

三维CT在PSI辅助初次人工膝关节表面置换术前截骨计划中的应用

崔凤金, 武明鑫, 白印伟, 蔡康, 付允, 谢海清
(广州医科大学附属惠州市第三人民医院关节外科, 广东 惠州 516002)

摘要:【目的】探讨借助三维CT的术前规划在个性化手术工具(PSI)辅助初次人工膝关节表面置换中的应用。【方法】54位患膝骨关节炎的患者依据随机、“双盲”的方法分为传统工具(CI)组和PSI组, 每组27位患者, 进行初次膝关节表面置换术。两组术前根据三维图像及截骨数据来选取假体大小。PSI组胫骨平台假体的旋转定位依据形合度匹配, 并允许假体边缘在一些部位有限超出截骨面边缘。CI组术中依据传统方法进行测量和截骨。比较两组患者手术时间, 调整假体大小的例次, 后髌截骨量, 术后X线平片情况, 术后3个月、1年AKS评分。【结果】两组手术时间无统计学差异; PSI组术中无需调整假体大小; CI组有8例所用假体与术前计划不同, 均小于术前依据三维CT的测量结果; CI组平均后髌截骨量大于PSI组。术后3个月PSI组患者AKS高于CI组; 术后1年两组AKS评分没有统计学差异。【结论】术前薄层CT扫描结果可用于术前截骨计划, 有利于正确选择股骨假体尺寸和位置。股骨和胫骨假体在一定部位有限超出截骨面边缘, 不会增加术后患者不适感。使用解剖形态的胫骨假体时, 可以依据最佳覆盖原则确定胫骨假体的旋转定位。

关键词:人工膝关节置换术; 3D打印导板; 个性化手术工具

中图分类号: R318 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-3554(2018)02-0245-07

3D Computed Tomography Assist in Making the Protocol for Primary TKA Using PSI

CUI Feng-jin, WU Ming-xin, BAI Yin-wei, CAI Kang, FU Yun, XIE Hai-qing

(Department of Joint Surgery, Huizhou Third People's Hospital, Guangzhou Medical University Huizhou, Huizhou 516002, China)

Corresponding to: CUI Feng-jin, E-mail: berkort@163.com

Abstract: 【Objective】 To investigate the feasibility of making the protocol with computed tomography data for total knee arthroplasty using patient-specific femoral and tibial cutting blocks. 【Methods】 54 consecutive patients diagnosed with osteoarthritis were divided randomly into two groups. Every patients accepted 3-dimensional computed tomography scan for bilateral legs before operation, the protocol were made for every patients before operation. When making the pre-operative protocol, we accepted the prosthesis surpass the osteotomy edge finitely, tibia prosthesis rotational orientation according to the outline of the tibial osteotomy. The thickness of the posterior condyle of femur resected was as the same with the prosthesis posterior condyle as possible. The patients in trial group undergone total knee arthroplasty (TKA) using patient-specific instruments (PSI) according to the preoperative protocol, while the patients in the control group undergone TKA using custom instruments (CI). The operation time, the times that the scale of the prosthesis were altered intraoperation, the mean thickness of the posterior condyle of femur resected in the operation, AKS score 3 months and 1 year after the operation were recorded and compared between the two groups. Plain film radiography after the operation were analyzed. 【Results】 No significant differences were found between two groups with respect to the operation time. 8 patients altered to a lesser prosthesis in the CI group during the operation, all in bibia contrast to no one need alteration in the PSI group. The thickness of the osteotomy on the posterior condyle of femur in the PSI group is bigger than that of CI

收稿日期: 2017-11-07

基金项目: 广东省卫生厅课题(A2016A604)

作者简介: 崔凤金, 通信作者, 医学硕士, 副主任医师, 研究方向: 髌膝关节置换术式与工具, E-mail: berkort@163.com

group as a result. The AKS score of the patients in the PSI group is higher than that of CI group 3 months after the operation, whereas no significant difference was found 1 year after the operation. 【Conclusion】 The reconstructed image by thin layer CT can be used for preoperation protocol for TKA, which might be helpful in deciding the size of femour prosthesis; the implants can surpass the edge of the osteotomy finitely in TKA, which is not necessarily cause any complain. We can orient the tibia prosthesis rotation according to the outline of the osteotomy of the patients' tibia.

Key words: total knee arthroplasty; three D printed guide; patient-specific instrument

[J SUN Yat-sen Univ (Med Sci), 2018, 39(2):245-251]

近年来,国内外越来越多医生使用个性化手术工具(patient-specific instrumentation, PSI)辅助人工膝关节表面置换术^[1-3]。因其在术前根据患者三维影像学检查结果来测量假体大小、制定截骨计划,不但使得截骨计划更加精准,而且减少术中操作步骤,因而受到众多国内外关节科医生的关注。术前使用三维CT扫描数据模拟手术可以提高手术精度,帮助术者寻找假体植入的最佳位置、优化截骨、预见手术结果^[1]。使用3D打印截骨导板辅助人工膝关节置换术,可以缩短手术时间^[2],部分文献指可减少手术出血量^[3]。在制作膝关节置换PSI时,所选择的截骨面的位置、截骨厚度,直接决定假体大小和位置,决定手术效果。因此理论上可以比使用传统工具更加准确地选择假体大小和安放位置。目前,国内外初次置换使用的膝关节假体以预先做好的尺寸确定的假体为主,每款假体有几个不同型号,每个型号假体的各部位尺寸(前后径、左右径、远端厚度、后髁厚度等)是确定的。术者根据测量患者股骨和胫骨相应部位,选择尺寸最接近的型号假体。在实际工作中,常常遇到患者股骨及胫骨的前后径及左右径与公司所提供的假体尺寸无法完全匹配的情况。有时,为了使股骨假体横径(ML径)不超过股骨远端截骨面的横径,被迫截除较多的股骨后髁。而有时不小心安放的股骨或胫骨假体边缘超出截骨面边缘少许,在术后的长期随访中患者并无任何不适感。可见,综合平衡“假体左右径超出截骨面”和“后髁截骨厚度”的关系,可能有助于选择更加合理的术前规划。在术前三维CT成像的辅助下,术者可以全方位了解截骨大小、假体安放位置和手术的3D效果,有利于选择更合适的假体尺寸和更合适的安放位置;PSI正是将这个术前规划付诸实施的工具。有关在术前三维CT辅助下制定PSI需要遵循的一般原则,目前尚少见报

道。本文选取连续收住院的退变性膝骨关节炎患者54例,施行人工膝关节表面置换术。其中使用PSI和传统工具(conventional instruments, CI)各占一半。观察并比较两种手术方法的精准度、手术时间、术后短期患者满意等指标,旨在为更好地利用三维CT及3D打印截骨导板辅助人工膝关节表面置换总结临床经验。

1 材料与方 法

1.1 病例来源

2016年1月至2016年12月我科连续收治的退变性膝骨关节炎患者54例,其中男性19例,女性35例;内翻膝52个,最大内翻角28°;外翻膝2个,最大外翻角15°。依收治先后顺序交替分入PSI组和CI组,术前及术后患者不知道被分入组别。

1.2 术前准备

所有患者术前行下肢全长X线片检查及下肢全长三维CT(0.625 mm层厚)扫描,将三维CT的dicom格式数据导入专业软件EZ-Guide成像,模拟截骨、安装假体,根据手术经验调整假体大小及安放位置,并记录所选股骨及胫骨假体大小。所有患者均使用德国LINK公司Gemini固定平台后稳定(PS)假体。术后复查下肢全长X线平片并测量力线。本文中手术经患者知情同意并获本院伦理委员会讨论批准实施。

1.3 术前规划

1.3.1 假体的选择 CI组:术中借助股骨髓内定位杆定位进行远端截骨后,使用“抱髁器”通过测量股骨后髁(posterior condyle of femur)顶点到股骨干远端前外侧皮质距离来估计假体大小。胫骨假体旋转定位:极度背屈踝关节利用髓外定位杆平对第2跖骨作为平台假体前方中线所在;平台

假体大小的选择:符合旋转定位位置,前、后、内、外侧切线位置边缘不超出截骨面为限。PSI组:股骨假体的选择:系统软件默认为“前参照”,即假体前翼后缘平对股骨干远端前外侧皮质,即对同一患者而言,选择不同AP径假体时,假体前翼后缘都平对股骨干远端前外侧皮质不变,选择不同AP径的假体直接导致后髁截骨厚度不同。本研究病例以退变较轻一侧后髁截骨量6 mm以上且最接近6 mm为截骨目标,此时若同一AP径下假体ML径有多个备选(根据公司提供的假体尺寸设计而定),以ML径最接近的作为目标选项,同时应确保假体侧方超出股骨远端截骨面在4 mm以内,若所选假体远端横径超出截骨面远端大于4 mm,则选择ML径更小的假体。胫骨假体的选择:胫骨平台假体为解剖平台(内外侧不对称),根据去除骨赘后最佳覆盖原则选取胫骨平台假体安放位置(即旋转定位)。平台假体的安放首先确保假体在前方及内侧切线位置不超出截骨面边缘,其他部位假体边缘超出截骨面边缘应小于2 mm。在此前提下,选择承重面积最大的假体。

1.3.2 手术及术后康复治疗 ①暴露:膝前正中切口,切开阔筋膜后近端经股四头肌腱中央-髌骨内侧旁-髌腱内侧。术中髌骨拉向外侧,不外翻髌骨。②镇痛:关闭切口前滑膜内注射“鸡尾酒”:曲安奈德混悬液40 mg、布比卡因75 mg、得宝松4 mg、肾上腺素1 mg加入适当生理盐水配成75 mL溶液。③术后治疗:术后12 h开始皮下注射低分子肝素抗凝。术后24 h拔除引流管,并下地功能锻炼,术后第五天开始练习屈膝并达到屈膝90°。术后三个月内除功能锻炼时间外持续冰敷。

1.4 观察指标

①手术时间:计从开始切皮到开始缝合的时间;②最终使用的假体与术前3D计划不同的例次(股骨和胫骨假体分开计数,即同一患者如果所用股骨假体和胫骨假体均不同于术前计划,则记为2次)和假体尺寸增减情况;③后髁截骨厚度:根据术前三维CT的测量值和所使用股骨髁假体参数估算后髁截骨厚度;④分析两组术后X线平片:找出异常值的例次。异常值包括:假体前后倾超过10°,下肢力线与截骨计划相差超过5°,股骨前方出现Notch(包括术中发现Notch)。

1.5 统计学方法

采用SPSS统计软件对患者基本资料及相关

指标进行分析。比较两组患者手术时间、后髁截骨厚度、术后3个月及1年膝关节AKS评分^[4-5],采用独立样本 t 检验,检验水平取双侧 $\alpha=0.05$;比较两组患者手术中改变假体尺码例次,采用四格表资料 χ^2 检验的矫正公式(χ_c^2),检验水平取双侧 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

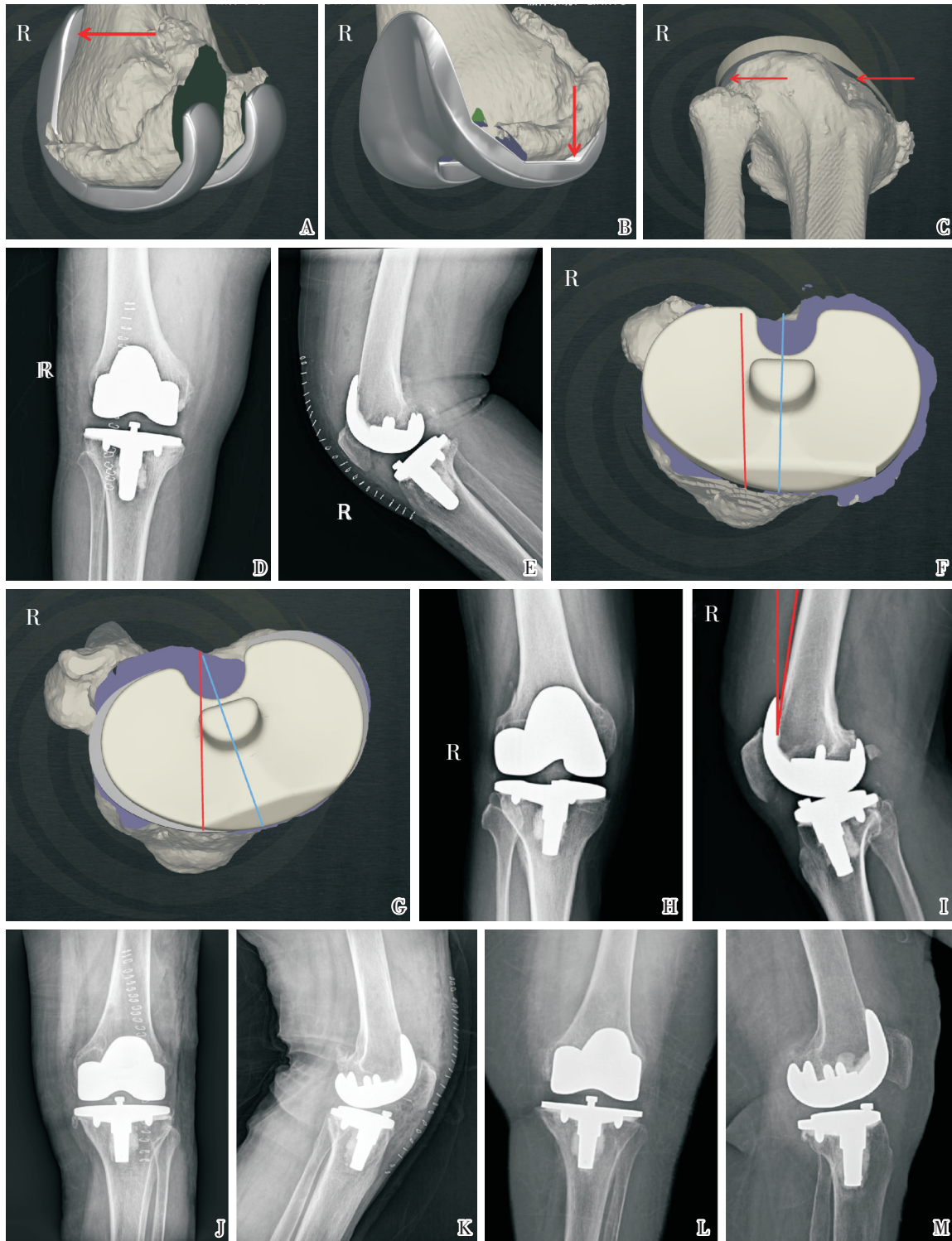
2.1 术前规划情况

PSI组:除去2例股骨假体位置明显异常的患者外,其余25例患者股骨及胫骨假体力线无离群值。25例患者术前规划中,股骨假体安装后,假体边缘超出截骨面边缘的有22例,超出的部位主要位于股骨假体前翼内侧缘(20例,图1A),股骨远端截骨面外侧或内侧(10例,图1B)。术前规划中,在同一患者即使尝试偏小的股骨假体,股骨假体前翼内侧缘也常常超出截骨面边缘,但临床观察并未发现患者有明显不适。PSI组25例股骨假体安装正确的患者,胫骨假体安装后假体边缘均有超出截骨面边缘,其位置主要集中在胫骨假体外侧缘后方(15例,图1C)和平对胫骨结节外上方、Gerdy's结节内侧的截骨面(11例,图1C)。胫骨假体外侧缘后方在术中往往暴露不佳,有时这一位置的假体超出未能引起术者注意,而这个位置的假体超出也未引起患者明显不适症状。术后X线平片常常无法反映出这些部位假体超出截骨面边缘的情况(图1D、E)。

PSI组患者术中按照最佳覆盖原则决定胫骨假体的旋转定位,而据此原则放置后,27例患者中,20例胫骨假体前后轴线位于胫骨结节内侧1/3至内侧缘(图1F);7例位于胫骨结节内侧缘内侧(图1G),而这部分患者术前往内翻较为严重,同时合并胫骨远端内旋。

2.2 术后X线平片比较

术后X线平片:PSI组有2例患者股骨假体位置异常,均为过度前倾,前倾角度分别为12°和21°(图1H、I),其原因为术中用于固定3D打印截骨导板的固定钉太细,导致拔除固定钉再安放金属截骨导板时,无法准确找到先前的钉孔,导致安放位置出现偏差。PSI组其余25例术中股骨髁前方、远端、后髁截骨厚度均与术前计划相差在1 mm以内(图1J、K)。CI组未出现假体力线明显异常(图1L、M)。



A-C: 3D computed tomography in making the protocol before operation (A、B: Femur prosthesis surpass the edge of osteotomy in preoperation protocol; C: Tibia prosthesis surpass the edge of osteotomy in preoperation protocol); D-E: The prosthesis' surpassing over the edge of the osteotomy can't be found when reading plane film radiography; F-G: Tibia prosthesis' rotating orientation in PSI group patients (F: Tibial implants' AP axis intersect with tibia in the medial part of the tibial tuberosity; G: For another patient, tibial implants' AP axis intersect with tibia to the medial of the tibial tuberosity); H-I: (Femoral implants over anteversion by 12° occurred in the PSI group patients; J-K: Normally positioned implants of PSI patients; L-M: Postoperative plane film radiography of CI group patients; (D、H、J、L: anteroposterior; E、I、K、M: lateral position)

图1 初次人工膝关节表面置换术术前、术后影像

Fig.1 Image of making the pertocol for primary TKA

2.3 两组患者手术基本情况及术后AKS评分

两组患者手术时间、调整假体尺码例次、后髌截骨厚度、术后3个月及1年AKS评分相比较结果如表1所示。两组患者平均手术时间的差别没有统计学意义。PSI组术中所用假体大小均为术前计划所选择尺寸,术中未更改。CI组有8例所用假体与术前计划不同,均为股骨假体,更改后尺寸均小于术前依据三维CT的测量结果。两组比较,差别有统计学意义($P<0.05$)。

PSI组除去2例股骨过度前倾的,其余股骨后

髌最大截骨厚度8.3 mm,最小截骨厚度5.8 mm,平均后髌截骨厚度(7.1 ± 1.1) mm。依据术中实际应用假体AP参数估算,CI组股骨后髌最大截骨厚度12.0 mm,最小截骨厚度6.1 mm,平均截骨厚度(8.8 ± 2.8) mm。PSI组平均后髌截骨厚度小于CI组,两组差别有统计学意义($P<0.05$)。

术后3个月复查,PSI组患者AKS评分高于CI组,患者满意度较高,两组差别有统计学意义($P<0.05$)。术后1年再次复查,两组AKS评分差别没有统计学意义($P>0.05$)。

表1 PSI组和CI组手术情况及术后AKS

Table 1 Parameters about the operation and AKS score of the PSI and CI group

($\bar{x} \pm s$)

Groups	Cases of Replacement of prosthesis size	t/min	The thickness of the bone cut from posterior condyle/mm	AKS score (3 months after the operation)	AKS score (12 months after the operation)
PSI(n=27)	0	44±12.7	7.1±0.68	171.5±12.8	178.8±10.7
CI(n=27)	8	49±10.5	8.8±2.1	159.9±8.0	175.0±11.8
t/ χ^2	$\chi^2=7.190$	$t=-1.498$	$t=3.959$	$t=3.927$	$t=1.067$
P	0.004	0.140	0.00035	0.00025	0.291

3 讨论

既往Wernecke等^[6]术前根据核磁共振检查结果制作个性化截骨导板进行膝关节表面置换术,发现与术前计划相比,术中过度截骨达到100%,37%的操作需要二次截骨,10.5%的患者术中不得不放弃定制截骨导板,多数是因为股骨截骨模块的截骨效果不满意;胫骨假体尺寸较股骨发生更多不合适的情况。本文依据0.625 mm层厚CT扫描结果制作个性化截骨导板辅助初次膝关节表面置换,PSI组患者术中使用假体均为术前计划时所选的尺寸,术中及术后未发现假体大小的离群值,与Ollivier等的报道^[7]一致。可以认为,基于薄层CT的术前三维图像辅助确定假体大小和位置是可靠的。

既往Zhang等^[8]报道,3D打印截骨导板辅助人工膝关节表面置换术较传统截骨的膝关节表面置换术可以节省手术时间,同时可以获得较好的下肢力线和较好的术后短期临床效果。而Huijbregts等^[9]在应用中观察到,个性化制作截骨

导板辅助的人工膝关节表面置换术并不能减少力线异常值的出现,也不能缩短手术时间。上述报道结果存在差异,可能与术者的手术熟练程度以及使用的PSI种类不同有关。我们在本研究发现,两组患者手术时间差别没有统计学差异。本文PSI组患者术中节省了部分测量的时间,但是我们术中所使用的3D打印股骨导板只是用于标记,还不能直接用于截骨,因此对手术时间影响不明显。本文术后复查发现PSI组2个膝关节股骨假体过度前倾均超过 10° ,明显与术前计划不符,是由于拔除导板固定钉后再插入时未插入原有钉道所致。由此我们推测,如果所用3D打印股骨导板带有多向截骨槽,即制作的3D打印股骨导板同时具有定位和辅助截骨功能,则应该有助于避免此类错误的发生;还可以节省部分手术时间。使用3D打印的PSI辅助的人工膝关节置换术,还需要不断总结经验,术中有必要对假体力线和位置再度测量^[10]。

在TKA术中,常常遇到公司所提供假体前后径及左右径无法与患者股骨及胫骨截骨面完全匹配的情况。虽然很多公司近年来都增加了一些尺

寸供医生选择,但毕竟所提供的假体尺寸不是连续性的,医生常常面对假体前后径或左右径比患者实际尺寸偏大或偏小。而在优先选择前后径还是左右径上,目前尚无严格的标准。过去在使用传统工具术中测量股骨和胫骨大小时,一些医生提出假体“宁小勿大”。在实际工作中我们发现,有时不小心选择的股骨或胫骨假体横径超出相对应的截骨面横径少许,在术后的长期随访中患者并无任何不适感;从理论上说,尽可能维持膝关节屈伸过程中的关节间线在生理解剖水平,才能获得较好的屈伸间隙平衡和力臂平衡,患者术后才可能获得较好的稳定性和舒适感。目前临床上使用的膝关节假体,多数无法完全模仿患者膝关节的生理解剖状态,术者要尽可能避免过度截骨,尤其是股骨远端和后髁截骨厚度对膝关节屈伸稳定和舒适性影响较为明显^[11]。

本研究PSI组术前通过3D可视条件下进行假体匹配,对假体的选择更加直观和全面。在可供选择的假体尺码内,为了保证后髁截骨厚度与假体后髁厚度一致,允许假体在一定部位和一定程度上超出截骨面,最大限度地保证了后髁截骨量与假体后髁厚度一致。在本文PSI组,除去2个术中截骨导板安装位置过度前倾的,其余患者后髁截骨量最大为8.3 mm,与最小截骨量5.8 mm,与假体后髁厚度6 mm相差不大;而使用传统“四合一”截骨导板由于截骨槽后缘以及胫骨平台前缘的遮挡,往往在后髁截骨前无法准确判断后髁截骨的厚度。本研究PSI组后髁截骨量明显小于CI组且与假体后髁厚度更接近,说明术前三维CT重建图像辅助确定截骨方案,有利于提高股骨后髁截骨的精确性。

本研究显示,术后3个月,PSI组患者AKS评分高于CI组,患者满意度较高。既往诸多文献报道,PSI辅助的膝关节表面置换对于改善股骨假体冠状面、矢状面的对线及旋转对线并无帮助,对胫骨平台假体对线甚至不如传统手术工具^[12-14]。但有文献表明,膝关节屈伸过程中内侧间室的运动轨迹对于患者术后满意度有重要影响,是影响术后AKS的重要因素之一^[11]。本文PSI组患者术

后3个月AKS高于CI组,可能与股骨后髁和远端截骨量的精确性有关。相关结论的得出还需要更多的病例观察。术后1年,两组患者AKS评分差别没有统计学意义,可能与功能锻炼、患者适应能力等多方面因素有关。

按照术前规划,PSI组多例患者股骨及胫骨假体边缘超出截骨面边缘,超出的部位最多见于股骨假体前翼内侧缘,其次是股骨远端截骨面外侧或内侧;胫骨假体超出截骨面边缘主要位于外侧缘后方以及平对胫骨结节外上方、Gerdy's 结节内侧的截骨面。术后X线平片不能完全反映出这些部位假体超出的情况。本文术后观察最长时间为1年,未发现患者有明显的

不适。关于胫骨平台假体的旋转定位,既往多数以平对胫骨结节中内1/3为标准。Heyse等^[15]利用基于患者核磁共振制作的个性化截骨导板,通过手术发现,胫骨结节作为胫骨假体旋转定位的参照,无论在观察者内还是观察者间的可重复性都较差,参考价值不大。本文PSI组患者术中按照最佳覆盖原则决定胫骨假体的旋转定位,术前依照三维CT结果,PSI组27例患者中,20例患者胫骨假体前后轴线与胫骨前方皮质相交于胫骨结节内侧1/3至内侧缘,另有部分术前膝内翻较为严重的患者,其交点位于胫骨结节内侧缘内侧,最长达胫骨结节内侧缘内侧超过1 cm,本文术后观察1年,患者未出现明显不适;术后三个月观察患者AKS明显高于传统定位方法,是否与PSI组胫骨平台旋转定位方法有关,尚有待更多病例临床观察。既往文献报道,使用个性化截骨导板可以获得更好的下肢旋转力线^[16],是否主要得益于胫骨平台假体旋转力线的改善,尚无法得知。

术前薄层CT扫描结果可用于术前截骨计划,有利于正确选择假体尺寸和位置。股骨和胫骨假体在一定部位有限超出截骨面边缘,不会增加术后短期患者不适感。使用解剖形态的胫骨假体时,可以依据最佳覆盖原则确定平台假体的旋转定位。胫骨结节作为TKA术中胫骨平台假体旋转定位的参照意义不大。

参考文献

- [1] 彭贇侨, 张占磊, 钟世镇, 等. 基于全膝关节置换的三维术前规划实践 [J]. 中国数字医学, 2013, 8(12): 45-49.
Peng JQ, Zhang ZL, Zhong SZ, et al. Practice of preoperative strategy based on total knee arthroplasty [J]. China Digit Med, 2013, 8(12): 45-49.
- [2] Kwon OR, Kang KT, Son J, et al. The Effect of patient-specific instrumentation incorporating an extramedullary tibial guide on operative efficiency for total knee arthroplasty [J]. Biomed Res Int, 2017, 20(17): 2034782-2034794.
- [3] 吴东迎, 袁峰, 吴继彬, 等. 3D打印截骨导板在人工全膝关节置换术中的应用 [J]. 中华骨科杂志, 2015, 35(9): 921-926.
Wu DY, Yuan F, Wu JB, et al. Clinical application of 3D printing guide plate in total knee arthroplasty [J]. Chin J Orthop, 2015, 35(9): 921-926.
- [4] Williams DP, O'Brien S, Doran E, et al. Early postoperative predictors of satisfaction following total knee arthroplasty [J]. Knee, 2013, 20(6): 442-446.
- [5] Kuroda Y, Matsumoto T, Takayama K, et al. Subjective evaluation before and after total knee arthroplasty using the 2011 Knee Society Score [J]. Knee, 2016, 23(6): 964-967.
- [6] Wernecke GC, Taylor S, Wernecke P, et al. Resection accuracy of patient-specific cutting guides in knee replacement [J]. ANZ J Surg, 2017, 87(11): 141-143.
- [7] Ollivier M, Tribot-Laspierre Q, Amzallag J, et al. Abnormal rate of intraoperative and postoperative implant positioning outliers using "MRI-based patient-specific" compared to "computer assisted" instrumentation in total knee replacement [J]. Knee surg Sports Traumatol Arthrosc, 2016, 24(11): 3441-3447.
- [8] Zhang J, Tian XB, Sun L, et al. Establishing a customized guide plate for osteotomy in total knee arthroplasty using lower-extremity x-ray and knee computed tomography images [J]. Chin Med J (Engl), 2016, 129(4): 386-391.
- [9] Huijbregts HJ, Khan RJ, Fick DP, et al. Component alignment and clinical outcome following total knee arthroplasty: A randomized controlled trial comparing an intramedullary alignment system with patient-specific instrumentation [J]. Bone Joint J, 2016, 98-B(8): 1043-1049.
- [10] Issa K, Rifai A, McGrath MS, et al. Reliability of templating with patient-specific instrumentation in total knee arthroplasty [J]. J Knee Surg, 2013, 26(6): 429-433.
- [11] Risitano S, Indelli PF. Is "symmetric" gap balancing still the gold standard in primary total knee arthroplasty? [J]. Ann Transl Med, 2017, 5(16): 325-355.
- [12] Woolson ST, Harris AH, Wagner DW, et al. Component alignment during total knee arthroplasty with use of standard or custom instrumentation: A randomized clinical trial using computed tomography for postoperative alignment measurement [J]. J Bone Joint Surg Am, 2014, 96(5): 366-372.
- [13] Barrack RL, Ruh EL, Williams BM, et al. Patient specific cutting blocks are currently of no proven value [J]. J Bone Joint Surg Br, 2012, 94(11) Suppl A: 95-99.
- [14] Conteduca F, Iorio R, Mazza D, et al. Patient-specific instruments in total knee arthroplasty [J]. Int Orthop, 2014, 38(2): 259-265.
- [15] Heyse TJ, Tibesku CO. Improved tibial component rotation in TKA using patient-specific instrumentation [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2015, 135(5): 697-701.
- [16] Mannan A, Smith TO. Favourable rotational alignment outcomes in PSI knee arthroplasty: A level 1 systematic review and meta-analysis [J]. Knee, 2016, 23(2): 186-190.

(编辑 余菁)