

神经肌肉训练对膝骨关节炎患者疼痛和功能影响的 Meta 分析

孙轲頔¹, 程露露^{1, 2}, 万海丽³, 常 赢¹, 熊雯娟¹, 夏 渊³<https://doi.org/10.12307/2025.280>

投稿日期: 2023-12-25

采用日期: 2024-02-24

修回日期: 2024-03-20

在线日期: 2024-04-07

中图分类号:

R459.9; R318; R605

文章编号:

2095-4344(2025)09-01945-08

文献标识码: A

文章快速阅读: 神经肌肉训练对膝骨关节炎患者疼痛和功能影响随机对照试验的 Meta 分析

研究起点:

- 膝骨关节炎
- 膝关节功能障碍
- 神经肌肉训练
- 运动干预
- 疼痛和功能
- 治疗效果分析

干预措施: ①试验组: 神经肌肉训练; ②对照组: 空白组或常规康复训练。

检索文献、
筛选最终纳入 11
篇文献Meta 分析,
并得出结论

探究神经肌肉训练对膝骨关节炎疼痛和功能的影响效果

结局指标

- (1) 西安大略和麦克马斯特大学骨关节炎指数评分;
- (2) 行走计时;
- (3) 膝关节稳定性;
- (4) 30 s 内膝关节最大弯曲次数。

文题释义:

神经肌肉训练: 是本体感觉训练、平衡协调训练、肌力训练等多种治疗方法的综合, 强调平衡、肌肉激活、功能协调和关节稳定性, 用于疾病的预防与治疗以及功能锻炼。

膝骨关节炎: 是一种常见的慢性疾病, 由于软骨细胞产生炎症造成膝关节囊内及关节周围组织受到影响, 出现膝关节疼痛、周围肌肉力量降低、膝关节不稳定等表现, 造成患者活动障碍, 对患者日常生活的身体功能有重大影响, 使其生活质量下降。

摘要

目的: 神经肌肉训练是近年来较新的一种综合康复治疗方法, 对膝骨关节炎的疗效尚存在争议。此次研究通过系统Meta分析评价神经肌肉训练治疗膝骨关节炎的临床疗效。

方法: 全面检索中国知网、维普、万方、中国生物医学文献数据库、PubMed、Web of Science、Cochrane Library、EBSCO和Embase文献数据库中有关神经肌肉训练治疗膝骨关节炎的临床随机对照试验, 时间从各数据库建库至2023年10月, 神经肌肉训练组(试验组)使用神经肌肉训练或以神经肌肉训练为主要干预方式; 对照组为空白组或采用常规康复治疗。结局指标包括西安大略和麦克马斯特大学骨关节炎指数评分(The Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index, WOMAC)、行走计时、膝关节稳定性、30 s内膝关节最大弯曲次数。采用Cochrane偏倚风险评估工具和物理治疗证据数据库量表确定纳入文献质量, 使用RevMan 5.4软件进行Meta分析。

结果: 共纳入 11 项临床随机对照试验, 纳入样本量 628 例。Meta 分析结果显示: ① WOMAC 疼痛评分试验组优于对照组 ($SMD=0.38$, $95\%CI: 0.08-0.69$, $P=0.01$); ② 膝关节稳定性和 30 s 内膝关节最大弯曲次数试验组均优于对照组 (膝关节稳定性: $SMD=0.57$, $95\%CI: 0.23-0.92$, $P=0.001$; 30 s 内膝关节最大弯曲次数: $SMD=0.35$, $95\%CI: 0.05-0.65$, $P=0.02$); 两组均可提高膝骨关节炎患者行走速度, 改善行走能力, 但差异无显著性意义 (行走计时: $SMD=-0.22$, $95\%CI: -0.48-0.03$, $P=0.09$); ③ WOMAC 身体功能评分试验组优于对照组 ($SMD=-0.79$, $95\%CI: -1.30$ 至 -0.28 , $P=0.002$)。

结论: 神经肌肉训练可以有效改善膝骨关节炎患者的疼痛, 增强膝关节稳定性, 促进功能恢复, 但仍需要更多高质量随机对照试验进一步研究证实。

关键词: 膝骨关节炎; 疼痛; 功能; 神经肌肉训练; 随机对照试验; Meta分析

Effect of neuromuscular exercise for knee osteoarthritis pain and function: a meta-analysis

Sun Yundi¹, Cheng Lulu^{1, 2}, Wan Haili³, Chang Ying¹, Xiong Wenjuan¹, Xia Yuan³

¹School of Sports Medicine, Wuhan Sports University, Wuhan 430079, Hubei Province, China; ²Anhui University of Chinese Medicine, Anhui 230012, Anhui Province, China; ³The Affiliated Hospital of Hubei Provincial Government, Wuhan 430000, Hubei Province, China

Sun Yundi, Master candidate, School of Sports Medicine, Wuhan Sports University, Wuhan 430079, Hubei Province, China

Corresponding author: Xia Yuan, Master, Primary rehabilitation therapist, The Affiliated Hospital of Hubei Provincial Government, Wuhan 430000, Hubei Province, China

Abstract

OBJECTIVE: Neuromuscular exercise is a new comprehensive rehabilitation therapy in recent years, but its effect on knee osteoarthritis is still controversial. The purpose of this paper is to systematically evaluate the efficacy of neuromuscular exercise on knee osteoarthritis pain and function.

¹武汉体育学院运动医学院, 湖北省武汉市 430079; ²安徽中医药大学, 安徽省合肥市 230012; ³湖北省直属机关医院, 湖北省武汉市 430000

第一作者: 孙轲頔, 女, 2000 年生, 湖北省襄阳市人, 汉族, 武汉体育学院在读硕士, 主要从事运动损伤与康复的研究。

通讯作者: 夏渊, 硕士, 初级康复治疗师, 湖北省直属机关医院, 湖北省武汉市 430000

<https://orcid.org/0009-0006-4854-5116>(孙轲頔)

基金资助: 安徽省高校自然科学基金研究重点项目 (2023AH050725), 项目负责人: 程露露

引用本文: 孙轲頔, 程露露, 万海丽, 常赢, 熊雯娟, 夏渊. 神经肌肉训练对膝骨关节炎患者疼痛和功能影响的 Meta 分析 [J].

中国组织工程研究, 2025, 29(9):1945-1952.



METHODS: The randomized controlled trials addressing neuromuscular exercise in the treatment of knee osteoarthritis pain and function were retrieved from PubMed, Cochrane Library, Embase, EBSCO, CNKI, Web of Science, China Biomedical Database (CBM), VIP, and WanFang Database. The retrieval time ranged from database inception to October 2023. The neuromuscular training group (experimental group) was given neuromuscular training or neuromuscular training as the main intervention; the control group was a blank group or given conventional rehabilitation. Outcome indicators included the Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC) score, walking time, knee stability, and the maximum number of knee flexion in 30 seconds. The risk of bias was evaluated by the Cochrane Collaboration tool and the Physiotherapy Evidence Database. Meta-analysis was performed using RevMan 5.4 software.

RESULTS: A total of 11 randomized controlled trials were included, and 628 samples were extracted. The results of Meta-analysis showed that the experimental group was superior to the control group in terms of WOMAC pain score [standardized mean difference (SMD)=0.38, 95% confidence interval (CI): 0.08–0.69, $P=0.01$], knee stability (SMD=0.57, 95% CI: 0.23–0.92, $P=0.001$), the maximum number of knee joint flexion in 30 seconds (SMD=0.35, 95% CI: 0.05–0.65, $P=0.02$), and WOMAC physical function score (SMD=-0.79, 95% CI: -1.30 to -0.28, $P=0.002$). In both groups, walking speed was increased and walking ability was improved in patients with knee osteoarthritis, but there was no significant difference (walking time: SMD=-0.22, 95% CI: -0.48–0.03, $P=0.09$).

CONCLUSION: Neuromuscular exercise can effectively improve knee joint pain, enhance the stability of the knee joint, and promote functional recovery in patients with knee osteoarthritis. However, more high-quality randomized controlled trials are still needed to further confirm the research.

Key words: knee osteoarthritis; pain; function; neuromuscular exercise; randomized controlled trial; meta-analysis

Funding: Key Program of Natural Science Research in Colleges and Universities in Anhui Province, No. 2023AH050725 (to CLL)

How to cite this article: SUN YD, CHENG LL, WAN HL, CHANG Y, XIONG WJ, XIA Y. Effect of neuromuscular exercise for knee osteoarthritis pain and function: a meta-analysis. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2025;29(9):1945-1952.

0 引言 Introduction

膝骨关节炎是世界范围内最常见的慢性和退行性关节疾病之一^[1]，以膝关节疼痛、肿胀、僵硬和活动障碍等为主要临床表现，使患者生活质量降低^[2]。导致膝骨关节炎发生的危险因素包括年龄增长、女性群体、肥胖、经常做蹲或跪姿的动作以及饮酒、吸烟等不健康的生活方式等^[3-4]。

《膝骨关节炎治疗指南》指出，运动锻炼是主要的非手术治疗方式之一，可以有效地减轻疼痛和改善患者身体功能^[5]。

神经肌肉训练是神经肌肉控制原理与关节生物力学相结合的一种运动疗法，包括肌肉力量训练、近端控制训练、平衡训练、快速收缩复合训练和本体感觉训练等^[6]。研究表明，神经肌肉训练对膝骨关节炎患者的神经肌肉控制、平衡协调能力和疼痛缓解方面具有积极影响^[7]。一项关于膝骨关节炎运动的系统综述分析显示，只进行神经肌肉训练的运动治疗方案比结合多种运动模式（即神经肌肉训练和力量训练）的运动治疗方案在减轻疼痛方面更有效^[8]。但也有研究表明神经肌肉训练联合力量训练更能显著降低患者疼痛敏感性和疼痛强度^[9]。在 GANDAVE 等^[10]的研究中，常规康复计划联合神经肌肉训练可以显著改善膝骨关节炎患者的平衡和身体功能；而 BENNELL 等^[11]研究发现神经肌肉训练在改善疼痛和身体功能方面与传统运动无显著差异。现阶段相关研究大多样本量较小、方法学质量低，且研究结果不一致，故神经肌肉训练

对膝骨关节炎患者的影响尚存在争议。

此次研究采用 Meta 分析的方法系统评价神经肌肉训练对膝骨关节炎患者的影响，进一步探讨神经肌肉训练对膝骨关节炎患者的干预效果，为该方法在康复治疗实践中的应用提供循证依据。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 文献检索 由 2 位研究人员按照检索式单独检索中国知网、维普、万方、中国生物医学文献数据库、PubMed、Web of Science、Cochrane Library、EBSCO 和 Embase 数据库中采用神经肌肉训练治疗膝骨关节炎的文献，检索范围为公开发表的临床研究，检索时间范围为各数据库建库至 2023 年 10 月，文献语言为中英文。

检索词由主题词与自由词结合。中文数据库关键词：“神经肌肉运动、神经肌肉训练、神经肌肉运动锻炼、膝骨关节炎、疼痛和功能”；英文检索关键词：“neuromuscular exercise, neuromuscular training,

neuromuscular, osteoarthritis of knee, knee osteoarthritis, knee arthritis, pain, function”。检索策略见图 1。

1.2 文献纳入和排除标准

试验设计：探讨神经肌肉训练对膝骨关节炎患者疼痛和功能影响的临床随机对照试验。

研究对象：原发性膝骨关节炎患者，诊断符合公认的膝骨关节炎诊断标准，如美国风湿病学会分类标准或 2018 年中华医学会骨科学分会关节外科学组制订的膝骨关节炎诊断标准^[12-13]。

干预措施：神经肌肉训练组（试验组）使用神经肌肉训练或以神经肌肉训练为主要干预方式；对照组为空白组或采用常规康复治疗，常规康复包括以股四头肌力量强化为主的肌力训练、本体感觉神经促进技术、神经肌肉电刺激、健康宣教等治疗措施。

结局指标：西安大略和麦克马斯特大学骨关节炎指数评分 (The Western Ontario and McMaster Universities

PubMed 数据检索策略	中国知网检索策略
#1 “neuromuscular exercise” [Mesh] OR (neuromuscular training OR neuromuscular) [Title/Abstract]	#1(神经肌肉运动 + 神经肌肉训练 + 神经肌肉运动锻炼) in 主题
#2 “knee osteoarthritis” [Mesh]OR (osteoarthritis of knee OR knee arthritis) [Title/Abstract]	#2(骨关节炎 + 膝骨关节炎) in 主题
#3 “pain” [Mesh] OR (ache OR algesia) [Title/Abstract]	#3(疼痛 + 痛感 + 痛觉) in 主题
#4 “function” [Mesh] OR (ability OR capacity) [Title/Abstract]	#4(功能 + 能力) in 主题
#5 #1 AND #2 AND #3 AND #4	#5 #1 AND #2 AND #3 AND #4

图 1 | PubMed 数据库和中国知网检索策略
Figure 1 | Retrieval strategies of CNKI and PubMed databases



Osteoarthritis Index, WOMAC)、行走计时、膝关节稳定性、30 s 内膝关节最大弯曲次数。

排除标准: ①综述、病例报道、会议摘要; ②与已纳入研究使用相同数据; ③原始数据不完整或者无法提取结局指标; ④非随机对照试验; ⑤无法获取文献全文。

1.3 文献资料提取和纳入研究的质量评价 2 名研究人员根据上述纳入和排除标准单独阅读文献题目和摘要, 排除不相关文献。进一步阅读全文后, 再次筛选并确定最终纳入文献。

文献筛选录入后由 2 名研究员独立对数据进行提取, 内容包括: ①一般资料: 第一作者、发表日期及国家; ②研究设计分组; ③纳入样本量及年龄; ④干预方法和干预时间; ⑤评估时间; ⑥结局指标。如果上述环节存在歧义, 与组内研究人员共同讨论决定。

2 名研究人员应用 Cochrane 偏倚风险评估工具 (Cochrane Collaboration tool for assessing risk of bias) 和物理治疗证据数据库 (Physiotherapy Evidence Database, PEDro) 量表进行质量评价。PEDro 量表共计 10 分 (包含 11 个条目, 第 1 个条目不计入总分)。得分评价标准为: < 4 分为低质量文献、4-5 分为一般质量文献、6-8 分为较高质量文献、9-10 分为高质量文献^[14]。评价结果经 2 名工作人员核对后, 如存在分歧, 则研究小组内讨论决断。

1.4 统计学分析 采用 RevMan 5.4 和 Stata 14.0 软件进行统计分析。录入数据时采用多人核对以确保无误, 此次研究所有结局指标均为连续性变量, 如测量方式和单位相同, 采用均数差 (mean difference, MD) 为效应指标; 若同一结局指标采用的评估方式或单位不同, 则采用标准化均数差 (standard mean difference, SMD), 并计算各效应值的 95% 置信区间 (confidence interval, CI)。纳入研究之间的异质性利用统计量进行定量分析。当 $I^2 \leq 50\%$, 采用固定效应模型进行数据分析, 反之则采用随机效应模型。使用 Egger 法运算评价纳入研究的发表偏倚。文章统计方法已经武汉体育学院生物统计专家审核。

2 结果 Results

2.1 文献检索结果与确定纳入文献的基本信息 初步筛选文献 1 828 篇, 去除重复文献 577 篇, 阅读标题和摘要后剔除文献 1 146 篇, 剩余 105 篇文献阅读全文以评估是否纳入。最终剩余 11 篇文献纳入 Meta 分析^[11, 15-24], 其中英文文献 6 篇^[11, 15-19], 中文文献 5 篇^[20-24]; 总样本量 628 例。文献筛选流程图见图 2, 纳入文献的基本信息见表 1。

2.2 纳入文献的质量评价 纳入的 11 篇文献中全部提及“随机”或“随机对照试验”, 8 篇提及采用随机数字表或计算机随机生成数字等具体随机方法^[11, 15, 17-18, 20-21, 23-24]; 有 5 篇文献提到具体的分配隐藏措施^[11, 15, 18-19, 21], 其中 1 篇文献对试验受试者采用盲法^[15], 4 篇文献结局指标评估者进行盲法评估^[11, 18-19, 21]。所有文献均无选择性报告和数据不完整, 均未提到其他偏倚的来源。各研究的偏倚风险

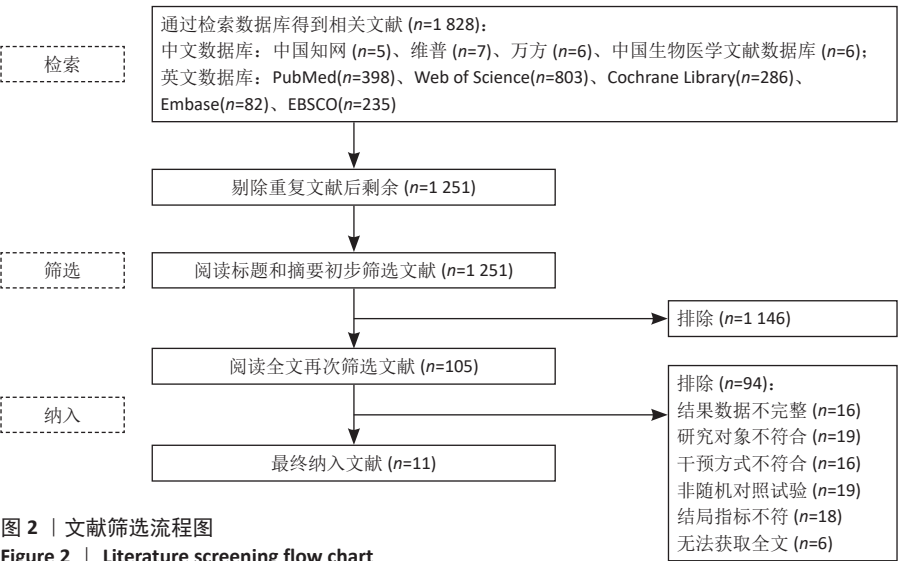


图 2 | 文献筛选流程图
Figure 2 | Literature screening flow chart

表 1 | 纳入文献的基本特征
Table 1 | Basic characteristics of the included studies

纳入文献 (第一作者、发表时间)	国家	病例数		年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)		干预措施		干预时长 (周)	评定时间	结局指标
		T	C	T	C	T	C			
梁邱 ^[21] (2018)	中国	35	35	64.3±5.5	63.1±5.2	神经肌肉训练	常规康复训练	8	基线、1, 2, ①②, 4, 8 周	①②
姜荣辉 ^[22] (2019)	中国	34	34	48.61±2.34	48.28±3.25	神经肌肉训练	常规康复训练	8	基线、8 周	①②
张冠聪 ^[23] (2023)	中国	20	20	57.85±4.10	57.55±5.14	神经肌肉训练	常规康复训练	6	基线、6 周	④
李佳 ^[24] (2021)	中国	15	18	63.58±1.93	61.77±2.90	神经肌肉训练 + 常规康复训练	常规康复训练	8	基线、8 周	②
冒文静 ^[20] (2023)	中国	41	41	66.03±4.75	67.94±5.21	神经肌肉训练	常规康复训练	8	基线、4 周、②③, 8 周	④
HOLSGAARD-LARSEN ^[18] (2017)	丹麦	47	46	57.9±7.9	58.3±8.1	神经肌肉训练	常规康复训练	8	基线、8 周	⑤
SABHARWAL ^[15] (2022)	印度	12	12	55.33±7.01	53.00±8.50	神经肌肉训练	常规康复训练	6	基线、6 周	④
GANJAVE ^[16] (2017)	印度	20	20	52.45±8.80	55.4±9.27	神经肌肉训练 + 常规康复训练	常规康复训练	4	基线、2 周、③, 4 周	③
ALLAN ^[19] (2014)	丹麦	41	40	67.1±8.8	65.1±9.0	神经肌肉训练	空白组	8	基线、8 周	④⑤
ROGERS ^[17] (2011)	南非	6	9	69.29±11.36	72.4±11.02	神经肌肉训练	常规康复训练	8	基线、8 周	①②, ③④
BENNEL ^[11] (2014)	澳大利亚	38	44	62.7±7.3	62.2±7.4	神经肌肉训练	常规康复训练	12	基线、13 周	①②

表注: T 为试验组; C 为对照组。结局指标: ① WOMAC 疼痛评分; ② WOMAC 身体功能评分; ③ 膝关节稳定性; ④ 行走计时; ⑤ 30 s 内膝关节最大弯曲次数。WOMAC 为西安大略和麦克马斯特大学。

所占情况和研究结果分别见图 3、4。依据 PEDro 量表评分标准，在纳入的文献中，11 篇均为大于 6 分的较高质量文献。纳入的文献整体质量较高，集中在 6–8 分之间，PEDro 量表评分结果见表 2。

2.3 Meta 分析结果

2.3.1 WOMAC 评分

(1)WOMAC 疼痛评分：共纳入 4 个随机对照试验^[11, 17, 21-22]，计算基线与末次随访 WOMAC 疼痛评分变化值，各研究异质性显著 ($I^2=80\%$, $P=0.002$)，见图 5。剔除姜荣辉^[22]的文献后， $I^2=0\%$ ，提示异质性可能来源该文献。由于研究间对 WOMAC 量表的赋值不同，故采用 SMD 进行合并。结果显示，两组间 WOMAC 疼痛评分相比差异有显著性意义，提示神经肌肉训练可改善膝骨关节炎患者 WOMAC 疼痛评分 ($SMD=0.38$, $95\%CI: 0.08-0.69$, $P=0.01$)，见图 6。

(2)WOMAC 身体功能评分：共纳入 6 个随机对照试验^[11, 17, 20-22, 24]，计算基线与末次随访 WOMAC 身体功能评分变化值，各研究异质性较大 ($I^2=79\%$, $P=0.000 2$)，逐一剔除文献后 I^2 仍 $> 50\%$ ，采用随机效应模型。结果显示，两组间 WOMAC 身体功能评分相比差异有显著性意义 ($SMD=-0.79$, $95\%CI: -1.30$ 至 -0.28 , $P=0.002$)，神经肌肉训练可改善膝骨关节炎患者 WOMAC 身体功能评分，见图 7。

2.3.2 30 s 内膝关节最大弯曲次数 共纳入 2 个随机对照试验^[18-19]，提示试验组对膝关节屈曲活动功能改善情况优于对照组，差异有显著性意义 ($SMD=0.35$, $95\%CI: 0.05-0.65$, $P=0.02$)。各研究异质性较小 ($I^2=23\%$, $P=0.25$)，提示神经肌肉训练可增加膝骨关节炎患者膝关节 30 s 内弯曲次数，提高膝关节功能，见图 8。

2.3.3 膝关节稳定性 共纳入 3 个随机对照试验^[16-17, 20]，提示试验组对膝关节稳定性的改善优于对照组，差异有显著性意义 ($SMD=0.57$, $95\%CI: 0.23-0.92$, $P=0.001$)。各研究同质性较好 ($I^2=0\%$, $P=0.42$)，提示神经肌肉训练可改善膝骨关节炎患者膝关节稳定性，见图 9。

2.3.4 行走计时 共纳入 5 个随机对照试验^[15, 17, 19-20, 23]，计算基线与末

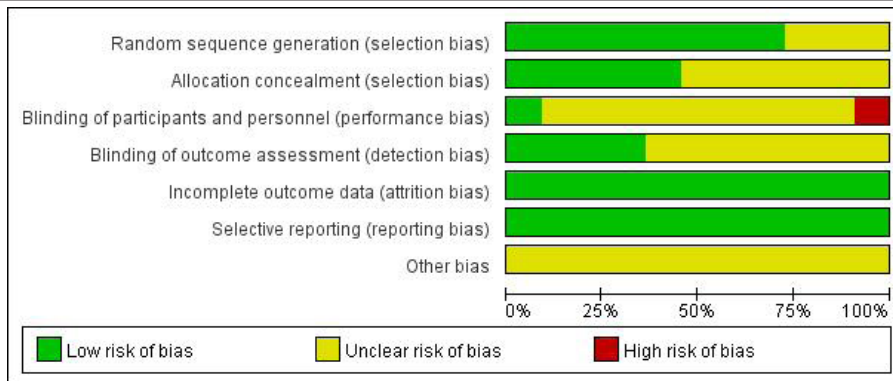


图 3 | 纳入文献的偏倚风险分布情况
Figure 3 | Risk of bias as a percentage graph

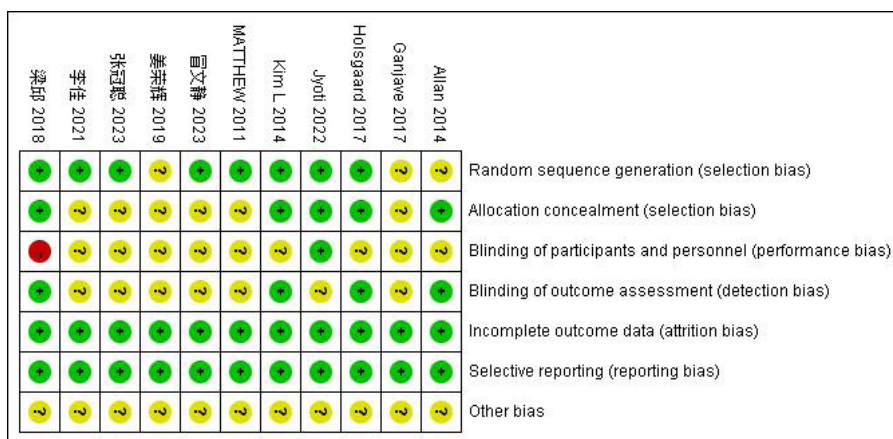


图 4 | 纳入文献的偏倚风险结果
Figure 4 | Risk of bias summary

表 2 | 纳入文献的物理治疗证据数据库 (PEDro) 得分评估结果
Table 2 | Physiotherapy Evidence Database score of the included studies

纳入研究 (第一作者、发表时间)	随机 方 法	分 配 隐 藏	基 线 可 比 性	盲 法 (受 试 者、物 理 治 疗 师、评 估 者)	对 85% 以上 的人进行至 少一项主要 结果的测量	意向 治 疗	组 间 统 计 分 析	点 测 量 值 和 差 异 量 值 报 告	PEDro 质 量 量 表 评 分	质量评价
梁邱 ^[21] (2018)	+	+	+	-	-	+	+	+	8	较高质量
姜荣辉 ^[22] (2019)	+	-	+	-	-	-	+	+	6	较高质量
张冠聪 ^[23] (2023)	+	-	+	-	-	-	+	+	6	较高质量
李佳 ^[24] (2021)	+	-	+	-	-	-	+	+	6	较高质量
冒文静 ^[20] (2023)	+	-	+	-	-	-	+	+	6	较高质量
HOLSGAARD-LARSEN ^[18] (2017)	+	+	+	-	-	+	+	+	8	较高质量
SABHARWAL ^[15] (2022)	+	+	+	+	-	-	+	+	8	较高质量
GANJAVE ^[16] (2017)	+	-	+	-	-	-	+	+	6	较高质量
ALLAN ^[19] (2014)	+	+	+	-	-	-	+	+	8	较高质量
ROGERS ^[17] (2011)	+	-	+	-	-	-	+	+	6	较高质量
BENNELL ^[11] (2014)	+	+	+	-	-	+	+	+	8	较高质量

表注：“+”为符合标准，计 1 分；“-”为不符合标准，计 0 分。

次随访膝关节行走计时的变化值，各研究异质性在可接受范围内 ($I^2=37\%$, $P=0.17$)。由于研究间设定的行走距离不同，故采用 SMD 进行合并。结果显示，两组均可提高膝骨关节炎患者行走速度，改善行走能力，但差异无显著性意义 ($SMD=-0.22$, $95\%CI: -0.48-0.03$, $P=0.09$)，见图 10。

2.4 发表偏倚风险评价 通过 Egger 法运算评价纳入研究的发表偏倚，结果见表 3。WOMAC 疼痛 ($P=0.862$)、WOMAC 身体功能 ($P=0.258$)、膝关节稳定性 ($P=0.280$)、行走计时 ($P=0.228$) 的 P 值均 > 0.05 ，表明结局指标所纳入的研究不存在明显的发表偏倚，纳入文献结果较为稳定。

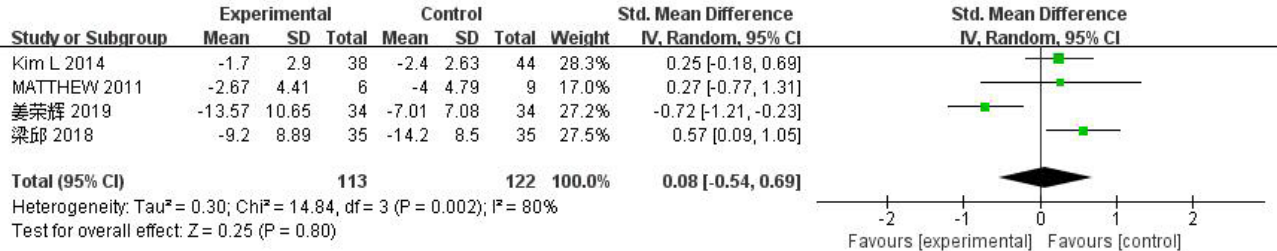


图 5 | 神经肌肉训练组与对照组治疗后西安大略和麦克马斯特大学疼痛评分比较 (纳入文献 [22])
Figure 5 | Comparison of the Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index pain score after treatment between experimental group and control group (included literature [22])

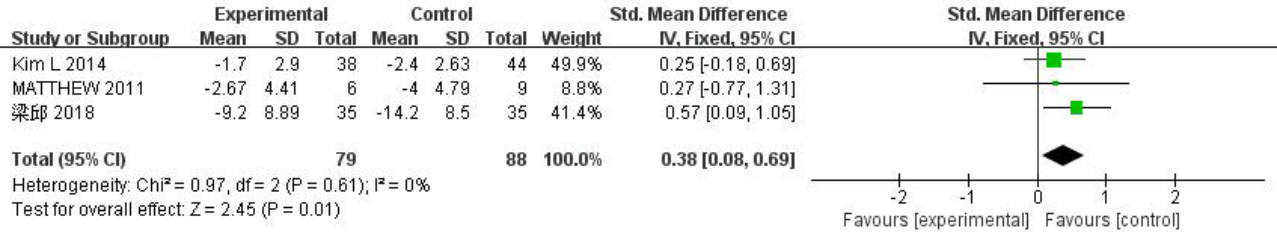


图 6 | 神经肌肉训练组与对照组治疗后西安大略和麦克马斯特大学疼痛评分比较 (剔除文献 [22])
Figure 6 | Comparison of the Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index pain score after treatment between experimental group and control group (deleted literature [22])

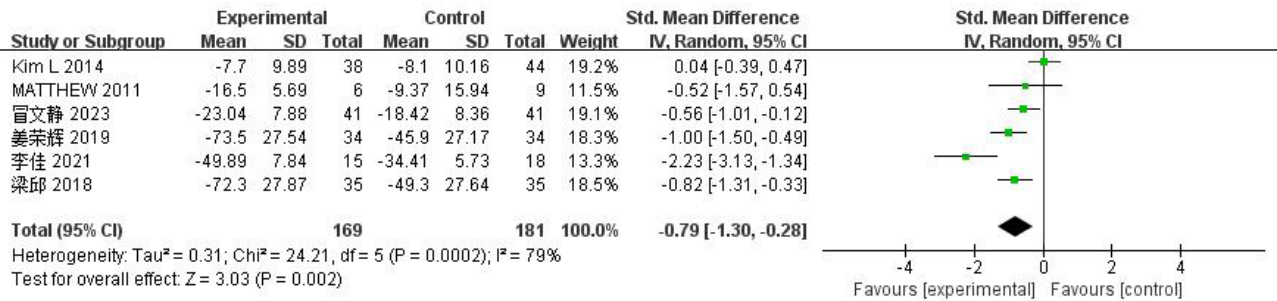


图 7 | 神经肌肉训练组与对照组治疗后西安大略和麦克马斯特大学身体功能评分比较
Figure 7 | Comparison of the Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index physical function score after treatment between experimental group and control group

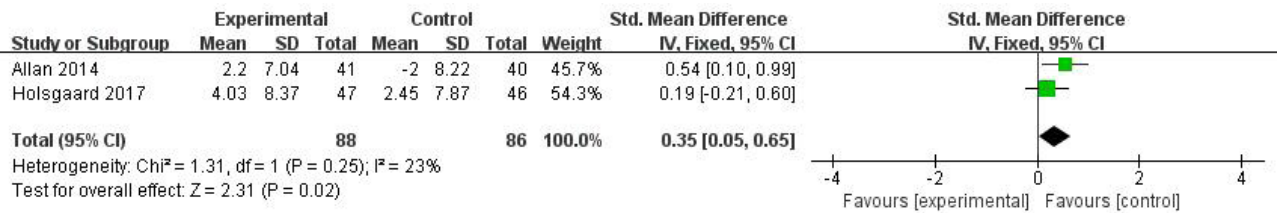


图 8 | 神经肌肉训练组与对照组治疗后 30 s 内膝关节最大弯曲次数比较
Figure 8 | Comparison of the maximum number of knee flexions in 30 seconds after treatment between experimental group and control group

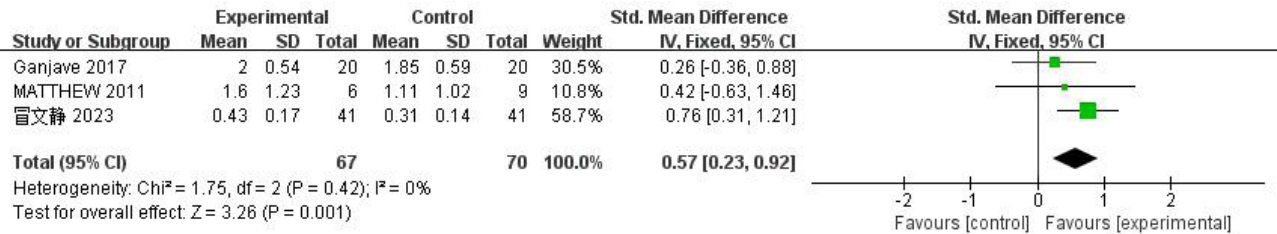


图 9 | 神经肌肉训练组与对照组治疗后膝关节稳定性比较
Figure 9 | Comparison of knee stability after treatment between experimental group and control group

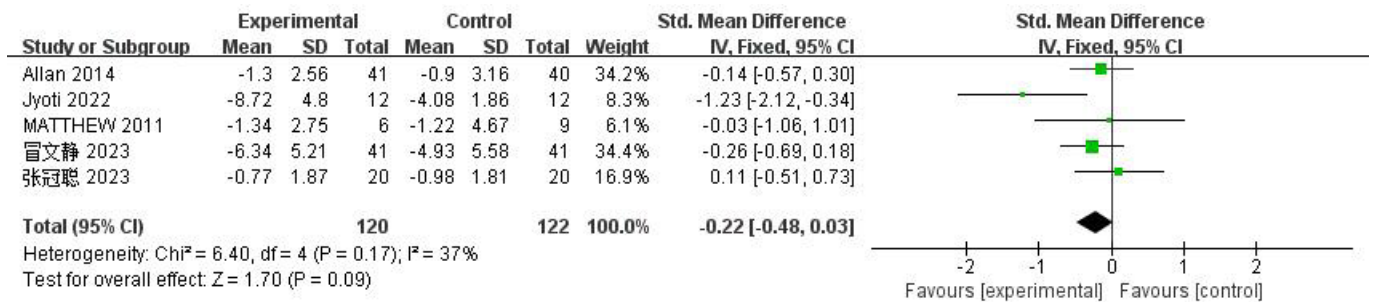


图 10 | 神经肌肉训练组与对照组治疗行走耗时比较
Figure 10 | Comparison of walking time after treatment between experimental group and control group

表 3 | Meta 分析 Egger 法检验结果
Table 3 | Meta-analysis of Egger test results

结局指标	Std_Eff	Coef.	Std.Err	t 值	P 值	95%CI
WOMAC 疼痛	Slope	1.012 50	2.686 11	0.38	0.742	-10.544 89-12.569 88
	Bias	-0.477 67	2.422 65	-0.20	0.862	-10.901 47-9.946 13
WOMAC 身体功能	Slope	0.357 92	0.793 14	0.45	0.675	-1.844 20-2.560 04
	Bias	-3.800 25	2.885 50	-1.32	0.258	-11.811 68-4.211 18
膝关节稳定性	Slope	0.103 01	0.012 77	8.07	0.079	-0.059 27-0.265 29
	Bias	0.464 99	0.218 66	2.13	0.280	-2.313 35-3.243 33
行走计时	Slope	1.225 15	1.262 19	0.97	0.403	-2.791 69-5.241 99
	Bias	-2.228 41	1.474 42	-1.51	0.228	-6.920 65-2.463 84

表注：Std_Eff 代表斜率；Slope 代表截距；Bias 代表偏倚；Coef. 代表回归系数；Std.Err 代表标准误。WOMAC 为西安大略和麦克马斯特大学。

3 讨论 Discussion

膝关节是人体最复杂的承重关节，其稳定性和功能对于日常活动和多种运动至关重要^[25-26]。而膝关节炎发生后，患者通常会由于关节软骨损伤、关节间隙减小出现疼痛、僵硬和关节不稳定，导致平衡和步态异常、活动受限，使其生活质量降低^[27]。膝关节炎治疗方式包括药物治疗、手术治疗和康复锻炼^[28]。一般认为股四头肌强化训练是膝关节炎患者临床康复治疗的主要方法^[29]。神经肌肉训练强调肌肉激活模式、关节稳定性和平衡及生物力学^[30]，通过改善膝关节肌肉神经的控制能力，增强膝关节稳定性从而促进运动能力恢复^[31]，神经肌肉训练用于膝关节炎的预防和康复有助于改善老年人对感觉运动系统、关节位置感、平衡和功能运动的控制，并降低跌倒的风险。但目前证据尚存在争议，因而此次研究采用 Meta 分析来整合神经肌肉训练对膝关节炎的临床疗效，以期临床应用提供参考文献。

3.1 神经肌肉训练对膝关节炎患者疼痛的影响 膝关节炎患者会出现不同程度的疼痛，也是膝关节炎患者寻求康复的主要目标之一。PRIMEAU 等^[6]研究证明 12 周的神经

肌肉训练使膝关节炎患者疼痛减轻，这与此次研究结果一致，试验组 WOMAC 疼痛评分优于对照组，提示神经肌肉训练可以改善膝关节炎患者疼痛程度。对 WOMAC 疼痛评分的 Meta 分析结果进行敏感性分析，剔除姜荣辉^[22]的研究后，异质性 I^2 从 80% 降到 0%，且试验组的 WOMAC 疼痛评分低于对照组，差异有显著性意义，提示 Meta 分析稳定。被剔除的研究膝关节炎患者平均年龄最小，且干预训练强度较低，因此可能是导致异质性的因素。既往研究表明：股四头肌的力量与膝关节炎患者的疼痛症状存在密切关系^[32]。股四头肌无力可能会加重膝关节炎患者的疼痛。而神经肌肉训练可诱导肌肉反射性收缩、刺激肌梭，并促进运动神经元参与中央运动控制，能够加强肌肉激活效率，从而改善股四头肌肌力和膝关节炎患者的运动控制^[33]。而股四头肌力量的增加能够减少软骨的过度负荷、增加减震和提高关节稳定性，从而改善膝关节炎患者的疼痛症状^[34-36]。同时还有研究表明神经肌肉训练可能通过中枢门控机制、神经免疫机制和外周机制，通过增加组织部位的局部细胞密度来发挥疼痛缓解作用^[37]。此外，神经肌肉训练改善关节

本体感觉机制，使膝关节恢复正常活动范围，并通过在运动中持续刺激肌肉中的机械感受器 (α - β 纤维) 来抑制疼痛^[16]。

3.2 神经肌肉训练对膝关节炎患者下肢功能的影响 膝关节炎患者会出现姿势稳定性降低、活动受限、行走不稳、跌倒风险增加，这种功能障碍与中枢神经系统抑制和疼痛引起的传入信号变化有关^[38]。此次 Meta 分析结果表明，神经肌肉训练作为一种功能性负重训练可以增强膝关节稳定性，有研究发现本体感觉损伤会显著降低膝关节的稳定性^[39]，这可能是中枢神经系统平衡四肢肌肉激活的控制机制的作用^[40]。神经肌肉训练主要目的是实现肌肉激活、功能稳定性和改善感觉运动控制^[41]。30 s 内膝关节最大弯曲次数用于评估膝关节炎的干预措施，进行该测试需要膝关节炎患者的神经肌肉控制，以及在髌关节和膝关节伸肌的向心和离心运动之间快速变化的能力，其结果具有有效性和可靠性^[42]。膝关节炎的发生与系统性炎症反应有关，关节间隙狭窄和骨赘生长等膝关节的退行性变化以及膝关节纤维化是导致系统性炎症反应的因素^[43]。有研究发现 4 个月的神经肌肉训练与运动干预后软骨基质蛋白

多糖含量增加有关,增加的蛋白多糖含量使软骨硬度和承受负荷的能力增大,并增加关节间隙^[44]。此外也有研究发现神经肌肉训练可增加关节感觉神经传入,肌肉内的感觉受体可将肌肉长度、速度和张力等信息传递到中枢系统增强膝关节稳定性^[45]。

3.3 神经肌肉训练对膝骨关节炎患者日常生活活动功能的影响 反映患者健康状况的一个重要指标是日常生活活动能力^[46]。CHAHARMAHALI等^[47]研究表明神经肌肉训练可以减轻膝骨关节炎患者的疼痛强度,提高患者上下楼梯的能力、平衡和生活质量。一项随机对照试验发现,全膝关节置换术前8周有监督的神经肌肉训练可有效提高膝骨关节炎患者术后的生活质量^[9]。WOMAC身体功能评分主要体现膝骨关节炎患者日常生活活动能力,包括起床、穿鞋和干家务活等^[48]。膝骨关节炎患者的股内外侧肌协调性异常,股内侧肌激活时间较股外侧肌迟^[49]。神经肌肉训练刺激本体感受输入,有效地激活了脑干和皮质水平的运动控制,改善感觉运动控制功能,增强肌肉群之间的协调性和姿势功能^[50]。IRISH等^[51]研究发现神经肌肉训练的箭步训练可使股内侧肌激活时间基本等同于股外侧肌。股内外侧肌群协调性的改善可以提高膝骨关节炎患者步行速度和自主膝关节伸展动力,降低日常活动中的跌倒风险,改善老年人功能性身体活动^[52]。此次Meta分析结果显示,通过神经肌肉训练,膝骨关节炎患者WOMAC身体功能评分显著降低,此结果与既往研究一致,证实神经肌肉训练可使身体功能和疼痛改善20%^[19],考虑疼痛缓解、膝关节稳定性提高是身体功能改善的原因。先前的研究表明本体感觉敏锐度随着年龄的增长和骨关节炎的发生而下降,本体感觉缺陷导致膝关节动态稳定性降低。神经肌肉训练通过本体感觉训练和平衡训练来激活和适应神经系统的本体感受器,从而减少本体感觉损伤。减少本体感觉缺陷可增加膝关节动态稳定性,改善日常生活活动功能。SAZO-RODRÍGUEZ等^[53]研究证明8周神经肌肉训练可以改善膝骨关节炎患者的姿势平衡和日常功能。这与AGEBERG等^[5]的研究结果

一致,该研究对膝骨关节炎患者进行12周神经肌肉训练后,调查患者对其膝关节进行日常功能性活动的信心,发现经过神经肌肉训练后患者完成日常功能活动的自信心明显增加。

此次研究的局限性:①部分纳入研究的文献质量不高,未指明分配隐藏及盲法的实施情况;②部分纳入的研究之间存在显著的异质性,对结果的可靠性造成一定影响;③纳入研究间干预频率、时间和强度不完全一致,可能给研究带来一定偏倚。

综上所述,神经肌肉训练可以提高膝骨关节炎患者膝关节稳定性、改善下肢生物力学变化和身体平衡协调性。由于此次Meta分析存在纳入研究少、方法学质量较低等问题,今后仍需要大样本、高质量的临床随机对照试验进一步探讨神经肌肉训练治疗膝骨关节炎的干预时间和强度等。总体而言,神经肌肉训练作为一种有效安全的干预措施,可用于膝骨关节炎患者的康复治疗。

3.4 结论 此文分析了近年来神经肌肉训练在膝骨关节炎患者康复中的应用进展,初步描述了神经肌肉训练对膝骨关节炎患者康复的积极作用,表明神经肌肉训练可以有效改善膝骨关节炎患者的疼痛情况,增强膝关节的稳定性,提高运动能力和生活质量。但膝骨关节炎患者神经肌肉训练效果受性别、年龄、病情以及训练内容等因素的影响。因此,在之后的研究中应针对不同患者神经肌肉训练方案的制定做进一步研究,为临床实践应用提供更多证据,使膝骨关节炎患者康复达到最佳效果。

作者贡献:孙榭頔和夏渊进行文章设计和实施,资料整理为常赢和熊文娟,论文撰写为第一作者孙榭頔完成;夏渊审核,程露露和万海丽对论文进行评估。

利益冲突:文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

开放获取声明:这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

版权转让:文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范:该文章撰写遵守了《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA指南)。文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。文章经小同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

4 参考文献 References

- [1] YE J, ZHENG Q, ZOU L, et al. Mindful Exercise (Baduanjin) as an Adjuvant Treatment for Older Adults (60 Years Old and Over) of Knee Osteoarthritis: A Randomized Controlled Trial. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2020;2020:9869161.
- [2] 程露露,李冬静,李梦醒,等. 针灸治疗膝骨性关节炎作用机制研究概况[J]. 中国骨质疏松杂志,2022,28(10):1514-1517,1540.
- [3] 陈鉴冰,叶倩云,李晚峰. 膝骨关节炎致病危险因素 meta 分析[J]. 暨南大学学报(自然科学与医学版),2023,44(4):406-415.
- [4] SUN X, ZHEN X, HU X, et al. Osteoarthritis in the Middle Aged and Elderly in China: Prevalence and Influencing Factors. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(23):4701.
- [5] AGEBERG E, ROOS EM. Neuromuscular exercise as treatment of degenerative knee disease. *Exerc Sport Sci Rev*. 2015;43(1):14-22.
- [6] PRIMEAU CA, BIRMINGHAM TB, MOYER RF, et al. Trajectories of perceived exertion and pain over a 12-week neuromuscular exercise program in patients with knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2020;28(11):1427-1431.
- [7] CLAUSEN B, HOLSGAARD-LARSEN A, ROOS EM. An 8-Week Neuromuscular Exercise Program for Patients With Mild to Moderate Knee Osteoarthritis: A Case Series Drawn From a Registered Clinical Trial. *J Athl Train*. 2017;52(6):592-605.
- [8] JUHL C, CHRISTENSEN R, ROOS EM, et al. Impact of exercise type and dose on pain and disability in knee osteoarthritis: a systematic review and meta-regression analysis of randomized controlled trials. *Arthritis Rheumatol*. 2014;66(3):622-636.
- [9] HOLM PM, PETERSEN KK, WERNBOM M, et al. Strength training in addition to neuromuscular exercise and education in individuals with knee osteoarthritis-the effects on pain and sensitization. *Eur J Pain*. 2021;25(9):1898-1911.
- [10] GANJAVE PD, DABHOLKAR T. Efficacy of Neuromuscular Training on Pain, Balance and Function in Patients with Grade I and II Knee Osteoarthritis. *J Exerc Sci Physiother*. 2017;13(2):27-40.
- [11] BENNELL KL, KYRIAKIDES M, METCALF B, et al. Neuromuscular versus quadriceps strengthening exercise in patients with medial knee osteoarthritis and varus malalignment: a randomized controlled trial. *Arthritis Rheumatol*. 2014;66(4):950-959.
- [12] ALTMAN R, ASCH E, BLOCH D, et al. Development of criteria for the classification and reporting of osteoarthritis. Classification of osteoarthritis of the knee. Diagnostic and Therapeutic Criteria Committee of the American Rheumatism Association. *Arthritis Rheum*. 1986;29(8):1039-1049.

- [13] 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.
- [14] MAHER CG, SHERRINGTON C, HERBERT RD, et al. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther.* 2003;83(8):713-721.
- [15] SABHARWAL J, JOSHI S. Neuromuscular exercise with neuromuscular electrical stimulation in knee osteoarthritis: a randomised controlled pilot trial. 2022; 36(4):8-16.
- [16] GANJAVE PRANITA D, TWINKLE D. Efficacy of Neuromuscular Training on Pain, Balance and Function in Patients with Grade I and II Knee Osteoarthritis. *Exerc Sci Physiother.* 2017;13(2):27-40.
- [17] ROGERS MW, TAMULEVICIUS N, COETSEE MF, et al. Knee Osteoarthritis and the Efficacy of Kinesthesia, Balance & Agility Exercise Training: A Pilot Study. *Int J Exerc Sci.* 2011;4(2):124-132.
- [18] HOLSGAARD-LARSEN A, CLAUSEN B, SØNDERGAARD J, et al. The effect of instruction in analgesic use compared with neuromuscular exercise on knee-joint load in patients with knee osteoarthritis: a randomized, single-blind, controlled trial. *Osteoarthritis Cartilage.* 2017;25(4):470-480.
- [19] VILLADSEN A, OVERGAARD S, HOLSGAARD-LARSEN A, et al. Immediate efficacy of neuromuscular exercise in patients with severe osteoarthritis of the hip or knee: a secondary analysis from a randomized controlled trial. *J Rheumatol.* 2014;41(7):1385-1394.
- [20] 冒文静, 丁彬鸿, 吴素青. 神经肌肉训练对老年膝骨关节炎患者关节稳定性及下肢运动功能的影响[J]. 海军医学杂志, 2023,44(1):74-78.
- [21] 梁邱, 何成奇, 姜俊良, 等. 神经肌肉运动训练对膝骨关节炎患者的疼痛与功能恢复的临床疗效观察[J]. 华西医学, 2018, 33(10):1247-1251.
- [22] 姜荣辉. 神经肌肉运动训练对膝骨关节炎患者的疼痛与功能恢复的临床疗效观察[J]. 世界最新医学信息文摘, 2019,19(97): 40-41.
- [23] 张冠聪, 黄秋晨, 顾蕊, 等. 不同神经肌肉训练方法对早期膝骨关节炎患者疼痛和运动功能效果的比较[J]. 中国康复理论与实践, 2023,29(9):1090-1097.
- [24] 李佳, 张鸿悦, 刘晓磊, 等. 神经肌肉训练对重度膝骨关节炎患者膝关节功能和姿势控制的影响[J]. 中国临床医生杂志, 2021,49(3):315-317.
- [25] 李志霞, 康玉闻, 刘永裕, 等. 经筋灸法联合神经肌肉运动训练治疗膝骨关节炎的临床观察[J]. 中国医学创新, 2021, 18(15):90-93.
- [26] BLALOCK D, MILLER A, TILLEY M, et al. Joint instability and osteoarthritis. *Clin Med Insights Arthritis Musculoskelet Disord.* 2015;8:15-23.
- [27] ZENG CY, ZHANG ZR, TANG ZM, et al. Benefits and Mechanisms of Exercise Training for Knee Osteoarthritis. *Front Physiol.* 2021;12:794062.
- [28] MICHAEL JW, SCHLÜTER-BRUST KU, EYSEL P. The epidemiology, etiology, diagnosis, and treatment of osteoarthritis of the knee. *Dtsch Arztebl Int.* 2010;107(9):152-162.
- [29] BENNELL K, DOBSON F. Neuromuscular exercise for degenerative knees: can we optimize the treatment effect? *Exerc Sport Sci Rev.* 2015;43(1):3-4.
- [30] THORSTENSSON CA, HENRIKSSON M, VON PORAT A, et al. The effect of eight weeks of exercise on knee adduction moment in early knee osteoarthritis-a pilot study. *Osteoarthritis Cartilage.* 2007;15(10):1163-1170.
- [31] 胡浩宇. 神经肌肉训练技术对髌股疼痛综合症(PFPS)患者的疗效及其影响研究[D]. 上海: 上海体育学院, 2019.
- [32] GLASS NA, TORNER JC, FREY LAW LA, et al. The relationship between quadriceps muscle weakness and worsening of knee pain in the MOST cohort: a 5-year longitudinal study. *Osteoarthritis Cartilage.* 2013;21(9):1154-1159.
- [33] RASHID SA, MOIZ JA, SHARMA S, et al. Comparisons of Neuromuscular Training Versus Quadriceps Training on Gait and WOMAC Index in Patients With Knee Osteoarthritis and Varus Malalignment. *J Chiropr Med.* 2019;18(1):1-8.
- [34] BECKWEÉ D, VAES P, CNUDE M, et al. Osteoarthritis of the knee: why does exercise work? A qualitative study of the literature. *Ageing Res Rev.* 2013;12(1):226-236.
- [35] DAINESI P, WYNGAERT KV, DE MITS S, et al. Association between knee inflammation and knee pain in patients with knee osteoarthritis: a systematic review. *Osteoarthritis Cartilage.* 2022;30(4):516-534.
- [36] HUNTER DJ, BEAVERS DP, ECKSTEIN F, et al. The Intensive Diet and Exercise for Arthritis (IDEA) trial: 18-month radiographic and MRI outcomes. *Osteoarthritis Cartilage.* 2015;23(7):1090-1098.
- [37] LESNAK JB, SLUKA KA. Mechanism of exercise-induced analgesia: what we can learn from physically active animals. *Pain Rep.* 2020;5(5):e850.
- [38] STEIDLE-KLOC E, RABE K, ECKSTEIN F, et al. Is muscle strength in a painful limb affected by knee pain status of the contralateral limb-Data from the Osteoarthritis Initiative. *Ann Anat.* 2019;221:68-75.
- [39] SANCHEZ-RAMIREZ DC, VAN DER LEEDEN M, KNOL DL, et al. Association of postural control with muscle strength, proprioception, self-reported knee instability and activity limitations in patients with knee osteoarthritis. *J Rehabil Med.* 2013;45(2):192-197.
- [40] ZENG Z, SHAN J, ZHANG Y, et al. Asymmetries and relationships between muscle strength, proprioception, biomechanics, and postural stability in patients with unilateral knee osteoarthritis. *Front Bioeng Biotechnol.* 2022;10:922832.
- [41] AGEBERG E, NILSDOTTER A, KOSEK E, et al. Effects of neuromuscular training (NEMEX-TJR) on patient-reported outcomes and physical function in severe primary hip or knee osteoarthritis: a controlled before-and-after study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2013;14:232.
- [42] BREMANDER AB, DAHL LL, ROOS EM. Validity and reliability of functional performance tests in meniscectomized patients with or without knee osteoarthritis. *Scand J Med Sci Sports.* 2007;17(2):120-127.
- [43] URITANI D, KODA H, YASUURA Y, et al. Factors associated with subjective knee joint stiffness in people with knee osteoarthritis: A systematic review. *Int J Rheum Dis.* 2023; 26(3):425-436.
- [44] ROOS EM, DAHLBERG L. Positive effects of moderate exercise on glycosaminoglycan content in knee cartilage: a four-month, randomized, controlled trial in patients at risk of osteoarthritis. *Arthritis Rheum.* 2005;52(11):3507-3514.
- [45] ALESSANDRO C, PRASHARA A, TENTLER DP, et al. Inhibition of knee joint sensory afferents alters covariation across strides between quadriceps muscles during locomotion. *J Appl Physiol (1985).* 2023; 134(4):957-968.
- [46] 李永杰, 扈盛. 水中运动训练对脑卒中患者下肢肢体功能和日常生活能力影响的 meta 分析 [J]. 中国康复医学杂志, 2019,34(10):1209-1215.
- [47] CHAHARMAHALI L, GANDOMI F, YALFANI A, et al. The effect of mindfulness and motivational interviewing along with neuromuscular exercises on pain, function, and balance of women affected by knee osteoarthritis: a rater-blinded randomized controlled clinical trial. *Disabil Rehabil.* 2023;1-12.
- [48] BELLAMY N, BUCHANAN WW, GOLDSMITH CH, et al. Validation study of WOMAC: a health status instrument for measuring clinically important patient relevant outcomes to antirheumatic drug therapy in patients with osteoarthritis of the hip or knee. *J Rheumatol.* 1988;15(12):1833-1840.
- [49] PENG YL, JOHNSON AE, GRIFFIN L. Sex differences in neuromuscular control of quadriceps. *Eur J Appl Physiol.* 2020; 120(10):2193-2202.
- [50] AMAN JE, ELANGO VAN N, YEH IL, et al. The effectiveness of proprioceptive training for improving motor function: a systematic review. *Front Hum Neurosci.* 2014;8:1075.
- [51] IRISH SE, MILLWARD AJ, WRIDE J, et al. The effect of closed-kinetic chain exercises and open-kinetic chain exercise on the muscle activity of vastus medialis oblique and vastus lateralis. *J Strength Cond Res.* 2010;24(5):1256-1262.
- [52] SLOBODOVÁ L, ORESKÁ Ľ, SCHÖN M, et al. Effects of Short- and Long-Term Aerobic-Strength Training and Determinants of Walking Speed in the Elderly. *Gerontology.* 2022;68(2):151-161.
- [53] SAZO-RODRÍGUEZ S, MÉNDEZ-REBOLLEDO G, GUZMÁN-MUÑOZ E, et al. The effects of progressive neuromuscular training on postural balance and functionality in elderly patients with knee osteoarthritis: a pilot study. *J Phys Ther Sci.* 2017;29(7):1229-1235.

(责任编辑: GD, ZN, WL, LJY)