

## 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

张旻<sup>1,2</sup> 陈博<sup>1,2</sup> 潘富伟<sup>1,2</sup> 李正言<sup>1,2</sup> 陆洁航<sup>1,2</sup> 詹红生<sup>1,2△</sup>

**[摘要]** 目的:研究太极拳不同动作时脚步移动对早期膝骨关节炎(KOA)患者膝关节内侧间室应力的影响。方法:利用三维动作分析系统配合三维测力台,比较 2020 年 6 月至 2020 年 12 月就诊的 21 名早期膝骨关节炎患者,在自然行走、太极拳动作接膝拗步与倒卷肱三种条件下,膝关节支撑相早期膝关节最大屈膝角度,支撑相时膝关节最大内翻角度,支撑相时最大下肢前进角度,膝关节屈力矩,膝关节内收力矩,踝关节外翻力矩,以及地面反作用力内侧分力。结果:相较于自然行走,KOA 患者在进行太极拳接膝拗步及倒卷肱练习时支撑相早期膝关节最大屈曲角度,支撑相时下肢前进角度均显著增加,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。此外,接膝拗步时支撑相早期最大屈膝角度及下肢前进角度均显著大于倒卷肱,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。相较于自然行走及倒卷肱,接膝拗步时膝关节内翻角度显著降低,而倒卷肱时膝关节内翻角度显著高于自然行走,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。接膝拗步时膝关节最大屈力矩显著高于自然行走及倒卷肱,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),而倒卷肱与自然行走时膝关节屈力矩差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。相较于自然行走,接膝拗步及倒卷肱练习时膝关节内收力矩显著降低,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),而接膝拗步及倒卷肱膝关节内收力矩差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。踝关节外翻力矩差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。倒卷肱时地面反作用力内侧方向较自然行走及接膝拗步时显著降低,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),而自然行走及接膝拗步时地面反作用力内侧方向差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。结论:太极拳接膝拗步及倒卷肱动作练习时膝关节内侧间室应力均较自然行走时显著降低,然而由于过高的膝关节屈膝角度,接膝拗步显著增加了膝关节在矢状面上的应力,因此练习该动作可能对患有股髌关节炎的患者产生不良影响。

**[关键词]** 太极拳;膝骨关节炎;膝关节应力;运动学;动力学

**[中图分类号]** R684.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2022)04-0005-05

## Efficacy of Tai Chi Exercise on Loading in the Medial Compartment of the Knee in Individuals with Early Stage of Knee Osteoarthritis

ZHANG Min<sup>1,2</sup> CHEN Bo<sup>1,2</sup> PAN Fuwei<sup>1,2</sup> LI Zhengyan<sup>1,2</sup>LU Jiehang<sup>1,2</sup> ZHAN Hongsheng<sup>1,2△</sup>

<sup>1</sup> Institute of Traumatology & Orthopedics, Shanghai Academy of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China;

<sup>2</sup> Institute of Orthopedics and Traumatology, Shuguang Hospital Affiliated to Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China.

**Abstract Objective:** To investigate the efficacy of Tai Chi gait pattern on the loading at the medial compartment of the knee during exercise in individuals with early stage of knee osteoarthritis (OA). **Methods:** A crossover randomized design was conducted to compare kinematics and kinetics parameters of twenty-one individuals with early-stage knee OA from June 2020 to December 2020 in three different conditions: natural walking, Tai Chi Louxiaobu, and Daojuangong. The ki-

netics and kinematics data were included: peak knee flexion at early stance phase, peak knee adduction angle during stance, foot progression angle during stance, peak knee flexion moment, peak knee adduction moment, ankle valgus moment during stance and medial ground reaction force (GRF). **Results:** The peak knee flexion degree at early stance phase and foot progression during stance during Louxiaobu and

基金项目:国家自然科学基金(81503592,81973875,82074466)

上海市科委课题(21Y11921600)

<sup>1</sup> 上海中医药大学研究院骨伤科研究所(上海,201203)

<sup>2</sup> 上海中医药大学附属曙光医院骨伤科研究所

△通信作者 E-mail: shgsyjs@139.com

Daojuangong were significantly increased compared with that under the natural walking condition ( $P < 0.05$ ). Moreover, the peak knee flexion angle and foot progression during Louxiaobu were significantly higher than that during Daojuangong ( $P < 0.05$ ). Significant smaller knee adduction angle during Louxiaobu was showed as compared with that during natural walking and Daojuangong. However, higher knee adduction angle was showed during Daojuangong when compared with that during natural walking ( $P < 0.05$ ). Significant higher knee flexion moment was showed during Louxiaobu as compared with that during the normal walking and Daojuangong ( $P < 0.05$ ). However, no significant difference was found between the normal walking and Daojuangong ( $P > 0.05$ ). Significant smaller knee adduction moment was showed during both Louxiaobu and Daojuangong as compared with that during natural walking ( $P < 0.05$ ). However, no significant difference was found in knee adduction moment between two Tai Chi gait patterns ( $P > 0.05$ ). No significant difference was found in ankle valgus moment between three conditions ( $P > 0.05$ ). Significant smaller medial GRF was showed in Daojuangong when compared with that during other two conditions ( $P < 0.05$ ). However, no significant difference was found in medial GRF between natural walking and Louxiaobu ( $P > 0.05$ ). **Conclusion:** Both Louxiaobu and Daojuangong can significantly reduce the loading at the medial compartment of the knee. However, due to the excessively high knee flexion angle, the Louxiaobu significantly increases the loading in the sagittal plane of the knee joint. Therefore, practicing this exercise may have adverse effects on patients with femoral-patellar arthritis.

**Keywords:** Tai Chi; knee osteoarthritis; knee loading; kinematics; kinetics

膝关节炎(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<sup>[1-2]</sup>。典型的KOA症状包括疼痛、僵硬及运动功能受限等,在给患者日常生活带来不便的同时,也对其家庭及社会带来了巨大的经济负担。太极拳作为一种古老的中医药心身结合功能锻炼已有大量研究<sup>[3-6]</sup>,证实治疗KOA上有着较好的疗效。然而也有研究者<sup>[7-8]</sup>认为太极拳运动中包含大量不同方位的脚步移动,练习时会对外下关节运动学特征及动力学特征产生不同的影响,因而部分太极拳动作可能会增高膝关节的局部应力,最终导致病情进一步加重。国内针对KOA患者进行太极拳运动时下肢生物力学变化的研究相对较少,因此,分析太极拳练习过程中不同方位的脚步移动对膝关节生物力学特征的影响显得尤为迫切。

本研究通过三维步态分析系统配合三维测力台,观察太极拳典型动作搂膝拗步(正向移动)及倒卷肱(反向移动)动作练习时膝关节运动学及动力学变化,分析太极拳练习过程中不同方向的脚步移动对膝关节局部应力的影响及其变化机理,为太极拳治疗KOA提供生物力学理论基础。

## 1 研究对象和方法

### 1.1 研究对象

选取2020年6月至2020年12月在我院门诊就诊的早期KOA患者21例。本研究通过中国临床试验伦理审查委员会批准。

### 1.2 KOA诊断标准

符合《膝关节炎中医诊疗指南(2020年版)》中KOA的诊断标准<sup>[9]</sup>,且Kellgren-Lawrence(K-L)分级为I、II级。

### 1.3 纳入标准

1)符合KOA诊断标准者;2)年龄50~70岁;3)除KOA外没有其他影响步态的神经骨骼肌肉疾病;4)受测者意识清晰,能主动配合完成实验;5)同意参与本研究,签署知情同意书。

### 1.4 排除标准

1)不符合纳入标准的患者;2)正在参与其他研究的患者;3)不能或不愿意主动配合测试者。

### 1.5 方法

**1.5.1 数据采集方法** 运动学参数由VICON三维步态分析系统(Nexus 1.85, UK)配合16台T40s红外线高速摄像机(采样频率为100 Hz),动力学数据通过4块AMTI三维测力台(AMTI, USA)进行同步采集(采样频率设为1 000 Hz)。静态模型采用Cast下肢反向动力学模型<sup>[10]</sup>,所用静态光标包括左右股骨大转子,股骨内外上髁,胫骨结节,腓骨小头,内外侧踝,第1、2、5跖骨头,足跟,髂前上棘,髂后上棘,髂棘,双侧肩峰, C<sub>7</sub>, 剑突。6组动态Clusters追踪光标分别置于双侧大腿、小腿外缘、骨盆后侧及头部处(见图1)。

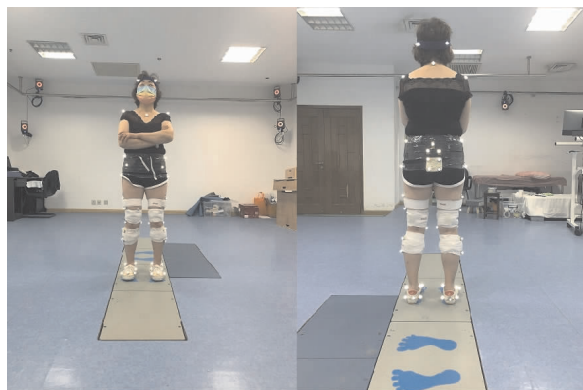


图1 Cast 反向动力学模型贴点示意图

受测者在进行生物力学测试前进行身高、体质量、年龄、性别等基本信息记录,随后将 53 个被动光标按照 Cast 下肢生物力学建模方式放置在受测者的骨性标志上并以解剖位站姿建立静态模型(见图 1)。完成静态模型后分别采集受测者自然行走,太极动作接膝拗步(见图 2)及倒卷肱(见图 3)动作时的下肢生物力学变化。每种条件至少完成 10 次数据采集取平均值以减小误差。受测者进行静态及动态数据时均穿戴由研究者提供的统一鞋具,以降低实验数据误差。两种不同的太极拳动作分别采用杨氏太极拳中的膝拗步动作及倒卷肱动作。为避免动作不规范导致的数据差异,受测者在进行正式数据采集前经上海中医药大学体育系老师进行太极拳统一规范化培训,以减少在测试中因动作差异而产生的误差。



图 2 KOA 患者在进行太极动作接膝拗步时的三维运动捕捉



图 3 KOA 患者在进行太极动作倒卷肱时的三维运动捕捉

**1.5.2 主要观察指标** 受测者在 3 种不同条件下支撑相早期膝关节最大屈膝角度,支撑相膝关节内翻角度,支撑相下肢前进角度,膝关节屈力矩,膝关节内收力矩,踝关节外翻力矩,地面反作用力内侧方向。

1.6 统计学方法

采用 SPSS 16.0 软件进行统计学分析,计量资料采用  $\bar{x} \pm s$  表示,3 种不同条件下的生物力学数据采用方差分析进行比较, $P < 0.05$  差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

21 例患者中女 15 例,男 6 例;平均年龄为  $(59.90 \pm 6.40)$  岁,身高为  $(1.62 \pm 0.07)$  m,体质量为  $(67.95 \pm 9.98)$  kg。

2.2 3 种条件下的生物力学参数比较

3 种条件下的生物力学参数比较见表 1。

表 1 21 名 KOA 患者在自然步行、接膝拗步及倒卷肱 3 种不同工况下的下肢生物力学参数比较( $\bar{x} \pm s$ )

| 参数              | 自然步行             | 接膝拗步               | 倒卷肱               | $P_1$     | $P_2$     | $P_3$     |
|-----------------|------------------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| 支撑相早期最大屈膝角度/(°) | $16.43 \pm 5.22$ | $41.52 \pm 6.12$   | $28.60 \pm 9.12$  | $<0.01^*$ | $<0.01^*$ | $<0.01^*$ |
| 支撑相膝关节内翻角度/(°)  | $3.61 \pm 2.57$  | $-0.22 \pm 2.75$   | $6.02 \pm 2.18$   | $<0.01^*$ | $<0.01^*$ | $<0.01^*$ |
| 支撑相下肢前进角/(°)    | $-9.72 \pm 4.39$ | $-32.87 \pm 14.57$ | $-11.49 \pm 5.17$ | $<0.01^*$ | $<0.01^*$ | $<0.01^*$ |
| 膝关节屈力矩/(N·m)    | $0.59 \pm 0.26$  | $1.69 \pm 0.48$    | $0.50 \pm 0.25$   | $<0.01^*$ | 0.25      | $<0.01^*$ |
| 膝关节内收力矩/(N·m)   | $0.55 \pm 0.23$  | $0.40 \pm 0.17$    | $0.43 \pm 0.14$   | 0.02*     | 0.05*     | 0.60      |
| 踝关节外翻力矩/(N·m)   | $0.22 \pm 0.09$  | $0.29 \pm 0.17$    | $0.19 \pm 0.12$   | 0.12      | 0.42      | 0.12      |
| 地面反作用力内侧方向(BW)  | $0.06 \pm 0.01$  | $0.07 \pm 0.02$    | $-0.08 \pm 0.03$  | 0.12      | $<0.01^*$ | $<0.01^*$ |

注: $P_1$  为自然步行 vs 接膝拗步; $P_2$  为自然步行 vs 倒卷肱; $P_3$  为接膝拗步 vs 倒卷肱; \* 差异有统计学意义。

相较于自然行走,KOA 患者在进行太极拳接膝拗步及倒卷肱练习时,支撑相早期膝关节最大屈曲角度及支撑相时下肢前进角度均显著增加,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。此外,接膝拗步时支撑相早期最大屈膝角度及下肢前进角度均显著大于倒卷肱,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。相较于自然行走及倒卷肱,接膝拗步时膝关节内翻角度显著降低,而倒卷肱时膝

关节内翻角度显著高于自然行走,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。接膝拗步时膝关节最大屈力矩显著高于自然行走及倒卷肱,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),而倒卷肱与自然行走时膝关节屈力矩差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。相较于自然行走,接膝拗步及倒卷肱练习时膝关节内收力矩显著降低,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),而接膝拗步及倒卷肱膝关节内收力矩差

异无统计学意义( $P>0.05$ )。踝关节外翻力矩差异无统计学意义( $P>0.05$ )。倒卷肱时地面反作用力内侧方向较自然行走及撙膝拗步时显著降低,差异有统计学意义( $P<0.05$ ),而自然行走及撙膝拗步时地面反作用力内侧方向差异无统计学意义( $P>0.05$ )。

### 3 讨论

太极拳作为中国一种古老的心身结合有氧运动已被证实能缓解由 KOA 引起的慢性疼痛<sup>[3-6,11]</sup>,然而迄今为止该疗法的作用机制尚不明确。有研究者发现<sup>[8]</sup>太极拳不同动作中的步伐变化与国际上较为流行的步态矫正训练极为相似,因此推测其治疗机制可能与练习过程中步伐变化所致的膝关节局部力学信号改变关系密切。本研究旨在通过三维步态分析系统结合三维测力台,研究早期 KOA 患者在进行太极拳经典动作撙膝拗步(正向移动)及倒卷肱(逆向移动)练习时的下肢生物力学变化,其结果可有助于进一步揭示太极拳运动治疗 KOA 的生物力学机制,并为该疗法在 KOA 康复中的应用及推广提供依据。

研究结果显示:相较于自然行走,进行撙膝拗步及倒卷肱练习时最大屈膝角度均显著增大(见表 1)。已有研究<sup>[12]</sup>表明增加膝关节屈曲角度会导致支撑相时膝关节由伸力矩提前转为屈力矩,导致屈力矩增高,进而加大膝关节在运动过程中的关节载荷。本研究发现,KOA 患者在进行撙膝拗步练习时膝关节屈力矩较自然行走时显著增高,这一结果提示在进行该动作练习时膝关节矢状面的载荷会显著增加。进行倒卷肱练习时膝关节支撑相早期最大屈膝角度也较自然行走时显著增高,然而屈膝力矩未见显著增高。产生这一变化的原因可能是进行倒卷肱练习时下肢运动加速度降低,因而膝关节屈力矩相应减小。因此,练习倒卷肱动作时,即使膝关节屈曲角度显著增高,并不会增加膝关节矢状面上的载荷。

虽然膝关节屈力矩的增加会导致膝关节局部应力增高,然而运动时膝关节矢状面的屈力矩仅占整个膝关节载荷的 22%,而膝关节冠状面上的膝关节内收力矩占整个膝关节载荷的 63%<sup>[13]</sup>,因此,相较于膝关节屈力矩的变化,评估太极拳练习时膝关节在冠状面上的内收力矩变化更为重要。

笔者发现相较于自然行走,撙膝拗步练习时膝关节内收力矩显著降低,此外下肢前进角度及踝关节外翻力矩均显著增加(见表 1)。已有研究<sup>[14-16]</sup>表明,增加人体在运动过程中的下肢前进角度以及踝关节外翻力矩可有助于使足底中心压力轨迹向外侧偏移,减小膝关节中心与地面反作用力之间的垂线,进而降低膝关节在冠状面上的载荷峰值。由于下肢前进角度的显著增加,使膝关节产生外旋运动,使膝关节内翻角度显

著降低,从而进一步减小膝关节中心到地面反作用力之间的垂直距离。因此,撙膝拗步动作练习时能显著降低膝关节内侧间室应力。

进行倒卷肱练习时,膝关节内收力矩也较自然行走时候显著降低(见表 1)。虽然倒卷肱练习时膝关节内翻角度显著增加,然而,由于倒卷肱练习时人体向反向移动,地面反作用力内侧方向转为向外侧方向,进而导致膝关节中心到地面反作用力之间的距离缩短,在练习过程中膝关节内侧间室的应力也相应缩小,因此倒卷肱动作练习时也能显著降低膝关节内侧间室应力。

本研究表明太极拳典型动作撙膝拗步(正向移动)及倒卷肱(反向移动)动作练习时膝关节冠状面上的应力均能显著降低,因而长期练习或可改善膝关节内侧间室的应力,进而缓解临床症状、改善内侧间室 KOA 患者的生活质量。然而在撙膝拗步动作练习时膝关节屈力矩显著增加,因此这一练习动作可能会增加膝关节矢状面的关节载荷<sup>[17]</sup>,因而该动作可能并不适合股髌关节炎患者。

本研究从生物力学的角度初步探索了太极拳练习过程中不同动作的步伐变化对膝关节应力的调节作用,为研究太极拳治疗 KOA 的力学机理提供了新的思路。然而本研究也存在不足之处:由于未能考虑表面肌电图,因而只是单纯讨论膝关节外力矩,而未能考虑由肌肉产生的内力矩。在将来的研究中需要同步进行膝关节外力矩及内力矩的研究,以期进一步探讨太极拳治疗 KOA 的生物力学机制。

### 参考文献

- [1] SINGH J A, SAAG K G, BRIDGES S L, et al. 2015 American college of rheumatology guideline for the treatment of rheumatoid arthritis[J]. Arthritis Care & Research, 2016, 68(1): 1-25.
- [2] CHEN W H, LIU X X, TONG P J, et al. Diagnosis and management of knee osteoarthritis: Chinese medicine expert consensus (2015)[J]. Chinese Journal of Integrative Medicine, 2016, 22(2): 150-153.
- [3] TSAI P F, CHANG J Y, BECK C, et al. A pilot cluster randomized trial of a 20-week tai chi program in elders with cognitive impairment and osteoarthritic knee: effects on pain and other health outcomes[J]. Journal of Pain & Symptom Management, 2013, 45(4): 660-669.
- [4] WANG C, SCHMID C H, HIBBERD P L, et al. Tai Chi is effective in treating knee osteoarthritis: a randomized controlled trial[J]. Arthritis and Rheumatism, 2009, 61(11): 1545-1553.
- [5] LEE H J, PARK H J, CHAE Y, et al. Tai Chi Qigong for the quality of life of patients with knee osteoarthritis: a pilot, randomized, waiting list controlled trial[J]. Clinical Rehabilitation, 2009, 23(6): 504-511.
- [6] WANG C, SCHMID C H, IVERSEN M D, et al. Compar-

- ative effectiveness of Tai Chi versus physical therapy for knee osteoarthritis; a randomized trial[J]. *Annals of Internal Medicine*, 2016, 165(2): 77-86.
- [7] 张旻, 陈博, 庞坚, 等. 膝关节炎患者在太极站桩练习中髌骨位置对膝关节应力的影响[J]. *上海中医药大学学报*, 2018, 32(4): 47-51.
- [8] 张旻, 陈博, 元唯安, 等. 太极倒卷肱对膝关节内侧间室应力的调节作用[J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2015, 23(10): 15-18.
- [9] 中国中医药研究促进会骨伤科分会. 膝关节炎中医诊疗指南(2020 年版)[J]. *中医正骨*, 2020, 32(10): 1-14.
- [10] JONES R K, ZHANG M, LAXTON P, et al. The biomechanical effects of a new design of lateral wedge insole on the knee and ankle during walking[J]. *Human Movement Science*, 2013, 32(4): 596-604.
- [11] KONG L J, LAUCHE R, KLOSE P, et al. Tai Chi for chronic pain conditions: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Scientific Reports*, 2016, 6(1): 25325.
- [12] KAWAJI H, KOJIMA S. Effect of altered sagittal-plane knee kinematics on loading during the early stance phase of gait[J]. *Gait & Posture*, 2019, 74: 108-113.
- [13] MANAL K, GARDINIER E, BUCHANAN T S, et al. A more informed evaluation of medial compartment loading: the combined use of the knee adduction and flexor moments[J]. *Osteoarthritis and Cartilage*, 2015, 23(7): 1107-1111.
- [14] MILLER R H, ESTERSON A Y, SHIM J K. Joint contact forces when minimizing the external knee adduction moment by gait modification: a computer simulation study[J]. *Knee*, 2015, 22(6): 481-489.
- [15] MESSIER S P, PATER M, BEAVERS D P, et al. Influences of alignment and obesity on knee joint loading in osteoarthritic gait[J]. *Osteoarthritis and Cartilage*, 2014, 22(7): 912-917.
- [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] TENG H L, MACLEOD T D, LINK T M, et al. Higher knee flexion moment during the second half of the stance phase of gait is associated with the progression of osteoarthritis of the patellofemoral joint on magnetic resonance imaging[J]. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 2015, 45(9): 656-664.