DOI:10.16016/j.1000-5404.202008174

全膝关节置换术中3种股骨旋转截骨参考轴线的准确度对比

雷 凯,刘力铭,范华全,陈 欣,杨 柳,郭 林 400038 重庆,陆军军医大学(第三军医大学)第一附属医院关节外科中心

[摘要] **目的** 比较全膝关节置换术(total knee arthroplasty,TKA)中,Whiteside线、外科通髁轴及滑车沟线这3种参考轴线行股骨旋转截骨的准确度。**方法** 回顾性分析本中心2016年8月至2018年6月符合纳入标准的膝关节骨关节炎或类风湿性关节炎患者124例(男性25例,女性99例,中位年龄66.0岁),共133例膝(左膝70例,右膝63例)。基于膝关节CT扫描数据建立其三维模型,分别参照Whiteside线、外科通髁轴及滑车沟线模拟股骨旋转截骨,比较模拟股骨旋转截骨角与其术中实际股骨旋转截骨角的差异,并计算其偏差值及离群度。**结果** 参照Whiteside线、外科通髁轴及滑车沟线所得模拟股骨旋转截骨角与其术中实际股骨旋转截骨角的偏差值分别为(-2.61±2.76)°、(0.79±2.09)°、(-0.65±1.64)°,且三者之间差异具有统计学意义($P<0.001$);其偏差>3°的离群度分别为48.12%、11.28%、8.27%。**结论** 与Whiteside线及外科通髁轴相比,全膝关节置换术中参考滑车沟线行股骨旋转截骨的准确度更高。

[关键词] 全膝关节置换;股骨截骨;旋转对线;滑车沟线;Whiteside线;通髁轴

[中图法分类号] R322.71; R684.3; R687.4 [文献标志码] A

Accuracy of 3 reference axes for femoral rotation in total knee arthroplasty: a comparative study of 124 cases

LEI Kai, LIU Liming, FAN Huaquan, CHEN Xin, YANG Liu, GUO Lin Center of Joint Surgery, First Affiliated Hospital, Army Medical University (Third Military Medical University), Chongqing, 400038, China

[**Abstract**] **Objective** To compare the accuracy of rotation of the femoral component using 3 reference axes in total knee arthroplasty (TKA), namely, the Whiteside line, surgical transepicondylar axis (sTEA), and sulcus line of the trochlear groove. **Methods** A retrospective analysis was performed on 124 patients (25 males and 99 females, at a median age of 66.0 years; including 133 knees, 70 left and 63 right knees) with knee osteoarthritis or rheumatoid arthritis who met the inclusion criteria in our center from August 2016 to June 2018. Based on the three-dimensional model established by knees CT scan data, the rotational alignment of femoral component was simulated with reference to the Whiteside line, sTEA and sulcus line, respectively. The difference was compared between the simulated rotation angle of femoral component and the actual angle of femoral rotation. The deviation and its outlier were calculated. **Results** The deviation between the actual angle of femoral rotation and the simulated rotation angle of femoral component obtained by referring to the Whiteside line, sTEA and sulcus line was (-2.61±2.76)°, (0.79±2.09)°, and (-0.65±1.64)°, respectively, and the differences between each pair were statistically significant ($P<0.001$). The

[通信作者] 郭 林,E-mail:guolin6212@163.com

1000-5404/Copyright © 2021, 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/)

percentage of outliers with deviation > 3° was 48.12%, 11.28% and 8.27%, respectively. **Conclusion** Compared with the Whiteside line and sTEA, the femoral rotation with the sulcus line as the reference axis is more accurate during TKA.

[**Key words**] total knee arthroplasty; femoral osteotomy; rotational alignment; sulcus line; Whiteside line; transepicondylar axis

Corresponding author: GUO Lin, E-mail: guolin6212@163.com

全膝关节置换术(total knee arthroplasty,TKA)股骨假体旋转对线不良是术后膝前疼痛、关节僵硬、髌骨关节并发症等不良结局的重要原因之一[1-2]。为了获得准确的股骨假体旋转对线,实现屈曲间隙的良好平衡,基于"测量截骨技术"的参考轴线——Whiteside线[3]、外科通髁轴(surgical Trans-Epicondylar Axis,sTEA)[4]等应运而生,但其术中往往难以准确识别与定位[5-7]。参照胫骨截骨平台进行股骨旋转截骨的"间隙平衡技术"[8],避免了"测量截骨技术"中参考轴线识别定位困难的问题,但对胫骨平台截骨准确度、手术医师临床经验及手术技巧要求较高[9]。结合临床经验及既往研究[10-11],滑车沟线也许是股骨旋转截骨的最佳参考轴线,然而目前缺乏样本量较大且基于三维测量的相关研究。本研究基于CT扫描数据建立的三维模型,分别参照Whiteside线、外科通髁轴及滑车沟线,进行股骨旋转截骨准确度的比较,评价其临床应用价值。

1 资料与方法

1.1 研究资料

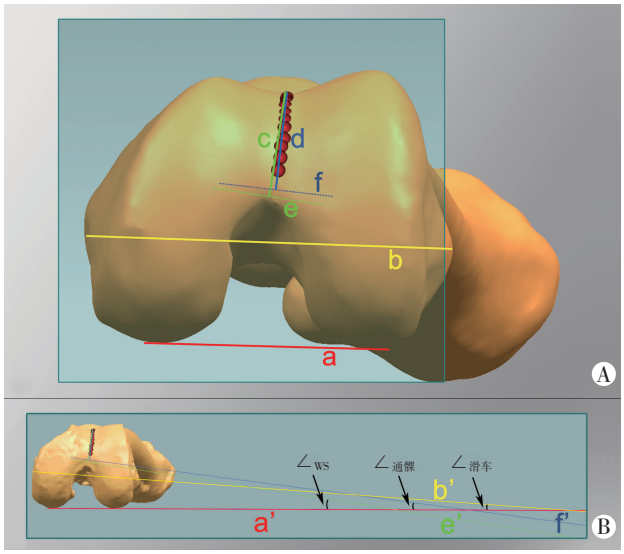
通过陆军军医大学第一附属医院电子病历系统,回顾性收集关节外科中心2016年8月至2018年6月符合纳入排除标准患者的相关病历资料及影像学数据。纳入标准:①膝关节骨关节炎或类风湿性关节炎需接受TKA治疗;②术前进行全下肢CT扫描;③手术均由同一名经验丰富的高年资关节外科医师主刀,且术中使用同一假体(Smith & Nephew LEGION Total Knee System,USA)。排除标准:①全下肢CT扫描不符合拍摄规范,成像模糊;②术中实际股骨旋转截骨数据记录不全。最终纳入124例患者(共133侧膝关节),其中男性25例,女性99例,左侧膝关节70例,右侧膝关节63例,中位年龄66.0(62.0,71.5)岁。本研究方案经陆军军医大学第一附属医院伦理委员会批准(KY2020057),并已在中国临床试验注册中心完成注册(ChiCTR2000032178)。

1.2 研究步骤

通过患者术前下肢CT数据建立其膝关节三维模型,采用专用软件(NX 12.0)分别参照Whiteside线、外科通髁轴及滑车沟线,模拟全膝关节置换术中的股骨旋转截骨,并测量所对应的模拟股骨旋转截骨角。术中使用"间隙平衡技术"进行股骨旋转截骨,收集患者实际股骨旋转截骨角。将上述模拟股骨旋转截骨角与术中实际股骨旋转截骨角进行比较分析,评价其分别参照Whiteside线、外科通髁轴及滑车沟线的股骨旋转截骨准确度。

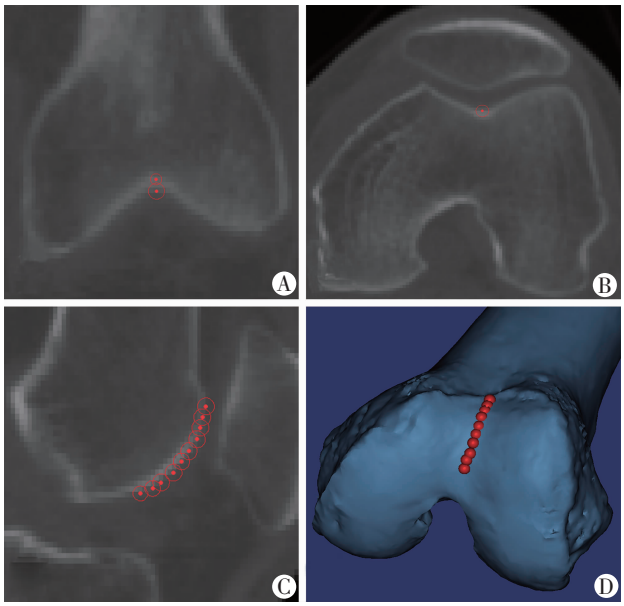
1.3 膝关节三维模型的建立

患者术前全下肢CT(SIEMENS SOMATOM Definition Flash, Germany)数据(膝关节处薄扫1 mm,其余部位厚扫3 mm)通过医院医学影像信息系统(INFINITT PACS, Korea)采集后,利用Mimics Research 19.0软件对其股骨进行三维重建,并结合多个平面标记相关解剖标记点[11];借助Catia 5.20、NX12.0软件分别对每一股骨模型进行拟合及股骨旋转截骨角的测量。通过Catia 5.20对股骨头进行最佳球形拟合,所得球形中心点与股骨髁间窝顶点的连线记为股骨机械轴;与股骨机械轴垂直的平面定义为横断面[7]。Whiteside线定义为滑车前侧切迹最深点与后方关节面上距髁间切迹最近点的连线[7];后髁线定义为股骨双后髁之切线[12];外科通髁轴定义为股骨外上髁最突点与内上髁最凹点连线[4];滑车沟线定义为滑车沟最深处多个点所连接而成的曲线[11],同时将这些点的最佳拟合直线记为滑车沟直线(图1)。为了确保各标记点的准确性,利用Mimics Research 19.0综合多平面视图及3D视图进行标记[13](图2)。



A:后髁线、外科通髁轴、Whiteside 线及滑车沟线示意图;B:$\angle_{WS}$、$\angle_{通髁}$、$\angle_{滑车}$示意图;图 A、B 中浅蓝色平面为股骨机械轴的垂面,记为横断面。图 A 中实线 a、b、c、d 分别为后髁线、外科通髁轴、Whiteside 线及滑车沟直线;虚线 e、f 分别为 Whiteside 线之垂线、滑车沟直线之垂线。图 B 中 a'、b'、e'、f' 分别为 a、b、e、f 在横断面上的投影;参照 Whiteside 线截骨所得股骨旋转截骨角,即 e' 与 a' 间夹角,简记为$\angle_{WS}$;参照外科通髁轴截骨所得股骨旋转截骨角,即 b' 与 a' 间的夹角,简记为$\angle_{通髁}$;参照滑车沟线截骨所得股骨旋转截骨角,即 f' 与 a' 间夹角,简记为$\angle_{滑车}$

图 1　$\angle_{WS}$、$\angle_{通髁}$、$\angle_{滑车}$在股骨横断面上的测量



A、B、C、D 分别表示在 Mimics Research 19.0 中结合冠状位、轴状位、矢状位及 3D 视图对滑车沟最深点的标记

图 2　股骨远端多平面信息标记滑车沟最深点

1.4　观测指标

1.4.1　模拟股骨旋转截骨角　　测量 Whiteside 线的垂线、外科通髁轴、滑车沟线的垂线与后髁线在横断面上的投影夹角,分别记为$\angle_{WS}$、$\angle_{通髁}$、$\angle_{滑车}$(图 1)。截骨线相对于后髁线外旋记为正,内旋记为负。以上参考轴线的标记及角度的测量均由 2 名专门从事 TKA 工作的关节科医师盲测 2 次,其间期大于 2 周[14](同一测量者前后两次测量结果及不同测量者之间测量结果,经统计学分析,均具有良好的一致性,ICC>0.9 且 $P<0.05$)。

1.4.2　实际股骨旋转截骨角　　从病历资料中收集每一患者术中实际股骨旋转截骨角。术中伸直间隙平衡完好后,参考胫骨平台截骨面与伸直间隙对等平衡屈曲间隙,以完成屈曲位股骨旋转截骨,测量并记录术中实际股骨旋转截骨角(股骨旋转截骨线与后髁线间夹角),简记为$\angle_{术中}$。截骨线相对于后髁线外旋记为正,内旋记为负。

1.4.3　股骨旋转截骨角偏差值　　术中实际股骨旋转截骨角与模拟旋转截骨角之间的差值;参考 Whiteside 线、外科通髁轴、滑车沟线的股骨旋转截骨角偏差值分别简记为$\angle_{术中}-\angle_{WS}$、$\angle_{术中}-\angle_{通髁}$、$\angle_{术中}-\angle_{滑车}$。

1.4.4　离群值例数及离群度　　股骨旋转截骨角偏差值>3°或<-3°者记为离群值,并计算离群度。

$$离群度=\frac{离群值例数}{样本量}\times 100\%。$$

1.5　统计学分析

使用 SPSS 25.0 统计软件进行分析。计量资料符合正态分布用 $\bar{x}\pm s$ 表示,采用配对 t 检验;不符合正态分布用 $M(P_{25},P_{75})$ 表示,采用 2 个相关样本 Wilcoxon 检验。计数资料用频次(%)表示,使用 χ^2 检验。模拟股骨旋转截骨角$\angle_{WS}$、$\angle_{通髁}$、$\angle_{滑车}$的同一测量者前后两次测量及不同测量者之间测量结果,使用组内相关系数(intraclass correlation efficient,ICC)评价一致性。

2　结果

2.1　不同解剖标志的股骨旋转截骨角及偏差值比较

如表 1 所示,术中实际股骨旋转截骨角及参照 Whiteside 线、外科通髁轴、滑车沟线的虚拟股骨旋转截骨角,即$\angle_{术中}$、$\angle_{WS}$、$\angle_{通髁}$、$\angle_{滑车}$分别为(3.47±1.45)°、(6.07±2.69)°、(2.68±2.05)°、(4.11±1.95)°。$\angle_{术中}$与$\angle_{WS}$、$\angle_{通髁}$、$\angle_{滑车}$的偏差值分别为

(-2.61±2.76)°、(0.79±2.09)°、(-0.65±1.64)°,且上述差值之间差异均具有统计学意义($P<0.001$)。

2.2 不同解剖标志的股骨旋转截骨角离群值及离群度比较

相较于术中实际股骨旋转截骨角,$\angle_{WS}$、$\angle_{通髁}$、$\angle_{滑车}$的离群值及其离群度比较情况如表2所示。

表1 不同解剖标志的股骨旋转截骨角及偏差值比较

观测指标	角度(°,$\bar{x}\pm s$)	范围(°,min,max)	95%*CI*(°)
$\angle_{术中}$	3.47±1.45	(-2.90,10.00)	(3.22~3.72)
$\angle_{WS}$	6.07±2.69	(0.19,12.10)	(5.61~6.54)
$\angle_{通髁}$	2.68±2.05	(-2.00,9.50)	(2.33~3.04)
$\angle_{滑车}$	4.11±1.95	(-1.27,10.69)	(3.78~4.45)
$\angle_{术中}-\angle_{WS}$	-2.61±2.76[ab]	(-9.45,3.30)	(-3.08~-2.13)
$\angle_{术中}-\angle_{通髁}$	0.79±2.09[bc]	(-5.59,5.74)	(0.43~1.14)
$\angle_{术中}-\angle_{滑车}$	-0.65±1.64[ac]	(-4.64,4.26)	(-0.93~-0.37)

a:$P<0.001$,与$\angle_{术中}-\angle_{通髁}$比较;b:$P<0.001$,与$\angle_{术中}-\angle_{滑车}$比较;c:$P<0.001$,与$\angle_{术中}-\angle_{WS}$比较

表2 不同解剖标志的股骨旋转截骨角离群值及离群度比较

观测指标	离群值(例)	离群度(%)
$\angle_{WS}$ab	64	48.12
$\angle_{通髁}$c	15	11.28
$\angle_{滑车}$c	11	8.27

a:$P<0.001$,与$\angle_{通髁}$比较;b:$P<0.001$,与$\angle_{滑车}$比较;c:$P<0.001$,与$\angle_{WS}$比较

3 讨论

3.1 股骨旋转截骨准确性是TKA疗效的重要影响因素

全膝关节置换术是治疗终末期膝关节病损的有效手段,平衡的屈曲间隙是决定手术成功与否的关键,而准确的股骨旋转截骨是确保屈曲间隙平衡的关键。大量研究表明,股骨旋转截骨不准确可引发较多术后并发症,如髌骨轨迹不良、膝前痛、关节僵硬、关节屈曲不稳定、假体异常磨损或松动等。为减少术后并发症、提高患者满意度及假体使用寿命,需要精准的术中股骨旋转截骨。

3.2 常规"测量截骨技术"行股骨旋转截骨不够准确

"测量截骨技术"强调参考解剖标记来完成其股骨旋转截骨,常用方法包括参照后髁线外旋3°截骨[15]、参照Whiteside线或通髁轴截骨。前者因未考虑股骨远端的解剖变异、关节疾病的病程进展等因素,对不同患者均进行外旋3°截骨,难以确保其准确度[8-9],亦有悖于手术精细化、个性化的要求。要指出的是,后髁线是术中最易获取且可重复性较高的参考轴线,故本研究的股骨旋转截骨角均以相对于后髁线夹角的形式表达。为了获得更好的股骨假体旋转对线,参照Whiteside线[3,7]的方法(术中垂直于Whiteside线进行股骨旋转截骨)被应用于临床。而本研究参考Whiteside线截骨与术中实际截骨角度的偏差为(-2.61±2.76)°,其离群度高达48.12%,提示Whiteside线并非一条准确的股骨旋转截骨参考轴线,这与多数研究结论一致[16-17]。其原因可能是因为其解剖变异、关节疾病进程等因素,易导致术中难以准确找到Whiteside线的定位点所致[17-18]。此外,参照外科通髁轴[19]的方法(术中平行于通髁轴进行股骨旋转截骨)备受推崇[20-21]。本研究参考外科通髁轴截骨与术中实际截骨角的偏差值为(0.79±2.09)°,离群度为11.28%,提示参考外科通髁轴进行股骨旋转截骨较为准确,这与既往文献[5-7,22]结论一致。然而,本研究的外科通髁轴定位是基于膝关节三维模型并使用Mimics Research软件,通过多个平面多次定位而得,而实际手术中由于视野限制、软组织覆盖等原因,要准确识别通髁轴是极其困难的[10-15]。总之,测量截骨技术虽然更易掌握,术中使用更加简单方便,但在不借助精准的术前三维设计、计算机导航、个性化截骨工具(PSI)、机器人手术等新技术的情况下,仅依靠术中参考上述轴线进行股骨旋转截骨,其产生偏差的可能性较大。

3.3 "间隙平衡技术"行股骨旋转截骨操作复杂

INSALL等[23]于1985年首次描述了"屈曲间隙平衡"在TKA中的重要性,并强调了"间隙平衡技术"的应用。该技术的初衷是确保良好的术中股骨旋转截骨,实现膝关节屈曲间隙的平衡。同时文献[24,27]报道"间隙平衡技术"在股骨假体旋转对线上较"测量截骨技术"更准确。本研究将同1位高年资关节科医师基于"间隙平衡技术"的术中股骨旋转截骨角作为金标准即源于此。然而"间隙平衡技术"存在着术中操作复杂、手术时间较长[28]、易导致关节线抬高等缺憾,对手术医师的临床经验及手术技巧要求较高。那么,是否存在集"测量截骨技术"和"间隙平衡技术"优点于一身,既简单方便又准确可靠的股骨旋转截骨方法呢?

3.4 参照滑车沟线行股骨旋转截骨较为准确且操作简单

由滑车沟最深处的多个点连接而成的滑车沟线提供了一种可能。本研究参考滑车沟线的旋转截骨角偏

差值为(-0.65±1.64)°,明显低于参考 Whiteside 线或参考外科通髁轴的偏差值(P<0.001),且参考滑车沟线的离群度仅为 8.27%,明显低于参考 Whiteside 线的离群度(P<0.001),提示术前设计上参考滑车沟线进行股骨旋转截骨较参考 Whiteside 线、外科通髁轴更准确。TALBOT 等[10-11]通过 44 例 TKA 术后 CT 分析及 10 例尸体标本的研究,论证了参考滑车沟线可改善股骨假体的旋转对线,从而减少膝前痛及髌股关节并发症的发生。膝关节是人体最复杂的关节,存在着至少 2 个活动中心[19]:一是由胫股关节为主体形成的活动中心(股骨相对于胫骨的屈伸活动),二是由髌股关节为主体形成的活动中心(髌骨随膝关节屈伸在股骨滑车上的类圆弧活动)。参考滑车沟线进行股骨旋转截骨,顺应了膝关节屈伸活动时的生理机制,体现了胫股关节与髌股关节的和谐统一,可避免股骨假体过度的内旋或外旋放置,保证 TKA 术后假体滑车与髌骨的契合,从而减少髌股关节并发症、膝前痛的发生。

使用患者个性化的膝关节三维模型识别滑车沟线是指导股骨旋转截骨较为准确的方法,建议参考滑车沟线进行股骨旋转截骨角的术前计划。术中实施只需严格按照术前计划所得角度行股骨旋转截骨即可。若无条件实施基于三维模型的术前设计,在术中直接应用滑车沟线也具备术中暴露简单、手术视野开阔、表面无软组织覆盖、识别定位简单便利等优势[10-11]。如果患者存在股骨滑车严重磨损变形、骨赘增生等特殊情况,术中难以准确识别滑车沟线时,建议参考其他可用轴线或借助计算机导航、个性化截骨工具(PSI)、机器人手术等新技术。由于本研究为单中心、回顾性研究,且样本量有限,其最终结论有待更大样本量的前瞻性临床对照试验进一步验证。

准确的股骨旋转截骨是确保屈曲间隙平衡和术后良好结局的关键。参照 Whiteside 线进行股骨旋转截骨往往不够准确;参照通髁轴进行截骨时,术中的精确定位往往存在较大困难;相较于 Whiteside 线及外科通髁轴,滑车沟线是一条准确度较高的股骨旋转截骨参考轴线。

参考文献:

[1] BOLDT J G, STIEHL J B, HODLER J, *et al*. Femoral component rotation and arthrofibrosis following mobile-bearing total knee arthroplasty[J]. Int Orthop, 2006, 30(5): 420-425. DOI:10.1007/s00264-006-0085-z.

[2] ROMERO J, STÄHELIN,T, WYSST. *et al*. Die bedeutung der axialen rotationsausrichtung der knieprothesenkomponenten[J]. Orthopäde, 2003, 32(6): 461-468. DOI:10.1007/s00132-003-0475-5.

[3] WHITESIDE L A, ARIMA J. The anteroposterior axis for femoral rotational alignment in Valgus total knee arthroplasty[J]. Clin Orthop Relat Res,1995 (321):168-172.

[4] BERGER R A, RUBASH H E, SEEL M J, *et al*. Determining the rotational alignment of the femoral component in total knee arthroplasty using the epicondylar axis[J]. Clin Orthop Relat Res, 1993 (286): 40-47. DOI: 10.1097/00003086-199301000-00008.

[5] JENNY J Y, BOERI C. Low reproducibility of the intraoperative measurement of the transepicondylar axis during total knee replacement[J]. Acta Orthop Scand, 2004, 75(1): 74-77. DOI:10.1080/00016470410001708150.

[6] PARRATTE S, BLANC G, BOUSSEMART T, *et al*. Rotation in total knee arthroplasty: no difference between patient-specific and conventional instrumentation[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2013, 21(10): 2213-2219. DOI:10.1007/s00167-013-2623-8.

[7] VICTOR J, VAN DONINCK D, LABEY L, *et al*. A common reference frame for describing rotation of the distal femur[J]. J Bone Joint Surg Br, 2009, 91-B(5): 683-690. DOI:10.1302/ 0301-620x.91b5.21827.

[8] FEHRING T K. Rotational malalignment of the femoral component in total knee arthroplasty[J]. Clin Orthop Relat Res, 2000 (380): 72-79. DOI: 10.1097/00003086-200011000-00010.

[9] 王体惠,王旭,王晓露,等. 术前 MRI 测量对提高全膝关节置换股骨假体外旋角度准确性的意义[J]. 骨科临床与研究杂志, 2019,4(6): 365-369. DOI:10.19548/j.2096-269x.2019.06.010.
WANG T H,WANG X,WANG X L, *et al*. Clinical research of preoperative MRI measurement to improve the accuracy of external rotation angle of femoral prosthesis in total knee arthroplasty[J]. J Clin Orthop Res,2019,4(6): 365-369. DOI:10.19548/j.2096-269x.2019.06.010

[10] TALBOT S, DIMITRIOU P, MULLEN M, *et al*. Referencing the sulcus line of the trochlear groove and removing intraoperative parallax errors improve femoral component rotation in total knee arthroplasty[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2017, 25(9): 2743-2750. DOI:10.1007/s00167-015-3668-7.

[11] TALBOT S, DIMITRIOU P, RADIC R, *et al*. The sulcus line of the trochlear groove is more accurate than Whiteside's line in determining femoral component rotation[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2015, 23(11): 3306-

3316. DOI:10.1007/s00167-014-3137-8.

[12] GRIFFIN F M, INSALL J N, SCUDERI G R. The posterior condylar angle in osteoarthritic knees[J]. J Arthroplasty, 1998, 13(7): 812-815. DOI:10.1016/s0883-5403(98)90036-5.

[13] IRANPOUR F, MERICAN A M, DANDACHLI W, *et al*. The geometry of the trochlear groove[J]. Clin Orthop Relat Res, 2010, 468(3): 782-788. DOI:10.1007/s11999-009-1156-4.

[14] LOHMAN M, TALLROTH K, KETTUNEN J A, *et al*. Changing from analog to digital images: Does it affect the accuracy of alignment measurements of the lower extremity?[J]. Acta Orthop, 2011, 82(3): 351-355. DOI:10.3109/17453674.2011.570670.

[15] HUNGERFORD D S, KRACKOW K A. Total joint arthroplasty of the knee[J]. Clin Orthop Relat Res, 1985(192): 23-33.

[16] SISTON R A. The variability of femoral rotational alignment in total knee arthroplasty[J]. J Bone Joint Surg Am, 2005, 87(10): 2276. DOI:10.2106/jbjs.d.02945.

[17] VICTOR J, VAN DONINCK D, LABEY L, *et al*. How precise can bony landmarks be determined on a CT scan of the knee?[J]. Knee, 2009, 16(5): 358-365. DOI:10.1016/j.knee.2009.01.001.

[18] CERVERI P, MARCHENTE M, MANZOTTI A, *et al*. Determination of the Whiteside line on femur surface models by fitting high-order polynomial functions to cross-section profiles of the intercondylar Fossa[J]. Comput Aided Surg, 2011, 16(2): 71-85. DOI:10.3109/10929088.2011.555106.

[19] BOISGARD S, MOREAU P E, DESCAMPS S, *et al*. Computed tomographic study of the posterior condylar angle in arthritic knees: its use in the rotational positioning of the femoral implant of total knee prostheses[J]. Surg Radiol Anat, 2003, 25(3/4): 330-334. DOI:10.1007/s00276-003-0144-8.

[20] ANOUCHI Y S, WHITESIDE L A, KAISER A D, *et al*. The effects of axial rotational alignment of the femoral component on knee stability and patellar tracking in total knee arthroplasty demonstrated on autopsy specimens[J]. Clin Orthop Relat Res, 1993, 287(287): 170. DOI:10.1097/00003086-199302000-00027.

[21] VICTOR J. Rotational alignment of the distal femur: a literature review[J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2009, 95(5): 365-372. DOI:10.1016/j.otsr.2009.04.011.

[22] TALBOT S, BARTLETT J. The anterior surface of the femur as a new landmark for femoral component rotation in total knee arthroplasty[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2008, 16(3): 258-262. DOI:10.1007/s00167-007-0421-x.

[23] INSALL J N, BINAZZI R, SOUDRY M, *et al*. Total knee arthroplasty[J]. Clin Orthop Relat Res, 1985(192): 13-22.

[24] LEE D H, PARK J H, SONG D I, *et al*. Accuracy of soft tissue balancing in TKA: comparison between navigation-assisted gap balancing and conventional measured resection[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2010, 18(3): 381-387. DOI:10.1007/s00167-009-0983-x.

[25] PANG H N, YEO S J, CHONG H C, *et al*. Computer-assisted gap balancing technique improves outcome in total knee arthroplasty, compared with conventional measured resection technique[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2011, 19(9): 1496-1503. DOI:10.1007/s00167-011-1483-3.

[26] STEPHENS B F, HAKKI S, SALEH K J, *et al*. Clinical alignment variations in total knee arthroplasty with different navigation methods[J]. Knee, 2014, 21(5): 971-974. DOI:10.1016/j.knee.2014.03.001.

[27] TIGANI D, SABBIONI G, BEN AYAD R, *et al*. Comparison between two computer-assisted total knee arthroplasty: gap-balancing versus measured resection technique[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2010, 18(10): 1304-1310. DOI:10.1007/s00167-010-1124-2.

[28] LI S X, LUO X M, WANG P, *et al*. Clinical outcomes of gap balancing vs measured resection in total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis involving 2259 subjects[J]. J Arthroplast, 2018, 33(8): 2684-2693. DOI:10.1016/j.arth.2018.03.015.

[29] SHARATH K R. 正常及置换后膝关节生物力学[M]//ASHOK R, 膝关节外科学. 辽宁: 辽宁科学技术出版社, 2017:13-18.

SHARATH K R. Biomechanics of normal and replaced knee[M]//Ashok R. Knee surgery. Liaoning: Liaoning Science and Technology Publishing House, 2017:13-18.

(收稿:2020-08-22;修回:2020-10-15)

(编辑 栾 嘉)