

水中运动促进新冠康复者肺功能康复的理论机制与生理路径

谭苗青

广州体育学院体育教育学院, 广东广州, 中国

【摘要】本研究旨在系统阐述水中运动促进新型冠状病毒感染康复者肺功能恢复的理论基础与作用路径。通过剖析水环境独有的浮力、流体阻力及静水压力等物理特性, 结合其作用于人体呼吸、循环及神经系统的生理学效应, 构建了一个多维度分析框架。研究发现, 水的浮力有效卸载关节负荷, 使虚弱个体得以安全启动训练; 而动态阻力则对呼吸肌与核心肌群形成天然抗阻, 增强其力量与耐力。静水压力不仅优化体液回流、减轻水肿, 还温和刺激呼吸肌, 改善通气效率。同时, 水中运动通过引导规律呼吸、提升代谢率及调节副交感神经活动, 协同改善呼吸模式、促进组织修复并缓解焦虑情绪。结论表明, 水中运动通过上述交织的机制与路径, 为新冠后肺功能受损者提供了一种低风险、高效益且身心整合的康复策略, 兼具理论创新性与临床实用价值。

【关键词】水中运动; 新冠康复者; 肺功能康复; 生理机制; 呼吸训练

【基金项目】广东省哲学社会科学规划 2023 年度学科共建项目《水中运动对阳康人员肺功能干预研究》(编号: GD23XTY25)

1. 引言

新型冠状病毒感染康复者普遍面临肺功能受损的长期挑战, 表现为肺弥散功能下降、呼吸肌无力及运动耐力减退, 这不仅严重影响生活质量, 还可能发展为慢性呼吸系统疾病。在此背景下, 探索安全有效的康复干预手段至关重要。水中运动, 凭借其独特的流体力学环境, 为康复者提供了一种低冲击、高效益的运动选择, 它通过水的浮力、阻力、压力等多重物理特性, 综合作用于人体的呼吸、循环及肌肉系统。本论文旨在系统阐述水中运动促进新冠康复者肺功能康复的内在理论机制与具体生理路径, 剖析从水中环境物理刺激到肺功能改善的因果链条, 为肺康复的临床实践与理论研究提供新的视角与科学依据[1]。

2. 水中运动促进肺功能康复的核心理论机制

2.1 水环境的独特物理特性及其生理学基础

水中运动促进肺功能康复的理论基石, 源于水这一介质所具备的一系列独特物理特性及其与人体生理系统相互作用的复杂机制。水的核心物理属性, 包括浮力、流体阻力、静水压力以及相对恒定的温度, 共同构成了一个区别于陆地的特殊生物力学环境。

首先, 根据阿基米德原理, 人体在水中会受到向上的浮力, 其大小等于排开水的重量。这一特性能够显著抵消重力影响, 有效减轻体重对承重关节、骨骼和肌肉系统的负荷。对于新冠康复者, 尤其是那些因长期卧床或疾病消

耗导致肌力减弱、存在关节不适或肥胖的人群, 浮力作用提供了一个近乎“失重”或减重的运动平台。它使得进行步行、慢跑、跳跃等动作时关节面承受的冲击力大幅降低, 从而极大减少了运动损伤风险, 并允许康复者在疼痛阈值以下完成更大关节活动度和更长时间的运动, 这是启动和维持任何康复训练的首要前提[2]。

其次, 水的密度和粘滞性远高于空气, 当人体在水中运动时, 会遭遇来自各个方向、与运动速度呈指数级增长的非线性流体阻力。这种全方向的阻力构成了天然的、可调节的等速抗阻训练环境。肢体任何方向的移动都需要对抗水的阻力, 这不仅有效刺激了全身大肌群的力量与耐力增长, 尤为关键的是, 它要求核心肌群(包括腹横肌、膈肌、盆底肌等)持续收缩以维持躯干在水中的稳定, 从而间接而深刻地锻炼了作为主要呼吸肌的膈肌以及肋间肌、腹肌等辅助呼吸肌群。呼吸肌力量的增强, 直接关联到肺通气能力的改善[3]。

再者, 水的静水压力随深度增加而线性增加, 这种压力均匀作用于浸入水中的体表。其生理效应是多方面的: 一方面, 它如同温和的“压力衣”, 压迫体表静脉和淋巴管, 促进外周血液和淋巴液向中心循环回流, 有助于减轻肢体水肿、改善心脏前负荷与血液循环效率; 另一方面, 胸廓在静水压力下受到温和的挤压, 呼气相对容易而吸气则需克服额外阻力, 这无形中对于呼吸肌, 特别是吸气肌, 构成了低负荷、

高重复性的耐力训练,有助于提升呼吸肌的力量与协调性。最后,适宜的水温(通常控制在32-35℃)能够促进外周血管扩张,放松紧张的肌肉,缓解疼痛,并可能通过调节自主神经平衡,营造一个身心放松的康复氛围,为进行有效的呼吸与运动训练创造良好的生理与心理条件。这些物理特性共同作用,为改善心肺功能、优化呼吸力学奠定了坚实的物理学与生理学基础[4]。

2.2 多重物理特性的协同增效作用

水中运动促进肺功能康复的卓越效果,并非其各项物理特性作用的简单叠加,而是源于浮力、阻力、压力及温度等因素之间复杂而精妙的协同与整合,形成了一个具有“生物正反馈”效应的独特康复体系。这种协同作用的核心在于,它同时满足了康复训练中看似矛盾的双重需求:安全无痛的运动环境与高效充分的生理刺激。浮力作为基础支撑,最大程度地卸除了重力对运动系统的负累,为虚弱或疼痛受限的康复者打开了安全运动的大门,确保了训练的可行性与依从性。在此安全框架内,水的阻力则提供了可精确调控的训练负荷。

康复者通过改变运动速度或利用划水板等器械,即可轻松调整阻力大小,实现从低强度有氧到高强度肌力训练的平滑过渡。这种阻力训练不仅增强了四肢与躯干的肌肉力量,其对于维持核心稳定性、协调呼吸与动作节奏的要求,更是对呼吸肌群进行了“功能性”的整合训练,这是陆地孤立训练难以比拟的。与此同时,静水压力在协同网络中扮演着“优化器”与“增强剂”的角色。它施加于胸腹壁的压力,在呼气相辅助气体排出,在吸气相则增加了吸气肌的负荷,这种双向调节如同为呼吸系统安装了“智能阻力器”,持续而温和地锻炼着呼吸肌的收缩与舒张功能。更重要的是,压力促进的静脉与淋巴回流,加速了运动代谢产物的清除,改善了组织氧供,从循环层面支持了运动中呼吸肌与骨骼肌的高效工作,延缓了疲劳发生[5]。

此外,适宜的水温环境不仅提升了舒适度,其带来的肌肉放松效应与可能的迷走神经刺激,有助于降低交感神经张力,缓解新冠康复者常见的焦虑与紧张情绪。情绪状态的改善能进一步打破“呼吸困难-焦虑-过度通气-更呼吸困难”的恶性循环,使得呼吸模式训练更容易被接受和执行。因此,水中环境通过浮力创造安全入口,通过阻力提供核心刺激,通过压力优化内在生理环境与呼吸负荷,再通过温度调

节身心状态,最终形成了一个闭环的、自我强化的康复生态。这种多靶点、一体化的干预模式,能够同步改善呼吸肌功能、增强心肺耐力、优化体液循环并调节心理状态,其产生的综合生理效益远超过任何单一物理特性或传统陆地单一训练方式所能达到的效果,构成了水中运动在新冠肺功能康复中不可替代的理论优势[6]。

3. 水中运动作用于肺功能康复的具体生理路径

3.1 对心肺系统负荷与功能的优化路径

水中运动对新冠康复者心肺系统的优化作用始于其独特的压力环境。当个体浸入水中,尤其在胸腔深度,水施加于胸廓的均匀静水压力形成了一种温和而持续的呼吸负荷。这种外部压力在呼气时辅助气体从肺部排出,而在吸气时则转化为吸气肌必须克服的额外阻力。对于因病毒感染而导致膈肌及肋间肌力量衰减的康复者,这种低强度、高重复性的阻抗构成了理想的耐力训练。长期坚持水中活动,呼吸肌群——特别是作为主要吸气肌的膈肌——会在适应性反应中增强其收缩力量与疲劳阈值。临床观察与实验数据均支持这一观点,规律进行水中慢跑或游泳的个体,其肺活量、最大通气量等反应肺通气潜力的指标常有显著改善。这不仅直接提升了肺泡通气量,也为改善气体交换效率奠定了基础。与此同时,为对抗水的黏滞阻力而进行的全身性运动,本质上属于有氧训练。无论是水中步行还是游泳,均要求心血管系统提高输出以满足肌肉的氧需求。

心脏在面对这种由阻力调节的稳态负荷时,通过增加每搏输出量与优化心率响应来提升泵血效率,这一过程有效锻炼了心肌收缩力并增强了心血管系统的功能储备。多项研究指出,水中运动参与者常表现出静息心率降低、运动后心率恢复加快等良性适应特征,这标志着心脏功能与经济性的提升。此外,水压促进的外周静脉与淋巴液向心性回流,不仅有助于减轻康复者可能存在的肢体水肿,更优化了循环系统的前负荷与后负荷平衡,加速了代谢废物的清除与营养物质的输送。这一循环层面的改善,间接支持了呼吸肌与心肌的高效工作,并可能通过增强组织微循环与免疫细胞运输,为预防康复期潜在的继发感染提供了支持,从而从多维度夯实了肺功能恢复的生理基础。

3.2 对呼吸模式与代谢效率的改善路径

水的物理环境无形中引导并重塑了运动

者的呼吸模式,这是水中运动改善肺功能的一条关键且常被忽视的路径。在陆地,呼吸常可随意进行,而在水中,尤其是进行游泳或需要协调呼吸与肢体动作的活动时,个体必须主动调整呼吸的时机、深度与节奏以适应运动周期并避免呛水。这种有意识的控制促使康复者从可能存在的浅快、紊乱的呼吸模式,转向更深沉、更规律的呼吸。例如,在完成一次划水动作后抬头吸气,自然要求一次相对深快的吸气;而将头部埋入水中进行动作时,则常常伴随着缓慢的呼气或短暂的屏息。

这种实践使得诸如腹式呼吸、缩唇呼气等呼吸康复中倡导的技巧得以在功能性场景中反复演练与固化。腹式呼吸强调膈肌的主导作用,能更有效地扩张肺下部肺泡,优化通气分布;缩唇呼气则通过增加呼气阻力延缓小气道过早塌陷,有助于保持肺泡内压力,改善气体交换。对于新冠康复者,其呼吸模式可能因疾病与焦虑而变得低效,水中运动提供的这种“情境化呼吸训练”能潜移默化地纠正不良习惯,提升呼吸效率。另一方面,水的导热性能远高于空气,人体在水中运动时,为维持核心体温所需散的热量大幅增加,这导致能量消耗显著上升。即使在与陆地同等主观强度下,水中运动的代谢率也往往更高。

这种提升的整体代谢水平具有双重意义:一是更高的能量消耗有助于改善身体成分,减少多余的脂肪负荷,这对呼吸与运动都是长期的利好;二是旺盛的代谢状态通常伴随着更活跃的蛋白质合成与组织修复过程。它为受损肺组织的修复、呼吸肌肌纤维的增粗与重塑以及全身各系统功能的恢复提供了充足的物质与能量供应,创造了一个支持再生与适应的内在环境。呼吸模式的优化与代谢效率的提升相辅相成,前者改善了氧气的摄入与利用效率,后者则为修复过程提供了动力,共同推动肺功能向着健康方向演进。

3.3 对神经心理与整体机能的调节路径

肺功能的康复绝非纯粹的生理过程,神经心理状态的调节在其中扮演着至关重要的角色,而水中运动恰恰为此提供了独特的环境。水的触觉是一种温和、持续的全身性感觉输入,结合规律的运动节奏,能够有效激活副交感神经系统,诱导出一种放松、平静的心理状态。这种状态对于缓解新冠康复者常见的焦虑、对呼吸困难的恐惧以及因疾病经历带来的心理压力具有显著益处。

焦虑和压力本身就会导致呼吸浅快、肌肉

紧张,甚至引发过度通气综合征,从而形成一个“呼吸困难-焦虑-更呼吸困难”的恶性循环。水中环境带来的身心放松有助于打破这一循环,降低交感神经张力,使呼吸更容易回归平缓、自然的节律。当心理负担减轻后,康复者对自身身体状况的感知会更为积极,对进行康复训练的抵触与畏惧也会减少,这直接提升了治疗依从性——依从性是一切康复方案取得成功的先决条件。

此外,运动本身,无论介质如何,都能引发一系列有益的神经化学变化,包括内啡肽、血清素和多巴胺等神经递质水平的调节。这些变化不仅能进一步提升情绪,产生愉悦感,还能增强个体的心理韧性与应对挑战的能力。一个情绪稳定、心态积极的康复者更能坚持长期的康复计划,也更善于管理康复过程中遇到的起伏与困难。从整体机能角度看,良好的心理状态通过神经内分泌途径影响着免疫系统、睡眠质量与疼痛感知等多个方面。改善的睡眠有助于身体修复,优化的免疫调节可能降低再次感染的风险,而减轻的疼痛感知则能让康复者更耐受运动带来的不适,从而在安全范围内逐步增加训练强度。

因此,水中运动通过对神经心理状态的正面调节,不仅直接为呼吸功能的改善创造了平和的内环境,更是通过提升整体机能与康复信念,为肺功能长期、稳定的恢复铺设了宽广的道路,实现了身心同治的综合康复效果。

4.水中运动在新冠康复者肺功能恢复中的应用实践

4.1 适宜的水中运动形式与剂量参数

新冠康复者的肺功能恢复是一个渐进过程,因此水中运动处方的制定必须遵循个体化、循序渐进和精准监控的原则。在运动形式上,初期应以低强度、低冲击且易于控制节奏的活动为主。水中行走或慢跑是极佳的入门选择,康复者可在齐胸或齐腰深的水中,通过改变步速、步幅或增加手臂摆动幅度来调节强度,其核心价值在于利用水的浮力减轻负重,同时通过阻力维持足够的心肺刺激,为恢复基本运动耐量奠定基础。

随着功能改善,可引入更具整合性的水中健身操或水中太极,这些运动将柔和的肢体活动与呼吸控制相结合,要求康复者在完成伸展、划水等动作时协调呼吸节奏,有助于在不经意间实践并巩固腹式呼吸等技巧,提升呼吸肌的协调性与神经肌肉控制能力。对于具备一定体能的康复者,游泳是高效的综合训练方式,特

别是自由泳和仰泳,其身体呈水平位,有助于膈肌更自由地活动,且规律性的转头换气本身就是一种强化的呼吸模式训练。

此外,利用水中专用器械,如水中自行车、浮力哑铃或阻力带,可以进行针对性的上肢与核心肌群力量训练,强化辅助呼吸肌。关于剂量参数,频率上建议从每周2次开始,逐步增加至3-4次,以确保足够的刺激并留有恢复时间。每次运动时长初期可为20-30分钟,包含5-10分钟的热身(如池边拉伸、慢速行走)和整理活动,有效运动时间逐步延长至45-60分钟。运动强度的把控至关重要,由于水中环境对心率有特殊影响(水压和温度可能使心率低于陆地同等负荷),单纯依赖心率监测可能不准,因此推荐采用主观疲劳感觉量表(RPE,通常采用6-20分或0-10分制)进行监控。初始阶段,强度应维持在“有点吃力”(RPE 11-13分或4-5分)的范围内,以运动时能进行简短交谈、次日无过度疲劳感为宜。整个康复周期应持续至少8-12周,并依据定期(如每2-4周一次)的六分钟步行测试、肺功能评估以及患者主观感受进行动态调整。

4.2 康复实践中的风险评估与安全考量

将水中运动安全有效地应用于新冠康复者,严谨的风险评估与全过程的安全监护是不可或缺的。

在介入前,必须进行全面的医学筛查与评估。这包括详细回顾病史,明确有无未控制的高血压、严重心律失常、心力衰竭、活动性感染或皮肤破损等绝对或相对禁忌症。特别需要关注新冠感染可能遗留的心肌损伤(如心肌炎)、肺栓塞风险或显著的肺纤维化。

基础的体能和肺功能评估,如静息与运动状态下的血氧饱和度、心率、血压监测,以及肺活量、弥散功能检查,是制定安全起点的依据。运动过程中,持续的监护与适时的调整是关键。治疗师或康复指导人员应在场观察,密切留意康复者有无出现面色苍白、紫绀、过度气喘、眩晕、胸痛或难以忍受的咳嗽等症状。

血氧饱和度是重要的客观指标,应避免出现持续性的显著下降(如 SpO_2 低于90%或较基线下降超过4%)。水温需控制在32-35℃的舒适范围,过热可能增加心脏负荷,过冷则可能诱发肌肉痉挛或支气管痉挛。对于存在平衡障碍或恐惧心理的康复者,应提供浮力腰带等辅助设备,并在浅水区开始。必须制定清晰的应急预案,包括如何应对突发性呼吸困难、胸痛、晕厥等紧急情况,确保现场人员掌握基本

的急救技能。

此外,需向康复者进行充分的教育,使其理解运动中“倾听身体声音”的重要性,明白出现不适时应立即停止并报告,而非强行坚持。康复是一个动态过程,任何并发疾病、感染或功能状态的波动都可能需要临时调整或暂停水中训练计划。这种以安全为前提、以评估为导向的谨慎实践,是确保水中运动发挥其康复效益而不引发次生风险的基石。

5. 结论

水中运动通过其浮力、阻力与压力等多重物理特性的协同作用,构建了一个对新冠康复者极为友好的独特康复环境。其生理路径清晰,从直接优化心肺负荷与呼吸肌功能,到改善呼吸模式与机体代谢效率,再到调节神经心理状态以提升康复依从性,形成了多层次、全方位的肺功能促进网络。这一康复手段不仅安全有效,且能兼顾不同损伤程度康复者的个性化需求,在新冠后肺功能恢复的临床实践中展现出重要价值。未来研究应进一步聚焦于不同水中运动形式与强度的精准量化,以及长期随访中肺功能改善的持久性,以不断完善这一康复策略的科学基础与实践指南。

参考文献

- [1]张姗姗,刘国华,黄建安.长新冠呼吸系统后遗症的分子机制与精准干预研究进展[J].实用临床医药杂志,2025,29(18):142-148.
- [2]袁亚婷.慢性阻塞性肺疾病患者感染新型冠状病毒恢复后肺功能的变化研究[D].遵义医科大学,2025.DOI:10.27680/d.cnki.gzyyc.2025.000068.
- [3]吕旭杰,侯世伦.水中运动在心脏康复中的应用研究进展[C]//中国体育科学学会体能训练分会.第六届全国水基运动论坛暨第二届全国赛艇皮划艇高质量发展论坛论文集.北京体育大学,2025:279-288.DOI:10.26914/c.cnkihy.2025.048785.
- [4]陈鑫遥.医体融合肺康复模式对慢阻肺稳定期患者康复作用的临床研究[D].广州中医药大学,2024.DOI:10.27044/d.cnki.ggzuz.2024.000556.
- [5]陈雪雪,黑鹏.水中运动疗法对稳定期慢性阻塞性肺疾病患者的康复研究进展[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.西安体

育学院 ;,2022:463-465.DOI:10.26914/c.
cnkihy.2022.079316.

[6]胡嘉斌,危蕾,屠洪斌,等. 水中六字诀对慢性

阻塞性肺疾病稳定期患者的康复效果[J].
实用临床医药杂志,2021,25(10):45-47+61.