DOI:10.16016/j.2097-0927.202112128

3D 打印个性化截骨导板对全膝关节置换术髌骨高度和关节线位置的影响

王军锋[1],张继晓[2],王晓华[1],袁 亮[1],孙 彬[1],张 克[1],杨 滨[1] 102206 北京,北京大学国际医院骨科[1];253800 河北 衡水,故城县医院骨二科[2]

[摘要] **目的** 探讨全膝关节置换术(total knee arthroplasty,TKA)中应用 3D 打印个性化截骨工具(patient-specific instrumentation,PSI)和传统工具(conventional instrumentation,CI)对患者术后髌骨高度和关节线位置的影响。**方法** 回顾性分析 2021 年 1-10 月在北京大学国际医院行初次 TKA 手术的患者共 58 例。按术中选用的截骨工具类型,将入组患者分为 CI-TKA 组(n=22)和 PSI-TKA 组(n=36),记录并比较两组患者 TKA 手术前后 Insall-Salvati 指数、改良 Caton-Deschamps (mCD)指数和关节线相对高度的变化。**结果** 在 Insall-Salvati 指数方面,CI-TKA 组术前与术后差值的绝对值为 0.11(0.07,0.15),PSI-TKA 组术前与术后差值的绝对值为 0.06(0.03,0.12),两组在术后 Insall-Salvati 指数变化上的差异有统计学意义(P<0.05)。在 mCD 指数方面,CI-TKA 组术前与术后差值的绝对值为 0.16±0.09,PSI-TKA 组术前与术后差值的绝对值为 0.08±0.05,两组在术后 mCD 指数变化上的差异也具有统计学意义(P<0.01)。在关节线高度方面,CI-TKA 组患者术前与术后差值的绝对值为 2.53(1.64,4.40)mm,PSI-TKA 组术前与术后差值的绝对值为 2.27(1.53,5.32)mm,两组在术后关节线位置变化上的差异无统计学意义,但两组术后关节线位置均较术前明显升高(P<0.05)。**结论** 使用 3D 打印个性化截骨工具有助于减小 TKA 手术对髌骨高度的影响,但在术后关节线位置的保持上与传统工具相比无明显优势。

[关键词] 全膝关节置换术;个性化截骨导板;髌骨高度;关节线位置
[中图法分类号] R181.32; R319; R687.4 [文献标志码] A

Effect of 3D printed patient-specific cutting guide on patellar height and joint line position in total knee arthroplasty

WANG Junfeng[1], ZHANG Jixiao[2], WANG Xiaohua[1], YUAN Liang[1], SUN Bin[1], ZHANG Ke[1], YANG Bin[1]
[1]Department of Orthopedics, Peking University International Hospital, Beijing, 102206; [2]Second Department of Orthopedics, Gucheng County Hospital, Hengshui, Hebei Province, 253800, China

[**Abstract**] **Objective** To compare the effect of 3D printed patient-specific instrumentation (PSI) and conventional instrumentation (CI) on the patellar height and joint line position in total knee arthroplasty (TKA). **Methods** A retrospective case-control study was carried out on 58 patients, who underwent primary TKA in our hospital from January 2021 to October 2021. According to the osteotomy tools selected in TKA, the patients were divided into CI-TKA group and PSI-TKA group. The Insall-Salvati index, modified Caton-Deschamps (mCD) index and relative height of joint line before and after TKA were recorded and compared between the 2 groups. **Results** In terms of the Insall-Salvati index, the absolute difference between preoperative and postoperative score was 0.11 (0.07, 0.15) in the CI-TKA group, and 0.06 (0.03, 0.12)

[基金项目] 国家自然科学基金青年科学基金(81802233);北京大学国际医院院内科研基金(YN2019ZD05)
[通信作者] 杨 滨,E-mail:yangbin@pkuih.edu.cn

2097-0927/Copyright © 2022, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

in the PSI-TKA group, and statistical difference was seen in the postoperative index between the 2 groups ($P<0.05$). Similarly, the absolute difference between preoperative and postoperative mCD index was 0.16±0.09 in the CI-TKA group and 0.08±0.05 in the PSI-TKA group, and obvious difference was also seen in the postoperative difference between them ($P<0.01$). However, the absolute difference between preoperative and postoperative joint line height was 2.53 (1.64, 4.40) mm in the CI-TKA group and 2.27 (1.53, 5.32) mm in the PSI-TKA group. There was no notable difference in postoperative joint line position between the 2 groups, but the position after TKA were significantly higher in both groups than that before TKA ($P<0.05$). **Conclusion** The use of 3D printed PSI can help reduce the impact of TKA on the patella height, but there is no obvious advantage in maintaining the joint line position compared with conventional instrumentation.

[**Key words**] total knee arthroplasty; patient-specific instrumentation; patellar height; joint line position

Supported by the National Natural Science Foundation for Young Scholars of China (81802233) and the Scientific Research Fund of Peking University International Hospital (YN2019ZD05). Corresponding author: YANG Bin, E-mail: yangbin@pkuih.edu.cn

全膝关节置换术(total knee arthroplasty,TKA)是最常见、最具成本效益的骨科手术,临床应用已超过40年,大多数患者在TKA术后有良好的临床疗效和长期假体存活率,但仍有超过20%的患者对手术结果不满意[1]。影响TKA术后效果和假体存活率的因素很多,包括人口统计学因素、手术因素和医疗卫生条件等,其中TKA术后膝关节三维力线异常是引起术后效果不满意、假体存活率下降的重要手术因素[2]。在传统TKA术中,术者常会参考患者术前负重位下肢X线,使用传统股骨和胫骨截骨工具进行截骨,这种依赖于术者经验的截骨方式,不仅学习曲线长,还可能会影响截骨的精确性,特别是在患者下肢力线或局部解剖存在变异时[3]。

基于计算机断层扫描(CT)数据的3D打印个性化截骨工具(patient-specific instrumentation,PSI)是传统TKA截骨工具的创新方案,有助于根据患者术前股骨和胫骨的解剖特点进行个体化评价和设计,以适应患者特殊的解剖形态和变异,增加截骨精度。多项研究表明,相对于传统工具,3D打印PSI截骨导板可以提高TKA术后下肢力线的优良率,提高假体植入型号和位置的精确性[4-6]。但这一结论目前尚存在争议[7]。

髌骨是膝关节伸膝装置的重要组成部分,通过增加伸膝装置的力臂来提高股四头肌的效率[8]。TKA术中,可能会由于股骨远端截骨量异常、软组织松解过度、髌骨聚乙烯组件放置位置异常、髌下脂肪垫过度切除等[9-10],改变患者原始关节线位置、髌骨在股骨滑车中的相对位置、髌骨与胫骨间的相对距离,最终改变髌骨的相对或绝对高度,导致髌骨撞击等异常,引起TKA术后膝前痛、髌骨不稳、髌骨弹响、关节僵硬、伸膝无力等并发症的发生[11-12]。因此,如何尽可能地减小TKA术后髌骨高度和关节线位置的变异,对于获得更好的术后满意度和延长假体存活率至关重要。然而,目前3D打印PSI截骨导板对TKA术后髌骨高度和关节线位置的影响尚不清楚。

本研究回顾性分析TKA患者手术前后髌骨高度和关节线位置的相关参数,比较PSI截骨导板与传统截骨工具上述参数在手术前后的变异度,试图从影像学角度来比较和分析3D打印PSI截骨导板对TKA术后髌骨高度和关节线位置的影响,旨在为3D打印PSI截骨导板在TKA中的应用价值提供临床研究数据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性分析2021年1-10月符合纳入和排除标准,在北京大学国际医院行初次TKA手术的患者共58例。本研究通过北京大学国际医院伦理委员会批准[2020-036(BMR)],入组患者均签署知情同意书。

纳入标准:①原发性膝关节炎行初次TKA术;②TKA手术前后X线图像质量合格。排除标准:①有膝关节骨折史、髌骨不稳史;②有膝关节截骨手术史;③膝关节存在严重屈曲挛缩畸形(>30°);④因任何原因未签署知情同意书。

1.2 手术方法

入组患者均由同一团队进行手术,麻醉方式为椎管内或全身麻醉,TKA手术采用髌旁内侧入路,术中不翻转髌骨,最小化切除髌下脂肪垫,不进行髌骨置

换,但术中常规去除髌骨骨赘,修整髌骨关节面,并进行髌骨周围去神经化。术后镇痛方案均为鸡尾酒关节周围注射联合股神经阻滞镇痛泵,术后康复训练由同一康复团队完成。

本研究 TKA 术中使用的截骨工具,分别为传统工具(conventional instrumentation,CI)和 3D 打印的 PSI 截骨导板,根据术中选用的截骨工具类型,将入组患者分为 CI-TKA 组和 PSI-TKA 组,CI-TKA 组使用 G2 后稳定型假体(美国施乐辉公司),PSI-TKA 组使用 A3 后稳定型假体(北京爱康宜诚公司)。

CI-TKA 组首先采用股骨髓内定位和胫骨髓外定位方法,分别进行股骨远端和胫骨近端截骨。然后使用测量截骨法进行股骨前后髁和斜面截骨。术前设计时,截骨导板参考股骨后髁连线默认为外旋 3°,同时参考通髁线和 Whiteside 线,以及术前对于屈曲间隙软组织平衡的查体情况,必要时适当调整外旋角度。术中操作时,根据患者软组织平衡情况,最终确定股骨假体的外旋角度。截骨完成后安放试模,根据屈伸间隙及内外侧平衡情况,进行相应的软组织松解。

PSI-TKA 组使用 3D 打印截骨导板进行术中截骨。术前行患侧下肢三维 CT 薄层扫描(德国 Siemens 公司),扫描要求:扫描层厚≤1 mm;平卧位;保持膝关节尽量伸直;扫描范围从股骨头至踝关节。CT 数据以 DICOM 格式保存,导入 Mimics 软件(比利时 Materialise 公司)进行建模,重建股骨远端、胫骨近端和下肢力线。重建后的数据以 STL 格式导入 UG 三维设计软件进行术前规划:股骨远端和胫骨近端截骨导板的截骨面,设计为与下肢机械轴力线垂直,股骨四合一截骨导板的冠状截骨面设计为与股骨通髁线平行。术前规划完成后进行模拟截骨和假体的虚拟置入,模拟过程中根据患者个体化解剖特点及病理改变进行医工交互,反复调整截骨量、假体型号和假体位置等参数,确定最终设计方案。使用德国 EOS P110 工业级 3D 打印机,根据术前最终设计方案制作术中 PSI 截骨导板。TKA 术前 PSI 截骨导板的设计及术中使用参见本课题组孙彬等[13]的方法。TKA 术中,使用刮勺去除截骨导板定位点处的软骨组织,使截骨导板紧贴于软骨下骨,在 PSI 截骨导板指导下进行股骨远端、胫骨近端、股骨前后髁和斜面截骨。截骨完成后根据屈伸间隙及内外侧平衡情况,进行必要的软组织松解。

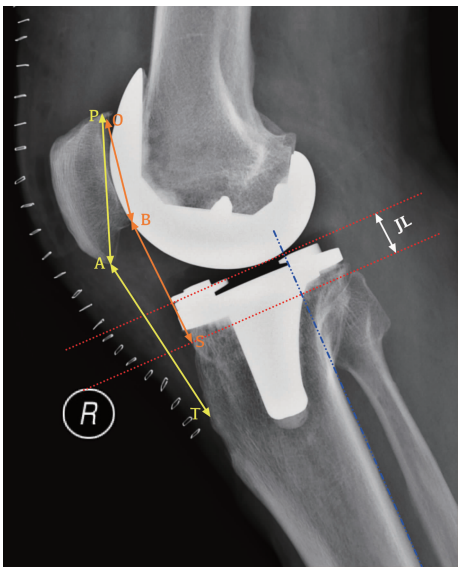
1.3 临床和影像学评估

收集入组患者的一般资料,包括性别、年龄、体质指数(BMI)和手术侧别。

收集患者术前美国膝关节协会评分(Knee Society score,KSS)[14]和西安大略和麦克马斯特大学骨关节炎指数(Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index,WOMAC)评分[15],并记录患者术前患侧膝关节活动度(range of motion,ROM)。

患者术前均进行患侧下肢 CT 扫描及下肢负重全长正侧位、膝关节正位、30°侧位、髌骨 30°轴位 X 线检查。术后均进行膝关节正位、30°侧位 X 线检查,X 线检查按标准程序进行,侧位片使股骨内外髁重叠以确保股骨正确的旋转角度。

TKA 手术前后影像学参数评估使用 Insall-Salvati 指数[16]和改良 Caton-Deschamps (mCD)指数[17]来评估髌骨高度;使用股骨外髁最低点至腓骨头顶点的垂直距离来评估关节线位置[18]。其中,Insall-Salvati 指数是髌腱长度与髌骨对角线长度的比值;mCD 指数的测量方式是首先在膝关节负重 30°侧位 X 线片上做出胫骨后皮质的连线,从腓骨头顶点向该线做垂线,与胫骨前皮质形成交点,该交点至髌骨关节面远点的距离与髌骨关节面长度的比值即为 mCD 指数。详细测量方法见图 1。上述影像学测量均由非术者团队的同一位骨科医师进行测量。



JL:关节线高度,股骨外髁最低点至腓骨头顶点的垂直距离;Insall-Salvati 指数:髌腱长度(AT)与髌骨对角线长度(AP)的比值;改良 Caton-Deschamps (mCD)指数:首先在膝关节负重 30°侧位 X 线片上做出胫骨后皮质的连线,从腓骨头顶点向该线做垂线,与胫骨前皮质形成交点,该交点至髌骨关节面远点的距离(BS)与髌骨关节面长度(BO)的比值

图 1 髌骨高度和关节线高度的测量

1.4 统计学分析

采用 GraphPad Prism 9 软件作图并进行统计分析。所有连续性变量首先进行 Shapiro-Wilk 正态性检验,正态分布的连续性变量以 $\bar{x}\pm s$ 表示,组间比较采用独立样本 t 检验或配对样本 t 检验;非正态分布的连续性变量以中位数 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。分类变量组间对比采用 Fisher 精确检验。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者临床和影像学特征

本研究共入组患者 58 例,其中 CI-TKA 组 22 例(37.9%),PSI-TKA 组 36 例(62.1%);女性 52 例(89.7%),男性 6 例(10.3%);左侧 25 例(43.1%),右侧 33 例(56.9%);患者平均年龄为 68(50~79)岁,平均 BMI 为 26.9(18.0~34.2)kg/m^2。表 1 为两组患者的人口统计学特征、术前 ROM、术前 KSS 评分、术前 WOMAC 评分、术前 Insall-Salvati 指数、术前 mCD 指数和术前关节线高度,两组患者在各指标上的差异均无统计学意义,具有可比性。

2.2 TKA 术后髌骨高度的变化

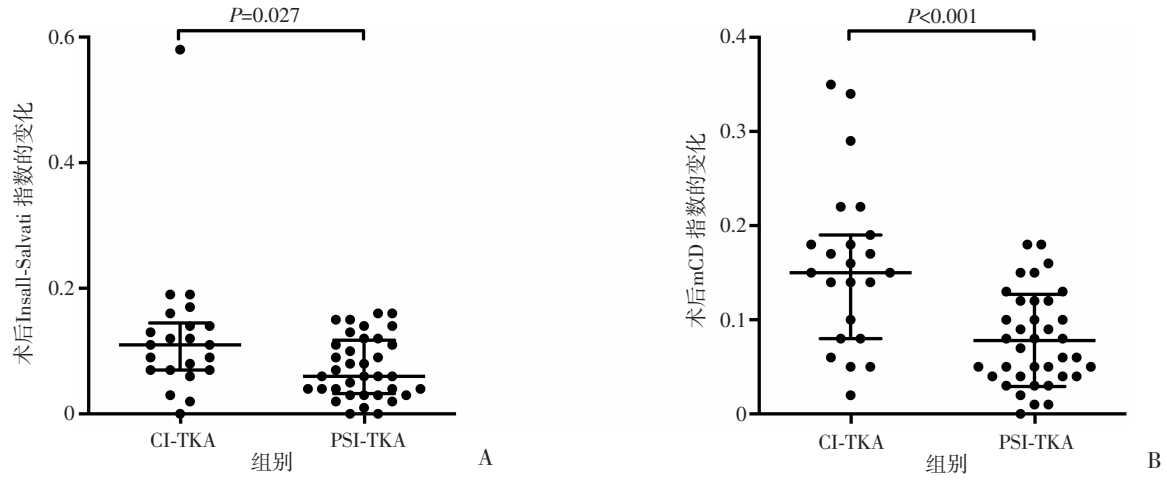
CI-TKA 组患者术前与术后 Insall-Salvati 指数差值的绝对值为 0.11(0.07,0.15),PSI-TKA 组患者术前与术后 Insall-Salvati 指数差值的绝对值为 0.06(0.03,0.12),两组患者在术后 Insall-Salvati 指数变化上的差异有统计学意义($P=0.027$),PSI-TKA 组术后 Insall-Salvati 指数的变化较小(图 2A)。CI-TKA 组患者术前与术后 mCD 指数差值的绝对值为 0.16±0.09,PSI-TKA 组患者术前与术后 mCD 指数差值的绝对值为 0.08±0.05,两组患者在术后 mCD 指数变化上的差异有统计学意义($P<0.01$),PSI-TKA 组术后 mCD 指数的变化同样较小(图 2B)。

2.3 TKA 术后关节线位置的变化

CI-TKA 组患者术前与术后关节线高度差值的绝对值为 2.53(1.64,4.40)mm,PSI-TKA 组患者术前与术后关节线高度差值的绝对值为 2.27(1.53,5.32)mm,两组患者在术后关节线位置变化上的差异无统计学意义(图 3A)。但两组患者 TKA 术后关节线位置较术前均明显升高,组内配对比较差异均有统计学意义($P<0.05$,图 3B)。

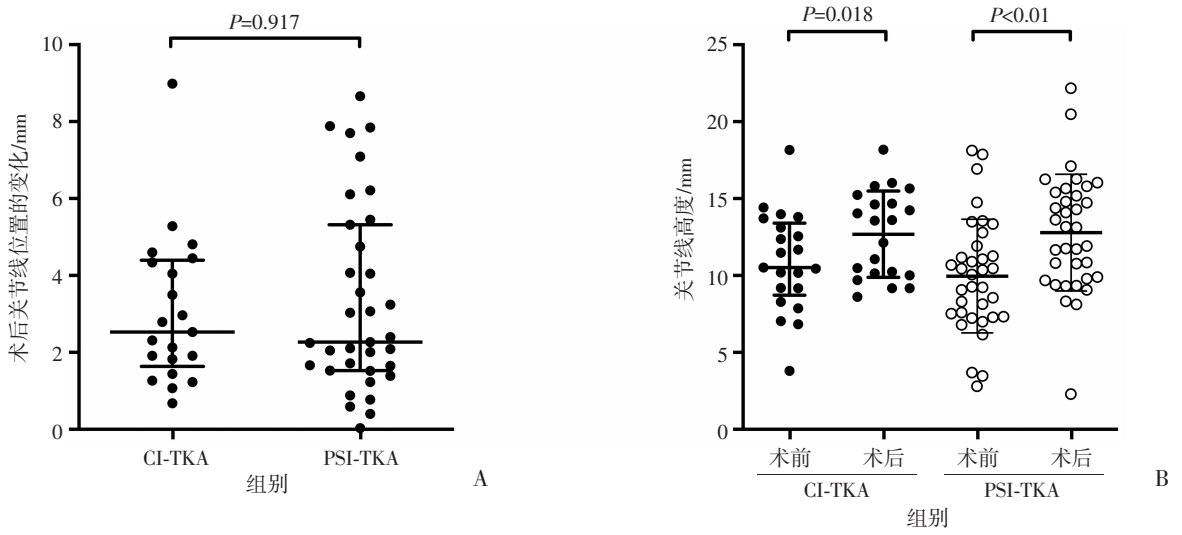
表 1 两组患者术前临床及影像学资料($\bar{x}\pm s$,例)

参数	CI-TKA 组($n=22$)	PSI-TKA 组($n=36$)	P 值
年龄/岁	67.0±7.7	68.8±5.0	0.276
性别(男/女)	2/20	4/32	0.999
侧别(左/右)	9/13	16/20	0.999
BMI/kg·m^{-2}	27.8±4.4	26.4±3.8	0.228
术前 ROM(°)	94.9±28.0	96.3±22.1	0.840
术前 KSS 评分	38.6±17.1	45.3±18.0	0.165
术前 WOMAC 评分	47.7±20.2	46.4±18.3	0.780
术前 Insall-Salvati 指数	1.1±0.1	1.1±0.1	0.983
术前 mCD 指数	1.4±0.1	1.3±0.1	0.413
术前关节线高度/mm	10.9±3.2	10.0±3.7	0.341



A:Insall-Salvati 指数的变化;B:mCD 指数的变化

图 2 TKA 术后髌骨高度的变化



A:关节线位置的变化;B:TKA 手术前后关节线高度的组内比较

图 3 TKA 术后关节线位置的变化

3 讨论

既往大量研究证明,关节线位置和髌骨高度的维持在 TKA 中至关重要,其位置的改变会造成髌骨轨迹异常,出现一系列 TKA 术后髌股关节相关症状,甚至会影响 TKA 术后膝关节的活动度、伸膝装置力量等,严重时不得不进行膝关节翻修手术[19-22]。

TKA 术中,引起髌骨高度和关节线异常的因素很多。其中与 TKA 术中操作不精准或失误相关的因素包括:①髌股关节过度填充而引起的髌骨高度升高[23],通常是由于髌骨置换时髌骨截骨量小,放置髌骨假体后引起髌骨增厚;或者应用后参考测量截骨法进行股骨前后髁截骨时,为了防止股骨前方皮质切迹(Notching),人为增大股骨假体型号,使股骨假体前髁厚度大于股骨前髁截骨量。②髌股关节填充不足而引起的髌骨高度降低[24],通常是由于髌骨置换时髌骨截骨量小于髌骨假体厚度;或是由于股骨前髁截骨时出现股骨 Notching;或是间隙平衡法截骨时,为了平衡屈伸间隙,因股骨远端截骨不足而增大股骨后髁偏心距[18]。③股骨远端截骨量增大,使关节线抬高,会引起髌骨高度的相对降低[25-27]。因此,为了更精准地恢复 TKA 术后髌骨高度和关节线位置,TKA 术中确保截骨的精准性,减小假体型号选择和放置的失误非常重要。

相对于传统截骨工具,参考患者下肢 CT 数据重建的精确影像学结果,使用 3D 打印制作的 PSI 截骨导板进行术中截骨,理论上有助于减少术中操作失误,更好地恢复患者术前的生物力学特点。PSI 截骨导板的上述优势已经被多项研究证实[4-6]。PSI 截骨导板是否因其在 TKA 截骨精准性方面的优势而有助于减小 TKA 术后髌骨高度和关节线位置的改变,目前尚无相关研究,这也是本研究所关注的问题。

多种影像学方法可以用来测量髌骨高度和关节线位置的变化。本研究选取了 Insall-Salvati 指数和 mCD 指数来测量 TKA 手术前后的髌骨高度,以减小胫骨关节线的抬高对髌骨高度的影响[16-17]。对于关节线位置的测量,本研究选取相对固定的腓骨头顶点作为解剖标志[18],通过 TKA 手术前后的配对比较来消除腓骨头个体间的解剖位置变异。

本研究通过收集和测量 CI-TKA 和 PSI-TKA 患者的临床数据和影像学资料,首先比较了两组患者术前的相关数据,发现两组患者术前各项指标间差异无统计学意义,证明两组间 TKA 术后相关变化的可比性。接着比较了两组患者术后相对于术前 Insall-Salvati 指数和 mCD 指数的变化,发现 PSI 截骨导板较传统术式,在 TKA 术后 Insall-Salvati 指数和 mCD 指数的变化上较小,与术前患者原始的髌骨高度变异相对较低,这显现出了 PSI 截骨导板具有降低 TKA 术后髌骨高度改变的优势,有助于 TKA 术后髌骨高度的维持。既往研究发现,TKA 术后约 81.7%的患者存在髌骨高度降低,但普遍认为轻度的髌骨高度降低(低于 15%)并不

会显著影响 TKA 术后的关节功能和假体生存率[28]。从本研究得出的数据来看,无论是使用 PSI 截骨导板,还是使用传统截骨工具,患者术后髌骨参数均有减小的趋势,这一结果与既往相关研究相似。

如前所述,影响 TKA 术后髌骨高度的因素很多,为了明确是否是由于 PSI 截骨导板减小 TKA 术后关节线位置改变而表现出上述优势,本研究进一步分析了两组患者术后关节线位置较术前变化间是否存在差异,结果发现两组患者在术后关节线位置变化上的差异无统计学意义。因此我们认为,PSI 截骨导板在减小 TKA 术后髌骨高度变异性上的优势,并不是通过减小术后关节线位置变化所产生。结合既往研究,上述优势可能更多地来源于更精准的股骨假体型号选择和股骨假体安放位置,这与 PSI 截骨导板设计时参考更精确的下肢 CT 重建数据密不可分。TKA 术中股骨假体旋转对线、股骨假体的屈曲角度和股骨后髁偏心距的确定,以及避免股骨 Notching 的同时又不引起髌骨的过度填充,正是 TKA 手术的难点和容易出现偏差的操作,特别是当患者术前存在股骨侧关节外严重畸形的情况下,即使是经验丰富的关节外科医师在进行上述操作时也可能会出现偏差或失误。而基于患者术前下肢 CT 重建数据的 3D 打印 PSI 截骨导板,可以在术前通过软件反复设计和模拟术中假体大小和放置位置,确定最佳方案,不仅使假体大小和位置的选择更佳,同时可缩短 TKA 术中因反复调整而浪费的手术时间,而且也如本研究结果显示,有助于减小因股骨假体位置异常所引起的髌骨高度变异。

此外,TKA 术后,随着时间的推移,髌腱血供受到影响、髌下脂肪垫切除等术中操作造成的术后瘢痕,也存在动态性影响髌骨高度的可能。但既往研究表明,在 TKA 术后 1 周和 1 年随访时,髌骨高度的测量参数间并未出现显著差异[29],提示术后髌腱血供、瘢痕等对髌骨高度的影响较小,TKA 术后应更重视股骨和胫骨假体位置的精确性,以减小 TKA 手术对髌骨高度的影响。

在对两组术后关节线位置变化的比较时,本研究还发现两组患者 TKA 术后关节线位置较术前均明显升高,组内配对比较两组内差异均有统计学意义,这与既往研究一致[30-31]。TKA 术后关节线位置升高,通常是由于股骨远端截骨量较大、胫骨近端截骨量较小、软组织过度松解引起,为保持术后膝关节稳定性而加厚垫片[9]。因此,本研究中两组患者 TKA 术后关节线较术前抬高的原因,还需要进一步研究分析。

本研究存在一些局限性。首先,两组患者使用的是两种不同品牌的假体,在假体设计、术中操作等方面存在一定差异,可能会对结果产生一定干扰,但本研究两组患者影像学参数的比较均是先进行配对下的个体内相减,取个体内手术前后的差异再进行相关统计分析,一定程度上消除了假体设计、患者解剖变异等方面的干扰。其次,本研究相对样本量较小,虽然得到了差异显著性的统计结果,但未来仍需要更大样本的验证。最后,本研究主要关注 PSI 截骨导板对患者髌骨高度和关节线位置的影像学影响,没有进一步分析其是否会对患者术后临床效果和假体生存时间产生有益作用,这需要未来长时间的随访观察。

综上所述,与传统工具相比,PSI 截骨导板对于降低 TKA 术后髌骨高度的变化具有一定优势,但这一优势并不是通过减小术后关节线位置的变化所产生,而可能更多地源自于 PSI 截骨导板能提高股骨侧假体型号和位置选择的精准性。对于是否因此而提高 TKA 术后的临床效果和假体存活率,还需要大样本长时间随访的研究来进一步验证。

利益冲突声明 本文所有作者与术中使用的关节假体厂家不存在任何利益关系

参考文献:

[1] PRICE A J, ALVAND A, TROELSEN A, *et al*. Knee replacement[J]. Lancet, 2018, 392(10158): 1672-1682. DOI:10.1016/S0140-6736(18)32344-4.

[2] JASPER L L, JONES C A, MOLLINS J, *et al*. Risk factors for revision of total knee arthroplasty: a scoping review[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2016, 17: 182. DOI:10.1186/s12891-016-1025-8.

[3] STULBERG S D. How accurate is current TKR instrumentation? [J]. Clin Orthop Relat Res, 2003(416): 177-184. DOI:10.1097/01.blo.0000093029.56370.0f.

[4] PAUZENBERGER L, MUNZ M, BRANDL G, *et al*. Patient-specific instrumentation improved three-dimensional accuracy in total knee arthroplasty: a comparative radiographic analysis of 1 257 total knee arthroplasties[J]. J Orthop Surg Res, 2019, 14(1): 437. DOI:10.1186/s13018-019-1465-6.

[5] VAISHYA R, VIJAY V, BIRLA V P, *et al*. Computerized

tomography based "patient specific blocks" improve postoperative mechanical alignment in primary total knee arthroplasty[J]. World J Orthop, 2016, 7(7): 426-433. DOI:10.5312/wjo.v7.i7.426.

[6] MANNAN A, SMITH T O. Favourable rotational alignment outcomes in PSI knee arthroplasty: a Level 1 systematic review and meta-analysis[J]. Knee, 2016, 23(2): 186-190. DOI:10.1016/j.knee.2015.08.006.

[7] RANDELLI P S, MENON A, PASQUALOTTO S, *et al*. Patient-specific instrumentation does not affect rotational alignment of the femoral component and perioperative blood loss in total knee arthroplasty: a prospective, randomized, controlled trial[J]. J Arthroplasty, 2019, 34(7): 1374-1381.e1. DOI:10.1016/j.arth.2019.03.018.

[8] KREVOLIN J L, PANDY M G, PEARCE J C. Moment arm of the patellar tendon in the human knee[J]. J Biomech, 2004, 37(5): 785-788. DOI:10.1016/j.jbiomech.2003.09.010.

[9] KAZEMI S M, DAFTARI BESHELI L, EAJAZI A, *et al*. Pseudo-Patella Baja after total knee arthroplasty[J]. Med Sci Monit, 2011, 17(5): CR292-CR296. DOI:10.12659/msm.881770.

[10] GROMOV K, KORCHI M, THOMSEN M G, *et al*. What is the optimal alignment of the tibial and femoral components in knee arthroplasty?[J]. Acta Orthop, 2014, 85(5): 480-487. DOI:10.3109/17453674.2014.940573.

[11] FOX A J, WANIVENHAUS F, RODEO S A. The basic science of the Patella: structure, composition, and function[J]. J Knee Surg, 2012, 25(2): 127-141. DOI:10.1055/s-0032-1313741.

[12] KÖNIG C, SHARENKOV A, MATZIOLIS G, *et al*. Joint line elevation in revision TKA leads to increased patellofemoral contact forces[J]. J Orthop Res, 2010, 28(1): 1-5. DOI:10.1002/jor.20952.

[13] 孙彬,张继晓,袁亮,等.改良3D打印个体化导向器辅助全膝关节置换术的假体型号与术前规划一致性分析[J].陆军军医大学学报,2022,44(15):1523-1530. DOI:10.16016/j.2097-0927.202202034.
SUN B, ZHANG J X, YUAN L, *et al*. Planned prosthesis size in modified 3D printed patient-specific instrumentation-assisted total knee arthroplasty: analysis of consistency with intraoperative size[J]. J Army Med Univ, 2022,44(15): 1523-1530. DOI:10.16016/j.2097-0927.202202034.

[14] INSALL J N, DORR L D, SCOTT R D, *et al*. Rationale of the Knee Society clinical rating system[J]. Clin Orthop Relat Res, 1989(248): 13-14.

[15] BELLAMY N, BUCHANAN W W, GOLDSMITH C H, *et al*. Validation study of WOMAC: a health status instrument for measuring clinically important patient relevant outcomes to antirheumatic drug therapy in patients with osteoarthritis of the hip or knee[J]. J Rheumatol, 1988, 15(12): 1833-1840.

[16] INSALL J, SALVATI E. Patella position in the normal knee joint[J]. Radiology, 1971, 101(1): 101-104. DOI:10.1148/101.1.101.

[17] CATON J H, PRUDHON J L, ASLANIAN T, *et al*. Patellar height assessment in total knee arthroplasty: a new method[J]. Int Orthop, 2016, 40(12): 2527-2531. DOI:10.1007/s00264-016-3256-6.

[18] FIGGIE H E 3rd, GOLDBERG V M, HEIPLE K G, *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.

[19] BEHREND H, GRAULICH T, GERLACH R, *et al*. Blackburne-Peel ratio predicts patients' outcomes after total knee arthroplasty[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2019, 27(5): 1562-1569. DOI:10.1007/s00167-018-5016-1.

[20] VAN LIESHOUT W A M, VALKERING K P, KOENRAADT K L M, *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.

[21] YOSHII I, WHITESIDE L A, WHITE S E, *et al*. Influence of prosthetic joint line position on knee kinematics and patellar position[J]. J Arthroplasty, 1991, 6(2): 169-177. DOI:10.1016/s0883-5403(11)80013-6.

[22] MATSUDA S, MIURA H, NAGAMINE R, *et al*. Effect of femoral and tibial component position on patellar tracking following total knee arthroplasty: 10-year follow-up of Miller-Galante I knees[J]. Am J Knee Surg, 2001, 14(3): 152-156.

[23] MATZ J, LANTING B A, HOWARD J L. Understanding the patellofemoral joint in total knee arthroplasty[J]. Can J Surg, 2019, 62(1): 57-65. DOI:10.1503/cjs.001617.

[24] LESH M L, SCHNEIDER D J, DEOL G, *et al*. The consequences of anterior femoral notching in total knee

arthroplasty. A biomechanical study[J]. J Bone Joint Surg Am, 2000, 82(8): 1096-1101. DOI:10.2106/00004623-200008000-00005.

[25] IACONO F, LO PRESTI M, BRUNI D, *et al*. The adductor tubercle: a reliable landmark for analysing the level of the femorotibial joint line[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2013, 21(12): 2725-2729. DOI: 10.1007/s00167-012-2113-4.

[26] SATO T, KOGA Y, SOBUE T, *et al*. Quantitative 3-dimensional analysis of preoperative and postoperative joint lines in total knee arthroplasty: a new concept for evaluation of component alignment[J]. J Arthroplasty, 2007, 22(4): 560-568. DOI:10.1016/j.arth.2006.06.020.

[27] CHONKO D J, LOMBARDI A V Jr, BEREND K R. Patella Baja and total knee arthroplasty (TKA): etiology, diagnosis, and management[J]. Surg Technol Int, 2004, 12: 231-238.

[28] PRUDHON J L, CATON J H, ASLANIAN T, *et al*. How is Patella height modified after total knee arthroplasty?[J]. Int Orthop, 2018, 42(2): 311-316. DOI: 10.1007/s00264-017-3539-6.

[29] JAWHAR A, SOHONI S, SHAH V, *et al*. Alteration of the patellar height following total knee arthroplasty[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2014, 134(1): 91-97. DOI: 10.1007/s00402-013-1896-1.

[30] SELVARAJAH E, HOOPER G. Restoration of the joint line in total knee arthroplasty[J]. J Arthroplasty, 2009, 24(7): 1099-1102. DOI:10.1016/j.arth.2008.06.030.

[31] BABAZADEH S, DOWSEY M M, SWAN J D, *et al*. Joint line position correlates with function after primary total knee replacement: a randomised controlled trial comparing conventional and computer-assisted surgery[J]. J Bone Joint Surg Br, 2011, 93(9): 1223-1231. DOI:10.1302/0301-620X.93B9.26950.

(**收稿**:2021-12-15;**修回**:2022-04-24)

(编辑 张 维)