

文章编号:1004-7220(2015)01-0089-05

单侧全膝关节置换术后两下肢受力 不对称性的影响因素

马青川¹, 肖丽英¹, 李志昌², 董雪², 林剑浩²

(1. 清华大学 机械工程系, 设计工程研究所, 北京 100084; 2. 北京大学人民医院 骨关节科, 北京 100044)

摘要: 全膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)是晚期膝骨关节炎最常见的手术治疗手段。已有研究发现,单侧TKA术后两下肢受力不对称,对侧膝关节承担更大载荷,从而使骨关节炎加重面临再次置换的风险。综述单侧TKA术后可能引起两下肢受力不对称的影响因素,主要介绍下肢力线、疼痛、肌肉、本体感受、心理原因等;同时探讨这些影响因素对人体总的影晌效果、人体对不对称载荷的补偿机制以及临床干预手段。通过对单侧TKA术后两下肢受力影响因素的分析,可以制定针对性的临床干预手段,用以减小患者对侧膝关节发展为骨关节炎甚至置换的风险。

关键词: 单侧全膝关节置换术; 膝骨关节炎; 受力对称性; 生物力学

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.3871/j.1004-7220.2015.01.089.

Factors affecting asymmetrical lower extremity loading after unilateral total knee arthroplasty

MA Qing-chuan¹, XIAO Li-ying¹, LI Zhi-chang², DONG Xue², LIN Jian-hao² (1. *Institute of Mechanical Design, Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China*; 2. *Arthritis Clinic and Research Center, Peking University People's Hospital, Beijing 100084, China*)

Abstract: Total knee arthroplasty (TKA) is the most common surgery for treating late-stage knee osteoarthritis. Previous studies have shown that after unilateral TKA, the load-carrying on lower limbs is asymmetrical and the contralateral knee have to bear even greater loads. Therefore, the osteoarthritis side is susceptible to become even worse and under the risk of subsequent replacement. In this review, factors affecting asymmetrical loading on lower limbs, including changes in alignment, pain, muscle weakness, loss of proprioception, and psychological factors are reviewed. The overall effects of these affecting factors on human body, compensation of asymmetrical loading on the body segments and clinical interventions are also discussed. Specific clinical interventions can be introduced to reduce the risk of osteoarthritis or replacement of contralateral knee by analyzing the above factors affecting asymmetrical loading on lower limbs after unilateral TKA.

Key words: Unilateral total knee arthroplasty; Knee osteoarthritis; Loading symmetry; Biomechanics

骨关节炎(osteoarthritis, OA)是老龄人群常见疾病,其致病风险因素主要有衰老、肥胖、关节损

伤、下肢力线异常等。作为人体重要承重关节,膝关节是下肢最容易患OA的关节。膝骨关节炎(knee

收稿日期:2014-01-11; 修回日期:2014-02-27

基金项目:国家自然科学基金面上项目(51275267)。

通信作者:肖丽英,副教授, Tel:(010)62785522; E-mail: xiaoly@tsinghua.edu.cn。

osteoarthritis, KOA) 的产生与关节所受不正常机械载荷有关^[1], 其中比较重要的动力学影响参数是膝关节内收力矩。膝关节内收力矩可反映关节内侧受力状况, 它与 KOA 的产生直接相关^[2], 同时还可以作为衡量关节病变严重程度的一个指标^[3]。

对晚期 KOA 最常见的手术治疗手段是全膝关节置换术 (total knee arthroplasty, TKA), 它可以有效改善下肢力线、减少疼痛以及恢复受累关节的功能^[4]。良好的手术效果使得 TKA 手术人数一直在稳定增长^[5]。最近国外一些研究表明, 单侧 TKA 术后对侧膝关节容易发展为 OA, 甚至最后不得不进行对侧的关节置换^[6-8]。这一结果与临床医生的手术期望不符, 可能会影响医生手术方式的选择及术后康复训练时采取的策略。

目前主要采用三维步态分析的方法研究 TKA 术后两下肢的受力, 使用人体多刚体模型来获得实验对象行走时的相关步态参数^[3,7-8]。在这些研究中, 对于可能导致单侧 TKA 术后两下肢受力不对称的影响因素虽然都有提及, 但目前仍然缺乏对这些影响因素的系统总结性的文献。将影响单侧 TKA 术后对侧膝关节受力的因素进行归纳总结, 来制定相应的干预措施, 在临床上将更有意义。为此本文检索 KOA、TKA、特别是单侧 TKA 相关研究, 将有关文献中提到的两下肢受力的影响因素进行梳理, 分析各因素的影响机制, 同时介绍这些影响因素对人体总的效果、人体对不对称载荷的补偿机制及临床干预手段。

1 关节受力影响因素

由于人体肌肉骨骼系统的复杂性, 影响人体正常运动及 TKA 术后效果的因素有很多, 这些纷繁复杂的因素给确定人体正常运动机理及解释一些术后现象造成了困难。一些因素可以通过相关手段加以控制, 但还有一些甚至找到有效的定义及衡量方法都比较困难。对于 KOA 或单侧 TKA 患者来说, 影响其肢体受力状况及手术效果的因素主要有下肢力线、疼痛、肌肉、本体感受、心理原因等。

1.1 下肢力线

下肢力线描述了连接股骨头中心与胫骨平台中心的连线和连接胫骨平台中心与踝关节中心的连线在冠状面的夹角。KOA 患者由于内侧膝关节空间塌陷, 使患侧下肢力线比健侧内翻严重。在进行

TKA 手术后, 患者患侧下肢力线得到矫正。在术后较长时间内, 由于假体定位不准或假体松动, 患者下肢力线还会随时间推移而缓慢改变。下肢力线的改变将影响患者行走时的下肢动态受力。单侧 TKA 手术患者的患侧下肢力线在术前、术后初期及术后较长时间内存在一个动态改变的过程, 这种力线的改变将会反映在关节受力上, 有可能导致患侧和健侧在受力上存在差异。Hilding 等^[9]对 45 名 TKA 患者进行步态分析后认为, 冠状面膝关节力矩与下肢力线之间存在联系, 可以用下肢力线反映患者行走时的受力情况。Orishimo 等^[10]对 15 名 TKA 患者在术前、术后 6 个月以及术后 1 年进行下肢力线和膝关节内收力矩分析, 发现动态内翻角与膝关节内收力矩之间存在关联性。单侧 TKA 术后不对称的下肢力线不仅影响下肢, 还有可能放射到躯干, 导致躯干在冠状面向对侧弯曲^[11]。下肢力线与膝关节内收力矩之间存在关联性^[3], 而膝关节内收力矩又与 OA 的产生直接相关, 单侧 TKA 后不对称的下肢力线有可能导致不对称的两下肢受力, 最终有可能使对侧承受更大载荷而引发 OA。

1.2 疼痛

TKA 手术的主要目的是解除疼痛。在双侧 KOA 中, 疼痛程度被医生作为置换侧选择时的主要考量。疼痛被认为是一种人体的自我保护机制。人体神经系统通过感受疼痛来改变身体运动, 从而保护某些受伤组织不受进一步的运动损伤^[12]。疼痛对于运动过程中的减载作用不仅对于肌肉组织有效, 而且对于跟腱和髌下脂肪垫等非肌肉组织疼痛也是有效的减载调节器^[13-14]。事实上, 疼痛对于运动的影响并不是一味的抑制, 当它限制某些纤维的活动性时会加强另外一些纤维的活动性^[15-16]。Hodges 等^[12]和 Tucker 等^[16]认为, 疼痛是人体对特定肌肉的一种减载机制。这些说法可以用来解释在单侧 TKA 术前由于患侧疼痛患者往往倾向于让对侧承担更多载荷这一现象。根据上述疼痛理论, 单侧 TKA 术后由于患侧疼痛的解除, 两下肢受力应该趋于正常。然而实际情况却是对侧受力并未发生立即改变, 甚至出现需要再次置换的问题。对此一个合理的解释是: 疼痛对于身体的影响较为深远, 长期疼痛作用使一些组织特性发生改变, 而这种改变并没有因疼痛的消失而恢复。临床观察也发现, 疼痛对于患者肌肉功能的抑制作用在疼痛解除后依

然存在^[17]。即便是对于健康人,疼痛对他身体运动机能造成的影响并不会随着疼痛的消失而立即恢复正常^[18]。

1.3 肌肉

在肌肉组织中,以股四头肌和股二头肌对于人体正常行走最为重要。股四头肌主要是起膝关节伸展的作用,其另一个更加重要的作用是减缓下肢在接触地面瞬间的冲击载荷^[19]。如果股四头肌机能减退,将直接影响地面反作用力大小,改变膝关节动力特性^[20]。与同龄人相比,TKA 术后患者股四头肌机能下降 30% ~ 40%^[21]。较差的股四头肌机能将影响老年患者全膝关节置换手术的效果^[22]。在 TKA 患者中还发现,健侧股四头肌将补偿患侧股四头肌使两侧受力趋于平衡^[21]。在单侧 TKA 患者中,对侧股四头肌无论是在术前还是在术后都需要承担较多的载荷。这将会对对侧股四头肌机能造成损害,使其在缓冲冲击载荷方面的能力受到影响,由此产生的过大动载荷将会加大对侧患 OA 的风险。

1.4 本体感受

研究表明,衰老、退行性关节疾病、关节置换都将损害本体感受^[23]。KOA 病人本体感受与正常老年人或年轻人相比都要差^[24],并且女性 OA 患者本体感受差于与之性别及年龄对应的对照组^[25]。仅就关节置换对本体感受的影响来看,在 TKA 手术中前交叉韧带、关节软骨、半月板等众多关节内组织被切除,而这些组织对于维持本体感受非常重要。本体感受的缺失将导致患者站立不稳乃至有可能摔倒^[26]。单侧 TKA 患者术侧的运动能力由于手术对膝关节本体感受的破坏而受到影响,使得患者不得不依赖本体感受器官相对完整的对侧来完成运动。这种偏向有可能使对侧承受更多的载荷,从而增加对侧患 KOA 的风险。

1.5 心理原因

Vissers 等^[27]在一篇专门论述心理因素对关节置换术后结果影响的综述中提到,那些对疼痛过度敏感的患者会报告说术后疼痛比术前严重。另外, Talis 等^[28]在其研究结果讨论中提到,患者对于自己的手术侧腿缺乏安全感;那些被告知术后不要立即让患侧腿承受重载的患者在痊愈后依然在这么做,而这种适应性习惯将会直接影响患者两侧受力对称性。Levinger 等^[29]也提出类似的观点,认为患者对其患侧腿可能并不完全信任,双腿间不对称载荷的

出现可能是患者一种下意识的补偿策略,患者试图将身体重量移向非手术侧以减轻手术侧承受的载荷。

2 受力影响因素总体影响效果

从机械、运动及控制系统的角度来看,人体的骨骼系统非常类似于铰链多杆机构,肌肉系统类似于驱动制动结合的运动系统,与运动有关的神经系统类似于一个闭环控制系统。总体上,人体的运动系统可类比为复杂的闭环机电控制系统。静态力线和动态力线分别代表了这一系统的静态和动态平衡度,疼痛代表了其反馈传感器灵敏度,本体感受代表了传感器数量,肌肉代表了驱动和缓冲器,心理因素代表了原始输入信号。此外,各关节可看作是不同的轴承,关节滑液、关节软骨、半月板等可看作是润滑剂和减载块。

正常的膝关节可以认为是一个润滑良好、对中良好的轴承。在使用过程中这一轴承出现了疲劳损伤或其他机械损伤(随着机体的衰老及损伤的累积,关节滑液、关节软骨及半月板这些在膝关节中起着润滑和缓冲作用的润滑剂及减载块效能降低,使关节磨损增加,导致 OA 的产生^[30]),使其出现静态对中不良及动态和静态不平衡(KOA 的产生改变了患者静态力线并使其动态力线也发生改变^[9])。而且整个系统中的驱动和缓冲器性能开始退化,使得系统运动能力和有害冲击载荷的防护能力受到限制(衰老和 TKA 手术使得人体肌肉机能下降,其中最为重要的股四头肌对膝关节的驱动能力和对动载荷的缓冲能力都开始下降,使得 OA 或 TKA 患者步长、步速、步频及膝关节屈曲角下降^[19-20])。并且反馈传感器敏感度出现异常,使得控制系统降低了运动强度(疼痛使得神经系统减小了患侧的运动剧烈度^[12,16]),一些传感器丢失或损坏使得控制系统无法获得足够数量的输入信号,对于整个系统的控制能力降低(本体感受的下降使得患者对于使用患侧开始变得谨慎^[24]),输入信号中出现噪音,影响整个系统的正确运转(心理因素导致患者对患侧不够信任,开始主动干预患侧的运动状态^[28-29])。此外,就像每一个轴承都需要另外一个轴承相互配合才能完成回转运动一样,一侧轴承出现任何问题都会通过转轴将不平衡效应放大到对侧轴承上,使本来工作正常的轴承也出现问题。体现在人体上就是单侧

TKA术后对侧关节可能出现不对称的动载荷,从而导致磨损加剧,最终面临置换风险。

3 人体对不对称载荷的补偿机制

人体的运动系统是一个神经、骨骼、肌肉协同配合及相互影响的复杂系统,一个正常的人体行走过程牵扯到头、躯干、骨盆及下肢的协调运动^[31],其中任何一方出现问题都会对整体的正常机能产生影响。在正常情况下,人体两下肢受力处在平衡状态;而随着正常衰老或某些意外损伤的出现,这一平衡状态会被打破,可能发生两侧受力不对称的情况。单侧TKA患者术侧膝关节在本体感受、肌肉机能方面一般要差于非术侧,这使得病人往往以更多使用非术侧肢体来补偿对侧的机能不足。这种补偿机制的外在表现主要体现在以下3个方面:①就单腿来看,当TKA使膝关节机能受限后,补偿机制可以在同侧髋关节及踝关节的受载增大中体现出来^[32-33];②就双腿来看,单侧膝关节置换手术后对侧将会承担更多的载荷以减轻患侧负担^[7-8];③就整体来看,患者会出现躯干在冠状面的摇摆以减轻下肢动态受载^[34],并伴有步长、步频下降、双支撑期的延长^[35]。这3个方面的补偿机制并不是彼此孤立的,而往往有可能同时出现^[36]。

4 临床干预手段

通过探索KOA及TKA受力影响因素可以为临床干预提供一些指导。对于下肢力线而言,让患者穿减载带、楔形鞋垫及定制矫正鞋^[37]等非手术治疗手段可以改善患者下肢力线,使内侧受载减轻,在一定程度上减缓膝关节内侧间室OA的发展。对于肌肉特别是股四头肌,可进行加强锻炼以保持其减载能力。由于任何双腿协同参与的运动都有可能对对侧股四头肌对术侧进行补偿,故推荐采用单腿锻炼。股四头肌锻炼方法很多,其中比较有效的一种方法是让患者坐在椅子上完成单腿伸膝运动^[21]。本体感受训练以往只用于运动员的训练项目中,而Gstoettner等^[23]将一些本体感受训练项目用于TKA术前病人后发现,术前本体感受加强训练可以有效提高病人在术后的平衡和运动能力。对于心理因素,Talis等^[28]认为,病人存在过度遵循医嘱的情况,比如手术结束初期医生往往要求病人尽量少用术侧腿,以保护还未痊愈的术侧膝关节。但有时即

便术侧已经康复,病人依然偏向于使用非术侧。这种情况下临床医生可能还需要对患者做一些心理干预,以避免由于心理原因导致非术侧使用过度。

5 结论

人体的肌肉骨骼系统是一个各种因素相互制约相互影响的复杂运动系统。单侧TKA术后人体的两下肢受力对称性可能的影响因素主要有下肢力线、疼痛、肌肉、本体感受、心理原因等。这些影响因素往往并不独立,而有可能同时作用于人体,产生一个总的影晌效果。人体自身会有一些补偿机制来维持受力平衡,同时临床上也可采取一些人为干预手段来减小不对称载荷的影响。目前对人体两下肢受力影响因素的认识还不够系统和深入,未来研究可尝试对这些影响因素做更深层次的分析以提出更有效的临床干预策略,降低病人可能患KOA及随后TKA的潜在风险。

参考文献:

- [1] Shakoор 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] Miyazaki T, Wada M, Kawahara H, *et al.* Dynamic load at baseline can predict radiographic disease progression in medial compartment knee osteoarthritis [J]. *Ann Rheum Dis*, 2002, 61(7): 617-622.
- [3] Hurwitz DE, Ryals AR, 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]. *J Orthop Res*, 2002, 20(1): 101-107.
- [4] Konig A, Walther M, Kirschner S, *et al.* Balance sheets of knee and functional scores 5 years after total knee arthroplasty for osteoarthritis: A source for patient information [J]. *J Arthroplasty*, 2000, 15(3): 289-294.
- [5] Singh JA, Vessely MB, Harmsen WS, *et al.* A population-based study of trends in the use of total hip and total knee arthroplasty, 1969-2008 [J]. *Mayo Clin Proc*, 2010, 85(10): 898-904.
- [6] McMahon M, Block JA. The risk of contralateral total knee arthroplasty after knee replacement for osteoarthritis [J]. *J Rheumatol*, 2003, 30(8): 1822-1824.
- [7] 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.
- [8] Milner CE. Interlimb asymmetry during walking following

- unilateral total knee arthroplasty [J]. *Gait Posture*, 2008, 28(1): 69-73.
- [9] Hilding MB, Lanshammar H, Ryd L. A relationship between dynamic and static assessments of knee joint load [J]. *Acta Orthop Scand*, 1995, 6(4): 317-320.
- [10] Orishimo KF, Kremenec IJ, Deshmukh AJ, *et al.* Does total knee arthroplasty change frontal plane knee biomechanics during gait [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2012, 470(4): 1171-1176.
- [11] Harato K, Yoshida H, Otani T. Asymmetry of the leg alignment affects trunk bending in the coronal plane after unilateral total knee arthroplasty [J]. *J Arthrop*, 2013, 28(7): 1089-1093.
- [12] Hodges PW, Tucker K. Moving differently in pain: A new theory to explain the adaptation to pain [J]. *Pain*, 2010, 152(3): S90-98.
- [13] Henriksen M, Graven-Nielsen T, Aaboe J, *et al.* Gait changes in patients with knee osteoarthritis are replicated by experimental knee pain [J]. *Arthritis Care Res*, 2010, 62(4): 501-509.
- [14] Henriksen M, Aaboe J, Graven-Nielsen T, *et al.* Motor responses to experimental Achilles tendon pain [J]. *Br J Sports Med*, 2010, 45(5): 393-398.
- [15] Tucker KJ, Hodges PW. Motoneurone recruitment is altered with pain induced in non-muscular tissue [J]. *Pain*, 2009, 141(1-2): 151-155.
- [16] Tucker K, Butler J, Graven-Nielsen T, *et al.* Motor unit recruitment strategies are altered during deep-tissue pain [J]. *J Neurosci*, 2009, 29(35): 10820-108266.
- [17] Shakespeare DT, Stokes M, Sherman KP, *et al.* Reflex inhibition of the quadriceps after meniscectomy: Lack of association with pain [J]. *Clin Physiol*, 1985, 5(2): 137-144.
- [18] Henriksen M, Rosager S, Aaboe J, *et al.* Adaptations in the gait pattern with experimental hamstring pain [J]. *J Electromyogr Kines*, 2011, 21(5): 746-753.
- [19] 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]. *Knee*, 2007, 14(3): 231-238.
- [20] Syed IY, Davis BL. Obesity and osteoarthritis of the knee: Hypotheses concerning the relationship between ground reaction forces and quadriceps fatigue in long-duration walking [J]. *Med Hypotheses*, 2000, 54(2): 182-185.
- [21] Mizner RL, Snyder-Mackler L. Altered loading during walking and sit-to-stand is affected by quadriceps weakness after total knee arthroplasty [J]. *J Orthop Res*, 2005, 23(5): 1083-1090.
- [22] Moxley Scarborough D, Krebs DE, Harris BA. Quadriceps muscle strength and dynamic stability in elderly persons [J]. *Gait Posture*, 1999, 10(1): 10-20.
- [23] Gstoettner M, Raschner C, Dirnberger E, *et al.* Preoperative proprioceptive training in patients with total knee arthroplasty [J]. *The Knee*, 2011, 18(4): 265-270.
- [24] Sell S, Zacher J, Lack S. Proprioception decline in the osteoarthritic knee [J]. *Z Rheumatol*, 1993, 52(3): 150-155.
- [25] Mohammadi F, Taghizadeh S, Ghaffarinejad F, *et al.* Proprioception, dynamic balance and maximal quadriceps strength in females with knee osteoarthritis and normal control subjects [J]. *Int J Rheum Dis*, 2008, 11(1): 39-44.
- [26] Lephart SM, Pincivero DM, Rozzi SL. Proprioception of the ankle and knee [J]. *Sports Med*, 1998, 25(3): 149-155.
- [27] Vissers MM, Bussmann JB, Verhaar JA, *et al.* Psychological factors affecting the outcome of total hip and knee arthroplasty: A systematic review [J]. *Semin Arthritis Rheum*, 2012, 41(4): 576-588.
- [28] Talis VL, Grishin AA, Solopova IA, *et al.* Asymmetric leg loading during sit-to-stand, walking and quiet standing in patients after unilateral total hip replacement surgery [J]. *Clin Biomech*, 2008, 23(4): 424-433.
- [29] Levinger P, Webster KE, Feller J. Asymmetric knee loading at heel contact during walking in patients with unilateral knee replacement [J]. *Knee*, 2008, 15(6): 456-460.
- [30] Arno S, Walker PS, Bell CP, *et al.* Relation between cartilage volume and meniscal contact in medial osteoarthritis of the knee [J]. *Knee*, 2012, 19(6): 896-901.
- [31] Pecoraro F, Mazzà C, Cappozzo A, *et al.* Reliability of the intrinsic and extrinsic patterns of level walking in older women [J]. *Gait Posture*, 2007, 26(3): 386-392.
- [32] Mandeville D, Osternig LR, Chou LS. The effect of total knee replacement on dynamic support of the body during walking and stair ascent [J]. *Clin Biomech*, 2007, 22(7): 787-794.
- [33] Mündermann A, Dyrby CO, Andriacchi TP. Secondary gait changes in patients with medial compartment knee osteoarthritis: Increased load at the ankle, knee, and hip during walking [J]. *Arthritis Rheum*, 2005, 52(9): 2835-2844.
- [34] Chang QZ, Sohmiya M, Wada N, *et al.* Alternation of trunk movement after arthroplasty in patients with osteoarthritis of the knee [J]. *J Orthop Sci*, 2011, 16(4): 382-388.
- [35] Wu WL, Huang HT, Chen CH. Quantitative gait analysis after unilateral knee arthroplasty for patients with bilateral knee osteoarthritis [J]. *J Biomech*, 2007, 40: S502.
- [36] Hicks-Little CA, Peindl RD, Hubbard TJ, *et al.* Lower extremity joint kinematics during stair climbing in knee osteoarthritis [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2011, 43(3): 516-524.
- [37] Erhart JC, Mündermann A, Elspas B, *et al.* A variable-stiffness shoe lowers the knee adduction moment in subjects with symptoms of medial compartment knee osteoarthritis [J]. *J Biomech*, 2008, 41(12): 2720-2725.