

从运动生物力学角度探讨太极拳改善膝骨关节炎的作用机制

刘龙呈, 张峰, 高鹏翼, 赵天林, 王泓皓, 李刘伊诺, 王佳颖, 朱翔宇*

北京中医药大学针灸推拿学院, 北京 100029

* 通信作者: 朱翔宇, E-mail: 116491992@qq.com

收稿日期: 2024-01-05; 接受日期: 2024-05-23

基金项目: 教育部产学研项目(202101312001); 北京中医药大学重点攻关课题项目(2020-JYB-ZDGG-066)

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2024.04015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



摘要 膝骨关节炎(KOA)是一种多发于60周岁以上老年人的慢性退行性骨关节疾病。以太极拳为主的运动疗法已被证实对KOA所致慢性疼痛具有良好疗效, 长期坚持太极拳锻炼可有效改善KOA患者膝踝本体感觉, 增强动态稳定性和降低跌倒风险。但其具体机制尚未形成统一共识。KOA患者具有明显的运动生物力学特征改变, 运动生物力学指标的改变是KOA的始动因素和病理基础。本研究基于运动生物力学探讨太极拳对KOA患者膝关节的力学影响, 分析太极拳改善KOA的潜在作用机制, 以期为太极拳干预KOA提供依据。太极拳训练涉及的运动生物力学理论包括动力学部分、静力学部分和运动学部分等。从运动生物力学角度看, 太极拳训练改善KOA的潜在作用机制包括改善平衡能力、提高稳定性(改善KOA患者股四头肌肌力、协调膝关节周围肌群和降低KOA患者膝关节内侧负荷)、均衡关节内应力(降低半月板及软骨的峰值应力、改善下肢肌力和下肢力线)和降低运动反作用力等4个方面。但太极拳训练仍存在一些不足之处, 可能会影响其运动生物力学的分析, 具体表现在以下4个方面: ① 太极拳初学者训练方式不恰当, 可能会增加肌肉、韧带和关节损伤概率; ② 太极拳训练动作具有一定难度, 受试者短时间内学习容易动作不规范, 容易影响研究数据的准确性; ③ 脱落率逐渐提高, 不利于进行数据统计; ④ 完整的太极拳训练耗时长、分析难度大, 目前主要单独对特定动作进行分析, 关于非代表性动作的研究偏少。

关键词 膝骨关节炎; 太极拳; 运动生物力学; 平衡能力; 稳定性; 关节内应力; 运动反作用力

膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)是一种常见的慢性退行性骨关节疾病, 多见于60周岁以上的老年人^[1]。有研究显示, 80% KOA患者运动能力受限, 25% KOA患者已丧失主要日常生活活动能力^[2-3]。患有KOA的老年人跌倒风险增加, 比未患KOA的老年人跌倒率增加39%^[3-4]。目前, KOA的常见治疗方法包括以非甾体抗炎药(nonsteroidal antiinflammatory drugs, NSAIDs)为主的药物治疗、以物理治疗为主的非药物治疗、手术治疗等。NSAIDs是治疗KOA的首选药物, 但长期服用易造成胃部不适、耳鸣、心血管疾病、出血、肝脏及肾脏的损害; 受累关

节进行皮质类固醇关节腔内注射, 虽然能较好地缓解关节疼痛, 但是也有较大的毒副作用^[5]。对于膝关节疼痛严重且伴有活动受限的患者, 应建议进行关节置换术, 但手术过程存在一定风险。与以上治疗方法比较, 运动疗法以毒副作用小、治疗成本低等优势, 被临床广泛使用^[6]。以太极拳为主的运动疗法已被证实对KOA所致的慢性疼痛具有良好的疗效, 长期坚持太极拳锻炼可有效改善KOA患者膝踝本体感觉, 增强动态稳定性和降低跌倒风险^[7-8]。

KOA发病机制尚未明确, 但KOA患者常伴有明显的运动生物力学特征改变, 运动生物力学指标改

引用格式: 刘龙呈, 张峰, 高鹏翼, 等. 从运动生物力学角度探讨太极拳改善膝骨关节炎的作用机制[J]. 康复学报, 2024, 34(4): 411-416.

LIU L C, ZHANG F, GAO P Y, et al. Mechanism of Tai Chi Chuan in improving knee osteoarthritis from the perspective of sports biomechanics [J]. Rehabil Med, 2024, 34(4): 411-416.

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2024.04015

©《康复学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 4.0 协议

© Rehabilitation Medicine, OA under the CC BY-NC-ND 4.0

变是KOA的始动因素和病理基础。本研究基于运动生物力学探讨太极拳对KOA患者膝关节的力学影响,分析太极拳改善KOA的潜在作用机制,以期太极拳干预KOA提供依据。

1 运动生物力学理论在太极拳运动中的运用

运动生物学的历史最早可追溯到15世纪,意大利科学家达·芬奇在力学和解剖学基础上完成了对人体运动姿势和步态的分析,但是我国直到1960年才从国外引入《运动生物力学》的参考书^[9-10]。近年来,越来越多的学者以运动生物力学为理论基础进行骨关节疾病的研究^[11-14]。

太极拳不是一种单一性的运动,而是将人体的转动和移动结合起来,遵循“力从地起,劲从根发”的规律,符合现代运动生物力学原理。运用运动生物力学理论对太极拳运动进行分析,有助于了解太极拳运动过程中的力学改变^[15]。太极拳运动涉及的运动生物力学理论包括动力学部分、静力学部分和运动学部分等。

1.1 动力学原理在太极拳运动中的应用

运动的发生、运动状态的改变、身体姿势的变化等可以利用动力学原理进行分析。如运用牛顿第一定律分析太极拳运动中肌肉的发力顺序与动作的连贯性;运用牛顿第二定律分析太极拳运动不同动作加速度导致作用力的改变;运用牛顿第三定律分析太极拳运动的应力均衡和反作用力等。

1.2 静力学原理在太极拳运动中的应用

低持久性平衡动作、运动过程中身体平衡的保持等都可运用静力学原理进行分析。如根据静止状态下外力合为零分析太极拳中的桩功;通过测定重心的改变分析太极拳运动中身体平衡状态等。

1.3 运动学原理在太极拳训练中的应用

太极拳训练的研究涉及的运动参量、运动规律和动作分解等可以运用运动学原理进行分析。如将太极拳运动中上肢与下肢的动作分别进行运动学分析等。

2 从运动生物力学角度探讨太极拳改善KOA的潜在机制

2.1 改善平衡能力

进行太极拳运动时,练习者需要缓慢、频繁地变换方向,这样的运动方式需要不断打破已有的平衡状态,并建立新的平衡,以刺激本体感受器并增

加肌肉的协调功能,提高KOA患者的平衡能力,减少摔倒发生率^[16]。潘晓雨等^[17]和LI等^[18]研究发现,人在行走时单支撑期的稳定性弱于双支撑期,单支撑期的动态稳定性对提高平衡能力更有意义,而太极拳训练在一定程度上可改善KOA患者单支撑期的动态稳定性。王强和杨立群^[19]在太极拳、八段锦、五禽戏干预KOA患者的横向比较研究中发现,24式太极拳能够有效地增强关节本体感觉和动态平衡能力。坐立转换试验(sit to stand test, STS)是一种公认的平衡能力测量方法^[20]。ZHANG等^[21]研究显示太极拳可有效缩短KOA患者STS时间,降低跌倒恐惧,提高平衡能力。KOA患者摔倒可能会加重病情,在进行太极拳训练时要做好单脚支撑期摔倒的预防,训练时应有人在周围陪同,防止摔倒。跌倒与恐惧往往呈正相关关系,太极拳训练后KOA患者STS时间减少,患者能够更快地完成正常生活活动,自信心增加,对跌倒损伤的恐惧减少。患者家属的辅助或陪同和患者自信心增加能够很大程度上降低其恐惧,更有利于提高平衡能力,降低跌倒风险。

2.2 提高稳定性

2.2.1 太极拳训练可改善KOA患者股四头肌肌力 有研究显示,股四头肌肌力减退是KOA发生、发展的一个危险因素^[22]。太极云手可以使KOA患者膝关节处在一个更低的角度,为了维持膝关节稳定以及在低角度下移动,KOA患者股四头肌肌纤维募集程度可能会更高^[23]。股四头肌包括股直肌、股外侧肌、股中间肌和股内侧肌,其中股内侧肌的肌力相对较弱。KOA患者股四头肌的4个部分均出现了不同程度的萎缩,股内侧肌受到的压力最大,容易引起损伤^[24-25]。在进行太极拳训练时,KOA患者需要募集更多的股内侧肌肌纤维使髌骨在伸膝过程中处于一个合适的位置,增加伸膝关节肌力矩,提高膝关节稳定性^[22]。太极拳运动能够募集更多肌纤维使KOA患者股四头肌收缩更协调、更充分,降低膝关节内收力矩(knee adduction moment, KAM),提高膝关节稳定性。

2.2.2 太极拳训练可协调膝关节周围肌群 股内侧肌和股外侧肌的共同激活被认为是膝关节的稳定器。太极拳训练中,KOA患者支撑相的不断转换会协调臀中肌、股内侧肌、股外侧肌、腓肠肌等肌肉共激活,协调发力,提高膝关节稳定性。有研究显示,6个月太极拳训练可改善KOA患者股四头肌、腓绳肌、小腿三头肌和小腿前侧肌群共同收缩效应,

步行时下肢肌肉收缩更加协调,膝关节稳定性明显提高^[17]。也有研究分析KOA患者膝关节负荷和肌力之间的关系^[26],结果显示太极拳训练可使KOA患者下肢伸肌被激活,被动激活膝关节屈肌以对抗伸肌,从而降低矢状面的剪切力,增加膝关节稳定性^[18]。太极拳训练能够协调KOA患者膝关节周围肌肉的收缩,增大膝关节屈-伸、内收-外展肌力比,增加膝关节的稳定性。

2.2.3 太极拳训练可降低KOA患者膝关节内侧负荷 KAM是人体在站立或行走的过程中由向内的地面反作用力作用于膝关节中心所产生的力矩,KAM越大代表膝关节内侧的负荷越大^[24]。太极拳训练可激活股内外侧肌以促进KOA患者肢体产生有利于对抗地面反作用力所需的力矩,增加膝关节内侧稳定性^[27]。LEE等^[27]研究发现,太极拳训练能限制KOA患者髌关节内收力矩减小,降低KAM。王会会等^[28]研究显示,24式太极拳训练可提高KOA患者膝关节矢状面和冠状面的动态稳定性,降低KAM。有研究发现,下蹲姿势和冲刺姿势需要更大的股四头肌活动幅度,KAM最小,深蹲和弓步练习可以提高膝关节伸肌力量,尽可能防止大KAM产生^[29]。太极拳训练者下肢大部分时间都在进行着屈曲半蹲位和弓步姿势的转换,其中屈曲半蹲位能够激活股四头肌,增加关节内侧稳定性;弓步姿势可提高股四头肌肌力,降低膝关节暴露于大KAM的潜在风险。

综上,太极拳训练可以通过募集并协调KOA患者的下肢肌力,降低KAM,提高膝关节稳定性。在日常生活活动中,KOA患者不能因为膝关节疼痛而忽略锻炼,长时间不运动会致股四头肌出现更严重萎缩,不利于KOA康复。此外,疼痛往往会导致KOA患者步态异常,导致肌肉受力不均匀、不平衡,因此KOA患者不应该长期制动或长期保持同一姿势。膝关节内侧稳定性弱于外侧,在进行训练和日常生活中要避免膝关节受力不均匀(特别是避免内侧肌受力较大),必要时可通过辅助器械帮助稳定膝关节,防止损伤。

2.3 均衡关节内应力

从动力学和静力学的角度分析,太极拳运动通过降低半月板及软骨的峰值应力、改善下肢力线等方式使半月板及软骨受到的应力更加均匀,提高半月板及软骨的承载能力^[30]。

2.3.1 太极拳训练可降低KOA患者半月板及软骨的峰值应力 半月板及软骨是膝关节的重要组成

部分,保证了膝关节长期负重运动仍不致损伤,起到力的传递、吸震、稳定和润滑的作用^[31]。此外,半月板及软骨在吸收股骨和胫骨间的冲击力方面发挥重要作用,半月板及软骨退变与KOA关系密切^[32]。半月板能够将股骨的载荷转移,并重新分布到胫骨平台上。但在重复超载的情况下,会导致应力集中并对膝关节造成伤害。太极拳运动中类似搂膝拗步(*brush-knee and twist-step*,BKTS)等频繁转移重心的动作能够使半月板及软骨产生适度的接触应力,改善软骨多糖和细胞外基质中胶原和蛋白质生成,并增加软骨的弹性模量^[33]。有研究发现,太极拳训练可使KOA患者半月板和软骨受到的高应力降低。LI等^[34]研究显示,太极拳中的典型姿势BKTS可使KOA患者膝关节关节活动度(*range of motion*,ROM)更大,降低其应力。ZHU等^[25]研究比较BKTS、步行和慢跑3种运动产生的地面反作用力(*ground reaction force*,GRF)峰值,BKTS的GRF峰值点对股骨软骨、半月板和胫骨软骨具有更低的接触应力。

2.3.2 太极拳训练可改善KOA患者下肢肌力和下肢力线 膝关节的正常应力机制主要依赖于关节周围软组织的功能。KOA与半月板及软骨的退变有很大的联系,KOA患者平时应尽量避免剧烈运动和长时间站立,以保护半月板和软骨。膝关节的力线异常是半月板退化的一个重要原因,KOA患者加强股四头肌训练有助于病情康复。有研究认为,KOA分期、软骨损伤与应力增量间存在线性关系,在应力集中的部位加速软骨磨损和退变,软骨下骨由于承受压应力的影响,可能会发生应力性微骨折、缺血、坏死、硬化,后期出现囊性变或塌陷变形等改变,周围骨质增生膨胀、形成骨赘,关节面凹凸不平,应力进一步集中,形成恶性循环^[35]。汤雨婷等^[36]认为KOA患者膝关节周围肌肉逐渐萎缩,导致肌力下降、肌肉吸收震荡能力下降、关节力线改变,半月板及软骨被异常的应力集中所损伤,会加重KOA患者的病情。太极拳训练可增大下肢肌力,解决下肢力线问题,其偏向外展的运动模式还能减少膝关节内收的可能性和应力集中问题^[37]。综上,太极拳训练可增强下肢肌力,改善下肢力线,使半月板及软骨的应力均衡。

2.4 降低运动反作用力

太极拳运动是低冲击、低负荷率的运动,伴随神经肌肉训练和特定的温和步态模式^[38]。温和的步态模式可降低KOA患者对地面的作用力,同时降低地面对膝关节的反作用力,降低损伤风险^[18]。

BKTS步态分析结果显示,当脚接近地面时,受试者倾向于减慢运动并降低接触速度,以降低峰值应力^[26]。当运动处于双肢支撑阶段时,如果一侧下肢GRF偏大,受试者会将重心部分移向另一侧,从而有效降低地面反作用力对半月板及软骨的影响。太极拳训练常被推荐作为KOA患者康复训练的方式之一,可能与其BKTS动作具有更均匀的应力分布和更低的接触应力有关。

太极拳运动的过程是缓慢平稳的,质心加速度很小,受到的应力也较小。太极拳训练时,脚与地面接触的同时会使整体的运动节奏变慢。根据运动生物力学动力学的牛顿第二定律,KOA患者太极拳训练节奏变慢,重心转移也变慢,质心加速度减小,能产生平缓、均匀的应力;根据冲量定律,练习者脚着地的时间和重心转移时间较长,则肌肉和软骨受到的反作用力较小。研究显示,KOA患者进行太极拳训练时,最大的膝关节反作用力仅相当于体质量的1.2倍,明显小于行走时的关节反作用力(3倍体质量)和跑步时的关节反作用力(6倍体质量)^[39]。太极拳训练10~20 min,能够充分起到锻炼肌肉、活动关节的作用,其低应力也可以防止二次损伤。太极拳特殊的太极踏步模式,以多方向的脚运动和轻柔的脚着地为特征,可为KOA患者提供良好的步态训练。

3 小 结

从运动生物力学角度看,太极拳训练改善KOA可能与改善平衡能力、提高稳定性、均衡关节内应力和降低运动反作用力4个方面有关。但太极拳训练仍存在一些不足之处,可能会影响其运动生物力学的分析。

首先,太极拳初学者训练方式不恰当,可能会增加肌肉、韧带和关节损伤概率。完整的太极拳训练除了在移动方向上存在前进、后退、左顾、右盼、中定外,还包含了数种支撑形式(如双脚支撑、左右单脚支撑、左右虚步等)。太极拳运动要求动作柔和缓慢、松沉柔顺、圆活畅通、连绵不断,初学者在太极拳训练过程中要非常注意重心的调整和控制,如果不能很好地控制身体姿势的稳定导致动作不标准,容易造成膝关节损伤^[40]。因此,应当请专业人员对KOA患者进行指导,预防损伤发生。

其次,太极拳训练动作有一定难度,KOA患者太极拳训练动作不规范,无法保证研究数据的准确性。例如太极拳练习者的下肢常进行屈曲半蹲位

与弓步姿势的转换,膝关节的屈曲度数在 $45^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 不断变化,这是太极拳运用于KOA治疗和康复的关键。但是随着年龄增长,中老年人肌力流失加剧,股四头肌肌力下降以致无法稳定进行膝关节屈曲角度的改变和保持,使太极拳训练无法达到应有的效果^[41]。因此,中老年KOA患者在进行太极拳训练前,可以先进行部分动作的单独练习或者进行一定的肌力训练,待KOA患者能够稳定且规范地完成太极拳运动后再开始训练。

再次,随着太极拳训练时间延长,KOA患者脱落率逐渐提高,不利于进行数据统计。有研究显示,3%KOA患者在12周太极拳训练中脱落或中止,24周太极拳训练KOA患者脱落率可能达10%,6个月太极拳训练KOA患者脱落率高达41%^[17]。患者脱落率过高会导致数据偏少、缺乏可信度。因此,太极拳训练时应注意考虑患者的依从性。

最后,完整的太极拳训练耗时长、分析难度大,目前的研究主要单独对特定动作进行分析(如搂膝拗步、太极云手和野马分鬃等)^[15]。而对手挥琵琶、高探马等非代表性动作的研究偏少,太极拳的运动生物力学机制可靠性有待进一步验证。因此,下一步应通过多个团队合作逐步实现完整太极拳训练改善KOA的运动生物力学研究。

参考文献

- [1] 张旻,陈博,潘富伟,等. 太极拳对早期膝骨关节炎患者膝关节内侧间室应力的影响[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2022, 30(4): 5-9.
ZHANG M, CHEN B, PAN F W, et al. Efficacy of Tai Chi exercise on loading in the medial compartment of the knee in individuals with early stage of knee osteoarthritis [J]. Chin J Tradit Med Traumatol Orthop, 2022, 30(4): 5-9.
- [2] HUNTER D J, MARCH L, CHEW M. Osteoarthritis in 2020 and beyond: a lancet commission [J]. Lancet, 2020, 396(10264): 1711-1712.
- [3] LONG H B, LIU Q, YIN H Y, et al. Prevalence trends of site-specific osteoarthritis from 1990 to 2019: findings from the global burden of disease study 2019 [J]. Arthritis Rheumatol, 2022, 74(7): 1172-1183.
- [4] 王斌,邢丹,董圣杰,等. 中国膝骨关节炎流行病学和疾病负担的系统评价[J]. 中国循证医学杂志, 2018, 18(2): 134-142.
WANG B, XING D, DONG S J, et al. Prevalence and disease burden of knee osteoarthritis in China: a systematic review [J]. Chin J Evid Based Med, 2018, 18(2): 134-142.
- [5] CHARNWICHAI P, TAMMACHOTE R, TAMMACHOTE N, et al. Histological features of knee osteoarthritis treated with triamcinolone acetonide and hyaluronic acid [J]. Biomed Rep, 2023, 18(6): 40.

- [6] ILIEVA E M. Are exercise interventions beneficial for people with hip and knee osteoarthritis?: a Cochrane Review summary with commentary [J]. *Musculoskelet Sci Pract*, 2019, 44: 102041.
- [7] MO L, JIANG B H, MEI T, et al. Exercise therapy for knee osteoarthritis: a systematic review and network meta-analysis [J]. *Orthop J Sports Med*, 2023, 11(5): 23259671231172773.
- [8] LI J X, LAW N Y. Kinetics of the lower limb during two typical Tai Chi movements in the elderly [J]. *Res Sports Med*, 2018, 26(1): 112–123.
- [9] 李瑞奇, 蒯放, 王相荣. 运动生物力学相关研究的研究热点与趋势: 基于Citespace可视化分析[J]. *体育科技文献通报*, 2021, 29(11): 204–205, 216.
- LI R Q, KUAI F, WANG X R. Hotspots and trends in sports biomechanics related research: based on Citespace visualization analysis [J]. *Bull Sport Sci Technol*, 2021, 29(11): 204–205, 216.
- [10] 石玉琴. 运动生物力学[M]. 北京: 人民体育教育出版社, 1999: 10.
- SHI Y Q. Biomechanics of sports [M]. Beijing: People's Physical Education Press, 1999: 10.
- [11] 邱月月. 运动生物力学视角下武术训练方案研究: 以“腾空飞脚”为例[J]. *武术研究*, 2023, 8(8): 80–83.
- QIU Y Y. On Wushu training scheme from the view of sports biomechanics: taking the phrase "lying feet in the air" as an example [J]. *Wushu Stud*, 2023, 8(8): 80–83.
- [12] MCALINDON T E, BANNURU R R, SULLIVAN M C, et al. OARSI guidelines for the non-surgical management of knee osteoarthritis [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2014, 22(3): 363–388.
- [13] OHMI T, KATAGIRI H, AMEMIYA M, et al. Gait analysis of patients with knee osteoarthritis who can run versus cannot run [J]. *Gait Posture*, 2024, 112: 67–72.
- [14] KIKUCHI N, KANAMORI A, KADONE H, et al. Varus knee osteoarthritis with ankle osteoarthritis demonstrates greater hind-foot inversion and larger ankle inversion loading during gait following total knee arthroplasty compared to Varus knee osteoarthritis alone [J/OL]. (2024-05-13) [2024-06-05]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38738824/>.
- [15] 葛新宇. 运动生物力学在传统武术套路训练中的应用及作用综述研究[J]. *武术研究*, 2023, 8(7): 32–33, 46.
- GE X Y. On the application of sports biomechanics in traditional Wushu training [J]. *Wushu Stud*, 2023, 8(7): 32–33, 46.
- [16] GUAN C, GU Y J, CHENG Z J, et al. Global trends of traditional Chinese exercises for musculoskeletal disorders treatment research from 2000 to 2022: a bibliometric analysis [J]. *Front Neurosci*, 2023, 17: 1096789.
- [17] 潘晓雨, 黄灵燕, 吕娇娇, 等. 新型太极拳干预对老年女性膝骨关节炎患者下肢肌力和动态平衡影响[J]. *体育科研*, 2017, 38(1): 68–71.
- PAN X Y, HUANG L Y, LYU J J, et al. Effects of innovative Tai Chi on the lower-extremity muscle strength and dynamic balance of the elderly women with knee osteoarthritis [J]. *Sport Sci Res*, 2017, 38(1): 68–71.
- [18] LI H J, PENG F, LYU S J, et al. Study on two typical progressive motions in Tai Chi (Bafa Wubu) promoting lower extremity exercise [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2023, 20(3): 2264.
- [19] 王强, 杨立群. 不同养生功法在膝骨关节炎患者中的对比研究[J]. *成都体育学院学报*, 2021, 47(4): 107–111.
- WANG Q, YANG L Q. A comparative study of different health maintenance methods in patients with KOA [J]. *J Chengdu Sport Univ*, 2021, 47(4): 107–111.
- [20] MUÑOZ-BERMEJO L, ADSUAR J C, MENDOZA-MUÑOZ M, et al. Test-retest reliability of five times sit to stand test (FTSST) in adults: a systematic review and meta-analysis [J]. *Biology*, 2021, 10(6): 510.
- [21] ZHANG S P, HUANG R X, GUO G X, et al. Efficacy of traditional Chinese exercise for the treatment of pain and disability on knee osteoarthritis patients: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Front Public Health*, 2023, 11: 1168167.
- [22] 刘伟, 于功昌, 王从安, 等. 基于生物力学的膝骨关节炎运动疗法与疗效评价的研究进展[J]. *中医正骨*, 2023, 35(2): 46–50.
- LIU W, YU G C, WANG C A, et al. Advancement of research on biomechanics-based exercise therapy and efficacy evaluation for knee osteoarthritis [J]. *J Tradit Chin Orthop Traumatol*, 2023, 35(2): 46–50.
- [23] 肖阳. 不同架势太极云手对膝骨关节炎患者肌肉活动和关节负荷的影响[D]. 福州: 福建中医药大学, 2020: 34–36.
- XIAO Y. The effects of muscle activity and joint load in patients with knee osteoarthritis on different positions of Tai Chi movement: wave-hand in cloud [D]. Fuzhou: Fujian University of Traditional Chinese Medicine, 2020: 34–36.
- [24] 林伟健, 李俊言, 陈瑱贤, 等. 正常和早期膝骨关节炎的软骨生物力学研究[J]. *力学学报*, 2021, 53(11): 3147–3156.
- LIN W J, LI J Y, CHEN Z X, et al. Biomechanical investigation of the cartilage of normal knee and early osteoarthritis knee [J]. *Chin J Theor Appl Mech*, 2021, 53(11): 3147–3156.
- [25] ZHU Q G, ZHOU X, ZHANG S P, et al. Joint angles and joint moments of the lower limbs in four typical Tai Chi movements: consideration for management of knee osteoarthritis [J]. *Res Sports Med*, 2021, 29(6): 586–592.
- [26] ROOS P E, MITUNIEWICZ A, LIU W. Biomechanical joint loading mechanism of Tai Chi gait in individuals with knee osteoarthritis: a pilot simulation study [J]. *Osteoarthritis Cartil Open*, 2021, 3(2): 100158.
- [27] LEE A C, HARVEY W F, PRICE L L, et al. Dose-response effects of Tai Chi and physical therapy exercise interventions in symptomatic knee osteoarthritis [J]. *PM R*, 2018, 10(7): 712–723.
- [28] 王会会, 纪仲秋, 张子华, 等. 24式太极拳典型动作的下肢生物力学特征[J]. *成都体育学院学报*, 2019, 45(6): 111–119.
- WANG H H, JI Z Q, ZHANG Z H, et al. Biomechanical characteristics of lower limbs in 24-form Taichi movement [J]. *J Chengdu Sport Univ*, 2019, 45(6): 111–119.
- [29] KUNTZ A B, CHOPP-HURLEY J N, BRENNEMAN E C, et al. Efficacy of a biomechanically-based yoga exercise program in knee osteoarthritis: a randomized controlled trial [J]. *PLoS One*, 2018, 13(4): e0195653.
- [30] LIU H B, GONG H, CHEN P, et al. Biomechanical effects of typical lower limb movements of Chen-style Tai Chi on knee

- joint [J]. *Med Biol Eng Comput*, 2023, 61(11):3087–3101.
- [31] LI Z P, LEUNG K L, HUANG C, et al. Higher knee flexion moment during walking is associated with a lower risk of knee pain developing among the elderly after 24 months [J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2023, 59(3):386–395.
- [32] GEE S M, POSNER M. Meniscus anatomy and basic science [J]. *Sports Med Arthrosc Rev*, 2021, 29(3):e18–e23.
- [33] 胡永召, 阮志华, 韩柄秋, 等. 膝关节关节炎的软骨下骨改变[J]. *风湿病与关节炎*, 2022, 11(8):42–46.
- HU Y Z, RUAN Z H, HAN B Q, et al. Subchondral bone changes in knee osteoarthritis [J]. *Rheum Arthritis*, 2022, 11(8):42–46.
- [34] LI Y, WANG K, WANG L J, et al. Biomechanical analysis of the meniscus and cartilage of the knee during a typical Tai Chi movement—brush—knee and twist—step [J]. *Math Biosci Eng*, 2019, 16(2):898–908.
- [35] 王秀萍, 徐院生, 付丹妹, 等. 生物力学在运动相关骨性关节炎中的研究进展[J]. *中国医药导报*, 2022, 19(34):39–42.
- WANG X P, XU Y S, FU D M, et al. Advances in biomechanics research in sports-related osteoarthritis [J]. *China Med Her*, 2022, 19(34):39–42.
- [36] 汤雨婷, 安丙辰, 郑洁皎. 膝关节关节炎生物力学参数的研究进展[J]. *中国康复理论与实践*, 2020, 26(12):1417–1421.
- TANG Y T, AN B C, ZHENG J J. Advance in biomechanical parameters of knee osteoarthritis (review) [J]. *Chin J Rehabil Theory Pract*, 2020, 26(12):1417–1421.
- [37] LI H J, PENG F, LYU S J, et al. Newly compiled Tai Chi (Bafa Wubu) promotes lower extremity exercise: a preliminary cross sectional study [J]. *PeerJ*, 2023, 11:e15036.
- [38] 齐大路, 林紫玲, 侯美金, 等. 膝骨性关节炎患者在“云手”和“步行”两种步态中下肢生物力学特征比较[J]. *哈尔滨体育学院学报*, 2022, 40(4):84–91.
- QI D L, LIN Z L, HOU M J, et al. Comparison of biomechanical characteristics of lower limbs in patients with knee osteoarthritis in "cloud hand" and "walking" gait [J]. *J Harbin Sport Univ*, 2022, 40(4):84–91.
- [39] ZHENG H Y, ZHANG D, ZHU Y G, et al. Effect of Tai Chi exercise on lower limb function and balance ability in patients with knee osteoarthritis: a protocol of a randomized controlled trial [J]. *Medicine*, 2021, 100(46):e27647.
- [40] 陶静, 吴剑煌, 金荣疆, 等. 太极拳运动康复数据采集及评估技术规范指引[J]. *康复学报*, 2023, 33(1):1–6.
- TAO J, WU J H, JIN R J, et al. Normative guidelines for rehabilitation related data collection and assessment for Tai Chi Chuan movements [J]. *Rehabil Med*, 2023, 33(1):1–6.
- [41] DEMIK D E, MARINIER M C, GULBRANDSEN T R, et al. Does isolated unilateral hip or knee osteoarthritis lead to adverse changes in extremity composition? [J]. *Iowa Orthop J*, 2022, 42(1):163–167.

Mechanism of Tai Chi Chuan in Improving Knee Osteoarthritis from the Perspective of Sports Biomechanics

LIU Longcheng, ZHANG Feng, GAO Pengyi, ZHAO Tianlin, WANG Honghao, LI LIU Yinuo, WANG Jiaying, ZHU Xiangyu*
School of Acupuncture-Moxibustion and Tuina, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100029, China
 *Correspondence: ZHU Xiangyu, E-mail: 116491992@qq.com

ABSTRACT Knee osteoarthritis (KOA) is a chronic degenerative joint disease that occurs mostly in the elderly over the age of 60. Exercise therapy, represented by Tai Chi Chuan, has been proven to have good effective in relieving chronic pain caused by KOA. Long-term practice of Tai Chi Chuan can effectively improve knee and ankle proprioception, enhance dynamic stability and reduce the risk of falls in patients with KOA. However, there is no unified consensus on the specific mechanism of Tai Chi Chuan. Patients with KOA have obvious changes in their biomechanical characteristics. The changes in biomechanical parameters are the initial factors and pathological basis of KOA. This study explores the mechanical effects of Tai Chi Chuan on the knee joint of patients with KOA based on sports biomechanics and analyzes the potential mechanism of Tai Chi Chuan in improving KOA, in order to provide a theoretical basis for Tai Chi Chuan intervention in KOA. The theory of sports biomechanics involved in Tai Chi Chuan includes dynamic part, static part and kinematic part. From the perspective of sports biomechanics, the potential mechanism of Tai Chi Chuan to improve KOA includes four aspects: improving balance ability, improving stability (improving quadriceps muscle strength, coordinating muscle groups around the knee joint and reducing the medial load of the knee joint in patients with KOA), balancing intra-articular stress (reducing the peak stress of meniscus and cartilage, improving lower limb muscle strength and lower limb alignment) and reducing movement reaction force. However, there are still some inadequacies in Tai Chi Chuan practice, which may affect the analysis of sports biomechanics, specifically manifest in the following four aspects: (1) The training method for Tai Chi Chuan beginners may not be appropriate, which may increase the probability of muscle, ligament and joint injuries. (2) Tai Chi Chuan training movements are difficult. Subjects tend to have nonstandard movements when they learn in a short time, which easily affects the accuracy of research data. (3) The gradual increase of dropout rate is not conducive to data statistics. (4) Complete Tai Chi Chuan is time-consuming and difficult to analyze individually. At present, representative movements are mainly analyzed, and research on non-representative movements is scarce.

KEY WORDS knee osteoarthritis; Tai Chi Chuan; sports biomechanics; balance ability; stability; intra-articular stress; reaction force

DOI:10.3724/SP.J.1329.2024.04015