

• 诊治分析 •

人工智能模拟技术在全膝关节置换术前规划中的应用

班吉鹤, 李鹏鹏, 彭礼禄, 刘云海, 徐明民

【关键词】 人工智能; 全膝关节置换术; 假体尺寸

doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2025.04.020

【中图分类号】 R687.4 【文献标志码】 A 【文章编号】 1671-0800(2025)04-0405-03

全膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)是膝关节终末期疾病的有效治疗手段,可以有效纠正畸形、缓解疼痛、改善功能。在膝关节置换中,测量截骨法是常用的术中截骨方法,选择合适的股骨及胫骨假体型号至关重要。传统方法使用假体制造商提供的胶片模板或假体尺寸,在膝关节标准 X 线正侧位片上测量比对,预测手术使用假体的尺寸型号。随着大数据时代的到来,人工智能(artificial intelligence, AI)技术的发展,其在骨科领域内的应用日益增多,已经可以实现 AI 模拟手术和机器人手术^[1]。本研究探讨 AI 模拟在 TKA 术前假体尺寸规划中的应用,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 纳入、排除标准 纳入标准:(1)年龄≤80 岁,因退行性膝关节炎、类风湿性膝关节炎、创伤性膝关节炎需行 TKA;(2)初次 TKA;(3)术前 X 线 K-L 等级评估 III~IV 级;(4)术前膝关节薄层 CT 及下肢负重位全长片资料完整。排除标准:(1)患有全身性严重炎症或膝关节部位有化脓性感染性炎症者;(2)需行膝关节假体翻修的患者;(3)存在侧副韧带损伤;(4)严重膝关节内、外翻畸形>20°;(5)患有严重内外科基础疾病不能耐受手术者;(6)因任何原因不接受本方案患者。

1.2 一般资料 收集 2019 年 4 月至 2021 年 4 月于浙江省荣军医院关节外科行 TKA 的患者 58 例(60 膝)。其中男 14 例(15 膝),女 44 例(45 膝)。所有患者术前均完善膝关节薄层 CT、下肢负重位全长片和膝关节正侧位片,术前均已采取传统测量法及 AI 测量法得出假体型号。将术前传统测量法和 AI 测量法得出的假体型号分别与术中测量使用的型号进行对比。本研究获得浙江省荣军医院人体研究伦理委员会批准,所有研究者均同意参加本研究并签署书面知情同意书。

1.3 方法 传统测量组:患者于术前接受膝关节正侧位及下肢全长片 X 线片检查。患者取站立位,拍摄范围包括双侧髋关节、膝关节、踝关节正位, X 线拍摄软件自动合成双下肢全长立片,并拍摄患侧膝关节站立侧位片。按测量截骨法测量患者膝关节正侧位片,测量股骨及胫骨正侧位片的左右径和前后径,得出假体型号,见封三图 3。

AI 测量法:接受膝关节骨 CT 平扫+二维/三维重建。患者取仰卧位,扫描膝关节上下各 20 cm 范围,层厚 1.25 mm。将扫描获得后重建出膝关节的骨性三维模型的 DICOM 数据导入全膝关节置换手术规划系统(AIKNEE 系统,北京长木谷医疗科技有限公司),智能生成三维术前规划,并生成系统报告,得出假体型号,见封三图 4。

本研究假体选用 DePuy sigma RPF (DePuy 公司,美国)。所有病例均由同一术者主刀完成。术中麻醉后取平卧位,大腿根部使用止血带,术中根据具体情况全程、半程使用止血带。采用膝关节正中切口,髌旁内侧入路或股内侧肌肌下入路,测量截骨法

基金项目: 浙江省教育厅科研项目(Y202249778);浙江省医药卫生科技计划项目(2024KY1698);嘉兴市骨科微创与骨再生重点实验室

作者单位: 314000 浙江省嘉兴,浙江省荣军医院

通信作者: 班吉鹤, Email: banjihe917@163.com

完成截骨,术中股骨假体选取型号主要参考股骨前后径,胫骨假体选取型号主要参考左右径。术中遇两号之间,在不会出现假体边缘明显悬挂和软组织激惹的前提下,取大一号假体,否则选小号假体。

1.4 观察指标 观察传统测量法和 AI 测量得出的假体型号,与术中实际使用的假体型号的匹配度,将 ± 1 号假体且与术中实际使用假体尺寸 ≤ 3 mm 视为可忽略误差,型号相符的视为匹配,型号不符视为不匹配^[2]。

1.5 统计方法 采用 SPSS 16.0 统计学软件包进行统计学分析。计数资料采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

传统胶片测量组股骨假体完全一致 14 膝、相差 1 号 38 膝、相差 2 号 8 膝;胫骨假体完全一致 26 膝、相差 1 号 29 膝、相差 2 号 5 膝。AI 测量法股骨假体完全一致的 42 膝,相差 1 号 18 膝;胫骨假体完全一致 45 膝,相差 1 号 15 膝。两种方法测量股骨假体的准确率分别为 23.3%和 70%,差异有统计学意义($\chi^2=26.25, P < 0.05$);测量胫骨假体准确率分别为 43.3%和 75%,差异有统计学意义($\chi^2=12.45, P < 0.05$)。同时,本研究根据使用情况,将 ± 1 号假体且较实际假体尺寸 ≤ 3 mm 视为可忽略误差,视为一致,重新统计后股骨侧传统测量和 AI 测量的准确率分别为 58.3%和 93.3%,胫骨侧分别为 68.3%和 95%,差异均有统计学意义($\chi^2=20.05, 14.25$, 均 $P < 0.05$)。

3 讨论

TKA 是膝关节终末期疾病的有效治疗方法^[3]。良好的术前规划至关重要,型号不合适的假体会导致各种并发症^[4-5]。假体过大导致过度填充屈伸间隙引起屈曲受限、髌股关节压力过高,影响伸膝装置功能。假体过小导致假体覆盖骨面不足,远期塌陷松动概率增加。术前模板测量规划仍广泛采用,目前以 X 线胶片模板测量或二维术前规划软件的方式为主,因放大率不准确、拍摄投照角度存在差异、操作繁琐及假体型号、种类不全等问题导致规划常不准确,术后并发症发生率较高,严重影响了 TKA 手术效果。AIKNEE 系统能通过患者 CT 三维数据,进行 AI

识别与分割,再行 AI 矫正与测量,计算出精准假体型号,并以三维模式模拟假体安放位置^[6]。

本研究结果显示,股骨侧传统测量和 AI 测量的完全一致的准确率分别为 23.3%和 70%,胫骨侧分别为 43.3%和 75%,与文献报道的数据有差别。国外学者研究了 25 例初次全膝关节置换术前测量的准确性,发现股骨假体和胫骨假体的测量准确率分别为 49%和 67%,而且高年资和低年资医师的测量准确率之间并无显著性差异^[7]。Heal 等^[8]使用胶片模板对 49 例 Kinemax 关节置换于术前术后进行比对预测假体大小,结果术前预测符合率为 57%,术后仅为 41%。张进等^[9]应用数字化模拟测量与传统胶片测量 60 例 TKA,股骨型号测量准确率分别为 90.0%和 70.0%;胫骨型号测量准确率分别为 93.3%和 66.7%。本研究结果显示,传统测量法股骨假体准确数 14 膝、胫骨 26 膝,这与手术团队对选择假体的理念有关,术中测量为两个型号之间,在没有假体边缘悬挂时选大,否则选小。因此术前测量在两个假体型号之间选择,主观的选大号假体,但术中使用发现小号假体更符合实际情况。X 线片上的骨赘或骨缺损,也是影响术前测量准确性的因素。反观 AI 测量通过智能读取并智能分割、模拟假体,把股骨和胫骨术前规划准确度明显提高到 42 膝和 45 膝,但一致性的准确率并不如其他文献报道高,这其中原因可能为 AI 系统十分严格的遵循等量截骨、精准覆盖的原则,但术中内侧骨赘较多或内后侧平台有缺损,需要去除骨赘,甚至通过适度的平台缩容技术来使得软组织平衡,AI 设计未考虑到软组织平衡因素,这也是术前计划绝大多数假体在术中应用时偏大、最后选择小号假体的原因。股骨假体选择首先参考前后径,然后是左右径,四维截骨前后髁的截骨量、外旋、外翻角度均是假体选择的影响因素。胫骨截骨是二维平面,主要受骨赘和骨缺损影响,干扰因素较小,故术前计划准确率高于股骨假体。本研究使用的是旋转平台,胫骨侧为水平截骨,0°后倾,因衬垫可旋转,胫骨托放置只需达到胫骨平台最大覆盖即可,因此胫骨侧的术前规划的准确率高。

虽然两组术前规划一致性不理想,但使用过程中相差一号的假体仍占大多数,说明术中选择与术前规划相差的并不悬殊。这些假体的型号集中在 2、

2.5、3 及 4 号之间。Ettinger 等^[10]研究显示 3D 模拟测量准确率 100%，而 3 名观察者的测量准确率股骨假体在 43.6%~59.5% 胫骨假体在 52.1%~68%，如果以 ± 1 号为可接受误差，准确率则升至 93.6%~97.8%、94.6%~98.9%。Mahoney 等^[12]研究结果显示女性、身高偏低等是假体偏大的因素，而 2 年后随访假体偏大的患者出现显著膝关节疼痛的概率翻倍。因此本研究以实际使用的假体为标准，术前测量偏大 1 号，大于标准的 3 mm 的视为偏大，会影响远期临床效果，这样得出的结果为传统测量组股骨和胫骨是 35 膝、41 膝，AI 测量组为 56 膝、57 膝，股骨侧传统测量和 AI 测量的准确率分别为 58.3%和 93.3%，胫骨侧为 68.3%和 95%。

TKA 后患者的不满程度可能在 10%~20%^[11-12]。提高植入物生存率和患者满意度的策略包括对植入物设计和手术的改变采用的技术。随着 3D 打印技术、人工智能等技术日新月异的发展，骨科医生已经可以在术前通过 AI 系统模拟手术来预测假体大小型号，甚至可以个性化的打印特殊的假体。Pietrzak 等^[13]对拟行 TKA 手术的 31 例类风湿性关节炎患者，采用术前二维测量和三维模拟技术规划术前假体方案，术中证实规划准确率分别为 52.9%和 96.6%。

本研究在通过医工交互平台使用 AIKNEE 处理系统，降低医师测量时主观因素的干扰，得出数据更真实有效，需要注意的是患者隐私数据的保护。随着 AI 领域的快速发展，越来越多的关节假体厂家逐渐研发 AI 模拟手术技术，可在选择假体的同时，医工交互平台合作完善术前精准手术规划，这并不增加患者经济成本，精准术前评估尤其对于一些严重畸形伴有骨缺损患者，AI 模拟手术技术能够让术者更从容应对手术、术中验证的假体型号范围即可放心应用，以此缩短手术时间降低手术风险，经临床应用证实 AIKNEE 系统值得在基层医院推广应用。本研究不足之处是样本量较小，样本来源单一，结果缺

乏多中心验证，未来将继续针对 AI 术前精准规划这一课题做多中心数据研究。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

- [1] 赵建宁.智慧医疗在骨科的应用现状及展望[J].医学研究生学报, 2021,34(5):449-452.
- [2] MAHONEY O M, KINSEY T. Overhang of the femoral component in total knee arthroplasty: Risk factors and clinical consequences[J]. J Bone Joint Surg Am, 2010, 92(5): 1115-1121.
- [3] 王康,王晋豫,王健珍,等.被动式非影像依从导航系统在全膝关节置换术中的应用进展[J].中国骨伤,2019,32(4):383-386.
- [4] MUELLER J K P, WENTORF F A, MOORE R E. Femoral and tibial insert downsizing increases the laxity envelope in TKA[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2014, 22(12): 3003-3011.
- [5] INCAVO S J, COUGHLIN K M, BEYNNON B D. Femoral component sizing in total knee arthroplasty: Size matched resection versus flexion space balancing[J]. J Arthroplasty, 2004, 19(4): 493-497.
- [6] 吴东,刘星宇,张逸凌,等.人工智能辅助全膝关节置换术三维规划系统的研发及临床应用研究[J].中国修复重建外科杂志,2020,34(9):1077-1084.
- [7] HERNANDEZ-VAQUERO D, ABAT F, SARASQUETE J, et al. Reliability of preoperative measurement with standardized templating in Total Knee Arthroplasty[J]. World J Orthop, 2013, 4(4): 287-290.
- [8] HEAL J, BLEWITT N. Kinemax total knee arthroplasty: Trial by template[J]. J Arthroplasty, 2002, 17(1): 90-94.
- [9] 张进,孙立,杨先腾,等.数字化模拟技术应用于全膝关节置换术前假体尺寸预测的临床探讨[J].上海交通大学学报(医学版),2016, 36(9):1292-1296.
- [10] ETTINGER M, CLAASSEN L, PAES P, et al. 2D versus 3D templating in total knee arthroplasty[J]. Knee, 2016, 23(1): 149-151.
- [11] CLEMENT N D, BARDGETT M, WEIR D, et al. Three groups of dissatisfied patients exist after total knee arthroplasty: Early, persistent, and late[J]. 2018, 100-B(2): 161-169.
- [12] GUNARATNE R, PRATT D N, BANDA J, et al. Patient dissatisfaction following total knee arthroplasty: A systematic review of the literature[J]. J Arthroplasty, 2017, 32(12): 3854-3860.
- [13] PIETRZAK J T, ROWAN F E, KAYANI B, et al. Preoperative CT-based three-dimensional templating in robot-assisted total knee arthroplasty more accurately predicts implant sizes than two-dimensional templating[J]. 2019, 32(7): 642-648.

收稿日期:2024-10-29

(本文编辑:吴迪汉)