

胫骨平台前缘圆弧顶点作为胫骨假体旋转定位标志 对胫股关节接触力学指标的影响

毛 勇

(广州市番禺区中医院, 广东 广州 511400)

摘 要 **目的:**观察胫骨平台前缘圆弧顶点作为胫骨假体旋转定位标志对胫股关节接触力学指标的影响。**方法:**将 6 具成人膝关节尸体标本分为 3 组, 每组 2 具标本, 由同一组具备高级职称的医生使用 PS 型固定平台假体实施全膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)。观察组以胫骨平台前缘圆弧顶点作为胫骨假体旋转定位参考, 对照 1 组以胫骨结节中内 1/3 作为胫骨假体旋转定位参考, 对照 2 组以自我形合法确定胫骨假体旋转定位对线。术后将膝关节标本固定在 WDW4100 万能试验机上, 测定 3 组膝关节标本的胫股关节内侧总应力、外侧总应力、内侧接触面积、外侧接触面积、内侧接触应力、外侧接触应力、内侧接触应力峰值及外侧接触应力峰值。**结果:**6 具膝关节标本假体均顺利安装完成, 胫骨假体位置无明显差异。3 组标本的胫股关节内侧总应力 [(1.59 ± 0.15) Pa, (1.65 ± 0.01) Pa, (1.71 ± 0.12) Pa, $F = 1.838$, $P = 0.172$]、外侧总应力 [(2.65 ± 0.34) Pa, (2.52 ± 0.13) Pa, (2.41 ± 0.21) Pa, $F = 1.742$, $P = 0.087$]、内侧接触面积 [(17.35 ± 1.12) cm², (19.26 ± 1.32) cm², (18.96 ± 0.92) cm², $F = 1.311$, $P = 0.093$]、外侧接触面积 [(13.91 ± 1.81) cm², (14.47 ± 0.92) cm², (14.77 ± 0.81) cm², $F = 1.983$, $P = 0.131$]、内侧接触应力 [(3.97 ± 1.05) Pa, (3.57 ± 0.05) Pa, (4.07 ± 0.17) Pa, $F = 1.363$, $P = 0.069$]、外侧接触应力 [(2.52 ± 0.71) Pa, (2.22 ± 0.03) Pa, (1.98 ± 0.13) Pa, $F = 1.965$, $P = 0.072$]、内侧接触应力峰值 [(6.21 ± 0.32) Pa, (6.65 ± 0.07) Pa, (6.37 ± 0.16) Pa, $F = 1.682$, $P = 0.153$]、外侧接触应力峰值 [(5.74 ± 0.19) Pa, (5.56 ± 0.09) Pa, (5.38 ± 0.32) Pa, $F = 1.256$, $P = 0.086$] 比较, 组间差异均无统计学意义。**结论:**TKA 手术中以胫骨平台前缘圆弧顶点作为胫骨假体旋转定位标志, 术后胫股关节接触力学特征与以往常用定位方法相当, 可作为 TKA 手术中胫骨假体旋转定位的参考标志。

关键词 关节成形术; 置换, 膝; 胫骨; 定位标记; 生物力学; 可行性研究

Effects of using vertex of curved anterior border of tibial plateau as tibial prosthesis rotational positioning mark on contact mechanics indexes of tibiofemoral joint

MAO Yong

Panyu Hospital of Chinese Medicine, Guangzhou 511400, Guangdong, China

ABSTRACT **Objective:** To observe the effects of using vertex of curved anterior border of tibial plateau as tibial prosthesis rotational positioning mark on contact mechanics indexes of tibiofemoral joint (TFJ). **Methods:** Six knee specimens from 3 adult cadavers were selected and divided into observation group, control group 1 and control group 2, 2 cases in each group. Total knee arthroplasty (TKA) was performed by the same group of surgeons with senior professional titles by using type PS fixed-bearing prosthesis. The vertex of curved anterior border of tibial plateau and the junction of the medial one third and lateral two thirds of tibial tubercle were used as the reference points for tibial prosthesis rotational positioning in observation group and control group 1 respectively, and tibial prosthesis rotational positioning alignment was confirmed by using self-hypotaxis method in control group 2. The knee specimens were fixed on WDW4100 universal testing machine after the surgery. The medial and lateral total stress, contact area, contact stress and peak contact stress of TFJ of knee specimens were measured and compared between the 3 groups. **Results:** The prostheses installation were finished successfully in all knee specimens, and there was no significant difference in the position of tibial prostheses. There was no statistical difference in medial and lateral total stress, contact area, contact stress and peak contact stress of TFJ of knee specimens between the 3 groups (1.59 ± 0.15, 1.65 ± 0.01, 1.71 ± 0.12 Pa, $F = 1.838$, $P = 0.172$; 2.65 ± 0.34, 2.52 ± 0.13, 2.41 ± 0.21 Pa, $F = 1.742$, $P = 0.087$; 17.35 ± 1.12, 19.26 ± 1.32, 18.96 ± 0.92 cm², $F = 1.311$, $P = 0.093$; 13.91 ± 1.81, 14.47 ± 0.92, 14.77 ± 0.81 cm², $F = 1.983$, $P = 0.131$; 3.97 ± 1.05, 3.57 ± 0.05, 4.07 ± 0.17 Pa, $F = 1.363$, $P = 0.069$; 2.52 ± 0.71, 2.22 ± 0.03, 1.98 ± 0.13 Pa, $F = 1.965$, $P = 0.072$; 6.21 ± 0.32, 6.65 ± 0.07, 6.37 ± 0.16 Pa, $F = 1.682$, $P = 0.153$; 5.74 ± 0.19, 5.56 ± 0.09, 5.38 ± 0.32 Pa, $F = 1.256$, $P = 0.086$). **Conclusion:** The method of using vertex of curved anterior border of tibial plateau as tibial prosthesis rotational positioning mark in surgery of TKA is similar to conventional positioning methods in postoperative TFJ contact mechanical characteristics, so the vertex of curved

anterior border of tibial plateau can be used as a reference mark for tibial prosthesis rotational positioning during the TKA surgery.

Keywords arthroplasty, replacement, knee; tibia; fiducial markers; biomechanics; feasibility studies

全膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)已被国内外公认为治疗各类膝关节终末病变疗效最为肯定的方法。良好的旋转对线是 TKA 手术成功的关键,其中对于股骨假体旋转定位的方法研究较多,而对胫骨假体旋转定位的方法研究较少,且多不可靠^[1-2]。目前临床上常用的胫骨假体旋转定位方法是将胫骨结节中内侧 1/3 作为解剖标志点,但由于腱膜的覆盖,术中定位较为困难,特别是在胫骨存在扭转畸形的情况下,胫骨结节的相对位置可能会发生改变^[3]。另外还可依据股骨假体旋转方位确定胫骨假体旋转对线,即自我形合法,也就是术中股骨假体试件位置确定后插入胫骨试件,通过膝关节数次伸屈活动找到胫骨旋转对线的合适位置^[4-5],但其准确性受股骨假体位置影响较大^[6-7]。

Joong 等^[8]提出使用胫骨前缘解剖标志来确定假体位置。我们通过仔细观察胫骨标本近端的解剖特点,发现胫骨前缘是一条不规则的圆弧形,圆形的顶点在横断面上正好对应于胫骨结节中内 1/3 内侧约 2 mm 处,而且此处位置浅表,没有软组织及骨组织的覆盖,直视下清晰可见。因此,我们考虑将胫骨平台前缘圆弧顶点作为胫骨假体旋转定位解剖标志。为探讨该方法的可行性,我们对以该方法定位安装胫骨假体后胫股关节的接触力学性能进行了观察,现总结报告如下。

1 材料和仪器

1.1 实验材料 成人膝关节标本 6 具(3 具尸体标本的双侧膝关节),膝关节标本关节线两侧股骨、胫骨各保留 20 cm,由首都医科大学解剖实验室提供;PS 型固定平台假体(北京市春立正达医疗器械股份有限公司);骨水泥(强生公司);聚乙烯四氟薄膜(精工公司)。实验方案经医院医学伦理委员会审查通过。

1.2 实验仪器 WDW4100 微机控制电子万能试验机(中国科学院长春科新公司试验仪器研究所, 50 kN),膝关节定制夹具,运动图像解析系统(Simi 公司),Motion Analysis Raptor 4 三维动作捕捉系统(Motion Analysis 公司),I - Scan 4000 压力分布测量系统(Tekscan 公司),MATLAB 数据处理软件(Math-Works 公司)。

2 方法

2.1 分组及模拟手术 拍摄 6 具膝关节标本的侧位 X 线片,确定膝关节无退行性病变或其他损伤,拍摄时膝关节屈曲 130°~140°、胫骨内外旋 < 15°。去掉皮肤、脂肪、肌肉,保留关节囊和侧副韧带。将腓骨用密质骨螺钉(或骨水泥)按解剖学位置固定于胫骨上。按最大伸展和最大屈曲角度活动膝关节标本 10 次以上,保证其能自由活动^[9-10]。

将 6 具标本分为 3 组(同一尸体的双膝不在同一组),由同一组具备高级职称的医生使用 PS 型固定平台假体实施 TKA。股骨截骨及假体安装均按照产品说明书进行,假体旋转定位选择髓内定位,参考轴为股骨解剖轴线。胫骨水平截骨,与胫骨解剖轴垂直,控制胫骨平台矢状位截骨角度,使胫骨平台后倾 3°^[11-12]。观察组以胫骨平台前缘圆弧顶点作为胫骨假体旋转定位参考[图 1、图 2(1)]、对照 1 组以胫骨结节中内 1/3 作为胫骨假体旋转定位参考[图 2(2)]、对照 2 组以自我形合法确定胫骨假体旋转对线[图 2(3)]。股骨假体及胫骨假体均使用骨水泥固定。

2.2 胫股关节接触力学指标测量 按制造商建议的标准步骤校准试验机后,将标本的股骨、胫骨端分别固定到试验机上,保留胫骨内外旋、内外翻及内外移动自由度[图 3(1)]。测量数据的标记贴(Markers 贴)放置在股骨外上髁中心点、股骨内上髁中心点、胫骨内侧髁中心点、胫骨外侧髁中心点及髌骨上任意 3 个点^[13-14]。实验前按照制造商建议的标准步骤使用试验机进行校准。切开部分关节囊,分别在内外侧关

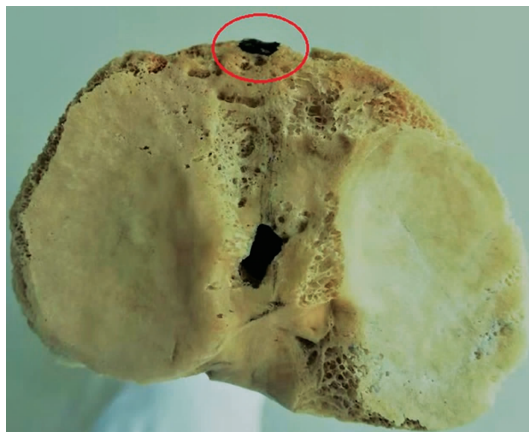


图 1 胫骨平台前缘圆弧顶点位置

节腔内放置用聚乙烯四氟薄膜包裹的薄膜压力传感器^[15],铺平后缝合固定于膝关节前后方残留的软组织上[图 3(2)]。实验前用玻璃棒沿假体内外侧表面滑动,获取平台三维立体图像^[16]。传感器放置好后

缝合关节囊。利用试验机在不同角度下对膝关节施加不同的压缩负荷(10 kg、20 kg、30 kg、40 kg、50 kg),持续一段时间,待膝关节达到稳定状态后,应用 Simi 运动图像解析系统、Motion Analysis Raptor 4



(1)以胫骨平台前缘圆弧顶点为标志确定胫骨假体旋转对线;(2)以胫骨结节中内 1/3 为标志确定胫骨假体旋转对线;(3)以自我形合法确定胫骨假体旋转对线

图 2 以 3 种方式确定胫骨假体旋转对线行全膝关节置换手术示意图

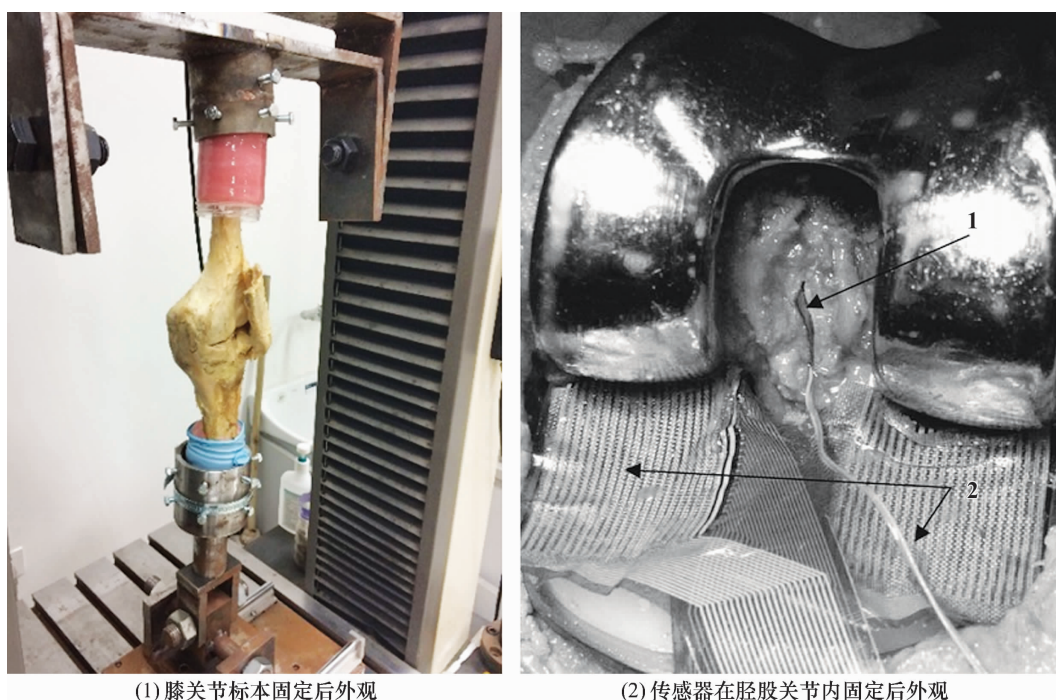


图 3 膝关节标本及传感器固定后外观图片

三维动作捕捉系统及 I - Scan 4000 压力分布测量系统测定胫股关节内侧总应力、外侧总应力、内侧接触面积、外侧接触面积、内侧接触应力、外侧接触应力、内侧接触应力峰值、外侧应力接触峰值,传感器采样频率为 10 Hz,测定结果以 MATLAB 软件进行处理。

2.3 数据统计 采用 SPSS25.0 软件进行数据统计分析,3 组膝关节标本 TKA 术后胫股关节内侧总应力、外侧总应力、内侧接触面积、外侧接触面积、内侧接触应力、外侧接触应力、内侧接触应力峰值、外侧接触应力峰值的组间比较均采用单因素方差分析,检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

3 结果

6 具膝关节标本假体均顺利安装完成,胫骨假体位置无明显差异。3 组标本的胫股关节内侧总应力、外侧总应力、内侧接触面积、外侧接触面积、内侧接触应力、外侧接触应力、内侧接触应力峰值、外侧接触应力峰值比较,组间差异均无统计学意义(表 1)。

4 讨论

目前临床上大部分医师以胫骨结节中内 1/3 作为胫骨假体旋转定位的解剖标志^[7]。从相关文献来看,没有相关的研究数据来支持以胫骨结节中内 1/3 作为胫骨假体旋转定位解剖标志的合理性,而且大多数医生是凭经验确定该解剖标志。由于髌韧带附着于胫骨结节表面,胫骨结节的骨性标志通常无法清晰显露,而且在胫骨存在扭转畸形的情况下,胫骨结节

的相对位置可能会发生改变,以此作为胫骨假体旋转定位的解剖标志准确性较差。柴巍巍等^[17]提出,以胫骨结节中内 1/3 与后交叉韧带止点中点的连线作为胫骨假体旋转对线的参考标志,可使胫骨假体对应胫骨近端获得良好的旋转匹配关系。但术后交叉韧带止点中点暴露相对困难,而且术者操作时通常会忽略这一步,所以笔者认为该方法的可行性并不高。

自我形合法是另一种常用的胫骨假体旋转定位方法。该方法是用股骨假体旋转方位确定胫骨假体旋转对线^[18]。该方法的定位效果取决于股骨假体位置的准确性,适用于 TKA 经验丰富的关节外科医生,TKA 手术经验欠缺的医生采用该方法容易出现较大偏差。

从定位的准确性和手术操作的简便性考虑,以关节内的解剖标志作为胫骨假体旋转定位的解剖标志更为合理。经过查阅文献,我们发现 Joong 等^[8]提出使用胫骨前缘解剖标志来确定假体位置。胫骨前缘是一条不规则的圆弧线,圆弧的顶点在横断面上正好对应于胫骨结节的中内 1/3 内侧约 2mm 处。术中胫骨平台截骨后,胫骨近端前缘圆弧线浅表易见,圆弧线顶点没有软组织及骨组织覆盖,直视下清晰可见。胫骨假体金属托安装时,以胫骨假体金属托短轴的中点对应胫骨近端前缘圆弧顶点,以它作为胫骨假体旋转对线的中心点;胫骨假体金属托前缘弧线与胫骨近端截骨面弧线平行,间隔约 2 mm。

胫骨平台骨赘、骨缺损及解剖变异等因素会对胫

表 1 以 3 种方式定位安装胫骨假体进行全膝关节置换术后胫股关节接触力学特征指标

组别	样本量 (具)	内侧总应力 ($\bar{x} \pm s, \text{Pa}$)	外侧总应力 ($\bar{x} \pm s, \text{Pa}$)	内侧接触面积 ($\bar{x} \pm s, \text{cm}^2$)	外侧接触面积 ($\bar{x} \pm s, \text{cm}^2$)
观察组	2	1.59 ± 0.15	2.65 ± 0.34	17.35 ± 1.12	13.91 ± 1.81
对照 1 组	2	1.65 ± 0.01	2.52 ± 0.13	19.26 ± 1.32	14.47 ± 0.92
对照 2 组	2	1.71 ± 0.12	2.41 ± 0.21	18.96 ± 0.92	14.77 ± 0.81
<i>F</i> 值		1.838	1.742	1.311	1.983
<i>P</i> 值		0.172	0.087	0.093	0.131
组别		内侧接触应力 ($\bar{x} \pm s, \text{Pa}$)	外侧接触应力 ($\bar{x} \pm s, \text{Pa}$)	内侧接触应力峰值 ($\bar{x} \pm s, \text{Pa}$)	外侧接触应力峰值 ($\bar{x} \pm s, \text{Pa}$)
观察组		3.97 ± 1.05	2.52 ± 0.71	6.21 ± 0.32	5.74 ± 0.19
对照 1 组		3.57 ± 0.05	2.22 ± 0.03	6.65 ± 0.07	5.56 ± 0.09
对照 2 组		4.07 ± 0.17	1.98 ± 0.13	6.37 ± 0.16	5.38 ± 0.32
<i>F</i> 值		1.363	1.965	1.682	1.256
<i>P</i> 值		0.069	0.072	0.153	0.086

观察组以胫骨平台前缘圆弧顶点作为胫骨假体旋转定位参考;对照 1 组以胫骨结节中内 1/3 作为胫骨假体旋转定位参考;对照 2 组以自我形合法作为胫骨假体旋转定位参考

骨平台前缘作为胫骨假体旋转定位参考点造成影响^[4]。但从以往的相关文献来看,胫骨平台骨赘常发生在胫骨内侧平台后内侧及胫骨外侧平台前外侧^[19];而且我们在 TKA 手术中发现胫骨近端前缘骨赘较为少见,骨缺损常发生在胫骨平台后内侧。胫骨平台截骨后周围骨赘及轻度骨缺损都被去除。所以对其作为胫骨假体旋转定位参考点的影响就很少。

本研究的结果提示,TKA 手术中以胫骨平台前缘圆弧顶点作为胫骨假体旋转定位标志,术后胫股关节接触力学特征与以往常用定位方法相当,可作为 TKA 手术中胫骨假体旋转定位的参考标志。本研究的不足之处在于样本量较小、观察指标单一,同时也未考虑膝关节周围除韧带、关节囊之外的其他软组织对于研究结果的影响,研究结论还有待于进一步的研究证实。

参考文献

[1] 张雷,廉凯,彭昊,等. CT 确定胫骨前后轴指导全膝关节置换过程中胫骨假体的旋转对线[J]. 中国组织工程研究, 2018, 22(3): 426 - 431.

[2] ZAMBIANCHI F, FIACCHI F, LOMBARI V, et al. Changes in total knee arthroplasty design affect in - vivo kinematics in a redesigned total knee system: a fluoroscopy study[J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2018, 54: 92 - 102.

[3] 胡承方, 罗从风. 国人胫骨近端形态学测量调查[J]. 中华创伤骨科杂志, 2007, 9(2): 126 - 130.

[4] 友斯伟, 沈宇辉, 王毅. 全膝关节置换与胫骨假体旋转对线[J]. 国际骨科学杂志, 2014, 35(1): 30 - 32.

[5] 郭马珑, 崔宏勋, 李峰, 等. 单髁置换术治疗中重度膝关节单间室骨关节炎[J]. 中医正骨, 2017, 29(6): 16 - 19.

[6] 刘恒, 李卓扬, 曹永平, 等. 胫骨侧徒手截骨的膝关节置换术后力线测量及其影响因素分析[J]. 北京大学学报(医学版), 2018, 50(5): 850 - 854.

[7] 孙振国, 翁伟, 李恒, 等. 3D 打印技术辅助全膝关节置换术治疗骨关节炎膝外翻畸形的临床研究[J]. 中医正骨, 2018, 30(6): 34 - 39.

[8] JOONG I K, JANG J, KI W L, et al. Anterior tibial curved

cortex is a reliable landmark for tibial rotational alignment in total knee arthroplasty[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2017, 18(1): 252.

[9] 李相伟, 丁晶, 甘煜东. 个体化导航模板在 Oxford 单髁置换术股骨和胫骨假体定位中的应用[J]. 中华骨科杂志, 2018, 38(3): 172 - 178.

[10] 周一新, 蒋毅, 张洪, 等. 胫骨轴向旋转运动与膝关节屈伸运动耦合的研究[J]. 中华骨科杂志, 2004, 24(12): 747 - 750.

[11] 杨波, 黄爱兵, 宋长辉, 等. 骨性关节炎胫骨近端解剖形态性别差异及临床意义[J]. 中国矫形外科杂志, 2017, 25(23): 2173 - 2176.

[12] 吴厦, 蔡谓, 刘璞, 等. 膝关节置换术中与术后胫骨平台假体后倾角差异分析[J]. 解放军医学院学报, 2015, 36(3): 255 - 257.

[13] MOST E. Development of a 6 - DOF robotic test system for studying the biomechanics of total knee replacement[D]. Boston: Massachusetts Institute of Technology, 2000.

[14] GAUTHIER P. Tibio - femoral joint contact mechanics: an in - vitro simulation with a 6 DOF static knee simulator[D]. Ottawa: University of Ottawa, 2016.

[15] HERREGODTS S, BAETS P D, VICTOR J, et al. Use of Tekscan pressure sensors for measuring contact pressures in the human knee joint[J]. Sustainable Construction and Design, 2015, 6(2): 1 - 7.

[16] BEDI A, CHEN T, SANTNER T, et al. Changes in dynamic medial tibiofemoral contact mechanics and kinematics after injury of the anterior cruciate ligament: a cadaveric model[J]. Journal of Engineering in Medicine, 2013, 227(9): 1027 - 1037.

[17] 柴巍巍, 尚延春, 孙永强, 等. 全膝关节置换术治疗伸直型膝关节僵硬[J]. 中医正骨, 2017, 29(6): 56 - 58.

[18] 陈煜东, 魏瑄, 刘宏建. 单髁置换术治疗老年膝关节内侧单间室骨关节炎[J]. 中医正骨, 2018, 30(6): 67 - 69.

[19] 朱东, 董心, 刘百奇, 等. 膝内翻引起胫骨平台内侧骨质增生的模拟[J]. 中国生物医学工程学报, 2005, 24(4): 391 - 396.

(收稿日期: 2019 - 06 - 07 本文编辑: 李晓乐)

反映学术进展 引领学科发展