨截骨时应该考虑患者个人原始解剖胫骨平台后倾角,因为胫骨平台后倾角的改变会影响关节间隙平衡和膝关节活动度。所以膝关节单髁置换术胫骨平台后倾角纠正至 $<7^\circ$ 还是尽量保留患者原始胫骨平台后倾角逐渐成为争议话题。近年的研究逐渐支持应当保持患者原始解剖胫骨平台后倾角这一观点,Kang 等<sup>[33]</sup>通过三维有限元分析单髁置换术不同胫骨平台后倾角在聚乙烯假体和关节软骨的应力分布情况,结果发现外侧关节软骨的压力随着胫骨平台角度的增加而增加,而内侧聚乙烯假体的压力则减少,认为在原始解剖胫骨平台的基础上 $\pm 2^\circ$ 的角度改变不会影响手术结果。而 Sekiguchi 等<sup>[34]</sup>则通过计算机模拟程序分析得出在运动条件下胫骨平台后倾角 $>7^\circ$ 和 $<0^\circ$ 的情况下内外侧的应力转变增加,他们认为胫骨平台后倾角应在 $3^\circ\sim 7^\circ$ 。虽然胫骨平台后倾角最大不超过 $7^\circ$ 已被大部分术者认可,原始解剖胫骨平台角度也应考虑在内,过分纠正胫骨平台后倾角可能会影响膝关节正常生理的解剖运动学及膝关节间隙平衡,为获得单髁置换术最佳疗效,不建议过分纠正原始胫骨平台的角度<sup>[35]</sup>。

#### 4 总结与展望

膝关节单髁置换术后最佳下肢力线及假体位置角度是目前的争议性话题。主流观点认为膝关节单髁置换术应控制下肢力线内翻角在轻度内翻,也有观点认为单髁置换术后下肢力线对手术疗效及假体生存率不会产生影响。轻度内翻符合人体原始解剖生理状态,在缺乏高质量生物力学分析及循证研究证据情况下,单髁置换术后纠正下肢力线轻度内翻在 $\pm 3^\circ$ 可能是最佳下肢力线。此外,除了下肢力线的恢复,关节线的恢复也可能保证单髁置换术最佳疗效。股骨及胫骨假体位置不佳可能是导致术后假体松动及磨损的主要原因,股骨假体最佳位置通常较少被术者注意,股骨假体位置不佳会影响术后疗效及假体生存率,膝关节单髁置换术股骨假体的安放角度应控制在 $0^\circ\sim 2^\circ$ ,同时股骨假体安放位于胫骨假体中心可能提供最佳手术疗效和假体生存率。胫骨假体最佳位置是目前的研究热点,胫骨假体在中心位置,内外翻角度偏差 $\leq 3^\circ$ 可能是最佳位置。单髁置换术胫骨平台后倾角是影响手术疗效,关节活动度及长期并发症的关键角度,主流观点认为单髁置换术胫骨平台后倾角的纠正应控制在 $3^\circ\sim 7^\circ$ ,术者应

个体化分析患者术前生理状态,不建议过分纠正原始胫骨平台的角度。膝关节单髁置换术作为膝关节骨关节炎的阶梯治疗方法之一,已越来越被术者接受,并逐渐成为治疗单间室膝关节炎的一种可靠术式,未来有待更多的高质量循证医学证据加以证明单髁置换术后最佳下肢力线及假体位置角度。

#### 参考文献

- [1] Casper DS, Fleischman AN, Papas PV, et al. Unicompartamental knee arthroplasty provides significantly greater improvement in function than total knee arthroplasty despite equivalent satisfaction for isolated medial compartment osteoarthritis[J]. J Arthroplasty, 2019, 34(8):1611-1616.
- [2] Burn E, Sanchez-Santos MT, Pandit HG, et al. Ten-year patient-reported outcomes following total and minimally invasive unicompartamental knee arthroplasty: a propensity score-matched cohort analysis[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2018, 26(5):1455-1464.
- [3] Wilson HA, Middleton R, Abram S, et al. Patient relevant outcomes of unicompartamental versus total knee replacement: systematic review and meta-analysis[J]. BMJ, 2019, 364:1352.
- [4] Shelton TJ, Nedopil AJ, Howell SM, et al. Do varus or valgus outliers have higher forces in the medial or lateral compartments than those which are in-range after a kinematically aligned total knee arthroplasty? Limb and joint line alignment after kinematically aligned total knee arthroplasty[J]. Bone Joint J, 2017, 99-B(10):1319-1328.
- [5] Huijbregts HJ, Khan RJ, Fick DP, et al. Component alignment and clinical outcome following total knee arthroplasty: a randomised controlled trial comparing an intramedullary alignment system with patient-specific instrumentation[J]. Bone Joint J, 2016, 98-B(8):1043-1049.
- [6] Scott CEH, Powell-Bowns MFR, MacDonald DJ, et al. Revision of unicompartamental to total knee arthroplasty: does the unicompartamental implant (Metal-Backed vs All-Polyethylene) impact the total knee arthroplasty[J]. J Arthroplasty, 2018, 33(7):2203-2209.
- [7] 汪小健, 吕帅洁, 李少广, 等. 全膝关节置换术中下肢机械轴的研究进展[J]. 中国骨伤, 2021, 34(2):191-194.  
WANG XJ, LYU SJ, LI SG, et al. Progress on femorotibial mechanical axis of total knee arthroplasty[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2021, 34(2):191-194. Chinese with abstract in English.
- [8] 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.
- [9] Kudo K, Nagura T, Harato K, et al. Correlation between static limb alignment and peak knee adduction angle during gait is affected by subject pain in medial knee osteoarthritis[J]. Knee, 2020, 27(2):348-355.
- [10] Slaven SE, Cody JP, Sershon RA, et al. The impact of coronal alignment on revision in medial fixed-bearing unicompartamental knee arthroplasty[J]. J Arthroplasty, 2020, 35(2):353-357.
- [11] Vasso M, Del Regno C, D'Amelio A, et al. Minor varus alignment provides better results than neutral alignment in medial UKA[J].

- Knee, 2015, 22(2): 117-121.
- [12] Kennedy JA, Molloy J, Jenkins C, et al. Functional outcome and revision rate are independent of limb alignment following oxford medial unicompartmental knee replacement [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2019, 101(3): 270-275.
- [13] Gill JR, Vermuyten L, Wastnedge E, et al. The effect of component alignment on clinical outcomes in fixed bearing unicompartmental knee arthroplasty [J]. *Knee*, 2021, 29: 126-133.
- [14] Ensini A, Catani F, Biasca N, et al. Joint line is well restored when navigation surgery is performed for total knee arthroplasty [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2012, 20(3): 495-502.
- [15] Kwon OR, Kang KT, Son J, et al. Importance of joint line preservation in unicompartmental knee arthroplasty: finite element analysis [J]. *J Orthop Res*, 2017, 35(2): 347-352.
- [16] Takayama K, Ishida K, Muratsu H, et al. The medial tibial joint line elevation over 5 mm restrained the improvement of knee extension angle in unicompartmental knee arthroplasty [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2018, 26(6): 1737-1742.
- [17] 张占丰, 王丹, 闵继康. 单髁置换术后内侧间室关节线改变与股胫角及术后功能关系的研究 [J]. *中国骨伤*, 2017, 30(4): 309-312.
- ZHANG ZF, WANG D, MIN JK, et al. Orrelation of medial compartmental joint line elevation with femorotibial angle correction and clinical function after unicompartmental arthroplasty [J]. *Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma*, 2017, 30(4): 309-312. Chinese with abstract in English.
- [18] Park KK, Koh YG, Park KM, et al. Biomechanical effect with respect to the sagittal positioning of the femoral component in unicompartmental knee arthroplasty [J]. *Biomed Mater Eng*, 2019, 30(2): 171-182.
- [19] Kang KT, Son J, Koh YG, et al. Effect of femoral component position on biomechanical outcomes of unicompartmental knee arthroplasty [J]. *Knee*, 2018, 25(3): 491-498.
- [20] Khow YZ, Liow M, Lee M, et al. Coronal alignment of fixed-bearing unicompartmental knee arthroplasty femoral component may affect long-term clinical outcomes [J]. *J Arthroplasty*, 2021, 36(2): 478-487.
- [21] Khow YZ, Liow M, Lee M, et al. The effect of tibial and femoral component coronal alignment on clinical outcomes and survivorship in unicompartmental knee arthroplasty [J]. *Bone Joint J*, 2021, 103-B(2): 338-346.
- [22] Kamenaga T, Takayama K, Ishida K, et al. Central implantation of the femoral component relative to the tibial insert improves clinical outcomes in fixed-bearing unicompartmental knee arthroplasty [J]. *J Arthroplasty*, 2020, 35(11): 3108-3116.
- [23] Scott CE, Wade FA, Bhattacharya R, et al. Changes in bone density in metal-backed and all-polyethylene medial unicompartmental knee arthroplasty [J]. *J Arthroplasty*, 2016, 31(3): 702-709.
- [24] Innocenti B, Pianigiani S, Ramundo G, et al. Biomechanical effects of different varus and valgus alignments in medial unicompartmental knee arthroplasty [J]. *J Arthroplasty*, 2016, 31(12): 2685-2691.
- [25] Yamagami R, Inui H, Taketomi S, et al. Implant alignment and patient factors affecting the short-term patient-reported clinical outcomes after Oxford unicompartmental knee arthroplasty [J]. *J Knee Surg*, 2021, 34(13): 1413-1420.
- [26] Diezi C, Wirth S, Meyer DC, et al. Effect of femoral to tibial varus mismatch on the contact area of unicondylar knee prostheses [J]. *Knee*, 2010, 17(5): 350-355.
- [27] Fottner A, Woiczinski M, Kistler M, et al. Varus malalignment of cementless hip stems provides sufficient primary stability but highly increases distal strain distribution [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2018, 58: 14-20.
- [28] Arnout N, Vanlommel L, Vanlommel J, et al. Post-cam mechanics and tibiofemoral kinematics: a dynamic in vitro analysis of eight posterior-stabilized total knee designs [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2015, 23(11): 3343-3353.
- [29] Peersman G, Slane J, Vuylsteke P, et al. Kinematics of mobile-bearing unicompartmental knee arthroplasty compared to native: results from an in vitro study [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2017, 137(11): 1557-1563.
- [30] Hernigou P, Deschamps G. Posterior slope of the tibial implant and the outcome of unicompartmental knee arthroplasty [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2004, 86(3): 506-511.
- [31] Nunley RM, Nam D, Johnson SR, et al. Extreme variability in posterior slope of the proximal tibia: measurements on 2395 CT scans of patients undergoing UKA [J]. *J Arthroplasty*, 2014, 29(8): 1677-1680.
- [32] Takayama K, Matsumoto T, Muratsu H, et al. The influence of posterior tibial slope changes on joint gap and range of motion in unicompartmental knee arthroplasty [J]. *Knee*, 2016, 23(3): 517-522.
- [33] Kang KT, Park JH, Koh YG, et al. Biomechanical effects of posterior tibial slope on unicompartmental knee arthroplasty using finite element analysis [J]. *Biomed Mater Eng*, 2019, 30(2): 133-144.
- [34] Sekiguchi K, Nakamura S, Kuriyama S, et al. Effect of tibial component alignment on knee kinematics and ligament tension in medial unicompartmental knee arthroplasty [J]. *Bone Joint Res*, 2019, 8(3): 126-135.
- [35] Sasatani K, Majima T, Murase K, et al. Three-dimensional finite analysis of the optimal alignment of the tibial implant in unicompartmental knee arthroplasty [J]. *J Nippon Med Sch*, 2020, 87(2): 60-65.

(收稿日期 2021-08-15 本文编辑: 朱嘉)