

# 交互式运动康复策略对KOA关节镜手术患者生物力学平衡影响的研究

谢敏, 李红霞\*

眉山市中医医院骨科七, 四川 眉山

收稿日期: 2025年7月5日; 录用日期: 2025年7月28日; 发布日期: 2025年8月6日

## 摘要

目的: 针对KOA高患病率和高致残率问题, 本研究旨在探索一种标准化、高效且易于操作的康复运动方案, 通过“安有康”人机交互软件推送定制化运动处方, 评估其对患者生物力学平衡及关节功能恢复的效果。方法: 研究对象为318例KOA关节镜术后患者, 随机分为对照组和观察组, 分别接受一般功能锻炼指导和规范化运动干预。利用三维步态与运动分析系统评估关节生物力学平衡, 并结合WOMAC和VAS评分及膝关节活动度评价疗效。结果: 研究显示, 试验组患者在术后1月、3月、6月的膝关节活动度、WOMAC评分、VAS评分以及ADL生活质量评分均显著优于对照组( $P < 0.05$ )。具体而言, 试验组的受试者展现出了膝关节活动度的显著提升, VAS疼痛评分显著下降, ADL生活质量评分显著提升, 同时膝关节的整体功能得到了明显的优化与改善。结论: 本研究表明, 通过规范化的交互式运动康复策略, 可显著改善KOA关节镜手术患者的生物力学平衡和关节功能, 减轻疼痛, 提高患者生活质量。这一发现为KOA术后康复提供了一种新的、有效的运动干预方案。

## 关键词

KOA关节镜术后, 生物力学, WOMAC评分, 膝关节活动度, 运动干预

# Investigation of the Influence of Interactive Exercise Rehabilitation Strategy on Biomechanical Balance in Patients with Knee Osteoarthritis Undergoing Arthroscopic Surgery

Min Xie, Hongxia Li\*

\*通讯作者。

文章引用: 谢敏, 李红霞. 交互式运动康复策略对 KOA 关节镜手术患者生物力学平衡影响的研究[J]. 临床医学进展, 2025, 15(8): 451-457. DOI: 10.12677/acm.2025.1582254

## Abstract

**Objective:** In response to the high prevalence and high disability rate of KOA, this study aims to explore a standardized, efficient and easy-to-operate rehabilitation exercise program, and to evaluate its effects on patients' biomechanical balance and joint function recovery by pushing customized exercise prescriptions through the "oukang" human-machine interaction software. **Methods:** The research objects were 318 KOA patients after arthroscopy, randomly divided into control group and observation group receiving general functional exercise guidance and standardized exercise intervention respectively. The biomechanical balance of the joint was evaluated by using a three-dimensional gait and movement analysis system, and that was evaluated by combining the WOMAC and VAS scores and the range of motion of the knee joint. **Results:** The results of the study showed that the knee joint range of WOMAC score, VAS score, and ADL quality of life score of the patients in the experimental group were significantly better than those in the control group at 1, 3 months, and 6 months after the operation ( $P < 0.05$ ). Specifically, the experimental group showed significant improvement in knee joint range of motion significant decrease in VAS pain score, significant improvement in ADL quality of life score, and significant optimization and improvement of the overall function of the knee joint. **Conclusion:** This shows that standardized interactive exercise rehabilitation strategies can significantly improve the biomechanical balance and joint function of KOA arthroscopy patients, reduce pain, and improve the quality of life. This finding provides a new and effective exercise intervention program for the postoperative rehabilitation of KOA.

## Keywords

KOA Arthroscopic Postoperative, Biomechanics, Womac Score, Range of Motion of Knee, Exercise Intervention

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

膝关节骨性关节炎(Knee osteoarthritis, 下称 KOA)总体呈“高患病率、高致残率”特点,是引起我国老年人疼痛和伤残的主要原因之一,严重影响患者的生存质量。关节镜辅助下的微创治疗技术,包括关节内部的精细清理、半月板的修整与塑形、软骨面的修复与成形、实施微骨折技术以促进软骨再生、髁间窝的成形以优化关节空间,以及有效去除关节内的游离体等,均被证实为针对膝骨关节炎(KOA)的有效且切实可行的治疗手段。这些技术通过微创方式,旨在恢复关节的正常功能,减轻患者症状,提高生活质量。KOA 患者关节镜围手术期运动干预为解决术后粘连、术后肿胀切实可行的治疗方式,但运动干预的方式多种多样,目前尚无统一标准化、规范化的方案,其对关节功能恢复的影响也无明确界定[1]。鉴于此,本研究利用“安有康”人机交互软件,通过微信推送功能锻炼的视频、音频及文字说明,对 KOA 关节镜手术患者推送针对以恢复下肢生物力学平衡为目的运动处方,并应用此处方来对患者进行运动干

预, 收集受试者干预前后的生物力学数据进行分析, 评估其临床康复效果, 探索一种安全可靠、简捷高效且易于操作的运动干预手段, 形成关节镜治疗 KOA 术后的标准化运动干预方案, 并进一步将该运动干预方案推广应用。

## 2. 研究对象和方法

### 2.1. 研究对象

共 318 例患者, 均为 2024 年 4 月至 2024 年 9 月眉山市中医医院康复医学科收治的 KOA 关节镜术后患者, 根据治疗方法分为对照组(129 例)和观察组(129 例)。依随机法将其分为试验组、对照组, 试验组采用规范化运动干预, 对照组采用一般功能锻炼指导。通过三维步态与运动分析系统进行关节生物力学平衡分析, 配合 WOMAC 和 VAS 评分、膝关节活动度对比两组患者的疗效。

我们参照临床相关研究及参考文献报道, 一般功能锻炼指导治疗对 KOA 关节镜术后患者康复的总有效率大致为 77%; 本研究采用双臂、优效性设计, 选取有效率作为评价指标, 根据既往文献结果, 结合临床经验, 假设试验组有效率为 90%, 对照组有效率为 77%, 在置信水准  $\alpha$  为 0.025 (单侧), 把握度为 0.8 ( $\beta=0.2$ ) 的情况下, 每组最低样本量为 127 例, 考虑到一定的脱落和剔除情况(脱落率 20%), 计划样本量为至少每组 159 例, 计划纳入 318 例(按 1:1 比例入组)。采用 SAS 统计分析系统 PROCPLAN 过程语句, 给定种子数, 产生 318 例受试者所接受处理的随机安排。

### 2.2. 诊断标准

首先, 参照中华医学会骨科学分会 2018 年修订颁布的膝关节骨关节炎(KOA)诊断标准: (1) 近一月反复的膝关节疼痛; (2) X 线片(站立位或负重位)示关节间隙变窄、软骨下骨硬化和(或)囊性变、关节边缘骨赘形成; (3) 年龄  $\geq 50$  岁; (4) 晨僵  $\leq 30$  min; (5) 活动时有关节摩擦音(感)。综合临床、实验室及 X 线检查, 符合(1)+(2)条或(1)+(4)+(5)条或(1)+(3)+(4)+(5)条, 可诊断为膝关节骨性关节炎。

此外, 结合 Kellgren-Lawrence 分级: 0 级为正常; I 级为可疑, 不明显的少量骨赘, 关节间隙正常; II 级为轻度, 明显的骨赘, 可发生关节间隙轻度变窄; III 级为中度, 中等量骨赘, 关节间隙明显变窄; IV 级为重度, 大量骨赘, 关节间隙严重变窄, 可见软骨下骨硬化。

### 2.3. 纳入标准

- (1) 符合膝骨关节炎诊断标准者;
- (2) 初次行膝关节镜手术治疗;
- (3) 具有基本读写能力, 沟通交流无障碍者;
- (4) 知情同意, 遵循自愿原则, 并签署知情同意书。

### 2.4. 排除标准

- (1) 下肢在 6 个月内曾行外科手术。
- (2) 膝关节有严重屈曲挛缩或/和内外翻畸形。
- (3) 术早期(2 周内)出现关节感染或严重损伤者。
- (4) 合并严重心、脑、肾等器官功能障碍。
- (5) 有严重精神或认知障碍不能交流者。
- (6) 已参加其他类似康复功能训练项目, 或出院后转往其他医疗机构康复者。
- (7) 居住在外地, 无法定期回医院门诊复诊的患者。

## 2.5. 方法

### 2.5.1. 试验组

(1) 试验组予以标准化功能锻炼, 具体方法: 1) 一旦患者恢复清醒状态, 即可开始执行踝泵运动。此运动要求患者平躺并保持患肢伸直, 随后通过跖屈运动保持 3~5 秒钟, 紧接着背屈运动同样保持 3 至 5 秒钟, 这一连贯动作即构成一组完整的练习。患者可根据自身情况, 在不感到疲劳的前提下, 随时进行这项练习, 以促进康复进程。2) 术后 1 d 进行股四头肌收缩运动: 患者静卧于床上, 伸直患肢, 使患者明确理解股四头肌所指具体部位, 嘱患者进行股四头肌静力性锻炼(自行控制使得股四头肌一紧一松), 每个动作维持 6~8 s 为一组, 每组 15~20 次, 每日 10 组。3) 手术后第 2 天, 患者需开始执行直腿抬高训练。具体步骤为: 患者需平躺在床上, 保持患肢完全伸直, 随后用力且缓慢地将患肢抬高床面, 直至达到约 30 厘米的高度, 并保持此姿势 8~10 秒钟, 之后缓慢而平稳地将患肢放回原位。这一完整的动作过程应每次持续练习 20 分钟, 并且每天需重复进行 3 次, 以辅助术后恢复。4) 术后 3 d 进行关节功能屈曲练习, 屈膝角度从 30°开始递增, 每次 30 min, 每日 2 次, 按 5°~10°速度递增, 1 周内增加至 90°。5) 在术后的第 2~4 周期间, 患者需进行部分负重的训练, 旨在逐步增加患侧膝关节的活动范围, 并通过专业的行走步态指导来强化步态稳定性。6) 从术后第 1~3 个月, 训练重点转向关节的稳定性训练, 患者将实现完全负重, 并着手恢复日常活动。在此期间, 鼓励患者参与低强度的体育活动, 如逐渐增加全蹲练习和弹跳训练, 以促进膝关节功能的进一步恢复。进入术后第 4~6 个月, 训练内容将涵盖抗阻力训练及本体感觉的恢复锻炼, 通过骑自行车、游泳等运动方式, 适当加速膝关节的全面康复进程。

(2) 安有康运动训练软件: 通过安有康运动训练软件, 将标准化功能锻炼方法每日推送给患者, 并嘱咐患者按照安有康运动训练软件的功能锻炼图文及影音资料指导进行锻炼。

### 2.5.2. 对照组

对照组入组后由小组成员与患者交流, 根据患者的需求进行个性化指导。

## 2.6. 观察指标

分别于术后 1 月、3 月、6 月进行膝关节活动度、膝关节 WOMAC 评分、VAS 评分比较。

## 2.7. 统计学方法

数据资料用 SPSS 22.0 软件进行分析处理, 疗效计数资料用卡方检验, 计量资料均采用均数  $\pm$  标准差表示, 组间两两对比采用单因素方差分析( $P < 0.05$  有统计学的显著意义)。

## 3. 结果

### 3.1. 两组患者术后膝关节活动度比较

术后 1 月、3 月以及 6 月, 试验组的膝关节活动度显著优于对照组( $P < 0.05$ ), 差异具有统计学意义, 详见表 1。

**Table 1.** Comparison of postoperative knee range of motion at different time points in the two groups of patients

**表 1.** 两组患者术后不同时段膝关节活动度比较

组别	术后 1 月	术后 3 月	术后 6 月
对照组	90.77 $\pm$ 11.23	109.57 $\pm$ 5.43	124 $\pm$ 10.23
试验组	110.64 $\pm$ 7.73	122 $\pm$ 9.27	131 $\pm$ 8.93
t 值	34.865	24.664	16.342
P 值	0.000	0.000	0.000

### 3.2. 两组患者术后膝关节 WOMAC 评分比较

在 WOMAC 评分方面, 术后 1 月、3 月以及 6 月, 试验组的膝关节功能 WOMAC 评分显著高于对照组( $P < 0.05$ ), 差异具有统计学意义, 详见表 2。

**Table 2.** WOMAC scores of knee function in the two groups of patients

**表 2.** 两组患者膝关节功能 WOMAC 评分

组别	术后 1 月	术后 3 月	术后 6 月
对照组	78.342 ± 1.45	75.34 ± 3.22	70.23 ± 13.65
试验组	71.34 ± 14.23	69 ± 8.54	65.45 ± 18.45
t 值	63.541	61.879	60.538
P 值	0.000	0.000	0.000

### 3.3. 两组患者术后 VAS 评分比较

在术后患者 VAS 评分方面, 术后 1 月、3 月以及 6 月, 试验组的疼痛评分显著低于对照组( $P < 0.05$ ), 差异具有统计学意义, 详见表 3。

**Table 3.** Comparison of VAS scores between the two groups of patients after surgery

**表 3.** 两组患者术后 VAS 评分比较

组别	术后 1 月	术后 3 月	术后 6 月
对照组	5.3 ± 1.31	4.2 ± 3.22	3.23 ± 4.23
试验组	4.16 ± 3.25	3.23 ± 1.36	2.23 ± 6.79
t 值	45.432	38.543	34.436
P 值	0.000	0.000	0.000

### 3.4. 两组患者术后 ADL 质量评分比较

在术后患者 ADL 生活质量评定方面, 术后 1 月、3 月以及 6 月, 试验组的 ADL 生活质量评定分显著高于对照组( $P < 0.05$ ), 差异具有统计学意义, 详见表 4。

**Table 4.** Comparison of postoperative ADL quality of life scores in the two groups of patients

**表 4.** 两组患者术后 ADL 生活质量评分比较

组别	术后 1 月	术后 3 月	术后 6 月
对照组	52.35 ± 6.01	56.22 ± 1.32	60.72 ± 5.12
试验组	53.16 ± 4.75	59.23 ± 1.56	65.23 ± 4.29
t 值	0.437	12.253	16.125
P 值	0.000	0.000	0.000

## 4. 讨论

采用交互式运动康复策略在预防、延缓以及治疗疾病, 强身健体等方面都起到积极作用[2][3]。标准化的功能锻炼方案在关节炎患者的康复过程中扮演着至关重要的角色, 它不仅显著降低了感染和血栓的

风险, 还有效减少了术后并发症的发生[4]。这一疗法在众多关节炎康复手段中, 其效果得到了循证医学的广泛认可与推崇。具体而言, 功能锻炼通过促进血液在体内的循环流动, 显著改善了静脉的回流状况, 减少了静脉淤血现象, 从而有助于维持良好的血液循环状态。同时, 它还能显著增加关节的活动范围, 增强肌肉的力量, 以及提升关节的稳定性, 为关节功能的全面恢复奠定坚实基础[5]。此外, 功能锻炼还促进了滑液在软骨表面及细胞间质中的有效弥散, 这一生理过程对于刺激病灶区周围的软骨细胞增生至关重要, 进而加速了退变软骨的自然修复过程。尤为重要的是, 通过强化膝部伸肌的力量, 功能锻炼显著提升了膝关节的稳定性, 为患者提供了更加坚实的支撑, 使其在日常生活中能够更加自如地活动, 从而极大地改善了生活质量[5]。

此外, 功能锻炼能够强化神经-肌肉反射、对内环境体液进行调节, 通过外在作用力的基础上对人体整体和局部产生作用。包括但不限于: 强化体适能水平, 提升个体的基础代谢效率, 从而有效促进能量消耗与体重管理; 同时, 这一锻炼方式也被证实对缓解心理疾病症状具有积极作用, 有助于实现心理健康与身体健康的双重平衡。此外, 它还能调节并平衡身体的激素代谢分泌, 促进内分泌系统的稳定与健康, 进一步增强整体体质[6]。在慢性病管理方面, 功能锻炼作为辅助治疗手段, 能够显著改善患者的症状, 促进病情的稳定与好转。它不仅能够增强肌肉的力量与围度, 塑造更加健美的体型, 还能通过滑利关节, 减少关节摩擦与疼痛, 提升关节的灵活性与运动范围。最终, 这些积极的生理变化将直接反映在运动表现的提升上, 无论是日常活动还是专业运动, 都能展现出更高的效率与更好的成绩[6]。

第三, 通过应用先进的三维步态分析技术, 我们观察到, 在采用交互式运动康复策略并结合标准化功能锻炼的干预下, KOA 患者的步态特征发生了显著变化[7][8]。具体而言, 这些变化体现在步长缩短、步频减缓以及步速降低, 这反映了患者行走时更为谨慎与节省能量的策略。同时, 患肢的关节活动度有所减少, 行走时足跟所承受的压力也相应减轻, 这可能有助于减轻膝关节的负担。进一步分析发现, 患侧足跟着地时的最大屈膝角度变小, 而在支撑期内, 无论是最大屈膝还是伸膝的角度均有所减少, 这暗示了膝关节运动范围的调整。此外, 膝关节的伸直力矩减小而内收力矩增加, 可能反映了肌肉力量的重新分配与关节稳定性的调整。腓绳肌的活跃性增强, 可能是机体为了稳定膝关节而作出的适应性反应。值得注意的是, 双下肢在支撑期的持续时间延长, 且支撑期占整个步态周期的百分比也有所增加。这表明患者在行走过程中, 双腿的支撑与稳定作用得到了加强。同时, 支撑期内肌肉的协同收缩更为频繁且活跃时间延长, 这有助于提升膝关节的稳定性与运动效率。所以这些步态参数的变化不仅有效缓解了 KOA 患者的疼痛, 还显著改善了膝关节的活动度与功能, 这一结论得到了 WOMAC 评分的验证, 进一步证明了交互式运动康复策略结合标准化功能锻炼在 KOA 治疗中的积极效果。

然而, 在康复功能训练过程中, 也面临一些挑战, 如由于患者的疼痛耐受程度不同, 可能会导致训练效果不理想; 部分患者会对康复功能训练存在消极态度, 故需要医护人员对其进行耐心的指导和鼓励[9]。在医疗实践过程中, 医护人员要增进与患者的交流, 不断提高患者参与康复功能训练的积极性。

## 5. 结论

本研究结果表明, 通过康复功能训练, 试验组的 VAS 疼痛评分、膝关节活动度、膝关节功能 WOMAC 评分以及 ADL 生活质量评分均显著优于对照组。

综上所述, 康复功能训练在缓解患者疼痛感受、扩大膝关节的活动范围以及优化膝关节的整体功能方面展现出了显著的效果。通过系统性的训练计划, 患者能够体验到疼痛程度的明显降低, 同时膝关节的灵活性和运动能力得到显著提升, 进而实现膝关节功能的全面改善。

## 基金项目

眉山市科技指导性计划项目(2023KJZD148)。

## 参考文献

- [1] 姜俊良, 周予婧, 林海丹, 等. 膝关节炎运动疗法国内研究进展[J]. 华西医学, 2015, 30(12): 2373-2376.
- [2] 李伟云, 田桂芹, 胡亚丽. 非负重运动处方在糖尿病足溃疡治疗中的有效性探讨[J]. 山西医药杂志, 2021, 50(11): 1848-1850.
- [3] 丁懿, 郭琛琛, 孙敬龙. 运动康复训练对慢性心力衰竭患者体液因子的影响及疗效观察[J]. 康复学报, 2021, 31(1): 24-29.
- [4] Lauren, P., Brandon, C., Dawn, S., *et al.* (2023) Endovascular and Open Surgical Repair of Arterial Injury during Total Knee Arthroplasty. *Journal of Vascular Surgery*, **78**, e101. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2023.08.024>
- [5] 罗小兵, 虞亚明. 辨体施动, 提高运动干预的针对性[J]. 中国运动医学杂志, 2017, 36(6): 558-559.
- [6] Umehara, T. and Tanaka, R. (2017) Effective Exercise Intervention Period for Improving Body Function or Activity in Patients with Knee Osteoarthritis Undergoing Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, **22**, 265-275.
- [7] Williams, A.A., Titchenal, M.R., Andriacchi, T.P. and Chu, C.R. (2018) MRI UTE-T2\* Profile Characteristics Correlate to Walking Mechanics and Patient Reported Outcomes 2 Years after ACL Reconstruction. *Osteoarthritis and Cartilage*, **26**, 569-579. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2018.01.012>
- [8] Lai, Z., Zhang, Y., Lee, S. and Wang, L. (2018) Effects of Strength Exercise on the Knee and Ankle Proprioception of Individuals with Knee Osteoarthritis. *Research in Sports Medicine*, **26**, 138-146. <https://doi.org/10.1080/15438627.2018.1431541>
- [9] 韩秀兰. 膝关节骨性关节炎患者全膝关节置换术后疼痛护理体会分析[J]. 婚育与健康, 2024, 30(2): 148-150.