

# 单侧全膝关节置换术前两下肢步态差异性分析\*

马青川<sup>1</sup> 肖丽英<sup>1,3</sup> 林剑浩<sup>2</sup> 李志昌<sup>2</sup> 董雪<sup>2</sup>

## 摘要

**目的:**比较在单侧全膝关节置换术(TKR)前以美国膝关节协会评分(KSS)为依据确定的手术侧和非手术侧在步态上的差异性。

**方法:**筛选16例即将做单侧TKR手术的患者,使用KSS评分、WOMAC、SF-36评判患者健康状况,并将KSS得分较低的一侧确定为手术侧。使用三维步态分析系统采集患者以自选步速赤脚穿袜行走时的步态数据,比较患者手术侧和非手术侧在时空、运动学和动力学参数上的差异。

**结果:**KSS评分手术侧和非手术侧存在显著差异( $P<0.001$ ),支撑期非手术侧显著长于手术侧( $P=0.002$ ),患者手术侧和非手术侧在矢状面及冠状面上膝、踝、髌关节转角曲线及关节力矩曲线总体相似,关节转角幅值和关节力矩峰值均为未表现出显著差异( $P>0.05$ )。

**结论:**单侧TKR术前患者行走时偏向于使用非手术侧,手术侧和非手术侧在关节活动能力和关节受载方面并无明显差异。

**关键词** 步态分析;单侧全膝关节置换;膝关节骨性关节炎;生物力学

中图分类号:R318.01,R684 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2015)-05-0447-07

**Gait difference between lower limbs before unilateral total knee replacement/MA Qingchuan, XIAO Li ying, LIN Jianhao, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2015, 30(5): 447—453**

## Abstract

**Objective:** To compare gait difference between operated and nonoperated limb determined by knee society score (KSS) before unilateral total knee replacement(TKR).

**Method:** Sixteen knee osteoarthritis patients prepared for unilateral TKR were recruited from Peking University People's Hospital, China. Common clinical measurement scale KSS was used to evaluate health status of patients, and the limb with lower KSS score was determined as operated limb. Gait parameters were collected by a three dimensional gait analysis system when patients walking at a self-selected speed in stockings, and the difference of temporal-spatial, kinematic and kinetics parameters were compared between operated and nonoperated limb.

**Result:** Significant difference of KSS score were found between operated and nonoperated limb ( $P<0.001$ ). Non-operated limb showed significant longer stance duration than that of operated limb ( $P=0.002$ ). Operated and nonoperated limb had similar curve trend of joint angle and joint moment on both sagittal and coronal planes. Joint motion angle range and peak joint torque showed no significant difference between two limbs( $P>0.05$ ).

**Conclusion:** Before unilateral TKR, patients tend to use nonoperated limb during walking, joint motion and joint loading showed no significant difference between operated and nonoperated limbs.

**Author's address** Tsinghua University, Beijing, 100084

**Key word** gait analyze; unilateral total knee replacement; knee osteoarthritis; biomechanics

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2015.05.008

\*基金项目:国家自然科学基金面上项目(51275267)

1 清华大学机械工程设计工程研究所,北京,100084; 2 北京大学人民医院骨关节科; 3 通讯作者

作者简介:马青川,男,硕士研究生; 收稿日期:2014-04-18

膝关节骨性关节炎(knee osteoarthritis, KOA)是老年人多发疾病,其主要致病因素与膝关节所受过机械载荷有关<sup>[1]</sup>。全膝关节置换术(total knee replacement, TKR)是晚期KOA最常见的手术治疗手段,其中多数TKR属于单侧置换。三维步态分析是一种可以定量分析人体运动特征的研究方法,在骨性关节炎相关研究中常用来检查被试对象的运动能力及评判手术效果。

目前临床上常以美国膝关节协会评分(knee society score, KSS)来评估KOA患者健康状况,并且以KSS得分高低作为选择单侧TKR手术侧的依据。是否以术前KSS评分确定的手术侧和非手术侧在步态上存在差异性还有待进一步探讨。此外,目前围绕单侧TKR患者两下肢步态差异性的研究多集中在TKR术后,并且主要基于西方人种<sup>[2-4]</sup>。由于国人膝关节截面以及膝关节内倾角与西方人不同<sup>[5-6]</sup>,而国内相关研究以临床医学领域居多。使用生物力学方法分析国人单侧TKR术前两下肢步态差异性,对于探讨KOA严重程度对下肢生物力学影响、指导TKR手术及评估患者术后非手术侧再次置换风险方面都很有必要。

本文对16例单侧TKR术前患者进行三维步态分析,采集患者以自选步速赤脚穿袜行走时的时空、运动学和动力学参数,并用常见临床评估标准评估实验对象术前健康状况,旨在探讨国人单侧TKR术前以KSS评分确定的手术侧和非手术侧在步态参数上的差异。

## 1 方法

### 1.1 实验对象

本研究受试对象为2012年11月—2013年7月在北大人民医院准备进行单侧TKR手术的膝关节骨性关节炎患者。患者的筛选由北大人民医院一位专业医师负责完成。筛选标准为:患者除膝关节外其他关节无严重病变或进行过关节手术,可在无拐杖或他人协助下正常行走,没有神经缺陷、没有不可控制的高血压、无下肢严重麻木感、视力良好、行走耐力良好、体质指数(BMI)<50。实验前所有受试对象都已被告知实验相关信息并签署知情协议。

### 1.2 数据获取

使用带6个红外摄像机(ProReflex MCU240, Qualisys, Sweden)和两块三维测力板(OOR 627, AMTI, Advanced Mechanical Technology, Inc., MA, USA)的Qualisys三维运动捕捉系统采集实验对象行走时的步态数据。分别在实验对象的主要关节内外侧及肢体轮廓特征处贴红外发光标志点小球,在实验对象两下肢的胫骨股骨上绑标志点板。患者只穿袜子以自选步速随机正常行走,取五次踩测力板正常并且标志点轨迹连续的步态数据进行保存以备后期处理。

使用与Qualisys硬件系统配套的Qualisys Track Manager(Qualisys inc, V1.10.282)软件处理标志点轨迹,定义各标志点去除伪点拟合部分断点。将处理完毕的步态文件导出为V3D格式输入到三维运动分析软件Visual 3D(C-Motion Inc, V3.90.4)中,建立实验对象运动模型,使用该软件自带的pipeline命令导出各实验对象的时空、运动学及动力学步态数据,以作后续统计处理。

由北大人民医院的医师使用标准KSS、WOMAC(Western Ontario McMaster Universities osteoarthritis index)及SF-36评分(Short Form-36 score)调查问卷对实验对象的各项生理功能临床表现进行打分,并将KSS得分低的一侧作为手术侧。使用膝关节X光片评定实验对象K-L评级(Kellgren and Lawrence grades)。

### 1.3 数据处理

实验主要采用的时空参数为:步频、步速及支撑期时间等;运动学参数为:矢状面和冠状面各关节转角;动力学参数为:矢状面和冠状面各关节力矩。为剔除个体差异以便做统一比较,对步态数据进行归一化处理。对关节转角以静态站立相进行归一,对力矩进行身高×体重归一。为提高数据平滑性,对所有数据进行6Hz低通滤波。对力矩取一个支撑相数据,对关节转角取一个步态周期数据。使用绘图软件Origin(OriginLab Corporation, V8.5)绘制实验对象手术侧和非手术侧的步态数据对比图。

### 1.4 统计学分析

使用Origin中的统计分析模块对获得的手术侧和非手术侧步态数据进行双侧 $t$ 检验,设显著性水平 $P$ 为0.05。统计分析对象为两下肢KSS评分,支

撑期时间,矢状面和冠状面各关节运动幅值,矢状面和冠状面各关节力矩极值。为便于比对,所有极值都取绝对值。

## 2 结果

### 2.1 临床基本信息

经过临床筛选后,共有16例实验对象完成步态数据的采集,其中女性12例男性4例。实验对象基本信息见表1。实验对象临床健康状况见表2,由表可知,患者整体健康状况较差。无论手术侧还是非手术侧KSS得分都较低,而非手术侧显著好于手术侧( $P<0.05$ )。患者K-L评级全部在3及3级以上,其中3级7肢、4级25肢,非手术侧K-L评级3级数多于手术侧。

### 2.2 时空参数

从实验对象时空参数(表3)来看,患者在步速、步频、跨步长等参数上的表现都较差。双支撑期时间和支撑期时间偏长,并且非手术侧支撑期时间显著长于手术侧( $P<0.05$ )。时空参数表明患者行走能力受膝关节骨性关节炎影响明显。

### 2.3 运动学参数

由矢状面和冠状面关节转角曲线(图1),可知在整个步态周期内矢状面和冠状面手术侧和非手术侧各关节运动趋势基本接近,只在峰值处有差异,但并不明显。由图1膝关节转角曲线可知,矢状面支撑期和摆动期非手术侧弯曲峰值略高于手术侧,在支撑期二者弯曲幅度都很小;冠状面在支撑期手术侧和非手术侧转角差别较大,但到摆动期又基本重合。膝、踝、髋关节活动范围统计分析结果如表4所示。由表可知在矢状面和冠状面关节活动范围上,膝、踝、髋关节都没有显著差别( $P>0.05$ )。

### 2.4 动力学参数

由矢状面和冠状面关节力矩曲线(图2),可知在整个支撑期内矢状面和冠状面手术侧和非手术侧各关节力矩曲线整体上较为接近,虽然在峰值处略

有差别,但并不是非常明显。由图2膝关节力矩曲线可知,矢状面膝关节弯曲力矩占据整个步态周期的大部分,而伸展力矩所占比例较小;冠状面膝关节内收力矩曲线手术侧和非手术侧基本重合,没有出现正常步态下典型的两谷夹一峰的曲线形态,基本上只融合为一个波谷。膝、踝、髋关节力矩峰值统计分析结果见表5。由表可知在矢状面和冠状面关节力矩峰值上,膝、踝、髋关节都没有显著差别( $P>0.05$ )。

表1 实验对象基本信息 ( $\bar{x}\pm s$ )

项目	数值
性别(女/男,例)	12/4
年龄(岁)	71.44±8.00
手术侧(右/左,例)	8/8
身高(m)	1.60±0.08
体重(kg)	68.06±11.08
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	26.46±3.09

表2 实验对象临床健康状况 ( $\bar{x}\pm s$ )

项目	数值
KSS手术侧	33.75±14.72
KSS非手术侧	65.06±18.83
KSS(功能)	39.06±12.14
WOMAC	42.94±20.88
疼痛	10.31±7.17
晨僵	2.87±1.82
生活能力	29.75±16.17
SF-36	56.84±19.31
PCS	46.83±22.26
MCS	66.85±21.43
K-LⅢ级(手术侧/非手术侧)	2/5
K-LⅣ级(手术侧/非手术侧)	14/11

表3 实验对象时空参数间距 ( $\bar{x}\pm s$ )

项目	数值
步速(m/s)	0.49±0.15
步频(step/min)	89.56±13.95
跨步长(m)	0.66±0.18
双支撑时间(s)	0.27±0.09
手术侧支撑期时间(s)	0.92±0.17
非手术侧支撑期时间(s)	0.97±0.16

表4 关节转角幅值两侧对比 ( $\bar{x}\pm s, ^\circ$ )

关节	矢状面			冠状面		
	非手术侧	手术侧	P	非手术侧	手术侧	P
膝	38.17±14.37	36.18±15.99	0.57	6.17±4.01	6.85±4.23	0.64
踝	19.10±5.94	17.99±5.23	0.31	13.32±6.24	10.32±3.67	0.06
髋	30.77±6.73	28.76±8.40	0.06	8.84±3.07	7.54±3.52	0.16

表5 关节力矩峰值两侧对比

( $\bar{x} \pm s, \text{Nm/kg} \cdot \text{m}$ )

关节	矢状面			冠状面		
	非手术侧	手术侧	P	非手术侧	手术侧	P
膝	0.17±0.15	0.14±0.11	0.53	0.27±0.17	0.27±0.17	0.76
踝	0.51±0.17	0.51±0.14	0.92	0.11±0.11	0.13±0.08	0.45
髌	0.16±0.13	0.23±0.13	0.15	0.36±0.15	0.43±0.17	0.06

图1 矢状面和冠状面关节转角曲线图

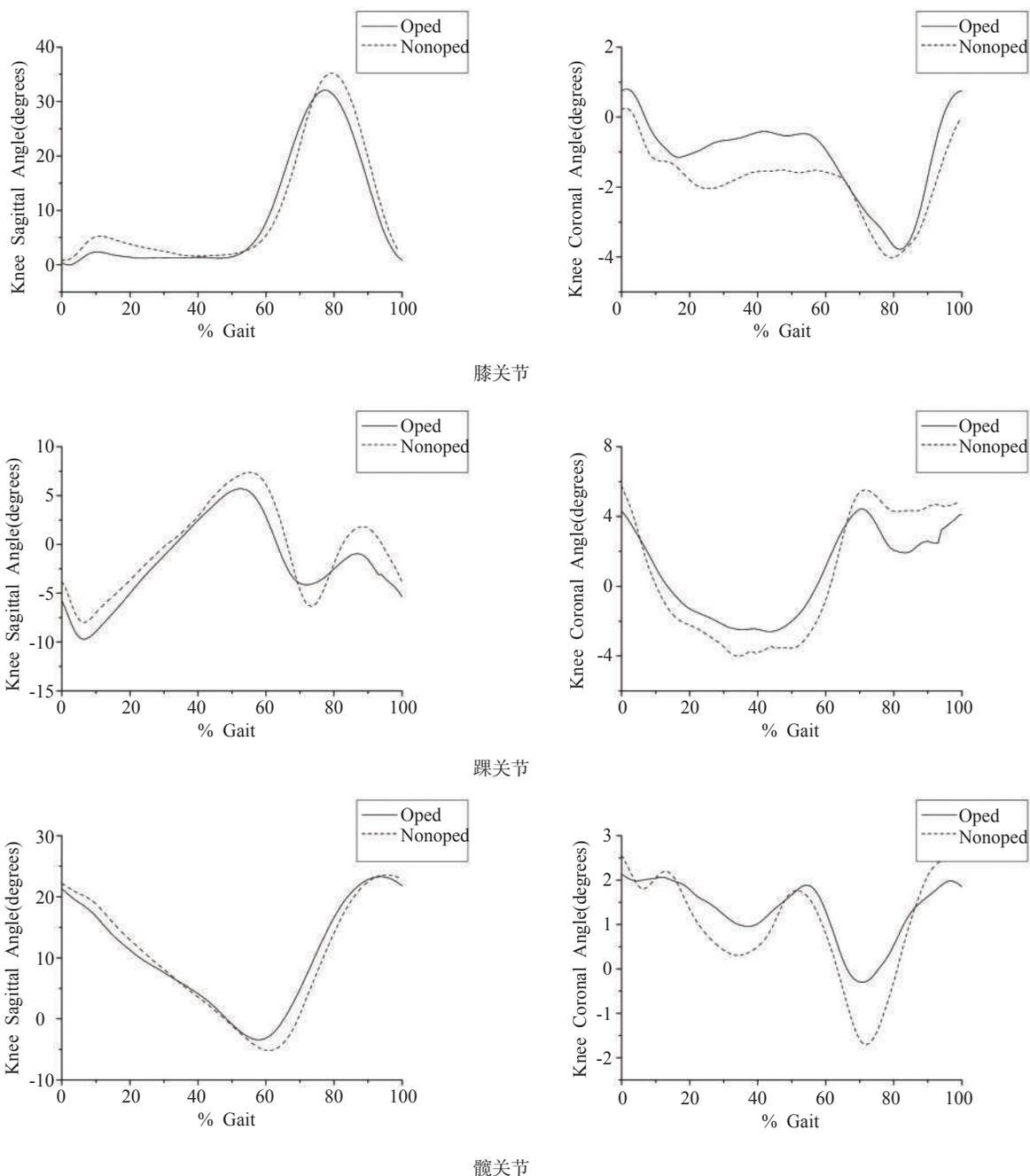
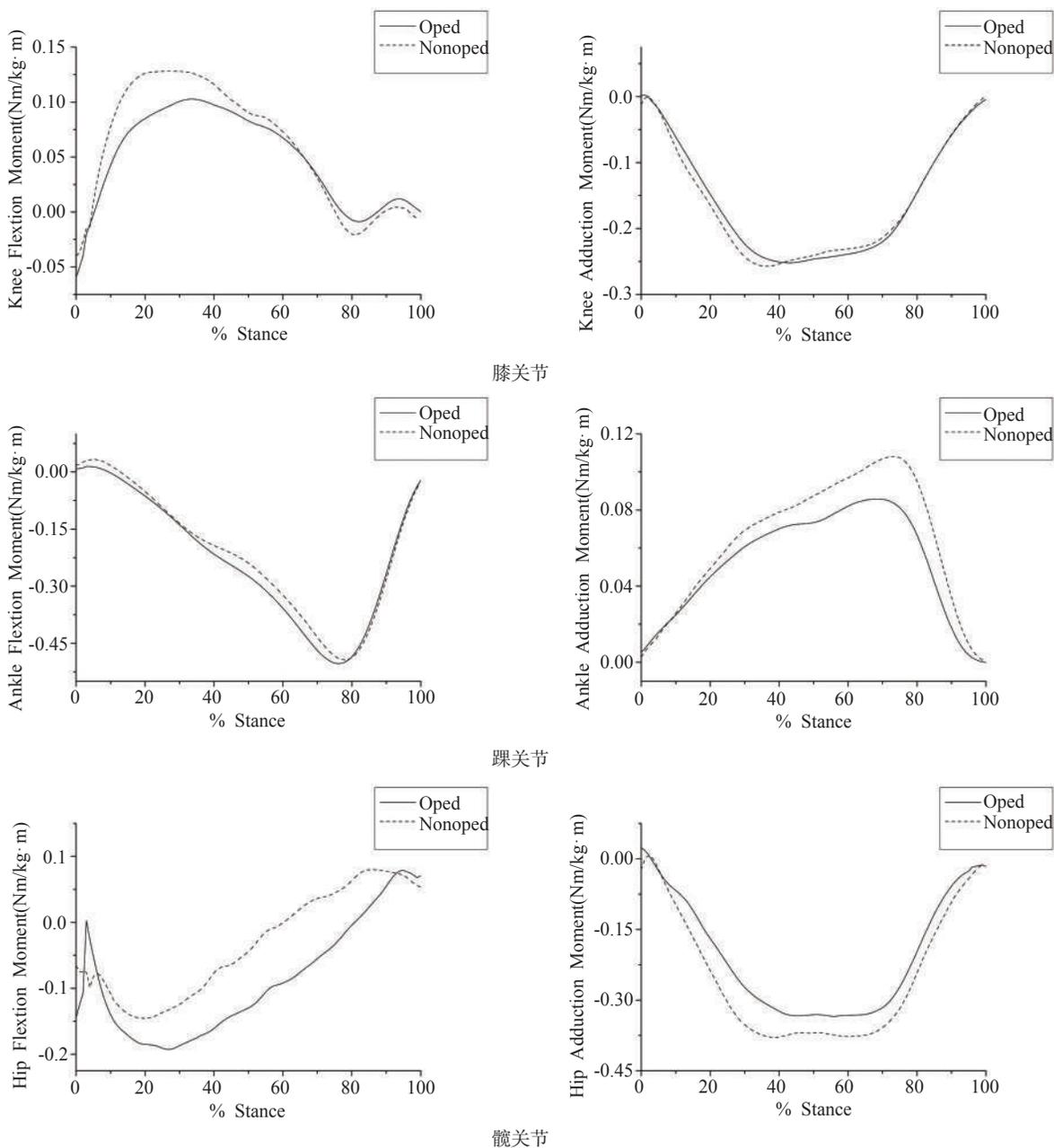


图2 矢状面和冠状面关节力矩曲线



### 3 讨论

人体行走时关节所受的载荷与步行速度相关。膝关节骨性关节炎患者往往采取降低步速的方法来减小膝关节所受的载荷<sup>[7]</sup>。在本研究中,患者平均步速和步频分别只有0.49m/s和89.56 step/min,显著小于青年正常国人的1.14m/s和108.60 step/min<sup>[8]</sup>。表明患者步速步频受膝关节骨性关节炎影响明显。患者非手术侧支撑期时间显著长于手术侧,显示患者

行走时更倾向于使用非手术侧腿。由于膝关节骨性关节炎是膝关节长期遭受不正常机械载荷所致,这种支撑期时间上的差异会导致行走过程中患者非手术侧承担的累计载荷大于手术侧。如果这一行走偏向在术后未得到有效纠正,则有可能使非手术侧膝关节因为受到长期过大载荷影响而导致骨性关节炎加重。

在运动学参数对比中,患者手术侧和非手术侧

在矢状面和冠状面各关节转角曲线趋势及关节运动幅值上都没有显著差别,表明在关节活动能力上两下肢差别不明显。无论手术侧还是非手术侧,矢状面膝关节支撑期弯曲峰值都较小。在这一问题上本研究所得结果与Hatfield等<sup>[9]</sup>的研究相似。由膝关节转角曲线可以看出,手术侧支撑期弯曲情况远差于非手术侧,几乎没有出现正常步态中支撑前期膝关节略微弯曲后的重新伸展,而是保持这一弯曲角一直到摆动期。由于支撑期膝关节的弯曲对于减缓下肢运动时的冲击载荷很重要,膝关节弯曲角的大小将影响关节受载率及最大垂直地反力<sup>[10]</sup>。本研究中患者支撑期过小的膝关节弯曲峰值将有可能降低下肢在脚跟着地期对地面冲击载荷的缓冲,恶化膝关节受载状况。

正常步态下膝关节弯曲力矩和伸展力矩占支撑期的比例基本相同,呈现典型的两相特征模式(bi-phasic moment pattern),而不正常步态下当弯曲力矩占支撑期比例远大于伸展力矩时称为股四头肌过用模式(quadriceps overuse pattern),否则称为股四头肌欠用模式(quadriceps avoidance pattern)<sup>[11]</sup>。本研究虽未设置专门的检查股四头肌功能的装置,但从矢状面膝关节力矩所反映的股四头肌情况来看,患者呈现典型的股四头肌过用模式,并且非手术侧股四头肌过用比手术侧严重。股四头肌可有效减缓下肢在接触地面瞬间的冲击载荷,如果股四头肌长期处于过用则将会使其功能减退,进而影响地面反作用力大小改变膝关节动力特性<sup>[12]</sup>。本研究中非手术侧腿严重的股四头肌过用状态将有可能恶化术后膝关节受载,加剧骨性关节炎症状,增加术后患者非手术侧再次TKR的风险。此外,Smith等<sup>[13]</sup>指出,支撑前期过高的膝关节弯曲力矩会增加髌股关节载荷,有可能导致术后膝关节前侧疼痛。这是另一个本研究患者术后可能面对的风险。

膝关节冠状面的内收力矩是影响膝关节正常功能最重要的动力学参数。膝关节内收力矩可反映膝关节内侧受力状况<sup>[14-15]</sup>,它与骨性关节炎的产生直接相关<sup>[16]</sup>并可作为衡量骨性关节炎严重程度的指标<sup>[17]</sup>。Miyazaki等<sup>[16]</sup>提出,内收力矩每提高1%则患骨性关节炎的几率就增加6.5倍。在本研究中,手术侧和非手术侧膝关节内收力矩曲线并没有出现正常步态中

常见的在支撑中期的小波峰,并且第一峰值和第二峰值差别不明显,表明患者行走过程中两侧膝关节受载都存在异常。手术侧和非手术侧膝关节内收力矩极值统计分析没有表现出显著差异,表明以内收力矩衡量的两下肢膝关节受载和骨性关节炎严重程度基本相同。

KSS评分是目前临床上最常见的评估患者健康状况的评估标准,由于具有简单易实施的特点而得到广泛应用。本研究采用标准KSS表完成了术前患者临床评估,并将得分低的一侧作为手术侧,分析两下肢KSS评分上的显著差异是否会在步态参数上体现出来。结果显示,除支撑期时间外,KSS得分低一侧(手术侧)和KSS得分高一侧(非手术侧)并没有在运动学和动力学参数上表现出显著差异,表明KSS评分的评估结果和步态分析评估结果在国人术前关节活动能力和关节受载上并没有表现出完全的一致性。

Shakoor等<sup>[1]</sup>采用调查患者数据库的方法在统计分析了大量单侧TKR患者的临床数据后发现,术后患者对侧膝关节容易发展为骨性关节炎而面临再次置换风险。Levinger等<sup>[2]</sup>和Alnahdi等<sup>[3]</sup>采用步态分析的方法所做的研究证实了这一问题,他们发现患者术后非手术侧受载大于手术侧。但这些研究多集中在TKR术后,由于缺乏术前数据并不是很清楚这种两下肢间的受载不对称是术前遗留还是由手术导致。本研究所得结果显示,术前单侧TKR患者并不存在非手术侧受载大于手术侧的情况。说明国人术前两下肢并没有出现受载不对称问题。

不足与展望:本研究使用的实验数据只有16例,对于步态数据的统计分析来说,样本量略显不足。后期研究可考虑扩大样本量,并增加术后分析,以探讨术前和术后两下肢步态差异性的联系。

#### 4 结论

本研究对16例即将进行单侧TKR手术的患者进行术前三维步态分析,结果发现患者行走时偏向于使用非手术侧腿,手术侧和非手术侧在关节活动能力和关节受载方面未表现出显著差异。患者非手术侧比手术侧更长的支撑期时间、较小的支撑期膝关节弯曲角、过高的弯曲力矩,是术后非手术侧出现

膝关节前侧疼痛、骨性关节炎加重甚至再次TKR需要考虑的潜在风险因素。

### 参考文献

- [1] Shakoore N, Block JA, Shott S, et al. Nonrandom evolution of end-stage osteoarthritis of the lower limbs[J]. *Arthritis Rheum*, 2002, 46(12):3185—3189.
- [2] Levinger P, Webster KE, Feller J. Asymmetric knee loading at heel contact during walking in patients with unilateral knee replacement[J]. *The Knee*, 2008, 15(6): 456—460.
- [3] Alnahdi AH, Zeni JA, Snyder-Mackler L. Gait after unilateral total knee arthroplasty: frontal plane analysis[J]. *J Orthop Res*, 2011, 29(5):647—652.
- [4] Milner CE. Interlimb asymmetry during walking following unilateral total knee arthroplasty[J]. *Gait & posture*, 2008, 28(1): 69—73.
- [5] 温宏,胡月正,陈成旺,等.计算机X摄影测量正常成人下肢负重轴线[J].*温州医学院学报*, 2008, 38(6):507—509.
- [6] Cheng CK, Lung CY, Lee YM, et al. A new approach of designing the tibial baseplate of total knee prostheses[J]. *Clinical Biomechanics*, 1999, 14(2): 112—117.
- [7] Astephen Wilson JL. Challenges in dealing with walking speed in knee osteoarthritis gait analyses[J]. *Clinical Biomechanics*, 2012, 27(3): 210—212.
- [8] 郝智秀,周吉彬,金德闻,等.不同足地界面对人体三维步态的影响[J].*清华大学学报(自然科学版)*, 2006, 46(8): 138802.
- [9] Hatfield GL, Hubble-Kozey CL, Astephen Wilson JL, et al. The effect of total knee arthroplasty on knee joint kinematics and kinetics during gait[J]. *The Journal of Arthroplasty*, 2011, 26(2): 309—318.
- [10] Riskowski JL. Gait and neuromuscular adaptations after using a feedback-based gait monitoring knee brace[J]. *Gait & posture*, 2010, 32(2): 242—247.
- [11] McClelland JA, Webster KE, Feller JA. Gait analysis of patients following total knee replacement: a systematic review[J]. *The Knee*, 2007, 14(4): 253—263.
- [12] Liikavainio T, Isolehto J, Helminen HJ, et al. Loading and gait symmetry during level and stair walking in asymptomatic subjects with knee osteoarthritis: Importance of quadriceps femoris in reducing impact force during heel strike? [J]. *The Knee*, 2007, 14(3): 231—238.
- [13] Smith AJ, Lloyd DG, Wood DJ. Pre-surgery knee joint loading patterns during walking predict the presence and severity of anterior knee pain after total knee arthroplasty[J]. *Journal of Orthopaedic Research*, 2004, 22(2): 260—266.
- [14] Hurwitz DE, Sumner DR, Andriacchi TP, et al. Dynamic knee loads during gait predict proximal tibial bone distribution[J]. *Journal of Biomechanics*, 1998, 31(5): 423—430.
- [15] Prodromos CC, Andriacchi TP, Galante JO. A relationship between gait and clinical changes following high tibial osteotomy[J]. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 1985, 67(8): 1188—1194.
- [16] Miyazaki T, Wada M, Kawahara H, et al. Dynamic load at baseline can predict radiographic disease progression in medial compartment knee osteoarthritis[J]. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 2002, 61(7):617—622.
- [17] Hurwitz DE, Ryals AB, Case JP, et al. The knee adduction moment during gait in subjects with knee osteoarthritis is more closely correlated with static alignment than radiographic disease severity, toe out angle and pain[J]. *Journal of Orthopaedic Research*, 2002, 20(1): 101—107.

(上接第446页)

- wearable technology [C]. *Proceeding of the IEEE*, 2010, 98: 450—461.
- [4] Cole BT, Roy SH, De Luca CJ, et al. Dynamic neural network detection of tremor and dyskinesia from wearable sensor data [C]. 32nd annual international conference of the IEEE EMBS, 2010, 6062—6065.
- [5] Friedman N, Rowe JB, Reinkensmeyer DJ, et al. The manometer: a wearable device for monitoring daily use of the wrist and fingers [J]. *IEEE Journal of Biomedical and Health Information*, 2014, 18:1804—1812.
- [6] Zhu C, Sheng WH. Wearable sensor-based hand gesture and daily activity recognition for robot-assisted living [J]. *IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics part A: Systems and Humans*, 2011, 41:569—573.
- [7] Wu G, Xue SW. Portable preimpact fall detector with inertial sensors [J]. *IEEE Transaction on Neural System and Rehabilitation Engineering*, 2008, 16: 178—183.
- [8] Figo D, Diniz PC, Ferreira DR, et al. Preprocessing techniques for context recognition from accelerometer data [J]. *Personal Ubiquitous Computing*, 2010, 14:645—662.
- [9] Gupta P, Dallas T. Feature selection and activity recognition system using a single triaxial accelerometer [J]. *IEEE Transaction on Biomedical Engineering*, 2014, 61: 1780—1786.