

DOI:10.13288/j.11-2166/r.2025.24.010

八式太极拳对膝骨关节炎不同疼痛反应患者下肢关节负荷影响的回顾性分析

侯美金^{1,2}, 吴思玲³, 柴雅泰³, 郑佳琪³, 黄小菲³, 张涵婧³, 王芴斌³✉

1. 福建中医药大学康复产业研究院, 福建省福州市闽侯上街邱阳路1号, 350122; 2. 康复医疗技术国家地方联合工程研究中心; 3. 福建中医药大学康复医学院

[摘要] **目的** 探讨八式太极拳训练对膝骨关节炎(KOA)不同疼痛反应患者登梯时下肢关节负荷的影响, 并分析疗效差异的原因。**方法** 回顾性选取完成12周(每次60 min, 每周2次)杨氏八式太极拳干预的KOA患者54例, 根据干预前后视觉模拟评分法(VAS)减少 ≥ 1.8 cm者纳入反应者组, < 1.8 cm者纳入非反应者组。比较两组患者干预前后VAS评分结果; 采用三维运动分析系统对两组患者干预前后上梯、下梯时的步态进行分析, 包括上梯、下梯步速, 髌关节、膝关节、踝关节在三个运动平面(矢状面、冠状面及水平面)上的肌力矩最大值及其范围, 计算髌关节、膝关节、踝关节总负荷大小。采用Spearman相关性分析方法探究干预前后疼痛变化量与干预前后有显著性差异的关节负荷指标的关系。**结果** 与本组干预前比较, 两组患者干预后VAS评分均降低($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$), 反应者组VAS评分干预前后差值高于非反应者组($P < 0.01$)。与本组干预前比较, 反应者组干预后上梯的步速显著提高, 下梯时髌关节总负荷下降($P < 0.05$); 非反应者组干预后上梯、下梯步速差异均无统计学意义($P > 0.05$), 下梯时踝关节总负荷减小($P < 0.05$)。反应者组患者干预前后上梯膝关节总负荷差值及下梯踝背屈跖屈肌力矩范围差值均低于非反应者组($P < 0.05$)。相关性分析显示, 干预前后疼痛变化量与下梯时踝背屈跖屈肌力矩范围变化量呈负相关($r = -0.346$, $P < 0.05$)。**结论** 八式太极拳训练可改善KOA患者下肢关节负荷, 尤其对疼痛改善明显者膝关节、踝关节负荷影响明显, 且疼痛缓解程度与踝关节负荷改善密切相关。

[关键词] 膝骨关节炎; 太极拳; 关节负荷; 关节疼痛; 回顾性分析

膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)是中老年人群常见的筋骨病之一, 患病率高达16%^[1]。膝痛是KOA患者就诊的主要原因之一, 其中登梯时疼痛加重更为明显^[2-3]。太极拳作为我国传统运动疗法之一, 可有效缓解KOA患者的疼痛, 改善膝关节功能^[4], 已被临床诊疗指南推荐用于KOA患者的保守治疗手段^[5-6]。膝关节负荷异常是影响KOA严重程度和疾病进展的重要生物力学因素之一, 随着疼痛的增加, 膝关节负荷下降^[7]。太极拳训练可有效提高KOA患者下肢肌肉力量^[8], 改善膝关节负荷^[9], 缓解疼痛。然而, 有研究显示太极拳训练对部分KOA患者膝痛的改善欠佳, 其改善

效果未达到临床最小差异(minimal clinically important difference, MCID), 存在非反应者^[10]。因此, 本研究采用回顾性分析方法, 从运动生物力学分析角度探究杨氏八式太极拳训练对KOA不同疼痛反应者登梯时下肢关节负荷的影响, 进一步揭示太极拳训练存在疗效差异的可能原因。本研究经福建中医药大学附属康复医院伦理委员会批准, 伦理批件号为: 2024KY-038-01; 并在中国临床试验注册中心完成临床试验注册, 注册号: ChiCTR2500100148。

1 资料

1.1 纳入标准

1) 符合《骨关节炎诊疗指南(2018年版)》诊断标准^[11], 年龄50~80岁; 2) 根据膝关节X线片诊断确定Kellgren/Lawrence(K/L)分级为1~3

基金项目: 国家自然科学基金(82405535, 82074515, 81774384)

✉ 通讯作者: wangxbn@fjtcn.edu.cn

级^[12]；3) 已完成每次 60 min、每周 2 次、为期 12 周的八式太极拳干预；4) 患者签署知情同意书；5) 有完整的病例资料，干预前后均采用视觉模拟评分法 (visual analogue scale, VAS)^[13] 进行疼痛评分和有效的三维运动分析数据。

1.2 排除标准

1) 合并各种急性、感染性、传染性疾病，内脏功能不全无法进行运动训练者；2) 合并神经系统、肌肉骨骼系统其他疾病影响步态，如中风、认知障碍、骨折、类风湿关节炎、足底筋膜炎、腰痛等；3) 测试前 24 h 内使用非甾体类抗炎药或皮质类固醇激素，太极拳干预前 2 周内接受过药物治疗、现代或中医康复方法，太极拳干预前 3 个月内曾行关节内类固醇注射或关节镜手术，太极拳干预前 6 个月内曾行关节内透明质酸注射，太极拳干预前在 1 年内准备进行全膝关节置换术；4) 长期规律进行有氧运动 (每周 ≥ 3 次，持续 3 个月以上为长期规律)。

1.3 研究对象及分组

选取 2020 年 6 月 17 日至 2024 年 10 月 20 日课题组招募并进行八式太极拳训练的全部 KOA 患者 67 例，最终纳入 54 例患者进行回顾性分析。本研究对所有涉及的个人信 息 (如姓名、电话号码等) 均进行脱敏处理以保障患者隐私安全。

根据干预前后患者 VAS 评分的改善度，参考 VAS 评分的 MCID 值 (1.8 分)^[14-15]，干预后疼痛评分较干预前减少 ≥ 1.8 分者纳入反应者组， < 1.8 分者纳入非反应者组。

2 方法

2.1 干预方法

选用杨氏八式太极拳，招式分别为：起式、卷肱式、搂膝拗步、野马分鬃、云手、金鸡独立、蹬脚、揽雀尾、十字手、收式^[16]。训练频次均为每次 60 min，每周 2 次，每次间隔 2 或 3 日，包括热身 10 min，动作练习 40 min，放松 10 min，持续 12 周。聘请有 10 年以上教学经验的太极拳教练对受试者进行太极拳训练，及时纠正不规范动作，且每次训练时由研究人员全程监督，以保障患者的依从性及干预效果。

2.2 观察指标及方法

2.2.1 VAS 评估患者膝关节疼痛程度^[15] 指导患者操作平板电脑电子病例数据系统，在一条长度为 10 cm 的直线上描述疼痛的严重程度，0 cm 计 0 分

表示无痛，10 cm 计 10 分表示最剧烈的疼痛。计算 VAS 评分干预前后差值，即干预前后患者膝关节疼痛的改善度。

2.2.2 三维运动检测 两组患者干预前后均在福建中医药大学三维运动分析实验室环境中，用瑞典 Qualisys 三维运动分析系统 (红外摄像头型号为 Oqus700+，采样频率为 100 Hz) 行上下梯时的步态分析。登梯测试所用台阶为本实验室设计的 8 级三轴可调台阶，每级台阶设置固定高度 20 cm，宽度为 30 cm，长度为 100 cm，符合《民用建筑设计统一标准》^[17] 中规定的住宅套内楼梯标准。于第 3 级、第 4 级台阶中嵌入测力台 (瑞士 Kistler 公司，型号为 9260AA，规格为 60 cm $\times$ 50 cm，采样频率设为 1000 Hz)，用于同步采集登梯过程中的力学数据。台阶两边均安装扶手，用于登梯过程中的安全防护。

根据 CAST 模型^[18] 标准，在 KOA 患者骨盆及双下肢相应位置放置直径为 14 mm 的荧光标记球 (marker)，位置包括：髌前上棘、髌后上棘、股骨内上髁、股骨外上髁、内踝、外踝、足跟、第一跖骨头背侧面、第二跖骨底背侧面、第五跖骨头背侧面。大腿、小腿外侧中部用弹性绑带固定含有 4 个 marker 的板 (规格 13 cm $\times$ 8 cm) 用于下肢动作追踪。数据采集过程：首先嘱患者采用解剖姿势静止站立 3 s，用于构建静态模型。接着嘱患者以自觉舒适的步行速度进行上、下梯，且全程不扶扶手，以免扶手分散下肢关节受力。上、下梯分别至少采集 3 次有效数据。有效数据的定义为：患者一步一个台阶进行逐级完成上、下梯任务，全过程均不越级，且每块测力台获取的压力中心数据准确无误。

使用 Qualisys 数据采集软件 (Qualisys Track Manager, QTM) 对每个 marker 进行命名，并对少数缺失的 marker 轨迹进行补点，完成后导出含 marker 运动轨迹及测力台信号的 C3D 文件，在软件 Visual 3D prof V6 (HAS-motion，加拿大) 中进行建模分析。自动识别步态过程中足着地、离地事件，并采用逆动力学的方法分析下肢关节负荷。具体结局指标如下：上梯、下梯步速，髋关节、膝关节、踝关节在三个运动平面 (矢状面、冠状面及水平面) 上的肌力矩最大值及其范围 (矢状面上为：髋屈伸肌力矩范围、伸髋肌力矩最大值、膝屈伸肌力矩范围、伸膝肌力矩最大值、踝背屈跖屈肌力矩范围、踝跖屈肌力矩最大值；冠状面上为：髋内收外展肌力矩范围、髋外展肌力矩最大值、膝内外翻力

矩范围、膝内翻外力矩最大值、踝内外翻肌力矩范围、踝内翻肌力矩最大值；水平面上为：髌内外旋肌力矩范围、髌内旋肌力矩最大值、膝内外旋肌力矩范围、膝内旋肌力矩最大值、踝内外旋肌力矩范围、踝外旋肌力矩最大值），以及髌关节、膝关节、踝关节的总负荷。总负荷的计算如下：首先分别计算步态支撑相（同侧足着地至同侧足离地）中髌、膝、踝关节在三个运动平面上的肌力矩；接着分别计算出相应平面的冲量，即支撑相肌力矩时间加和量，用于表示每个关节在各个运动平面上的关节负荷总量；最后计算三个运动平面上的冲量平方和开根号，获得各个关节的总负荷大小。

2.2.3 疼痛改善与关节负荷变化的相关性 采用 Spearman 相关性分析方法探究干预前后疼痛变化量（即干预前后 VAS 评分差值）与干预前后有统计学差异的关节负荷指标的关系。相关性划分标准： $|r| < 0.4$ 为低度线性相关， $0.4 \leq |r| \leq 0.7$ 为中度线性相关， $0.7 < |r| < 1$ 为高度线性相关^[19]。

2.3 统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件对数据进行统计分析。计量资料均符合正态分布，以均值±标准差（ $\bar{x} \pm s$ ）表示，方差齐时组间比较采用两独立样本 t 检验，方差不齐时采用两独立样本校正 t 检验；组内比较采用配对样本 t 检验或者配对样本秩和检验。若两组间基线及干预前的指标存在差异，则额外采用协方差分析检验。计数资料以频数表示，采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。所有检验均采用双侧检验， $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

3 结果

3.1 两组患者一般资料比较

54 例患者中反应者组 21 例，非反应者组 33 例。表 1 示，两组患者基线资料比较差异无统计学

意义（ $P > 0.05$ ），具有可比性。

3.2 两组患者干预前后 VAS 评分比较

表 2 示，反应者组患者干预前 VAS 评分高于非反应者组（ $P < 0.01$ ）。与干预前比较，两组干预后 VAS 评分均降低（ $P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ ）。协方差分析结果显示，反应者组干预后 VAS 评分低于非反应者组（ $P < 0.01$ ）。VAS 评分干预前后差值组间比较，反应者组高于非反应者组（ $P < 0.01$ ）。

表 2 两组膝骨关节炎患者干预前后 VAS 评分比较

Table 2 Comparison of VAS scores before and after intervention between the two groups of patients with knee osteoarthritis (分, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	干预前	干预后	干预前后差值
反应者组	21	4.48±1.35	1.52±1.13 ^{a)}	2.95±1.28
非反应者组	33	2.80±1.06	2.39±1.22 ^{b)}	0.41±0.98
$t/Z/F$ 值		5.100	-2.620	-6.180
P 值		<0.001	0.011	<0.001

注：VAS，视觉模拟评分。

a) 与本组干预前比较， $P < 0.01$ ；b) 与本组干预前比较， $P < 0.05$ 。

3.2 两组患者干预前后上梯、下梯步速比较

表 3 示，与本组干预前比较，反应者组干预后上梯的步速提高（ $P = 0.023$ ），下梯步速差异无统计学意义（ $P > 0.05$ ）。非反应者组干预前后比较，上梯、下梯步速均无统计学意义（ $P > 0.05$ ）。两组患者组间比较，干预前后上梯、下梯步速及干预前后差值差异均无统计学意义（ $P > 0.05$ ）。

3.3 两组患者干预前后上梯、下梯髌关节负荷指标比较

表 4、表 5 示，反应者组患者干预后下梯时髌关节总负荷较干预前下降（ $P = 0.047$ ），其余上梯、下梯时髌关节各负荷指标差异均无统计学意义（ $P > 0.05$ ）；非反应者组患者干预后上梯时髌屈伸肌力

表 1 两组膝骨关节炎患者基线资料比较

Table 1 Comparison of general information between the two groups of patients with knee osteoarthritis

项目	反应者组 (21 例)	非反应者组 (33 例)	$t/Z/\chi^2$ 值	P 值
年龄/岁, $\bar{x} \pm s$	62.19±6.43	61.58±6.26	0.348	0.729
身高/cm, $\bar{x} \pm s$	159.41±7.07	161.48±7.57	-0.595	0.552
体重/kg, $\bar{x} \pm s$	59.90±9.83	61.83±10.30	-0.685	0.496
BMI/kg·m ⁻² , $\bar{x} \pm s$	23.53±2.75	23.58±2.56	-0.071	0.943
病程/月, $\bar{x} \pm s$	107.24±70.58	89.18±87.20	-1.519	0.129
性别 (男/女) /例	3/18	10/23	1.800	0.180
K/L 分级 (1/2/3 级) /例	2/13/6	1/24/8	1.286	0.526
合并疾病情况 (糖尿病/高血压病/心脏病) /例	5/4/1	4/8/3	1.475	0.548

注：BMI，身体质量指数；K/L 分级，Kellgren/Lawrence 分级。

表3 两组膝关节炎患者干预前后上梯、下梯步速比较

Table 3 Comparison of stair ascent and descent speeds before and after intervention between the two groups of patients with knee osteoarthritis (m/s, $\bar{x}\pm s$)							
组别	例数	上梯			下梯		
		干预前	干预后	干预前后差值	干预前	干预后	干预前后差值
反应者组	21	0.57±0.06	0.58±0.06 ^{a)}	-0.02±0.03	0.64±0.08	0.66±0.09	-0.02±0.07
非反应者组	33	0.56±0.07	0.58±0.09	-0.03±0.07	0.64±0.09	0.67±0.11	-0.03±0.10
t/Z 值		0.561	-0.878	-0.240	0.168	-0.098	-0.568
P 值		0.577	0.380	0.811	0.867	0.922	0.570

注：a) 与本组治疗前比较， $P<0.05$ 。

表4 两组膝关节炎患者干预前后上梯过程中髋关节负荷指标比较

Table 4 Comparison of hip joint load indicators during stair ascent between the two groups of patients with knee osteoarthritis ($\bar{x}\pm s$)						
指标	反应者组 (21 例)			非反应者组 (33 例)		
	干预前	干预后	干预前后差值	干预前	干预后	干预前后差值
髋关节总负荷/N·m·s·kg ⁻¹	51.58±13.84	50.49±14.13	1.09±5.60	53.43±12.09	52.95±12.23	0.48±10.00
髋屈伸肌力矩范围/N·m·kg ⁻¹	0.83±0.16	0.85±0.17	-0.02±0.07	0.87±0.16	0.92±0.17 ^{a)}	-0.05±0.10
髋内收外展肌力矩范围/N·m·kg ⁻¹	0.85±0.12	0.88±0.15	-0.03±0.11	0.91±0.13	0.89±0.14	0.02±0.12
髋内外旋肌力矩范围/N·m·kg ⁻¹	0.42±0.12	0.44±0.15	-0.01±0.09	0.40±0.10	0.43±0.09 ^{a)}	-0.03±0.08
伸髋肌力矩最大值/N·m·kg ⁻¹	0.74±0.16	0.74±0.19	0.00±0.09	0.77±0.15	0.83±0.17 ^{a)}	-0.05±0.12
髋外展肌力矩最大值/N·m·kg ⁻¹	0.78±0.12	0.79±0.14	-0.01±0.11	0.83±0.12	0.83±0.13	0.00±0.12
髋内旋肌力矩最大值/N·m·kg ⁻¹	0.38±0.11	0.39±0.14	-0.01±0.09	0.35±0.10	0.38±0.09	-0.03±0.08

注：a) 与本组干预前比较， $P<0.05$ 。

表5 两组膝关节炎患者干预前后下梯过程中髋关节负荷指标比较

Table 5 Comparison of hip joint load indicators during stair descent between the two groups of patients with knee osteoarthritis ($\bar{x}\pm s$)						
指标	反应者组 (21 例)			非反应者组 (33 例)		
	干预前	干预后	干预前后差值	干预前	干预后	干预前后差值
髋关节总负荷/N·m·s·kg ⁻¹	45.56±7.40	42.13±7.41 ^{a)}	3.43±7.43	47.52±11.52	42.86±10.52 ^{a)}	4.66±8.74
髋屈伸肌力矩范围/N·m·kg ⁻¹	0.44±0.14	0.45±0.11	0.00±0.10	0.48±0.18	0.53±0.18	-0.04±0.22
髋内收外展肌力矩范围/N·m·kg ⁻¹	1.18±0.12	1.16±0.20	0.02±0.19	1.19±0.22	1.12±0.25 ^{a)}	0.07±0.18
髋内外旋肌力矩范围/N·m·kg ⁻¹	0.38±0.15	0.36±0.13	0.02±0.11	0.35±0.13	0.37±0.12	-0.02±0.12
伸髋肌力矩最大值/N·m·kg ⁻¹	1.13±0.12	1.11±0.21	0.02±0.18	1.15±0.21	1.08±0.24 ^{a)}	0.06±0.18
髋外展肌力矩最大值/N·m·kg ⁻¹	0.34±0.15	0.31±0.11	0.03±0.11	0.31±0.14	0.33±0.12	-0.03±0.12
髋内旋肌力矩最大值/N·m·kg ⁻¹	0.21±0.08	0.22±0.06	0.00±0.07	0.24±0.07	0.24±0.09	0.00±0.08

注：a) 与本组干预前比较， $P<0.05$ 。

矩范围 ($P=0.005$)、髋内外旋肌力矩范围 ($P=0.042$)、伸髋肌力矩最大值 ($P=0.013$) 均升高，下梯时髋关节总负荷 ($P=0.004$)、髋内收外展肌力矩范围 ($P=0.008$)、伸髋肌力矩最大值 ($P=0.018$) 均下降。两组在干预前后上梯、下梯时髋关节各负荷指标及干预前后差值差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。

3.4 两组患者干预前后上梯、下梯膝关节负荷指标比较

表6、表7示，与本组干预前比较，反应者组干预后上梯膝内外翻力矩范围显著增加 ($P=0.008$)，下梯膝内外旋肌力矩范围 ($P=0.036$)、膝内旋肌力矩最大值 ($P=0.049$) 显著减少；非反

应者组干预后上梯膝关节总负荷 ($P=0.002$)、膝屈伸肌力矩范围 ($P=0.028$)、伸膝肌力矩最大值 ($P=0.029$) 均显著减少，干预后下梯膝关节总负荷 ($P=0.001$)、膝屈伸肌力矩范围 ($P=0.002$)、膝内外旋肌力矩范围 ($P=0.005$)、膝内旋肌力矩最大值 ($P=0.010$) 均显著减少。两组组间比较，两组干预前后上梯、下梯时膝关节各负荷指标组间比较均无显著性差异 ($P>0.05$)。反应者组上梯时膝关节总负荷干预前后差值显著低于非反应者组 ($P=0.049$)。

3.5 两组患者干预前后上梯、下梯踝关节负荷指标比较

表8、表9示，与本组干预前比较，非反应者

表6 两组膝骨关节炎患者干预前后上梯过程中膝关节负荷指标比较

Table 6 Comparison of knee joint load indicators during stair ascent between the two groups of patients with knee osteoarthritis ($\bar{x} \pm s$)

指标	反应者组 (21 例)			非反应者组 (33 例)		
	干预前	干预后	干预前后差值	干预前	干预后	干预前后差值
膝关节总负荷/ $\text{Nm} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}$	35.95±8.27	35.88±7.24	0.07±5.71	36.59±9.42	33.37±7.44 ^{a)}	3.22±5.53 ^{b)}
膝屈伸肌力矩范围/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	1.05±0.22	1.04±0.23	0.00±0.14	1.18±0.31	1.13±0.29 ^{a)}	0.05±0.13
膝内外翻力矩范围/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.37±0.15	0.41±0.18 ^{a)}	-0.05±0.07	0.35±0.11	0.34±0.10	0.01±0.13
膝内外旋肌力矩范围/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.30±0.08	0.29±0.07	0.00±0.06	0.31±0.07	0.31±0.08	0.01±0.06
伸膝肌力矩最大值/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.87±0.22	0.87±0.23	0.00±0.16	0.96±0.23	0.91±0.23 ^{a)}	0.05±0.14
膝内翻外力矩最大值/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.29±0.18	0.32±0.21	-0.03±0.09	0.29±0.12	0.28±0.12	0.01±0.14
膝内旋肌力矩最大值/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.27±0.08	0.26±0.08	-0.01±0.06	0.28±0.07	0.27±0.08	0.00±0.06

注: a) 与本组干预前比较, $P < 0.05$; b) 与反应者组干预前后差值比较, $P < 0.05$ 。

表7 两组膝骨关节炎患者干预前后下梯过程中膝关节负荷指标比较

Table 7 Comparison of knee joint load indicators during stair descent between the two groups of patients with knee osteoarthritis ($\bar{x} \pm s$)

指标	反应者组 (21 例)			非反应者组 (33 例)		
	干预前	干预后	干预前后差值	干预前	干预后	干预前后差值
膝关节总负荷/ $\text{Nm} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}$	41.80±9.99	38.98±9.12	2.82±8.88	46.56±11.76	41.87±9.08 ^{a)}	4.69±7.49
膝屈伸肌力矩范围/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.95±0.19	0.92±0.17	0.03±0.15	1.01±0.17	0.95±0.18 ^{a)}	0.06±0.10
膝内外翻力矩范围/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.50±0.22	0.49±0.21	0.02±0.11	0.49±0.19	0.44±0.19	0.04±0.13
膝内外旋肌力矩范围/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.21±0.07	0.19±0.06 ^{a)}	0.02±0.05	0.23±0.06	0.21±0.07 ^{a)}	0.02±0.05
伸膝肌力矩最大值/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.95±0.24	0.90±0.24	0.05±0.22	1.02±0.18	0.98±0.22	0.04±0.13
膝内翻外力矩最大值/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.51±0.23	0.50±0.22	0.00±0.12	0.49±0.21	0.45±0.21	0.04±0.16
膝内旋肌力矩最大值/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.21±0.07	0.19±0.06 ^{a)}	-0.02±0.05	0.23±0.06	0.21±0.07 ^{a)}	-0.02±0.05

注: a) 与本组干预前比较, $P < 0.05$ 。

表8 两组膝骨关节炎患者干预前后上梯过程中踝关节负荷指标比较

Table 8 Comparison of ankle joint load indicators during stair ascent between the two groups of patients with knee osteoarthritis ($\bar{x} \pm s$)

指标	反应者组 (21 例)			非反应者组 (33 例)		
	干预前	干预后	干预前后差值	干预前	干预后	干预前后差值
踝关节总负荷/ $\text{Nm} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}$	50.25±7.74	48.7±7.46	1.55±5.27	50.41±8.62	49.68±8.31	0.73±6.39
踝背屈跖屈肌力矩范围/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	1.23±0.13	1.25±0.14	-0.01±0.10	1.23±0.09	1.22±0.12	0.01±0.09
踝内外翻肌力矩范围/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.29±0.10	0.31±0.14	-0.02±0.11	0.30±0.10	0.29±0.11	0.01±0.10
踝内外旋肌力矩范围/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.11±0.04	0.12±0.04	0.00±0.03	0.11±0.04	0.12±0.04	-0.01±0.02
踝屈屈肌力矩最大值/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	1.33±0.14	1.34±0.15	0.00±0.10	1.32±0.09	1.32±0.14	0.00±0.10
踝内翻肌力矩最大值/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.25±0.14	0.29±0.16	0.03±0.11	0.29±0.13	0.28±0.14	-0.02±0.13
踝外旋肌力矩最大值/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.07±0.05	0.07±0.05	0.00±0.02	0.07±0.03	0.08±0.04 ^{a)}	-0.01±0.03

注: a) 与本组干预前比较, $P < 0.05$ 。

表9 两组膝骨关节炎患者干预前后下梯过程中踝关节负荷指标比较

Table 9 Comparison of ankle joint load indicators during stair descent between the two groups of patients with knee osteoarthritis ($\bar{x} \pm s$)

指标	反应者组 (21 例)			非反应者组 (33 例)		
	干预前	干预后	干预前后差值	干预前	干预后	干预前后差值
踝关节总负荷/ $\text{Nm} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}$	49.95±7.33	49.66±7.89	0.29±6.81	52.53±7.98	48.9±8.44 ^{a)}	3.64±7.69
踝背屈跖屈肌力矩范围/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	1.14±0.14	1.18±0.15 ^{a)}	-0.05±0.09	1.15±0.13	1.12±0.17	0.03±0.14 ^{b)}
踝内外翻肌力矩范围/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.31±0.13	0.36±0.19	-0.05±0.15	0.35±0.12	0.37±0.13	-0.03±0.12
踝内外旋肌力矩范围/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.11±0.05	0.11±0.04	0.00±0.04	0.11±0.04	0.10±0.04	0.01±0.03
踝屈屈肌力矩最大值/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	1.17±0.14	1.21±0.15 ^{a)}	-0.05±0.09	1.17±0.14	1.15±0.17	0.02±0.14
踝内翻肌力矩最大值/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.30±0.14	0.35±0.20	0.06±0.16	0.33±0.13	0.36±0.16	0.03±0.14
踝外旋肌力矩最大值/ $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.10±0.06	0.10±0.05	0.01±0.05	0.10±0.04	0.08±0.05 ^{a)}	0.02±0.04

注: a) 与本组干预前比较, $P < 0.05$; b) 干预前后差值的组间比较, $P < 0.05$ 。

组患者干预后上梯时踝外旋肌力矩最大值增加 ($P=0.026$), 下梯时踝关节总负荷 ($P=0.011$)、踝外旋肌力矩最大值 ($P=0.031$) 均减少; 反应者组干预后踝背屈跖屈肌力矩范围 ($P=0.037$) 和踝跖屈肌力矩最大值 ($P=0.024$) 均增加。组间比较, 两组干预前后上梯、下梯时踝关节各负荷指标差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。下梯过程中反应者组踝背屈跖屈肌力矩范围干预前后差值低于非反应者组 ($P=0.037$)。

3.6 患者疼痛改善与关节负荷变化相关性分析

图 1 示, 相关性分析显示, 干预前后疼痛变化量与上梯膝关节总负荷变化量无相关性 ($r=-0.020$, $P=0.885$), 干预前后疼痛变化量与下梯时踝背屈跖屈肌力矩范围变化量呈负相关 ($r=-0.346$, $P=0.011$)。

4 讨论

KOA 属于中医学“骨痹”“筋痹”等范畴, 以疼痛为主要症状, 影响患者运动功能。为缓解步行过程中的关节疼痛, KOA 患者在步态支撑期时, 躯体通常会启动避痛机制, 使得重心倾向非严重侧或健侧, 减少严重侧或患侧肢体的负重^[20], 同时增加躯干前倾^[21], 减少矢状面上的伸膝肌力矩, 降低对股四头肌的需求, 减少关节负荷。当疼痛缓解后, 这种避痛机制减少, 关节负荷增加^[22]。

本研究结果表明, 反应者组患者疼痛缓解明显, 且太极拳干预前后膝关节总负荷下降较非反应者组小, 说明该组患者经太极拳干预后膝关节负荷改变较少, 膝关节负重能力较非反应者组患者高。组内比较结果也表明, 太极拳干预使得反应者组上

梯时膝关节内外翻力矩范围增加, 结合膝内翻外力矩最大值的结果 (差异虽无统计学意义), 说明太极拳干预后反应者组患者膝关节负荷增加, 而非反应者组膝关节总负荷、上梯时伸膝肌力矩、下梯时内旋肌力矩却有所减小。然而高膝关节负荷是 KOA 疾病发生发展的重要生物力学因素之一^[23]。增加膝关节负重, 是否在某种程度上加速疾病进程, 有待进一步验证。而非反应者组在接受同等运动量的太极拳训练后, 膝关节负荷下降较明显, 这可能是因为太极拳训练前, 该组患者疼痛程度较低, 避痛少, 膝关节所承受的负荷较反应者组高, 太极拳干预后, 膝关节疼痛缓解较少, 仍可能通过避痛的方式来尽可能减小膝关节负荷。因此, 对于疼痛程度较高的 KOA 患者, 八式太极拳训练对于疼痛缓解的康复效应较高, 但膝关节可能因代偿减少而承受了更大的负荷, 故而太极拳训练需考虑膝关节负荷问题, 招式选择应避免膝关节负荷较高的动作, 如下式独立、野马分鬃^[24]等; 对于疼痛程度较低的 KOA 患者, 八式太极拳的康复效应较弱, 可适当增加训练强度, 如采用更低的架势、延长训练时长及增加训练频次等方式。

相关性分析结果显示, 膝关节总负荷改变与疼痛改变之间未见负相关关系。有研究表明, KOA 患者冠状面上膝内翻外力矩 (EKAM) 与矢状面上屈膝外力矩呈负相关, 且屈膝外力矩与关节疼痛呈正相关, 即疼痛增加, 屈膝外力矩增加, 表明膝关节负荷从冠状面到矢状面上的重新分配 (EKAM 减小, 屈膝外力矩增加) 可能是为了减轻机械刺激相关疼痛的一种代偿策略^[25]。本研究仅探究组间存

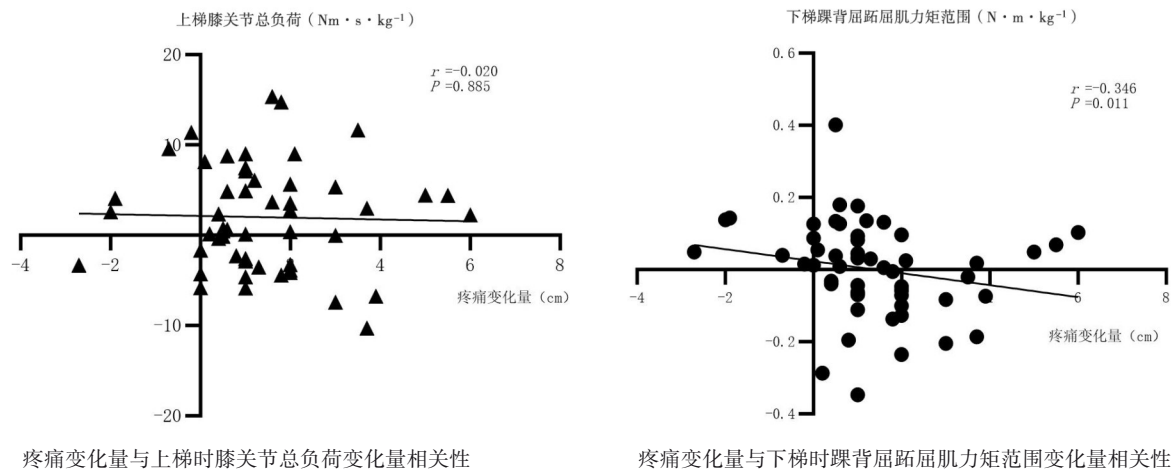


图 1 膝骨关节炎患者疼痛变化量与关节负荷变化量的相关性分析
Figure 1 Correlation analysis between the change in pain and the change in joint load in patients with knee osteoarthritis

在差异的膝关节总负荷改变与疼痛改变之间的相关性,并未探究三个运动平面力矩最大值与疼痛之间的相关性。膝关节总负荷的计算考虑了力矩在完整步态支撑期中的时间累加量,比力矩最大值、最小值或某些特征时间点的力矩值更能代表关节在步态周期中承受的总负荷;同时也考虑了三个运动平面上的负荷总量。既往研究中 KOA 患者疼痛可能会导致膝关节负荷在运动平面中存在转移或重新分配^[25],但疼痛改变与膝关节总负荷改变之间不存在相关性,说明膝关节总负荷的差异可能不是引起太极拳对 KOA 患者疼痛疗效差异的主要原因。

KOA 疾病除了影响膝关节负荷的改变,患者还会通过调整下肢动力链的神经肌肉策略来应对关节疼痛、肌肉无力、关节僵硬等改变,如降低对伸膝肌力矩的需求以减少对股四头肌力量的需求^[26],减少踝关节力矩,增加髌关节力矩^[27-28]等。本研究结果表明,反应者组患者下梯时矢状面上踝关节肌力矩范围增加,且与疼痛改善呈负相关,即疼痛缓解越明显与踝关节矢状面上肌力矩范围越大有关。结合踝跖屈肌力矩最大值的结果,说明反应者组疼痛缓解明显与下梯踝跖屈肌力矩增加有关。另外,反应者组患者太极拳干预后下梯髌关节总负荷减小,说明其因关节疼痛所致的下肢动力链策略调整减少,整体运动模式有所提升。但对于非反应者组患者而言,虽然太极拳干预后下梯髌关节总负荷下降,但上梯时仍存在髌关节肌力矩在各个方向上的范围增加的表现。太极拳步法中涉及前向、侧向及旋转多个方向,可提高髌、膝、踝周肌群肌力^[29],改善肌肉协调性^[30]。研究表明,太极拳“云手”动作作为太极拳母式,以其侧步移动方式增加髌外展及外旋肌力矩,踝关节肌力矩也得以提升^[31],整个动作周期中力矩呈现缓慢增加、持续时间较长的高水平模式。而太极拳“倒卷肱”动作同样也可充分增加踝关节的肌力矩。太极拳训练后, KOA 患者踝关节力矩增加^[32]。因此,踝关节力矩是否得到有效增强,可能是八式太极拳影响 KOA 患者疼痛康复效应的重要因素。对于非反应者而言,应侧重于练习可提升踝关节肌力矩的招式动作,如倒卷肱^[33]等。

综上,八式太极拳训练可改善 KOA 患者的下肢关节负荷。下肢关节负荷改变,尤其是膝关节、踝关节负荷改变差异是导致 KOA 患者太极拳康复效应差异的可能原因。八式太极拳对疼痛程度较低的 KOA 患者康复效应较差,可适当增加太极拳训

练强度,侧重可提升踝关节肌力矩的动作。对于疼痛程度较高的 KOA 患者而言,八式太极拳的疼痛康复效应较好,但应充分考虑膝关节负荷问题,避免选择膝关节负荷较高的动作。本研究为回顾性单中心研究,样本量基于课题组前期所收集获得数据的患者数量确定,未进行研究前样本量估算,总样本量较小。未来研究应进一步增加样本量,进行多中心研究,增强结果的可靠性。

参考文献

- [1] CUI A, LI H, WANG D, et al. Global, regional prevalence, incidence and risk factors of knee osteoarthritis in population-based studies [J]. *EClinicalMedicine*, 2020, 29-30:100587. doi: 10.1016/j.eclinm.2020.100587.
- [2] HENSOR EM, DUBE B, KINGSBURY SR, et al. Toward a clinical definition of early osteoarthritis: onset of patient-reported knee pain begins on stairs. Data from the osteoarthritis initiative [J]. *Arthritis Care Res (Hoboken)*, 2015, 67(1): 40-47.
- [3] WHITCHELO T, MCCLELLAND JA, WEBSTER KE. Factors associated with stair climbing ability in patients with knee osteoarthritis and knee arthroplasty: a systematic review [J]. *Disabil Rehabil*, 2014, 36(13): 1051-1060.
- [4] HU L, WANG Y, LIU X, et al. Tai Chi exercise can ameliorate physical and mental health of patients with knee osteoarthritis: systematic review and meta-analysis [J]. *Clin Rehabil*, 2021, 35(1): 64-79.
- [5] BROSSEAU L, TAKI J, DESJARDINS B, et al. The Ottawa panel clinical practice guidelines for the management of knee osteoarthritis. Part two: strengthening exercise programs [J]. *Clin Rehabil*, 2017, 31(5): 596-611.
- [6] 中华中医药学会. 膝关节炎中西医结合诊疗指南 (2023 年版) [J]. *中医正骨*, 2023, 35(6): 1-10.
- [7] WAN Y, MCGUIGAN P, BILZON J, et al. Knee loading and joint pain during daily activities in people with knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis [J]. *Clin Biomech (Bristol)*, 2025, 122: 106433. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2025.106433.
- [8] 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关节炎的作用机制 [J]. *康复学报*, 2024, 34(4): 411-416.
- [9] PAN J, XIE Z, YE S, et al. The effects of Tai Chi on clinical outcomes and gait biomechanics in knee osteoarthritis patients: a pilot randomized controlled trial [J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 18495.
- [10] LEE AC, HARVEY WF, HAN X, et al. Pain and func-

- tional trajectories in symptomatic knee osteoarthritis over up to 12 weeks of exercise exposure [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2018, 26(4): 501–512.
- [11] 中华医学会骨科学分会关节外科学组. 骨关节炎诊疗指南(2018 年版) [J]. *中华骨科杂志*, 2018, 38(12): 705–715.
- [12] KELLGREN JH, LAWRENCE JS. Radiological assessment of osteo-arthritis [J]. *Ann Rheum Dis*, 1957, 16(4): 494–502.
- [13] 曹卉娟, 邢建民, 刘建平. 视觉模拟评分法在症状类结局评价测量中的应用 [J]. *中医杂志*, 2009, 50(7): 600–602.
- [14] TUBACH F, RAVAUD P, BARON G, et al. Evaluation of clinically relevant changes in patient reported outcomes in knee and hip osteoarthritis: the minimal clinically important improvement [J]. *Ann Rheum Dis*, 2005, 64(1): 29–33.
- [15] HINMAN RS, MCCRORY P, PIROTTA M, et al. Acupuncture for chronic knee pain: a randomized clinical trial [J]. *JAMA*, 2014, 312(13): 1313–1322.
- [16] 宗维洁. 一段太极拳 [M]. 北京: 北京体育大学出版社, 2004: 2.
- [17] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑设计统一标准 [S/OL]. (2019–03–13) [2025–07–23]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zc/wjk/art/2019/art_17339_240715.html.
- [18] CAPPOZZO A, CATANI F, CROCE UD, et al. Position and orientation in space of bones during movement: anatomical frame definition and determination [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 1995, 10(4): 171–178.
- [19] AKOGLU H. User's guide to correlation coefficients [J]. *Turk J Emerg Med*, 2018, 18(3): 91–93.
- [20] 李锡, 张永旺, 尹世林, 等. 膝骨关节炎患者负重位下肢力学相关参数的测量分析 [J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2024, 32(10): 32–39.
- [21] CHAI Y, CHEN J, HOU M, et al. Gait strategies for individuals with knee osteoarthritis when transitioning between floor and stair walking [J]. *Front Physiol*, 2023, 14: 1026299. doi: 10.3389/fphys.2023.1026299.
- [22] YOKOYAMA M, IJIMA H, KUBOTA K, et al. Exploring the modification factors of exercise therapy on biomechanical load in patients with knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis [J]. *Clin Rheumatol*, 2023, 42(7): 1737–1752.
- [23] GENG R, LI J, YU C, et al. Knee osteoarthritis: current status and research progress in treatment (review) [J]. *Exp Ther Med*, 2023, 26(4): 481.
- [24] LIU H, GONG H, CHEN P, et al. Biomechanical effects of typical lower limb movements of Chen-style Tai Chi on knee joint [J]. *Med Biol Engin Comput*, 2023, 61(11): 3087–3101.
- [25] HUANG C, CHAN PK, CHIU KY, et al. Exploring the relationship between pain intensity and knee moments in participants with medial knee osteoarthritis: a cross-sectional study [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2021, 22: 685. doi: 10.1186/s12891-021-04587-w.
- [26] ZENI JA, HIGGINSON JS. Knee osteoarthritis affects the distribution of joint moments during gait [J]. *Knee*, 2011, 18(3): 156–159.
- [27] PAN J, FU W, LV J, et al. Biomechanics of the lower limb in patients with mild knee osteoarthritis during the sit-to-stand task [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2024, 25(1): 268.
- [28] BAYLISS ZO, FLAXMAN TE, BIGHAM HJ, et al. Females with knee osteoarthritis use a detrimental knee loading strategy when squatting [J]. *Knee*, 2022, 38: 9–18. doi: 10.1016/j.knee.2022.05.008.
- [29] 沈以昕, 朱冬奇, 牛文鑫. 太极拳的平衡维持作用及其生物力学研究进展 [J]. *医用生物力学*, 2018, 33(4): 372–377.
- [30] 张彦龙, 陈思, 张愉, 等. 太极拳上步弓步动作足前进角对膝关节载荷的影响及肌肉协调收缩策略 [J]. *医用生物力学*, 2021, 36(5): 718–724.
- [31] ZHU Q, ZHOU X, ZHANG S, 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.
- [32] KO B, LEE T, HSU T, et al. The effects of Tai Chi Chuan exercise training on the lower extremities of middle-aged and elderly [J]. *Applied Sciences*, 2022, 12(9): 4460.
- [33] LI JX, LAW N. Kinetics of the lower limb during two typical Tai Chi movements in the elderly [J]. *Res Sports Med*, 2018, 26(1): 112–123.

Retrospective Analysis of the Impact of Eight-Form Tai Chi on Lower Limb Joint Load in Patients with Knee Osteoarthritis Showing Different Pain Responses

HOU Meijin^{1,2}, WU Siling³, CHAI Yatai³, ZHENG Jiaqi³, HUANG Xiaofei³, ZHANG Hanjing³, WANG Xiangbin³

1. Rehabilitation Industry Research Institute, Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou, 350122; 2. National and Local Joint Engineering Research Center for Rehabilitation Medical Technology; 3. School of Rehabilitation Medicine, Fujian University of Traditional Chinese Medicine

ABSTRACT Objective To explore the impact of eight-form Tai Chi training on lower limb joint load during stair climbing in patients with knee osteoarthritis (KOA) who exhibit different pain responses, and to analyze the reasons for differences in therapeutic effects. **Methods** A total of 54 KOA patients who completed a 12-week intervention of YANG-style eight-form Tai Chi (60 minutes per session, twice a week) were selected retrospectively. Patients with a reduction ≥ 1.8 cm in Visual Analogue Scale (VAS) score after the intervention were included in the responder group, while those with a reduction < 1.8 cm were included in the non-responder group. VAS scores of both groups before and after the intervention were compared. A three-dimensional motion analysis system was used to analyze the gait of both groups during stair ascent and descent before and after the intervention, including parameters such as stair ascent/descent speed, maximum muscle torque and torque range of the hip, knee, and ankle joints in three movement planes (sagittal, coronal, and horizontal planes). The total load of the hip, knee, and ankle joints was calculated. Spearman correlation analysis was applied to explore the relationship between the amount of pain change (before and after intervention) and the joint load indicators that showed significant differences before and after the intervention.

Results Compared with pre-intervention values within each group, VAS scores of both groups decreased after the intervention ($P < 0.05$ or $P < 0.01$), and the difference in VAS scores (pre- vs. post-intervention) in the responder group was higher than that in the non-responder group ($P < 0.01$). In the responder group, stair ascent speed significantly increased and total hip joint load during stair descent decreased after the intervention compared with pre-intervention ($P < 0.05$). In the non-responder group, there was no statistically significant difference in stair ascent or descent speed after the intervention ($P > 0.05$), but the total ankle joint load during stair descent decreased ($P < 0.05$). The difference in total knee joint load during stair ascent (pre- vs. post-intervention) and the difference in ankle dorsiflexion-plantarflexion muscle torque range during stair descent (pre- vs. post-intervention) in the responder group were both lower than those in the non-responder group ($P < 0.05$). Correlation analysis showed that the amount of pain change (before and after intervention) was negatively correlated with the change in ankle dorsiflexion-plantarflexion muscle torque range during stair descent ($r = -0.346$, $P < 0.05$). **Conclusion** Eight-form Tai Chi training can improve lower limb joint load in KOA patients, with a more significant impact on knee and ankle joint load in patients who show obvious pain relief. Moreover, the degree of pain relief is closely correlated with the improvement of ankle joint load.

Keywords knee osteoarthritis; Tai Chi; joint load; arthralgia; retrospective analysis

(收稿日期: 2025-07-23; 修回日期: 2025-10-15)

[编辑: 邓媛]