

· 临床研究 ·

全膝关节置换术前 CT 与 X 线影像规划的比较[△]

王晓华, 袁亮, 孙彬, 张克, 杨滨*

(北京大学国际医院, 北京 102206)

摘要: [目的] 探讨下肢全长 CT 和膝关节 CT 联合下肢全长负重位正位 X 线片的全膝关节置换术前三维规划的差异。[方法] 回顾性分析 2021 年 10 月—2022 年 6 月本院收治的 20 例膝关节骨关节炎患者的临床资料, 每例患者分别采用下肢全长 CT、膝关节 CT 联合下肢全长负重位正位 X 线片进行术前三维规划, 比较两种测量方法与实际值的差异及两种影像规划与实际假体尺寸差异。[结果] 两种测量方法术前规划的股骨外翻角、股骨前髁截骨量、股骨远端内侧截骨量、股骨后髁内侧截骨量、股骨后髁外侧截骨量差异均无统计学意义 ($P>0.05$), CT 测量的胫骨平台内侧截骨量 [(4.1±1.3) mm vs (3.7±1.3) mm, $P=0.007$] 显著大于 X 线测量。两种测量方法术前规划的股骨假体型号完全一致 13 例 (65.0%), 不一致 7 例 (35.0%); 胫骨假体型号完全一致 8 例 (40.0%), 不一致 12 例 (60.0%)。[结论] 基于两种影像的全膝关节置换术前三维规划中, 股骨规划结果近似, 胫骨规划参数存在差异。

关键词: 全膝关节置换, 术前规划, 3D 打印个性化导板

中图分类号: R687.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2025) 01-0085-04

Comparison of CT and X-ray image planning before total knee arthroplasty // WANG Xiao-hua, YUAN Liang, SUN Bin, ZHANG Ke, YANG Bin. Peking University International Hospital, Beijing 102206, China

Abstract: [Objective] To compare the three-dimensional planning before total knee arthroplasty with full-length CT versus knee joint CT combined with full-length weight-bearing X ray. [Methods] Clinical data of 20 patients with knee osteoarthritis admitted to our hospital from October 2021 to June 2022 were retrospectively analyzed. For each patient, preoperative three-dimensional planning was performed by full-length lower extremity CT, and knee joint CT combined with full-length weight-bearing X ray. The difference between the two measurement methods and the actual value and the difference between the two image planning and the actual prosthesis size were compared. [Results] There were no statistically significant differences in femoral eversion angle, cutting amounts of anterior condyle, distal medial bone, medial posterior condyle and lateral posterior condyle between the two methods ($P>0.05$). The bone cutting amount of medial tibial plateau measured by CT was significantly greater than that measured by X-ray [(4.1±1.3) mm vs (3.7±1.3) mm, $P<0.05$]. The femoral component size planned by the two methods was completely consistent in 13 cases (65.0%), while inconsistent in 7 cases (35.0%). There were 8 cases (40.0%) with identical tibia component and 12 cases (60.0%) with inconsistent tibia component. [Conclusion] Comparing the two image techniques used for the three dimensional planning of total knee arthroplasty, the planning parameters are similar in the femur, while different in the tibia.

Key words: total knee arthroplasty, preoperative planning, 3D printed personalized guide

人工膝关节置换术 (total knee arthroplasty, TKA) 是治疗终末期膝关节疾病的有效手段^[1]。假体的对线不良是 TKA 失败的常见原因^[2]。为了提高手术精度, 近年来三维规划的机器人辅助技术和 3D 打印个性化导板 (patient-specific instruments, PSI) 被引入到 TKA 手术中^[3-5]。目前主流的术前三维规划影像数据是下肢全长 CT^[5, 6]。但是这类数据存在设备

要求高、额外费用、放射线暴露和预约时间长等弊端。为弥补这些缺陷, 有学者采用“膝关节 CT+下肢全长负重正位 X 线片”进行术前三维规划^[7], 然而这种方法构建的下肢模型仿真度低, 可能会降低术前三维规划的准确度。因此, 为明确二者精度差异, 本研究对 20 例患者分别采用“下肢全长 CT”和“膝关节 CT+下肢全长负重位正位 X 线片”进行 TKA 术前

DOI:10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.100871

△基金项目:北京大学国际医院内科研基金项目(编号:YN2019ZD05)

作者简介:王晓华, 主治医师, 研究方向:关节外科, (电子信箱)wangxiaohua@pkuih.edu.cn

* 通信作者:杨滨, (电子信箱)yangbin@pkuih.edu.cn

三维规划，现报道如下。

1 临床资料

1.1 一般资料

回顾性分析 2021 年 10 月—2022 年 6 月本院收治的 20 例（20 膝）膝关节骨关节炎患者的临床资料，患者均为内翻膝，PSI 辅助初次 TKA，下肢全长 CT、下肢全长负重位正位 X 线片等影像资料完整，既往无下肢手术史。其中男 5 例、女 15 例；年龄 63~86 岁，平均 (71.1 ± 5.8) 岁；体质量指数 22.0~32.4 kg/m²，平均 (26.6 ± 2.9) kg/m²；左侧 9 例，右侧 11 例，HKA 角 (168.5 ± 5.2) °。本研究经医院伦理委员会审批，所有患者术前均签署手术知情同意书。

1.2 检查方法

患者术前行下肢全长三维 CT 薄层扫描（Siemens，德国，SOMATOM Definition AS）和下肢全长负重位正位 X 线扫描（Siemens，德国，Ysio）。三维 CT 扫描采用平卧位，下肢尽量伸直，范围为股骨头中心至踝关节中心，层厚 0.6 mm。下肢全长负重位正位 X 线片拍摄采用站立位，范围为股骨头上方至踝关节下方（自动拼接），投照角度为人体冠状位平行于探测器进行前后位投照。

1.3 规划和手术方法

均使用北京爱康宜诚公司的 A3 假体系统，初始术前规划均由专门负责此工作的一组工程师设计完成。病例资料对工程师设盲。将下肢全长 CT 数据进行分割，提取膝关节局部影像数据，分别将每例患者的下肢全长 CT 数据、膝关节 CT 联合下肢全长负重位正位 X 线片数据打包，共 40 例数据包。工程师将患者影像数据导入到 MIMICS 软件（Materialise Nv 公司，比利时）进行三维重建，建立患者的下肢骨骼三维模型。重建后的三维模型数据以 STL 格式导入 UG

软件（Siemens PLM Software 公司，美国），工程师在下肢骨骼三维图像上确定出股骨头中心、膝关节股骨远端中心、通髁线、膝关节胫骨近端中心、胫骨 Akagi 线、踝关节中心，依据以上的解剖标志点分别确定股骨力线、股骨旋转轴线、胫骨力线、胫骨旋转轴线，按照等量截骨法模拟手术，确定手术的截骨量、假体方位、假体大小。

所有患者手术均采用髌旁内侧入路，去除导板附着区域的软组织和软骨。将股骨导板依据术前规划贴附并固定，行股骨远端切骨，然后使用股骨髁金属截骨板行股骨多平面截骨。将胫骨导板依据术前规划贴附并固定，行胫骨近端切骨。截骨后切除残存半月板，清理骨赘，进行必要的软组织松解，安装试模，测量下肢力线和旋转对线情况。取出试模，冲洗创面，安装假体及衬垫，放置引流后逐层关闭切口。术后即刻采用游标卡尺测量截骨片厚度。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 25.0 软件对数据进行统计分析。计量数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示，资料呈正态分布时，两组间比较采用配对 *T* 检验；资料呈非正态分布时，采用秩和检验。等级资料两组比较采用 *Mann-whitney U* 检验。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两种测量方法与实际值比较

患者均顺利完成手术，无神经、血管损伤等并发症，其中 1 例术后未测量截骨片厚度。两种影像测量结果见表 1，两种测量方法 PSI 术前规划的股骨外翻角、股骨前髁截骨量、股骨远端内侧截骨量、股骨后髁内侧截骨量、股骨后髁外侧截骨量差异均无统计学意义 (*P*>0.05)，CT 测量的胫骨平台内侧截骨量显著大于 X 线测量 (*P*<0.05)。

表 1. 20 例患者两种测量方法测量结果比较

Table 1. Comparison of pedicle measurements between the spondylolisthesis and stenosis

指标	CT 测量	X 线测量	术中实测值	<i>P</i> 值
股骨外翻角 (°, $\bar{x} \pm s$)	6.4±0.7	6.2±0.6	-	0.075
股骨前髁截骨量 (mm, $\bar{x} \pm s$)	10.6±3.1	10.6±2.7	10.6±3.1	0.824
股骨远端内侧截骨量 (mm, $\bar{x} \pm s$)	10.2±2.5	10.6±2.3	9.5±2.1	0.142
股骨后髁内侧截骨量 (mm, $\bar{x} \pm s$)	12.0±1.4	11.5±0.9	11.5±1.8	0.056
股骨后髁外侧截骨量 (mm, $\bar{x} \pm s$)	9.6±1.4	9.1±0.9	9.6±1.6	0.050
胫骨内侧截骨量 (mm, $\bar{x} \pm s$)	4.1±1.3	3.7±1.3	5.6±1.6	0.007

备注：*P* 值为检验的 CT 和 X 线数据统计结果。

2.2 两种影像规划与实际假体尺寸差异

两种测量方法 PSI 术前规划的股骨假体型号完全一致 13 例 (65.0%)，不一致 7 例 (35.0%)，其中差距半号 5 例 (25.0%)，差距 1 号 2 例 (10.0%)。CT 测量和实际股骨假体型号完全一致 15 例 (75.0%)，不一致 5 例 (25.0%)，其中差距半号 4 例 (20.0%)，差距 1 号 1 例 (5.0%)。X 线测量和实际股骨假体型号完全一致 9 例 (45.0%)，不一致 11 例 (55.0%)，其中差距半号 8 例 (40.0%)，差距 1 号 2 例 (10.0%)，差距 1.5 号 1 例 (5.0%)。

两种测量方法术前规划的胫骨假体型号完全一致 8 例 (40.0%)，不一致 12 例 (60.0%)，其中差距半号 6 例 (30.0%)，差距 1 号 6 例 (30.0%)。CT 测量和实际胫骨假体型号完全一致 14 例 (70.0%)，不一致 6 例 (30%)，其中差距半号 3 例 (15.0%)，差距 1 号 2 例 (10.0%)，差距 1.5 号 1 例 (5.0%)。X 线测量和实际胫骨假体型号完全一致 7 例 (35.0%)，不一致 13 例 (65.0%)，其中差距半号 6 例 (30.0%)，差距 1 号 7 例 (35.0%)。

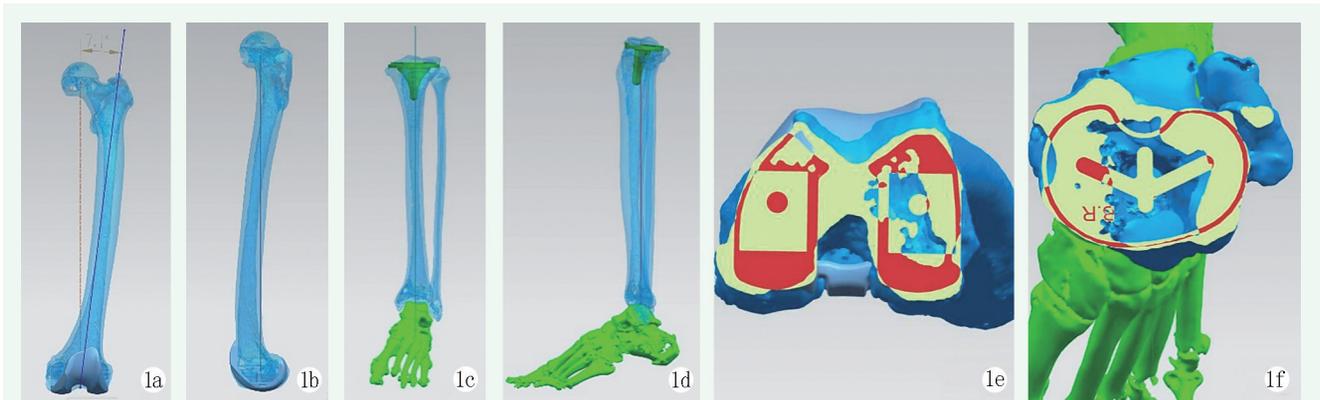


图 1. 术前全下肢 CT 影像 TKA 规划。1a: 股骨冠状位透视图，蓝线为股骨解剖轴，棕线为股骨机械轴，夹角为股骨外翻角 7.1°；1b: 股骨矢状位透视图，红线为股骨侧机械轴；1c: 胫骨冠状位透视图，蓝线为胫骨侧机械轴；1d: 胫骨矢状位透视图，红线为胫骨侧机械轴；1e: 股骨轴位透视图；1f: 胫骨轴位透视图。

Figure 1. Preoperative TKA planning with lower limb full-length CT images. 1a: Coronal perspective view of femur. The blue line is the anatomical axis of femur, while the brown line is the mechanical axis of femur, and the angle between them (femoral varus angle) is 7.1°; 1b: Sagittal view of femur, red line is mechanical axis of the femur; 1c: Coronal view of the tibia, blue line is mechanical axis of tibia; 1d: Sagittal view of the tibia, red line is mechanical axis of tibia; 1e: Axial perspective view of femur; 1f: Tibial axial perspective view.

3 讨论

术前影像是三维规划的基础，包括 MRI、CT、X 线片^[6-8]，对于不同影像进行 PSI 辅助 TKA 的准确性研究集中在 MRI 和 CT 之间，多篇研究结果显示，这两种影像 PSI 的准确性和临床疗效不分伯仲^[9-11]。另外有学者采用膝关节 CT 联合下肢全长负重位正位 X 线片进行 PSI 辅助 TKA 并取得了良好的临床结果^[7]。但是并未进行不同影像规划 TKA 之间的对比研究，且这些研究指标均是采用术后假体位置准确性、临床疗效等最终结果。笔者认为这其中可能存在误差，因为其跨越了从术前规划到最终结果之间的诸多环节和步骤，并不能反映具体问题所在。因此分阶段评估至关重要，至少需分两个阶段：(1) 术前规划的准确性；(2) 术中复制术前规划的准确性。术前规划不准确或术中对术前规划的复制不精确都将影响最终的临床结果。本研究创新性的关注在术前规划阶

段，是否存在因为术前影像数据种类不同而导致明显的术前规划差异。

本研究结果显示，两种测量方法在股骨侧规划差异较小，差异无统计学意义 ($P>0.05$)，在胫骨侧规划差异较大，差异存在统计学意义 ($P<0.05$)，这与既往的研究结果类似^[12-14]。分析可能原因：(1) 三维建模的差异；(2) 确定点线面解剖标志的差异。不同的影像数据可以提供不同精细程度的信息，如膝关节软骨情况、下肢骨骼畸形、骨缺损等，这些信息的差别可能会导致所建立的下肢三维模型的差异^[15]。建立三维模型后，需要识别确定股骨头中心、膝关节中心、踝关节中心、股骨解剖轴和机械轴、通髁线、胫骨解剖轴、冠状面、矢状面、轴面，在选取这些标志点标志线平面的过程中，不同的影像提供的信息存在精度差异，确立的点线面可能会存在一定的局限性和差异。另外，股骨与胫骨需要规划参数种类和数量不同，参数之间的相关度存在差异，这可能是股骨侧参数差异无统计学意义，胫骨侧参数存在统计学意

义的原因。

综上所述,基于下肢全长CT和基于膝关节CT联合下肢全长负重位正位X线片的三维规划股骨侧手术参数基本一致,胫骨侧手术参数存在一定的差异,临床上需警惕不同影像数据对TKA规划的影响。本研究为初步探索性研究,还需要更大样本量的同类研究进一步验证本结论。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 王晓华:课题设计实施和论文写作、采集分析和解释数据、统计分析、指导和支持性贡献;袁亮:课题实施、分析和解释数据、统计分析及论文审阅;孙彬:课题实施、论文审阅及指导工作;张克:课题设计、采集分析和解释数据、论文审阅、指导及支持性工作;杨滨:课题设计实施、分析和解释数据、论文审阅、提供行政、技术或材料支持及指导。

参考文献

[1] Price AJ, Alvand A, Troelsen A, et al. Knee replacement [J]. *Lancet*, 2018, 392 (10158): 1672-1682. DOI: 10.1016/S0140-6736(18)60752-6.

[2] Sharkey PF, Lichstein PM, Shen C, et al. Why are total knee arthroplasties failing today--has anything changed after 10 years [J]. *J Arthroplasty*, 2014, 29 (9): 1774-1778. DOI: 10.1016/j.arth.2013.07.024.

[3] 杨滨, 张克, 袁亮, 等. 新型3D打印个体导向器在膝关节置换中的应用[J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (1): 75-78. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.01.16.

Yang B, Zhang K, Yuan L, et al. Novel individually designed 3D printed guiders for total knee arthroplasty [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2021, 29 (1): 75-78. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.01.16.

[4] 陈坚锋, 冯宗权, 李知浩. 3D打印定位钉导板在全膝关节置换术中的应用[J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (9): 852-855. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.09.19.

Chen JF, Feng ZQ, Li ZH. 3D printed guider used in total knee arthroplasty [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2021, 29 (9): 852-855. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.09.19.

[5] Lei K, Liu L, Yang P, et al. Robotics versus personalized 3D preoperative planning in total knee arthroplasty: a propensity score-matched analysis [J]. *J Orthop Surg Res*, 2022, 17 (1): 227. DOI: 10.1186/s13018-022-03115-3.

[6] Gong S, Xu W, Wang R, et al. Patient-specific instrumentation improved axial alignment of the femoral component, operative time and perioperative blood loss after total knee arthroplasty [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2019, 27 (4): 1083-1095. DOI:

10.1007/s00167-018-5256-0.

[7] Tian H, Zhao MW, Geng X, et al. Patient-specific instruments based on knee joint computed tomography and full-length lower extremity radiography in total knee replacement [J]. *Chin Med J (Engl)*, 2018, 131 (5): 583-587. DOI: 10.4103/0366-6999.226062.

[8] 杨建勋, 吴斌, 高鹏吉. 个性化与常规截骨导板全膝关节置换比较[J]. *中国矫形外科杂志*, 2023, 31 (24): 2243-2247. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.24.07.

Yang JX, Wu B, Gao JP. Total knee arthroplasty with 3D-printed patient-specific instruments versus conventional counterpart [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2023, 31 (24): 2243-2247. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.24.07.

[9] Kang DG, Kim KI, Bae JK. MRI-based or CT-based patient-specific instrumentation in total knee arthroplasty: How do the two systems compare [J]. *Arthroplasty*, 2020, 2 (1): 1. DOI: 10.1186/s42836-019-0020-6.

[10] Schotanus MGM, Thijs E, Heijmans M, et al. Favourable alignment outcomes with MRI-based patient-specific instruments in total knee arthroplasty [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2018, 26 (9): 2659-2668. DOI: 10.1007/s00167-019-05616-x.

[11] Li Z, Yang Z, Liao W, et al. Fewer femoral rotational outliers produced with CT- than with MRI-based patient-specific instrumentation in total knee arthroplasty [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28 (9): 2930-2941. DOI: 10.1007/s00167-019-05678-x.

[12] León-muñoz VJ, Lisón-almagro AJ, López-lópez M. Planning on CT-based 3D virtual models can accurately predict the component size for total knee arthroplasty [J]. *J Knee Surg*, 2020, 33 (11): 1128-1131. DOI: 10.1055/s-0039-1692645.

[13] De VR, Pellikaan P, Dhollander A, et al. Three-dimensional analysis of accuracy of component positioning in total knee arthroplasty with patient specific and conventional instruments: a randomized controlled trial [J]. *Knee*, 2017, 24 (6): 1469-1477. DOI: 10.1016/j.knee.2017.08.059.

[14] Yamamura K, Minoda Y, Mizokawa S, et al. Novel alignment measurement technique for total knee arthroplasty using patient specific instrumentation [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2017, 137 (3): 401-407. DOI: 10.1007/s00402-017-2628-8.

[15] Ettinger M, Claassen L, Paes P, et al. 2D versus 3D templating in total knee arthroplasty [J]. *Knee*, 2016, 23 (1): 149-151. DOI: 10.1016/j.knee.2015.08.014.

(收稿:2023-11-29 修回:2024-07-12)

(同行评议专家: 蔡振存, 苏郁, 蔡宏, 郭林)

(本文编辑: 闫承杰)