

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2013.06.002

·专题·

## 从下肢生物力学来解析膝骨关节炎

乐意, 金荣疆, 阳杨, 寇洋洋

**[摘要]** 膝骨关节炎是临床上常见的退行性疾病, 因其高发病率和致残率而受到广泛关注。对于退行性膝骨关节炎的发病原因和机制, 目前研究比较确切的是生物力学的改变对膝骨关节炎的影响。本文从肌力与关节稳定性、膝关节内收力矩、步态、髌踝力线等方面探讨膝骨关节炎的发病机理与临床治疗。

**[关键词]** 膝骨关节炎; 生物力学; 关节稳定性; 内收力矩; 步态; 综述

**Relationship between Knee Osteoarthritis and Lower Limb Biomechanics (review)** LE Yi, JIN Rong-jiang, YANG Yang, et al. Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610075, Sichuan, China

**Abstract:** Knee osteoarthritis (KOA) is a commonly encountered degenerative disease in clinic which gets widespread attention due to its high incidence and disability. The biomechanics is a relatively cause of KOA. This paper reviewed the biomechanics from the aspects of articular stability, adduct torque, gait and alignment.

**Key words:** knee osteoarthritis; biomechanics; articular stability; adduct torque; gait; review

**[中图分类号]** R684.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-9771(2013)06-0505-05

**[本文著录格式]** 乐意, 金荣疆, 阳杨, 等. 从下肢生物力学来解析膝骨关节炎[J]. 中国康复理论与实践, 2013, 19(6): 505-509.

退行性骨关节炎(osteoarthritis)是一种与年龄、肥胖、创伤、应力失衡、内分泌、软骨代谢、免疫异常、遗传等多种因素相关, 以关节软骨变性和丢失及关节边缘和软骨下骨质增生为特征的慢性关节炎疾病<sup>[1]</sup>。临床上以膝关节发病最常见, 也最具代表性。在众多因素当中, 生物力学的原理最为清楚。生物力学因素(尤其是下肢)在骨关节炎的发生与发展中起到的综合作用得到了广泛的认同<sup>[2]</sup>。

### 1 膝关节的解剖生理特点

骨关节炎是发生在关节软骨的病变, 虽然化学、酶和代谢因素能够降低关节软骨的强度, 但要使软骨磨损剥脱却需要机械力<sup>[3]</sup>。膝关节是由股骨下端、胫骨上端及软骨组成, 主要有外侧副韧带、内侧副韧带、前交叉韧带、后交叉韧带附着于其上, 重要肌肉有股四头肌、腓绳肌。韧带主要起引导关节活动的作用, 而周围肌肉则可稳定关节的静态和动态姿势。半月板增加了胫骨和股骨内外侧软骨的接触面积, 这种双髁结构使膝关节对急性和慢性机械环境的改变尤其敏感。因此在双髁关节施加一内收或外展力矩, 会把实际关节接触点转移至一面, 从而增加单侧关节面上的负荷<sup>[4]</sup>。

Pelletier 等通过组织形态学研究认为, 软骨下骨丢失和软骨下骨吸收与骨关节炎软骨病变发生有关<sup>[5]</sup>。有动物实验证明, 软骨下骨组织的厚度与关节软骨退化程度是一致的, 并且随年龄增加而进一步增厚<sup>[6]</sup>。Anderson-MacKenzie 通过 X 线检查发现, 在仓鼠膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)模型中, 软骨下骨形态改变的发生先于软骨退变的发生<sup>[7]</sup>。这是由于当

关节负重时, 软骨变形, 拱形纤维结构承受沿胶原纤维方向传导的压力, 并将压力分散到软骨下骨<sup>[8]</sup>。过量的负荷会使软骨下骨的骨小梁微骨折。KOA 患者软骨下骨微骨折后骨小梁重塑, 重塑的骨小梁使骨硬度增加, 进而减弱了软骨对冲击的吸收能力; 同时在负荷下软骨发生变形, 使得作用力集中于某一处, 继发性引起软骨的损伤<sup>[9]</sup>。因次, 膝关节局部负荷过大, 或由于负重区域太小, 或两者兼有均可造成局部张应力的集中而发生软骨的损害。例如前交叉韧带断裂造成膝关节不稳的实验就可以证明此点。由于前交叉韧带可以承受旋转及前后方向的外力, 若是前交叉韧带受损或断裂, 向前的外力可以导致膝关节向前移动, 造成关节不稳, 膝关节软骨负重不均。Behets 将狗前交叉韧带离断, 通过对骨形态学研究发现所有离断前交叉韧带的动物模型都出现关节软骨退变及软骨下骨的重塑加速, 并均呈现出 KOA 症状<sup>[10]</sup>。

### 2 肌力

#### 2.1 膝关节肌力下降是引起 KOA 的重要因素

肌力的改变在 KOA 进程中有重要意义。由于关节疼痛和活动受限导致的废用性萎缩以及肌肉保护性抑制反应, 均可导致肌力下降<sup>[11]</sup>。肌肉是重要的震动吸收装置, 附着于关节周围, 有利于稳定关节; 肌力下降可导致关节稳定性下降。KOA 伴随的关节疼痛、活动受限, 使膝周肌腱、韧带等组织的强度降低, 进一步引起关节稳定性下降<sup>[12]</sup>。膝关节稳定性不良导致胫股关节、髌股关节面应力分布异常, 增加膝周围组织的磨损, 促进炎性反应, 加重疼痛促进 KOA 的发生或恶化。

作者单位: 成都中医药大学老年康复教研室, 四川成都市 610075。作者简介: 乐意(1986-), 女, 汉族, 四川成都市人, 硕士研究生, 主要研究方向: 康复医学与理疗学。通讯作者: 金荣疆(1963-), 男, 汉族, 博士, 医学教授, 主要研究方向: 脑血管卒中后的康复。

屈伸是膝关节最重要的运动, 腓绳肌和股四头肌正是分别参与膝屈、伸运动的主要肌肉; 许多研究都发现KOA患者股四头肌肌力变弱, 即使是有影像学支持但无症状的KOA患者股四头肌肌力比正常人下降15%, 下降的程度还与关节不适的程度有关<sup>[13-14]</sup>。Messier、吴毅等采用等速测力方法, 发现KOA患侧膝屈、伸肌均有显著性减弱, 尤以慢速运动测试下降最为明显; 且患膝的屈膝肌力和伸膝肌力比值与对照组无明显差异, 说明在KOA患者中屈伸膝肌肉萎缩程度接近<sup>[11,15]</sup>。

## 2.2 股四头肌肌力训练是KOA康复的基石

由于股四头肌与腓绳肌是参与膝关节矢状面上运动的主要肌肉, 决定着膝关节矢状面稳定性, 因此增强股四头肌与腓绳肌肌力, 提高膝矢状面的稳定性, 缓解关节挛缩和疼痛是治疗KOA的重要运动方法<sup>[16]</sup>。训练股四头肌及腓绳肌可有效地提高肌力和耐力、减轻疼痛, 并能使患者室内行走、登楼梯、坐位立起3个项目的依赖程度、困难程度和疼痛程度明显减轻, 提高患者的行为能力<sup>[17]</sup>。国际骨关节炎学会在2009年的膝骨关节炎防治指南中提出鼓励患者坚持进行有规律的有氧运动、肌力锻炼和增加活动范围的训练, 以改善下肢KOA的症状。Roddy等通过对1966年~2003年间发表在Medline、PubMed、Embase、CINAHL和Pedro等数据库上与KOA运动疗法相关的论文进行系统回顾分析, 得出有氧步行运动与股四头肌训练均可以有效缓解KOA的疼痛并改善功能, 但两者之间的效果并无明显差异<sup>[18]</sup>。俞晓杰等将45例受试者分为向心训练组、离心训练组和对照组, 向心训练组与离心训练组均接受为期8周的等速肌力训练, 用Biodex等速肌力测试训练系统评价KOA患者训练前后的膝关节伸肌和屈肌的峰力矩改变, 用视觉模拟评分法和Lequesne指数评价KOA患者疼痛和功能障碍的改变, 发现等速向心和等速离心肌力训练方案在KOA的治疗中均有效。在等速向心和等速离心训练之间未观察到显著性差异<sup>[19]</sup>。

## 3 膝关节内收力矩

膝关节是由内侧间室、髌股间室、外侧间室组成。KOA通常是从内侧间室软组织和软骨的退化开始, 然后发展为髌股间室或外侧间室关节炎。在日常活动中, 膝关节承受的负重为自身体重的2~4倍, 其中又有接近2/3的负重是由内侧间室承担, 这就是KOA主要发生在内侧间室的生理原因<sup>[20]</sup>。

从病理上来说, KOA的发生主要与膝关节的力线畸形有关。正常负重线: 髌关节中心与踝关节中心的连线通过膝关节中心。膝内翻: 重力线至膝中心向内偏移0.5 cm以上; 膝外翻: 重力线至膝中心向外偏移0.5 cm以上。也就是说, 如果重力线向内偏, 则内侧间室的压力会增大; 反之, 则外侧间室的压力增大。有膝内翻力线异常的患者常有疾病进一步发展的危险<sup>[21]</sup>。但是由于负重线在实际操作中不易得到, 因此研究者们选取与之息息相关的最能表达内翻力线的膝内收力矩来说明膝内外侧间室的负重。大量研究表明, 膝关节内收力矩是衡量内侧间室负荷的良好指标。有研究指出每增加1个单位的内收力矩就会增加6.5倍的恶化风险<sup>[22]</sup>。又因内收力矩可以在步行试验中以非侵入的检测方式得到, 基于以上两点, 内收力矩普遍

地被用作测量内侧间室负重的替代指标<sup>[22]</sup>。

内收力矩主要是由向内的重力反作用产生的。重力反作用力大小、重力反作用力与膝关节中心的力臂, 以及下肢的重量和加速度都能影响膝关节内收力矩大小。如果力臂增大或者重力反作用力增大或两者均增大, 则膝关节内收力矩也随之而增大。由于膝关节软骨的退化以及软组织的松弛, 内侧间室KOA患者的膝关节对线向内侧偏移, 即重力反作用力的压力中心向内侧偏移, 增加了重力反作用力的力臂。增加的膝关节内收力矩直接使膝关节内侧间室压增高<sup>[23]</sup>。实验研究证明, 相比正常人群, 内侧间室KOA患者的膝关节内收力矩往往有明显增高<sup>[24]</sup>。通过膝内收力矩峰值检测膝内侧的动力负重, 其升高程度与KOA的严重程度、膝关节的疼痛及疾病的进展有密切的关系<sup>[25]</sup>。Hunt等通过测试站立和行走时膝关节内收力矩、额状面力臂以及额状面重力反作用力大小得出膝关节骨性关节炎患者的膝内收力矩和重力反作用力在站立时与正常人有明显不同, 但额状面的力臂大小在站立时差别不大<sup>[26]</sup>。此外, 研究还显示, KOA患者膝内收力矩的峰值和额状面力臂明显大于正常人; 而额状面重力反作用力却明显低于正常人, 由此得出额状面力臂与膝内收力矩峰值的相关性高于额状面重力反作用力与膝内收力矩峰值的相关性<sup>[26]</sup>。

Pollo等运用4°外翻支具增加额外的外翻力矩以达到降低内侧间室负重和减轻疼痛的目的<sup>[27]</sup>。实验中11例受试者均使用外翻支具并运用三维步态分析仪分析步态。所有佩戴外翻支具的患者关节疼痛和活动度都有明显的改善; 三维步态仪测试显示使用外翻支具可以降低内收力矩以及内侧间室负重, 在步行中受试者的净内翻力矩平均下降13%, 内侧间室的负重平均下降11%<sup>[27]</sup>。Gaasbeek等同样运用外翻支具对15例受试者进行6周的治疗, 发现支具的使用可以提高功能和改善疼痛, 降低膝的内收力矩峰值, 尤其是对原发性膝内翻畸形患者的意义更为显著<sup>[28]</sup>。除此以外, 外翻支具还可以降低行走时内翻力矩的峰值, 轻度减少膝关节摆动相末期的伸展, 提高步行的速度<sup>[28]</sup>。

由于人在行走中60%~80%的负荷经膝内侧传递<sup>[29]</sup>, 所以骨关节炎中又以内侧间室骨关节炎最为常见, 其发病率大约是外侧间室的10倍<sup>[24]</sup>。膝关节动力学的研究显示, 正常人体在行走过程中膝关节冠状面在足跟首次着地时出现一极小的外翻力矩, 随后出现一个持续较大的内翻力矩, 即使是膝关节外翻畸形的患者也不例外, 这也解释了为什么膝关节内侧间室骨关节炎的发病率远远高于外侧间室。KOA患者往往内收力矩增大, 在步态周期的站立相中, 膝内收力矩将胫骨向内旋转, 增大了内侧间室的压力<sup>[30]</sup>。张旻等通过研究膝关节内侧间室关节炎的生物力学发现, 相比正常组, 患病组在步行支撑相前期与支撑相末期的膝内收力矩均明显升高, 这客观反映了KOA患者在步行过程中膝关节所承受的压力明显高于正常人群<sup>[24]</sup>。

针对步行的特点, 有学者采用足外展步态来治疗KOA。因为足外展步态可以将重力反作用力线向膝关节中心靠近, 即通过减少内收力臂来降低内收力矩。结果证明足外展步态可以减缓KOA的进程<sup>[31]</sup>。Guo测量不同步态的KOA患者在行走及



上下楼时内收力矩峰值大小,实验中将测试者分为两组,对照组以自己惯有的足前行角度行走,而实验组则是在自己惯有的足前行角度上足趾外展 15°行走,实验发现在步行时实验组内收力矩第二最大峰值比对照组有明显增高,但最大内收力矩峰值确无差异;上楼时,实验组的最大内收力矩峰值比对照组的大,但在第二峰值时明显小于对照组;在下楼时,不论是最大峰值还是第二峰值差异不大,结果显示足趾外展的步态对膝关节内侧间室关节炎患者可能有好处<sup>[32]</sup>。

Toriyama 等运用膝关节非负重支具观察 19 例有膝关节内侧间室骨关节炎患者在步行时膝和髌矢状面及额状面上的动力学,结果发现装有支具一侧的髌在 1%~49% 站立相时内收角度平均下降 2.58°<sup>[33]</sup>。通过三维步态分析仪的测量实验还发现,在佩戴支具情况下,站立相时骨盆向摆动腿一方倾斜,而躯干向站立腿方倾斜,这种步态可以在站立相时减少膝内收力矩和髌外展程度,从而减少膝关节的机械压力<sup>[33]</sup>。Toriyama 等指出,单侧膝关节非负重支具可以在步行时某个特殊时间点改变对侧膝内收角度。除此以外,膝关节支具还可以对同侧髌的额状面运动及对侧髌的额矢状面运动产生影响<sup>[33]</sup>。

#### 4 髌踝关节

##### 4.1 踝关节

下肢是一个整体的运动单元,任何一个部位的变化都会引起整个下肢的变化,髌踝足的力学也影响了膝关节在步态中的负重。有实验证实单膝关节炎患者双下肢所有关节的活动度都有下降。因此关注整个运动链是保护膝关节的要点<sup>[34]</sup>。由于 KOA 的发生与下肢的内收力矩增大有很大关系,因此,只要减少下肢内收力矩便能减轻症状,有效控制 KOA 的进展。基于这个理论, Kerrigan 等运用 5° 和 10° 的外侧楔形鞋垫治疗 KOA,研究发现两种外侧楔形鞋垫不仅仅起到减缓步行速度和减震作用,还可以有效降低步行中的内翻力矩。两种鞋垫对减少内翻力矩的效果差别不大<sup>[35]</sup>。Crenshaw 等运用 5° 的外侧楔形鞋垫来治疗膝关节内侧间室骨关节炎,并运用三维步态分析仪对 17 名健康受试者穿鞋垫前后进行分析。在时间参数和空间参数上,踝、髌、膝关节角或膝髌动力学上都没有太大的差别。但是穿鞋垫后内翻力矩和内侧间室压力比不穿鞋垫时有明显的下降。由此猜测穿外侧楔形鞋垫 KOA 患者功能的改善可能与穿鞋垫后内收力矩和内侧间室压力降低有关<sup>[36]</sup>。

##### 4.2 髌关节

McGibbon 等测出 KOA 的发生与髌关节的生物力学有关<sup>[37]</sup>。实验发现,与健康的年龄相仿老年人相比, KOA 患者伸膝向心力下降,伸髌离心力升高,与此同时有报道发现 KOA 患者髌关节的外展肌群肌力下降<sup>[38]</sup>,有研究人员由此猜测髌外展活动可能对疾病的进展有影响。髌外展肌群与髌内收力矩相关,外展肌群力量减弱则髌内收力矩减小,而减小的髌内收力矩会加速 KOA 的恶化<sup>[38]</sup>。另有研究也指出 KOA 病情越严重,髌内收力矩就越小,膝关节内收力矩就越大<sup>[39]</sup>。

尽管髌的内收及外展肌群对内侧膝关节负重影响的机制还不明确,但是这可能与他们参与骨盆和躯干在额状面上的稳定

性有关<sup>[40]</sup>。一项为期 18 个月的观察研究显示,髌内收力矩减小会增加膝内侧间室结构恶化的风险。为了解释这一现象, Chang 等提出减弱的髌外展肌力(与髌内收力矩降低相关)在患肢站立时会导致对侧摆动腿的骨盆进一步下沉,使身体重心向摆动腿侧偏移,增加患肢的力臂,使得膝关节内侧间室压力增加,加重关节的磨损,从而加速关节炎的进程<sup>[38]</sup>。有预实验通过 4 周的髌外展肌力训练使髌内收力矩降低 9%,并可明显地减轻疼痛<sup>[41]</sup>。

Bennell 等将 89 例患有膝关节内侧间室骨关节炎的患者随机分为 2 组,治疗组给予髌内收外展肌力训练及膝关节肌力训练,而对照组只给予膝关节肌力训练。结果显示,治疗组髌关节外展肌力平均增加 13%,髌关节训练在缓解疼痛和改善功能方面有显著的作用,但这种训练对髌内收力矩及膝内收力矩的影响并不显著<sup>[42]</sup>。

#### 5 KOA 研究中存在的问题及展望

##### 5.1 现阶段研究中存在的问题

在 KOA 的所有发病原因中,生物力学的改变是最为公认的因素。随着对生物力学研究的深入, KOA 的运动疗法也越来越受到重视,但在有些机制研究与疗法中还存在一些不足。

首先,有关膝关节肌力训练,大多都首推膝关节矢状面上的运动,如股四头肌肌力训练。但是膝关节除了需维持矢状面上的稳定也需要保持冠状面上的稳定,那么参与构成膝关节冠状面上的肌肉群在 KOA 的发生当中起到了怎样的作用?在训练当中该如何提高它们的肌力?另外随着等速训练仪器的引进和普及,越来越多的研究者倾向于运用仪器来做训练。如果用等速训练仪器来提高膝屈伸运动的肌力,等速离心训练及等速向心训练的效果谁优谁劣,两种训练模式各有何弊端?这类的研究还略显不足。

第二,随着研究的深入,越来越多的学者意识到下肢运动链的整体性。现在国外有些学者将目光投向了髌关节对 KOA 的影响。在研究髌外展肌力对 KOA 的影响时,有学者认为提高髌外展肌力可以减少膝内收力矩<sup>[41]</sup>。而有的学者则认为提高髌外展肌力可以缓解症状但不能影响膝内收力矩。欲求证这两种说法除了运用三维步态仪外还需要运用如 MRI 这类可直接观察结构改变的方法<sup>[42]</sup>。但就目前而言还并未有实验运用此方法来进行观察和验证。

另外,尽管研究者认为髌内收力矩反映了髌外展肌群的力量。但是这一说法有一定的问题,因为这两者之间的关系有一定的复杂性。内收力矩是通过逆动力学测得的,是一种净力矩,不能归因于任何单一的肌肉群,它代表的是在外展和内收方向上力矩产生者的整体效应。除此以外,力矩会受到骨盆及躯干运动的影响。髌外展肌力及髌内收力矩之间不一定有良好的相关性<sup>[43]</sup>。Henriksen 等以正常人为实验对象,发现髌内收力矩下降和实验中人为产生的疼痛所导致的髌外展肌力下降并没有使膝关节内收力矩升高,反而使内收力矩下降<sup>[44]</sup>。以上这些实验和观点对髌关节肌力训练可以降低膝内收力矩这一说法提

出有力的质疑。

与此同时,与髋外展功能相比,人们对髋内收肌群的关注要少得多。Yamada 等发现与同年龄段的人比较,KOA 患者的髋内收肌力更高。如果 KOA 情况越重,髋内收肌力也就越高<sup>[45]</sup>。从现在的国内外文献来看,很少有人对这一现象做出解释,更没有人研究髋内收肌群在 KOA 的发生和发展中所起的作用。另一值得深入探讨的问题是髋的训练是否对具有某种特性的 KOA 患者效果更明显?对这一类患者来说髋关节肌力训练可能就是改善症状最有效的方法<sup>[46]</sup>。

## 5.2 未来治疗和预防趋势

下肢是一个整体,髋、膝、踝三者关系密切。髋和踝的生物力学对 KOA 的发病有深远影响,所以在针对于膝关节的训练时也应应对踝关节和髋关节的生物力学加以纠正。根据以上问题,在未来 KOA 的研究中,研究者会更多地关注踝、髋甚至躯干部对膝关节的影响;在治疗方面,除了传统的自我训练外,还可使用各种辅助器具来纠正异常的力线。力线的改变是一个漫长的过程,与短暂的临床治疗相比,医者更应重视患者长期的自我教育与训练。比如让有 KOA 的高危人群在日常生活中重视股四头肌及腘绳肌的训练,并有意识地锻炼自己的髋外展肌群,纠正步态,积极地使用楔形鞋垫,必要时也可运用非负重膝支具等方法来长期有效地管理和控制疾病,这可能是未来治疗与预防 KOA 的一个趋势。

## 【参考文献】

- [1] 胥少汀,葛宝丰,徐印坎.实用骨科学[M].北京:人民军医出版社,2006:1337.
- [2] Block JA, Shakoor N. Lower limb osteoarthritis: biomechanical alterations and implications for therapy [J]. Curr Opin Rheumatol, 2010, 22(5): 544-550.
- [3] 孟和,顾志华.骨伤科生物力学[M].2版.北京:人民卫生出版社,1999:187-189.
- [4] 周敬滨,陶增羽,李国平.膝骨关节炎患者步态动力学相关参数分析[J].中国运动医学杂志,2010,29(3):268-271.
- [5] Pelletier JP, Boileau C, Brunet J, et al. The inhibition of subchondral bone resorption in the early phase of experimental dog osteoarthritis by licofelone is associated with a reduction in the synthesis of MMP-13 and cathepsin K [J]. Bone, 2004, 34(3): 527-538.
- [6] Ham KD, Loeser RF, Lindgren BR, et al. Effects of long-term estrogen replacement therapy on osteoarthritis severity in cynomolgus monkeys [J]. Arthritis Rheum, 2002, 46(7): 1956-1964.
- [7] Anderson-MacKenzie JM, Quasnicka HL, Starr RL, et al. Fundamental subchondral bone changes in spontaneous knee osteoarthritis [J]. Int J Biochem Cell Biol, 2005, 37(1): 224-236.
- [8] 吕存贤,王维佳.膝骨关节炎病因病理研究及中医治疗概况[J].浙江中医学院学报,2005,29(1):82.
- [9] McKinley TO, Bay BK. Trabecular bone strain changes associated with subchondral stiffening of the proximal tibia [J]. J Biomech, 2003, 36(2): 155-163.
- [10] Behets C, Williams JM, Chappard D, et al. Effects of calcitonin on subchondral trabecular bone changes and on osteoarthritic cartilage lesions after acute anterior cruciate ligament deficiency [J]. J Bone Miner Res, 2004, 19(11): 1821-1826.
- [11] Messier SP, Loeser RF, Hoover JL, et al. Osteoarthritis of the knee: effects on gait, strength, and flexibility [J]. Arch Phys Med Rehabil, 1992, 73(1): 29-36.
- [12] 倪国新.关节制动对韧带的影响[J].国外医学物理医学与康复学分册,1997,17(1):6-9.
- [13] Lewek MD, Rudolph KS, Snyder-Mackler L. Quadriceps femoris muscle weakness and activation failure in patients with symptomatic knee osteoarthritis [J]. J Orthop Res, 2004, 22(1): 110-115.
- [14] Slemenda C, Brandt KD, Heilman DK, et al. Quadriceps weakness and osteoarthritis of the knee [J]. Ann Intern Med, 1997, 127(2): 97-104.
- [15] 吴毅,杨晓冰,李云霞,等.膝关节骨性关节炎等速肌力测试的研究[J].中国康复医学杂志,1995,10(4):145-148.
- [16] Fransen M, McConnell S. Land-based exercise for osteoarthritis of the knee: a meta-analysis of randomized controlled trials [J]. J Rheumatol, 2009, 36(6): 1109-1117.
- [17] 谷爱武,白玉龙,吴毅,等.等速离心肌力训练治疗膝关节骨性关节炎的研究[J].中国康复医学杂志,1997,12(5):197-199.
- [18] Roddy E, Zhang W, Doherty M. Aerobic walking or strengthening exercise for osteoarthritis of the knee? A systematic review [J]. Ann Rheum Dis, 2005, 64(4): 544-548.
- [19] 俞晓杰,吴毅,白玉龙,等.等速向心和离心肌力训练治疗膝关节骨性关节炎患者的有效性研究[J].中国康复医学杂志,2007,25(11):985-988.
- [20] Iorio R, Healy WL. Unicompartmental arthritis of the knee [J]. J Bone Joint Surg Am, 2003, 85-A(7): 1351-1364.
- [21] Tanamas S, Hanna FS, Cicuttini FM, et al. Does knee malalignment increase the risk of development and progression of knee osteoarthritis? A systematic review [J]. Arthritis Rheum, 2009, 61(4): 459-467.
- [22] 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.
- [23] Foroughi N, Smith R, Vanwanseele B. The association of external knee adduction moment with biomechanical variables in osteoarthritis: a systematic review [J]. Knee, 2009, 16(5): 303-309.
- [24] 张旻,江澜.内侧间室膝骨性关节炎的下肢关节生物力学变化[J].中国康复,2011,26(1):36-39.

- [25] Thorp LE, Sumner DR, Wimmer MA, et al. Relationship between pain and medial knee joint loading in mild radiographic knee osteoarthritis [J]. *Arthritis Rheum*, 2007, 57(7): 1254-1260.
- [26] Hunt MA, Birmingham TB, Giffin JR, et al. Associations among knee adduction moment, frontal plane ground reaction force, and lever arm during walking in patients with knee osteoarthritis [J]. *J Biomech*, 2006, 39(12): 2213-2220.
- [27] Pollo FE, Otis JC, Backus SI, et al. Reduction of medial compartment loads with valgus bracing of the osteoarthritic knee [J]. *Am J Sports Med*, 2002, 30(3): 414-421.
- [28] Gaasbeek RD, Groen BE, Hampsink B, et al. Valgus bracing in patients with medial compartment osteoarthritis of the knee. A gait analysis study of a new brace [J]. *Gait Posture*, 2007, 26(1): 3-10.
- [29] Bennell K, Bowles KA, Payne C, et al. Effects of laterally wedged insoles on symptoms and disease progression in medial knee osteoarthritis: a protocol for a randomised, double-blind, placebo controlled trial [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2007, 8: 96.
- [30] Hurwitz DE, Sumner DR, Andriacchi TP, et al. Dynamic knee loads during gait predict proximal tibial bone distribution [J]. *J Biomech*, 1998, 31(5): 423-430.
- [31] Barrios JA, Higginson JS, Royer TD, et al. Static and dynamic correlates of the knee adduction moment in healthy knees ranging from normal to varus-aligned [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2009, 24(10): 850-854.
- [32] Guo M, Axe MJ, Manal K. The influence of foot progression angle on the knee adduction moment during walking and stair climbing in pain free individuals with knee osteoarthritis [J]. *Gait Posture*, 2007, 26(3): 436-441.
- [33] Toriyama M, Deie M, Shimada N, et al. Effects of unloading bracing on knee and hip joints for patients with medial compartment knee osteoarthritis [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2011, 26(5): 497-503.
- [34] 李月英. 等速肌力训练对膝关节骨性关节炎患者膝关节稳定性影响的临床研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- [35] Kerrigan DC, Lelas JL, Goggins J, et al. Effectiveness of a lateral-wedge insole on knee varus torque in patients with knee osteoarthritis [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2002, 83(7): 889-893.
- [36] Crenshaw SJ, Pollo FE, Calton EF. Effects of lateral-wedged insoles on kinetics at the knee [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2000, (375): 185-192.
- [37] McGibbon CA, Krebs DE. Compensatory gait mechanics in patients with unilateral knee arthritis [J]. *J Rheumatol*, 2002, 29(11): 2410-2419.
- [38] Chang A, Hurwitz D, Dunlop D, et al. The relationship between toe-out angle during gait and progression of medial tibio-femoral osteoarthritis [J]. *Ann Rheum Dis*, 2007, 66(10): 1271-1275.
- [39] 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.
- [40] Hunt MA, Birmingham TB, Bryant D, et al. Lateral trunk lean explains variation in dynamic knee joint load in patients with medial compartment knee osteoarthritis [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2008, 16(5): 591-599.
- [41] Chang A, Hayes K, Dunlop D, et al. Hip abduction moment and protection against medial tibiofemoral osteoarthritis progression [J]. *Arthritis Rheum*, 2005, 52(11): 3515-3519.
- [42] Bennell KL, Hunt MA, Wrigley TV, et al. Hip strengthening reduces symptoms but not knee load in people with medial knee osteoarthritis and varus malalignment: a randomised controlled trial [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2010, 18(5): 621-628.
- [43] Rutherford DJ, Hubley-Kozey C. Explaining the hip adduction moment variability during gait: Implications for hip abductor strengthening [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2009, 24(3): 267-273.
- [44] Henriksen M, Aaboe J, Simonsen EB, et al. Experimentally reduced hip abductor function during walking: Implications for knee joint loads [J]. *J Biomech*, 2009, 42(9): 1236-1240.
- [45] Yamada H, Koshino T, Sakai N, et al. Hip adductor muscle strength in patients with varus deformed knee [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2001, (386): 179-185.
- [46] Hancock M, Herbert RD, Maher CG. A guide to interpretation of studies investigating subgroups of responders to physical therapy interventions [J]. *Phys Ther*, 2009, 89(7): 698-704.

(收稿日期: 2012-11-19 修回日期: 2013-02-19)