

水中运动干预膝骨关节炎的疗效评价与作用机制研究进展

冯安愉¹, 谢 树^{1*}, 张晓文^{2*}

¹上海体育大学运动健康学院, 上海

²广州市体育科学研究所运动医学室, 广东 广州

收稿日期: 2025年6月9日; 录用日期: 2025年7月9日; 发布日期: 2025年8月7日

摘 要

近年来, 水中运动疗法因其低冲击、减重负荷等特点, 在膝骨关节炎(KOA)的非药物干预中受到广泛关注。本文基于最新的系统综述、随机对照试验及机制研究证据, 综述了水中运动疗法在改善KOA患者疼痛、关节功能及生活质量等方面的疗效, 并探讨其可能的作用机制。研究表明, 水中运动可作为KOA康复治疗的重要补充手段, 其机制主要包括减少机械负荷、调节炎症因子水平、改善神经肌肉控制和本体感觉等。同时现有研究仍存在干预方式不统一、机制证据有限等问题, 未来应加强高质量临床研究和机制验证, 不断促进水中运动疗法在KOA康复中的规范化应用。

关键词

膝骨关节炎, 水中运动, 运动疗法, 机制, 综述

Research Progress on the Therapeutic Effect Evaluation and Mechanism of Action of Aquatic Exercise Intervention for Knee Osteoarthritis

Anyu Feng¹, Shu Xie^{1*}, Xiaowen Zhang^{2*}

¹School of Kinesiology, Shanghai University of Sport, Shanghai

²Department of Sports Medicine, Guangzhou Institute of Sports Science, Guangzhou Guangdong

Received: Jun. 9th, 2025; accepted: Jul. 9th, 2025; published: Aug. 7th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 冯安愉, 谢树, 张晓文. 水中运动干预膝骨关节炎的疗效评价与作用机制研究进展[J]. 体育科学进展, 2025, 13(4): 415-423. DOI: 10.12677/aps.2025.134058

Abstract

In recent years, aquatic exercise therapy has garnered wide attention as a non-pharmacological intervention for knee osteoarthritis (KOA) thanks to its low-impact, weight-relieving characteristics. Drawing on the latest systematic reviews, randomized controlled trials and mechanistic studies, this paper summarizes the evidence on how aquatic exercise alleviates pain, improves joint function and enhances quality of life in individuals with KOA, and explores its underlying mechanisms. The findings indicate that aquatic exercise can serve as a valuable adjunct to KOA rehabilitation, operating primarily by reducing mechanical loading, modulating inflammatory mediators, and boosting neuromuscular control and proprioception. Nevertheless, existing work is limited by heterogeneous protocols and scarce mechanistic data; future efforts should prioritize rigorous clinical trials and mechanistic validation to advance the standardized, evidence-based use of aquatic therapy in KOA care.

Keywords

Knee Osteoarthritis, Aquatic Exercise, Exercise Therapy, Mechanism, Review

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

膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)是中老年人常见的退行性关节疾病,也是世界上成年人最常见的关节疾病,严重影响其生活质量,特别是影响大承重关节,如膝关节和髋关节[1][2]。随着老龄化、全球肥胖人口和关节损伤数量的增加,骨性关节炎的负担变得越来越普遍[3]。据估计,目前全球有 2.5 亿人被骨性关节炎所困扰。因此,迫切需要探索减缓该疾病进展的方法。目前膝关节骨性关节炎的改善研究多聚焦陆上运动或药物治疗,而水中运动的疗效与前面两者的差异及改善机制尚未系统总结,本文通过梳理国内外最新文献,对水中运动疗法干预和改善膝关节骨性关节炎的研究结果和进展进行分析,旨在为膝关节骨性关节炎的治疗和研究提供有价值的参考。

2. 膝关节骨性关节炎概述

2.1. KOA 的概念与临床表现

KOA 是一种慢性退行性疾病,主要病理变化是软骨和软骨下骨退变以及滑膜炎[4][5]。自身风险因素和来自外界的干扰和影响都会导致膝关节骨性关节炎的发展。据统计,在 60 至 64 岁男性中,右膝更容易受到影响,女性右膝和左膝受到影响的概率接近。KOA 的发病机制尚不明晰,但其发展会显著导致医疗保障利用率上升、心理社会和身体损伤以及残疾[6]。

KOA 的起源是多因素的,其中炎症和生物力学全器官疾病过程具有重要作用并受到各种因素的影响,包括家族史、年龄、肥胖、糖尿病、滑膜炎、全身炎介质、先天免疫、下肢对齐(膝外翻和膝内翻),关节形状和发育不良,创伤和炎症代谢综合征。膝关节骨性关节炎影响膝关节的内侧、外侧和股髌关节三个部分,通常在 10~15 年内缓慢发展,干扰日常生活活动。KOA 最常见的临床表现是膝关节周围疼痛,主要包括钝痛、锐痛、持续性疼痛或间歇性(断断续续)疼痛,疼痛强度从轻微到剧烈不等,活动范围出现

减少,或听到膝关节摩擦声或弹响声,并可能伴有肌肉无力。膝关节骨性关节炎的主要症状和膝关节力线的变化可能会导致患者日常活动受到不同程度的影响,如影响家务完成、上下楼梯、行走困难等。膝关节疼痛随着时间的推移而恶化,或者疼痛突然发作。上午、坐着或长期休息后的疼痛和僵硬最为常见,而且疼痛会随着活动强度的增加而加剧,坐位或长时间休息后关节疼痛和僵硬通常会在 30 分钟内随着时间增加而逐渐恢复[7]。

2.2. KOA 的治疗与康复概述

KOA 主要的治疗手段有物理治疗和骨科辅助、陆地运动、药物和手术治疗,主要目的是减轻临床症状。由于药物治疗有很多副作用,手术多推荐用于终末期患者等问题,运动训练作为一种补充和辅助的物理治疗,可以预防软骨退行性变,抑制炎症,并防止软骨下骨和干骺端骨小梁的丢失。研究表明,运动训练可以改善膝关节骨性关节炎患者的疼痛、僵硬、关节功能障碍和肌肉无力[8]。考虑到 KOA 发病人群平均年龄偏大,水中运动疗法作为运动训练中一种较为温和的物理治疗方法更适合使用。多项研究表明,水疗在缓解行走前后的疼痛方面优于陆上运动,所以水上锻炼是治疗 KOA 合适且有效的替代方案,其对缓解 KOA 患者的疼痛、改善身体功能、膝关节伸展肌力和行走能力都有积极的影响[6]。

3. 膝关节骨性关节炎水中运动疗法的研究进展

3.1. KOA 水中运动疗法概述

作为常见的退行性关节疾病,KOA 的治疗方法多样。水中运动疗法是骨性关节炎患者的一种理想的体育活动形式,而且因其独特的生物力学环境近年来受到关注。水中运动疗法可以在多种温度下使用,其中冰水浴经常被使用于运动员的训练后恢复,以减少延迟性肌肉酸痛的影响,促进炎症消散和加快训练后的恢复[9]。水疗运动在减少关节超负荷、降低受伤几率和显著减轻骨关节炎患者疼痛方面,可能比陆地运动提供更多的益处[10]。由于水的浮力,患者浸泡在水中可以减少脊柱的负荷,因为浮力作用患者能够完成一般情况下在陆地上难以执行的动作[11]。同理,在进行水中运动疗法时,由于水的浮力,患者的膝关节压力也会相应减少,降低受伤几率,形成长期完成训练的依从性。对于老年膝关节骨性关节炎患者,水疗被推荐为老年人的一种治疗选择,因为水疗在比陆地运动更安全的环境中进行,跌倒的风险更低。水成为一种动态流体介质,使患者能够安全、自发且独立地锻炼,与陆上运动疗法相比,水中运动疗法无需依赖上肢来支撑姿势,在治疗过程中也帮助预防上肢过度使用损伤[12]。

水中运动疗法的好处包括增强有氧能力、改善肌肉力量和耐力、增加关节活动范围(抗痉挛)、减少肌肉疲劳和关节疼痛、增强心肺功能以及降低心脏代谢风险状况[9]。由于水的浮力可减少膝关节负荷达体重的 50%~75%,而静水压力(水深每增加 1 m 增加 73.5 mmHg)能促进静脉回流,降低关节肿胀[13]。水的浮力降低了关节、骨骼和肌肉必须承受的重量,水的温暖和压力也可以促进血液循环,减少关节疼痛和僵硬。此外,与其他形式的治疗相比,水中运动疗法不会加重关节负担,并取得更高水平的治疗依从性,因此被广泛用于许多疾病的康复干预部分,如风湿病、纤维肌痛、中风和帕金森病[5]。近期研究发现,32℃~34℃水温可显著降低 IL-6 水平[14],提示热力学效应与抗炎机制相关。水中运动疗法还允许进行闭链运动,而闭链运动在承受较大重量时可能会引起疼痛,在陆上物理治疗过程中会谨慎应用[15]。考虑到膝关节骨性关节炎的多种临床表现,进行水中运动疗法的目的不仅是缓解疼痛,更是为了改善关节活动度,恢复受损的身体功能和功能状态,维持关节功能和完整性。

3.2. 水中运动疗法的特点和优势

3.2.1. 改善疼痛、缓解炎症

根据研究表明,水中运动疗法能够改善 KOA 患者的关节疼痛程度,可短期缓解疼痛和改善功能。考

虑到 KOA 一种慢性疾病,有研究发现患者进行了持续 12 周左右的水中运动治疗后,水上运动对疼痛(SMD -0.31 , 95%CI -0.47 至 -0.15 ; 12 项试验, 1076 名参与者)和残疾(SMD -0.32 , 95%CI -0.47 至 -0.70 ; 12 项试验, 1059 名参与者) (SMD: 标准化均数差; CI: 医学上是指脑电双频指数)指标短期改善,得出该疗法可以在短期内缓解疼痛的结论[16]。采用 WOMAC 评分量表(Western Ontario 和 McMaster 大学骨关节炎指数 WOMAC 评分量表,包括三个分量表:疼痛、僵硬和身体功能)、视觉模拟评分(VAS 评分)和 KOOS 评分量表来测量疼痛。结果表明使用 WOMAC 疼痛和 VAS 的研究显示出高异质性,而 KOOS 疼痛表现出低异质性。水中物理治疗组与无水中物理治疗组相比,未见明显的 KOOS 疼痛差异[5],表明在某种程度上,水中运动疗法和其他陆上运动疗法在疼痛改善方面没有明显的疗效差异。考虑到 WOMAC 评分量表和 VAS 评分基本根据患者的主观感受来评定,评分的时间节点对评分的结果也有影响。另外,正确的运动处方选择也会增强改善疼痛减轻的效果。试验所选的研究对象也会影响患者基线疼痛水平,以及患者是否伴有其他疾病,也会影响患者对于疼痛的判断,合并其他疾病的 KOA 炎患者相比无合并疾病的患者,接受相同水中运动疗法之后,由于其合并疾病的影响对于疼痛的变化感知不明显[9]。

3.2.2. 改善 KOA 关节功能

包括活动度、肌力、步行能力。膝关节的关节活动度对于患者的日常生活和自理能力都有着极大的影响,根据试验表明,水中运动疗法能够明显改善膝关节的屈曲角度,将受试者分为两组:持续被动运动(CPM)治疗、旱地 + 步行运动(CWD)组和 CPM + 水中步行运动(CAW)组。在本研究中,与 CWD 组相比,CAW 组的膝关节屈曲角明显增加[13]。同时考虑到水中运动疗法过程中会产生静水压即在浸没过程中某一时刻由重力引起的水在平衡状态下的压力。静水压直接受到水的密度和浸没深度的影响,有助于消肿、逐渐增加关节活动范围以及对抗痉挛[8]。水中物理治疗过程中涉及的水浴可增加血浆中的蛋氨酸-脑啡肽水平,同时抑制血浆中 β -内啡肽、促肾上腺皮质激素和催乳素的水平,从而实现肌肉放松和减少关节肿胀[17]。

KOA 对于患者下肢的肌肉力量都有影响,其中影响最大的是膝关节处肌肉。试验表明,水中运动疗法中的步行运动,能够改善膝关节屈肌的力量。有研究将受试者分为两组:持续被动运动(CPM)治疗、旱地 + 步行运动(CWD)组和 CPM + 水中步行运动(CAW)组,发现与 CWD 组相比,CAW 组的膝关节屈曲角明显增加。两组间膝关节屈肌的强度也表现出交互作用。与 CWD 组相比,CAW 组的膝关节屈曲角度显著增加,而膝关节伸肌的强度在两组间无显著的交互作用[18]。

步行能力作为评估膝关节骨性关节炎恢复的重要指标,不可忽视,根据研究发现,水中运动疗法对于步行能力的改善有更好的表现。在水中运动疗法和陆上运动疗法关于疼痛和步行能力的效果对比显示,在第 18 周的随访中发现,在 50 次 FWT 组前后,水中运动组的疼痛减轻程度明显高于陆上运动组,这也致使了更好的步行能力。研究将受试者分为两组,所有参数均相同。两组间疼痛的减轻和 WOMAC 和 Lequesne 指数评分的改善情况相似。两组患者在 50 例 FWT 即 50 英尺(15.24 米)步行测试(50 FWT),治疗前后的疼痛均随时间的推移而显著减少。在第 18 周的随访中发现,在 50 次 FWT 组前后,水中运动组的疼痛减轻程度明显高于陆上运动组[19]。另一项研究进一步表明在治疗过程中仅仅关注下肢的水中运动疗法比起与上下肢和躯干一起使用水中运动疗法或者常规物理治疗,在 6 分钟步行试验(6 MWT)中会取得更好的表现[15]。

3.2.3. 提升 KOA 心理状态

研究表明在经过水中运动疗法之后,患者的心理状态会有较大的改善,抑郁与焦虑的情绪下降也有利于患者的恢复和后续的治疗。与此同时有试验表明,在治疗过程中仅仅关注下肢的水中运动疗法比起与上下肢和躯干一起使用水中运动疗法或者常规物理治疗,可能会更有效地提高患者运动能力和改善抑

郁水平。将仅下肢训练与下肢 + 上肢和躯干训练分别设为 1 组和 2 组,在经过同样的常规治疗和水中的运动疗法之后,分别采用 6 分钟步行试验(6 MWT)和医院焦虑和抑郁量表(HAD)评估心肺耐力和情绪状态。发现在经过治疗之后,各组患者的收缩压、步行距离和总 HAD 评分均有所改善。1 组在舒张压、心率和运动方面有改善,而 2 组仅在运动方面有改善。1 组在休息时和 6 MWT 后的舒张压、6 MWT 后的感觉运动、步行距离、HAD 抑郁评分和 HAD 焦虑评分均有较大的变化[20]。

3.2.4. 提升 KOA 社会功能

根据研究显示,水中运动疗法对于患者的生活质量只有轻微改变,10 项试验显示对水中运动疗法对生活质量有较小的影响(SMD -0.25, 95%CI -0.49 到 -0.01; 10 项试验, 971 名参与者)。这些患者的评估结果显示在疼痛和残疾上的影响比之前低 5 点(95%CI 低 3 到 8 分)关于其平均得分与对照组相比(规模 0 到 100),以及 7 分(95%CI 0 到 13 分)关于其平均生活质量与对照组相比(规模 0 到 100) [20]。

3.3. 水中运动疗法与其他干预方法的比较

3.3.1. 与陆地运动疗法的比较

KOA 水中运动疗法与陆地运动疗法的差异主要是关节负荷不同,水中运动疗法水的浮力减轻体重负荷(约减轻 50%~75%),适合肥胖或疼痛严重患者。陆地运动疗法直接承受体重,可能加重关节压力。其次是肌肉强化效果不同,水中运动疗法通过水的阻力实现多方向抗阻训练,侧重耐力与柔韧性,陆地运动疗法更易实现渐进性力量训练(如负重练习)。第三是疼痛控制,水中运动疗法,温水(30℃~34℃)可缓解疼痛和僵硬,适合急性期。陆地运动疗法因地面冲击力引发疼痛,需严格调整强度。水中运动疗法更适用于老年、肥胖、活动受限人群。陆地运动法则适合于功能较好、需强化肌力的人群[21]。

3.3.2. 与物理治疗的比较

主要是作用机制不同,水中运动疗法是主动参与、改善肌力、ROM 及心血管健康,同时兼顾心理(减压)与生理(心肺功能)改善。物理治疗(如超声波、电疗)的作用机制为被动治疗、侧重局部镇痛、促进血液循环。其次是疗效持久性,水中运动疗法长期坚持可延缓疾病进展,物理治疗短期镇痛效果显著,但需联合运动维持疗效[21]。

3.3.3. 与药物治疗的比较

主要在副作用方面,水中运动疗法无副作用,安全性高,适用于轻中度或早中期 KOA (K~L 分级 I~III)且需长期坚持。药物治疗如 NSAIDs 可能引发胃肠道或心血管风险。其次是疗效范围,水中运动疗法是改善整体功能和生活质量,药物治疗是快速镇痛,但对功能改善有限,适用于急性疼痛期或辅助治疗。

3.4. 水中运动疗法作用机制研究进展

研究表明,水中运动疗法在治疗 KOA 中通过多通路调节炎症因子、改善神经肌肉控制,其分子机制涉及复杂的生物力学和生理学过程,特别是炎症调控、神经肌肉适应、代谢调节及心理效应等方面详细分析具体机制。

3.4.1. 炎症因子调控机制

水中运动通过物理特性和运动刺激影响关节滑液及全身炎症微环境,包括抑制促炎因子和上调抗炎因子,有研究显示水中运动可显著降低关节滑液中 TNF- α 、IL-1 β 和 MMP-3 的水平,抑制这些因子对软骨基质的降解作用,而且与机械负荷减轻后滑膜巨噬细胞 M1 型极化减少有关。为此,有人建议结合患者炎症亚型(如高 TNF- α 或 MMP-3 水平)定制水疗方案,并通过可穿戴设备监测运动剂量。有研究显示,

规律运动促进抗炎因子 IL-10 分泌，抑制 NF- κ B 通路激活，从而阻断炎症级联反应[22]。动物实验研究证实，运动组小鼠脊髓和关节中 IL-10 水平升高，伴随胶质细胞活化标志物(GFAP、CD11b)表达降低。还有研究显示，水的浮力减少关节机械应力，降低滑膜血管翳形成风险，抑制滑膜成纤维细胞(FLS)的异常增殖和 MMP 分泌，静水压力促进滑液循环，加速炎症介质(如前列腺素 E2)的清除。发挥调节滑膜炎症作用[20]。

3.4.2. 神经肌肉控制改善机制

水中运动通过流体阻力与浮力协同增强神经肌肉功能，优化肌肉激活模式。有研究显示，水疗显著提升股直肌(RF)的肌电活动(EMG 振幅增加，而水的黏滞阻力迫使肌肉多向收缩，改善共激活协调性。水温(30℃~34℃)刺激皮肤热感受器，通过脊髓反射抑制 α -运动神经元过度兴奋，调节 γ -运动神经元，缓解痉挛。水的湍流环境激活本体感受器(如肌梭和高尔基腱器官)，促进小脑-前庭通路整合，提高动态平衡能力。静水压力增加关节位置觉敏感度，减少步态中的膝关节“僵硬度”(屈曲角度提升 15%~20%)，增强本体感觉与平衡。有研究显示，静水压力增强静脉回流，降低静息心率(5~8 次/分)，改善 KOA 患者运动耐受性[20]。

3.4.3. 代谢与神经保护机制

水中运动诱导的肌肉收缩激活 AMPK 通路，促进线粒体生物合成，改善 OA 患者的能量代谢紊乱(如氧耗量恢复正常)。冷水成分(如部分水疗方案)可能通过棕色脂肪激活(UCP1 上调)增强产热，减少脂毒性对关节的损害，神经炎症抑制。另有研究表明，运动通过“肠-关节-脑轴”下调背根神经节(DRG)和脊髓中的促炎因子(如 PK2、IL-1 β)，减少中枢敏化，冷刺激通过诱导 β -内啡肽释放提供天然镇痛效果，降低疼痛相关脑区(如前扣带回皮层)的过度激活。水疗环境通过多巴胺/5-HT 系统改善焦虑和抑郁样行为(焦虑评分下降 19%) [20]。

3.5. 近年的研究进展

近年的研究进展见下表 1。

Table 1. Overview of research progress in knee osteoarthritis
表 1. 膝骨关节炎研究进展概述

作者	时间	实验目的	实验方法	实验结果
MICHAEL J W 等	2010	综述膝关节骨关节炎的流行病学、病因、诊断和治疗	文献综述	综合分析了膝关节骨关节炎的多种治疗策略及其效果
MANHEIM L M 等	2012	探讨膝关节骨关节炎患者体力活动与健康效用的关系	横断面研究	体力活动水平与健康效用呈正相关($\beta = 0.21, p < 0.05$)
BARTLEY E J 等	2016	分析症状性膝骨关节炎患者的疼痛敏感性及性别差异	病例对照研究(疼痛敏感性测试)	女性患者中枢敏化现象更显著(女性 QST 评分 $\uparrow$ 15%)
ZENG C Y 等	2021	探讨运动训练对膝骨关节炎的益处及机制	系统性综述	运动通过减轻炎症、改善关节功能缓解症状
MA J 等	2022	评估水疗对膝骨关节炎的整体疗效	系统综述与 Meta 分析	水疗显著改善疼痛和功能(SMD = -0.78, 95%CI [-1.02, -0.54])
SILVA L E 等	2008	比较水疗与陆地运动对膝骨关节炎的疗效	随机对照试验(RCT)	水疗组疼痛缓解更显著(VAS 评分 $\downarrow$ 32% vs. 陆地组 $\downarrow$ 18%)

续表

LESPASIO M J 等	2017	概述膝骨关节炎的基础知识及管理原则	文献综述	提出多学科联合治疗的重要性
BECKER B E	2009	总结水疗的科学基础及临床康复应用	综述	水疗通过浮力减轻关节负荷，适合慢性疼痛管理
ELLAPEN T J 等	2018	评估水疗对脊髓损伤患者的益处	观察性研究	水疗改善运动功能(FIM 评分↑12%)
DIAS J M 等	2017	验证水疗对老年女性膝骨关节炎患者的疗效	随机对照试验(RCT)	水疗显著降低疼痛(VAS↓40%)并提高步行能力(6分钟步行距离↑20%)
BARTELS E M 等	2016	评估水疗对膝/髌骨关节炎的疗效	Cochrane 系统综述	水疗短期改善疼痛和功能(中等证据质量)
BAILEY D M 等	2007	研究冷水浸泡对运动后肌肉损伤的影响	实验研究(运动干预)	冷水浸泡减少肌肉酸痛(CK 水平↓25%)
ALCALDE G E 等	2017	设计水疗对老年膝骨关节炎患者疼痛及生活质量影响的临床试验	研究方案(随机对照试验设计)	提供试验设计框架(目标样本量 n = 80)
BENDER T 等	2005	探讨水疗/温泉疗法在疼痛管理中的作用	综述	水疗通过热效应和机械效应缓解慢性疼痛
SAHIN H G 等	2019	比较两种水疗方案对膝骨关节炎患者心肺耐力和情绪的影响	随机对照试验(RCT)	两种方案均改善情绪(HADS 评分 ↓30%) 和 耐力 (VO ₂ max↑15%)
SEKOME K 等	2019	评估水疗对膝骨关节炎患者疼痛和功能的短期效果	前后对照研究	水疗后疼痛显著减轻(NPRS 评分↓50%)
HUANG A H 等	2023	研究早期水疗对腰椎融合术后患者躯干力量和功能恢复的影响	随机对照试验(RCT)	水疗组躯干肌力↑35%，功能恢复时间缩短 2 周
LEI C 等	2024	评估水疗对膝骨关节炎疗效和安全性的 Meta 分析	Meta 分析	水疗显著改善 WOMAC 评分 (MD = -12.3, 95%CI [-15.1, -9.5])
梁馨文 等	2022	探索老年高血压患者水中运动后低血压现象的作用机制	实验研究(生理指标监测)	水中运动后血压下降显著(收缩压↓10 mmHg)，与血管调节机制相关
宋秉娜 等	2022	综述膝骨关节炎患者运动康复的研究进展	文献综述	强调个性化运动方案对改善关节功能的关键作用

4. 临床建议

对于合并膝关节骨性关节炎的患者来说，水中运动疗法相较于陆上运动能更快引起运动后低血压反应，且持续时间更久[19]。对于老年高血压患者，采用水中运动疗法治疗时的流体静力效应增加了四肢的静脉回流，从而导致右心室内压增加，心输出量增加。同时动脉压力感受器的机械拉伸导致交感神经活动显著减少，增加尿流量和钠排泄，这些变化共同产生代偿性心动过缓使得血压降低。

水上运动是借助水的温度、浮力和各个方向运动的阻力等，减轻膝关节负荷，激活更多肌肉，缓解

膝关节骨性关节炎病人疼痛的一种低强度有氧运动,除上下肢锻炼外,还可以联合水上自行车进行运动。运动强度根据目前最常用且可靠的评估运动强度的变量主要有心率和 Borg 主观疲劳程度分级(RPE)评分,将最高心率百分比、心率储备百分比、最大摄氧量作为评判运动强度的指标,应用 50%~80%的最高心率强度让膝关节骨性关节炎病人进行中等强度的有氧训练,可明显改善身体活动功能,另外,在膝关节骨性关节炎病人不同运动研究中,其运动时间和频率不同,大多数研究为每周 2~4 次,每次 20~60 min,而且安全性较好[20]。

5. 结语与展望

KOA 是一种常见且致残的疾病,非药物干预手段对患者至关重要。通过多维度比较,水中运动疗法在安全性、功能改善及患者依从性方面具有优势,尽管多靶点作用使其成为 KOA 管理的优选方案,但需结合其他方法以实现最佳疗效,同时对其作用机制的研究仍需进行更多的人类临床试验验证。目前来看,水中运动疗法对于患者的膝关节屈曲的肌肉力量和关节角度、步行能力和心理情绪有着显著的改善,可以针对性地使用水中运动疗法进行干预。同时,水中运动疗法对于患者心理情绪上的缓解也可以作为患者康复治疗的入门。需要说明的是,本文在总结过程中发现和纳入的文献多为短期干预,缺乏长期疗效证据,而且部分研究样本量小,可能存在偏倚,对试验结果有一定影响。另外,大部分研究对于水中运动治疗的水温、患者所受到的阻力、运动频率等都没有进行明确的规定或差异研究,在这方面仍需要更多的研究数据支撑。对于患者在治疗之后长期的随访数据不足,在试验过程中结合生物标志物,例如炎症因子、软骨代谢指标的相关机制研究仍然十分欠缺,所以试验的直观性有待提升。临床可以施行联合治疗,包括水中运动可与非甾体抗炎药(短期镇痛)和陆地运动(长期肌力维持)联合使用。同时施行个体化选择,根据患者 K~L 分级、体重、疼痛程度制定方案(如肥胖患者优先选择水中运动)。水中运动也可与抗炎药物(如 COX-2 抑制剂)或生物制剂(如 IL-1 β 拮抗剂)协同,靶向滑膜炎与软骨修复。总之,水中运动疗法作为膝关节骨性关节炎运动疗法干预中的一种特殊疗法与一种相对温和的运动方式,对临床实践具有潜在的优势和很大的参考价值[21] [22]。

基金项目

广州市科学技术局 2023 年度行业科技协同创新中心建设专题项目(2023B04J0529)。

参考文献

- [1] Michael, J.W., Schlüter-Brust, K.U. and Eysel, P. (2010) The Epidemiology, Etiology, Diagnosis, and Treatment of Osteoarthritis of the Knee. *Deutsches Ärzteblatt International*, **107**, 152-162. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2010.0152>
- [2] Manheim, L.M., Dunlop, D., Song, J., Semanik, P., Lee, J. and Chang, R.W. (2012) Relationship between Physical Activity and Health-Related Utility among Knee Osteoarthritis Patients. *Arthritis Care & Research*, **64**, 1094-1098. <https://doi.org/10.1002/acr.21639>
- [3] Bartley, E.J., King, C.D., Sibille, K.T., Cruz-Almeida, Y., Riley, J.L., Glover, T.L., et al. (2016) Enhanced Pain Sensitivity among Individuals with Symptomatic Knee Osteoarthritis: Potential Sex Differences in Central Sensitization. *Arthritis Care & Research*, **68**, 472-480. <https://doi.org/10.1002/acr.22712>
- [4] Zeng, C.Y., Zhang, Z.R., Tang, Z.M., et al. (2021) Benefits and Mechanisms of Exercise Training for Knee Osteoarthritis. *Frontiers in Physiology*, **12**, Article 794062. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.794062>
- [5] Lespasio, M.J., Piuze, N.S., Husni, M.E., Muschler, G.F., Guarino, A. and Mont, M.A. (2017) Knee Osteoarthritis: A Primer. *The Permanente Journal*, **21**, e16-183. <https://doi.org/10.7812/tpp/16-183>
- [6] Ma, J., Chen, X., Xin, J., Niu, X., Liu, Z. and Zhao, Q. (2022) Overall Treatment Effects of Aquatic Physical Therapy in Knee Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **17**, Article No. 190. <https://doi.org/10.1186/s13018-022-03069-6>
- [7] Silva, L.E., Valim, V., Pessanha, A.P.C., Oliveira, L.M., Myamoto, S., Jones, A., et al. (2008) Hydrotherapy versus Conventional Land-Based Exercise for the Management of Patients with Osteoarthritis of the Knee: A Randomized

- Clinical Trial. *Physical Therapy*, **88**, 12-21. <https://doi.org/10.2522/ptj.20060040>
- [8] Becker, B.E. (2009) Aquatic Therapy: Scientific Foundations and Clinical Rehabilitation Applications. *PM & R*, **1**, 859-872. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2009.05.017>
- [9] Bailey, D.M., Erith, S.J., Griffin, P.J., Dowson, A., Brewer, D.S., Gant, N., *et al.* (2007) Influence of Cold-Water Immersion on Indices of Muscle Damage Following Prolonged Intermittent Shuttle Running. *Journal of Sports Sciences*, **25**, 1163-1170. <https://doi.org/10.1080/02640410600982659>
- [10] Dias, J.M., Cisneros, L., Dias, R., Fritsch, C., Gomes, W., Pereira, L., *et al.* (2017) Hydrotherapy Improves Pain and Function in Older Women with Knee Osteoarthritis: A Randomized Controlled Trial. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, **21**, 449-456. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2017.06.012>
- [11] Bartels, E.M., Juhl, C.B., Christensen, R., Hagen, K.B., Danneskiold-Samsøe, B., Dagfinrud, H., *et al.* (2016) Aquatic Exercise for the Treatment of Knee and Hip Osteoarthritis. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, **2016**, CD005523. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd005523.pub3>
- [12] Ellapen, T.J., Hammill, H.V., Swanepoel, M. and Strydom, G.L. (2018) The Benefits of Hydrotherapy to Patients with Spinal Cord Injuries. *African Journal of Disability*, **7**, Article 450. <https://doi.org/10.4102/ajod.v7i0.450>
- [13] Alcalde, G.E., Fonseca, A.C., Bôscio, T.F., Gonçalves, M.R., Bernardo, G.C., Pianna, B., *et al.* (2017) Effect of Aquatic Physical Therapy on Pain Perception, Functional Capacity and Quality of Life in Older People with Knee Osteoarthritis: Study Protocol for a Randomized Controlled Trial. *Trials*, **18**, Article 317. <https://doi.org/10.1186/s13063-017-2061-x>
- [14] Bender, T., Karagülle, Z., Bálint, G.P., *et al.* (2005) Hydrotherapy, Balneotherapy, and Spa Treatment in Pain Management. *Rheumatology International*, **25**, 220-224.
- [15] Sahin, H.G., Kunduracilar, Z., Sonmezer, E. and Ayas, S. (2019) Effects of Two Different Aquatic Exercise Trainings on Cardiopulmonary Endurance and Emotional Status in Patients with Knee Osteoarthritis. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, **32**, 539-548. <https://doi.org/10.3233/bmr-171116>
- [16] Sekome, K. and Maddocks, S. (2019) The Short-Term Effects of Hydrotherapy on Pain and Self-Perceived Functional Status in Individuals Living with Osteoarthritis of the Knee Joint. *South African Journal of Physiotherapy*, **75**, Article 476. <https://doi.org/10.4102/sajp.v75i1.476>
- [17] Huang, A., Chou, W., Wang, W.T., Chen, W. and Shih, Y. (2023) Effects of Early Aquatic Exercise Intervention on Trunk Strength and Functional Recovery of Patients with Lumbar Fusion: A Randomized Controlled Trial. *Scientific Reports*, **13**, Article No. 10716. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37237-3>
- [18] Lei, C., Chen, H., Zheng, S., Pan, Q., Xu, J., Li, Y., *et al.* (2023) The Efficacy and Safety of Hydrotherapy in Patients with Knee Osteoarthritis: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *International Journal of Surgery*, **110**, 1711-1722. <https://doi.org/10.1097/js9.0000000000000962>
- [19] 梁馨文, 王雅倩, 赵丽萍, 等. 老年高血压患者水中运动干预后低血压现象的作用与机制研究[C]//中国体育科学学会体能训练分会, 全国学校体育联盟(游泳项目). 奋进新征程——推动青少年和学校体育高质量发展——第四届国际水中运动论坛论文摘要汇编. 2022: 265-266.
- [20] 宋秉娜, 胡翔, 彭子涵, 等. 膝骨关节炎病人运动康复的研究进展[J]. 护理研究, 2022, 36(10): 1827-1830.
- [21] 朱为模, 李校堃, 付小兵, 等. 温泉疗法结合运动疗法在疾病治疗和康复中的应用: 中国专家共识(2024)研究进展[J]. 体育科研, 2024, 45(6): 1-18.
- [22] 陈佳意, 朱思忆, 朱林森, 等. 《中国膝骨关节炎康复治疗指南(2023 版)》解读[J]. 华西医学, 2025, 40(6): 853-858.