

国际功能、残疾和健康分类视域下环境调控技术在康复医学中的应用与展望

王婧荣¹, 叶子云¹, 卓秀建², 温优良¹, 肖燕平²

(1. 赣南医科大学康复学院; 2. 赣南医科大学第一附属医院, 江西 赣州 341000)

摘要: 随着医学模式向生物-心理-社会模式转型, 环境因素在康复中的作用日益凸显。本文基于世界卫生组织《国际功能、残疾和健康分类》理论框架, 阐述环境调控技术在康复医学中的应用和发展前景。环境调控技术通过集成智能传感、自动化控制与新型材料, 实现对声、光、温、湿、气味及空间布局等环境要素的精准干预。在临床应用方面, 环境调控技术在神经康复、骨科康复及昏迷促醒等领域展现出显著潜力, 临床应用包括通过节律性听觉刺激改善帕金森步态、利用多感官刺激促进意识恢复、构建安全物理环境以预防跌倒等。尽管目前面临技术标准缺失、评估工具不足及成本较高等挑战, 但通过推动环境调控技术向智能化、个性化及社区化方向发展, 将有效提升康复服务的精准性、人性化程度和覆盖范围, 引领康复医学迈向新发展阶段。

关键词: 环境调控技术; 康复医学; 昏迷促醒; 神经康复

中图分类号: R493 文献标志码: A 文章编号: 2097-7174(2026)01-0068-05

DOI: 10.3969/j.issn.2097-7174.2026.01.011

Application and prospect of environmental regulation technology in rehabilitation medicine from the perspective of ICF

WANG Jingrong¹, YE Ziyun¹, ZHUO Xiujian², WEN Youliang¹, XIAO Yanping²

(1. School of Rehabilitation, Gannan Medical University; 2. The First Affiliated Hospital of Gannan Medical University, Ganzhou, Jiangxi 341000)

Abstract: With the ongoing shift of medical models toward the biopsychosocial approach, the role of environmental factors in rehabilitation has become increasingly prominent. Based on the world health organization's international classification of functioning, disability and health (ICF) framework, this paper systematically reviews the application and development prospects of environmental regulation technology in rehabilitation medicine. By integrating intelligent sensing, automated control, and novel materials, environmental regulation technology enables precise modulation of environmental elements such as sound, light, temperature, humidity, odor, and spatial layout. Clinically, it has demonstrated significant potential in neurological rehabilitation, orthopedic rehabilitation, and disorders of consciousness awakening. Key applications include rhythmic auditory stimulation for improving gait in Parkinson's disease, multisensory stimulation protocols to facilitate recovery of consciousness, and the design of safe physical environments for fall prevention. Although current challenges include the lack of technical standards, insufficient assessment tools, and high costs, advancing environmental regulation technology toward intelligent, personalized, and community-based solutions is expected to enhance the precision, human-centeredness, and accessibility of rehabilitation services, thereby guiding rehabilitation medicine into a new developmental phase.

Key words: Environmental control technology; Rehabilitation medicine; Coma awakening; Neurological rehabilitation

康复医学的终极目标是最大限度恢复和发展个体的功能,使其重返社会。世界卫生组织提出的国际功能、残疾和健康分类(International classification

of functioning, disability and health, ICF)框架,打破了传统的疾病后果模型,建立了“生物-心理-社会”的现代医学模式,这一模式中,环境因素不仅被视为

通信作者:肖燕平,男,本科,副主任治疗师,硕士生导师,研究方向:神经康复及作业治疗。E-mail:869668220@qq.com

重要影响因素,更被确立为与身体功能、活动及参与并重的核心康复要素。既往康复治疗多聚焦于对患者个人功能进行干预,而环境作为影响患者心理与生理状态的重要变量,长期未得到系统化调节与有效利用。目前,环境调控技术融合智能传感、自动化控制与新型材料等科技,实现对声、光、温、湿、气味等环境要素的精准监测与动态干预,在农业、建筑业等多个领域展现出调控潜力。在此背景下,将环境调控技术引入康复医学应运而生。本文在界定其概念内涵的基础上,梳理该技术在神经康复、骨科康复及重症促醒等方面的应用路径,对未来智能化、个性化等发展路径进行展望,以期为推动康复医学的精准化、人性化发展提供理论参考和实践依据。

1 环境调控技术与ICF的理论联结

环境调控技术并非孤立的技术应用,其核心价值在于为ICF中的环境因素提供系统化、可操作的干预手段与实现路径。

环境调控技术是通过运用一系列的工程技术、物理方法以及智能化手段,对特定空间内的物理、化学、生物等环境因素进行精准调节与控制,以满足特定需求的技术体系^[1]。在康复医学领域,环境调控技术旨在创造一个有利于患者康复的最佳环境,涵盖了对温度、湿度、光照、声音、空气质量等物理环境因素,以及空间布局、色彩搭配、康复设备等空间环境因素的调控。通过系统干预与优化个体所处的物理、感官及人文社会环境,促进功能恢复,提升康复质量。

1.1 环境调控技术是对ICF环境因素的优化手段 环境调控技术可针对ICF中所界定的各类环境因素进行针对性优化。在自然环境与社会环境中有不同的调节需求,在建筑环境方面,通过智能温控技术,可调节室内温度,以适应不同个体的需求,特别是对于残疾人、老年人或患有特定疾病的人群,适宜的温度有助于他们更好地发挥身体功能。在自然环境方面,对于气候较为极端的地区,采用通风与空气净化技术,能改善室内空气质量,减少恶劣的自然环境对人体健康的影响,从ICF的理论上看,是让环境更加适合人类生活。

1.2 环境调控技术助力满足ICF对环境“无障碍”的要求 ICF强调环境应尽可能减少对个体活动和参与的限制,实现全方位的无障碍^[2]。这不仅包括

物理空间上的无障碍,如建筑物入口有无坡道、通道宽度是否合适等,还包括信息交流、社会参与等方面的无障碍。在物理空间方面,环境调控技术可通过智能建筑技术,实现自动门、升降电梯等设施的精准控制,方便行动不便者进出。在信息交流方面,借助多媒体技术、信息无障碍技术以及屏幕阅读器、手语翻译软件等设备的应用,为视力、听力障碍者提供获取信息的便利,这也是环境调控技术在信息环境层面的应用,有助于实现ICF所倡导的无障碍环境。

1.3 环境调控技术丰富了基于ICF的干预方式

ICF的推出,强调了环境因素对个体功能的影响^[3],其认为环境因素既可能成为促进个体功能发挥的有利条件,也可能转化为限制社会参与的障碍。良好的社会支持环境可增强个体康复信心,而恶劣的居住环境则可能加重残疾人的功能障碍。环境调控技术从多个维度对这些影响进行干预。通过虚拟现实(Virtual reality, VR)和增强现实(Augmented reality, AR)技术,为康复中的患者模拟不同的生活场景,帮助他们进行功能训练,这是对虚拟环境的调控,可促进个体功能恢复^[4]。同时,利用社交网络平台和远程医疗技术,为患者搭建与外界沟通的桥梁,改善其社会环境,增强社会支持,从而对个体功能产生积极影响。

1.4 环境调控技术推动ICF环境因素评估的发展

准确评估ICF环境因素对了解个体与环境的互动关系、制定个性化干预方案至关重要。评估内容包括环境因素对个体功能的促进或阻碍程度、个体与环境的相互作用等^[5]。环境调控技术的发展为评估提供了更精准的工具和方法。监测系统可实时监测环境中的温度、湿度、光照等物理参数,结合个体在该环境下的生理和行为数据,更准确地评估环境因素对个体功能的影响^[6]。同时,大数据分析技术可整合大量个体与环境交互的数据,为环境因素评估提供更全面、深入的视角,推动ICF环境因素评估方法的不断完善。

2 环境调控技术的临床应用现状

环境调控技术已在多个康复亚专业展现出应用潜力。

2.1 神经康复中的应用 在神经康复领域,环境调控主要通过精细化调节感官输入来促进神经可塑性与功能重组。

2.1.1 温度与光照调控的应用 研究表明,低温可能会影响神经传导速度,而高温可能导致神经组织代谢加快,加重损伤^[7-8]。通过空调系统等设备将康复环境温度保持在亚低温,可以保护患者的脑组织,控制细胞代谢,降低机体耗氧量,促进神经细胞的恢复^[9]。合适的光照可调节患者的生物钟,改善睡眠障碍,提高睡眠质量^[10-11]。

2.1.2 声音调控的应用 噪音会干扰患者的休息和康复训练,而适当的音乐刺激则可促进神经功能恢复^[12]。对于存在运动启动困难与步态异常的帕金森病患者,节奏性听觉刺激已成为标准的辅助疗法。在临床训练中,治疗师根据患者的目标步频播放节拍器或具有强节奏感的音乐,利用听觉-运动通路,可即时性增加患者步幅、改善步态对称性,并降低“冻结步态”的发生频率^[13]。

2.1.3 空间环境调控的应用 为脑外伤患者构建一个清晰、结构化且标识明确的物理环境,已被证实有助于减轻其在脑损伤后出现的空间定向障碍和激越行为,增强定向能力,从而为开展认知康复奠定基础^[14]。研究表明,空间色彩对患者的心理感受和生理反应也有显著影响^[15]。

2.2 骨科康复中的应用 在骨科康复中,环境调控的重点在于营造安全且舒适的物理环境,从而直接促进组织愈合、预防并发症,并确保康复过程的安全。

2.2.1 温度与湿度调控的应用 适宜的环境温度、湿度等可使患者机体处于舒适状态,有利于血液循环、新陈代谢等生理过程的正常进行,从而促进受损组织和器官的修复与再生。许伟才^[16]研究指出,骨折康复中,合适的温度能改善局部血液循环,加快骨折愈合。徐娜娜等^[17]研究认为,湿性愈合可维持创面湿度,促进创面愈合。对于下肢骨折术后或关节置换后的患者,病房环境的动态温度、湿度控制是标准护理的一部分。临床实践表明,将室温维持在24~26℃、相对湿度控制在50%~60%,不仅能有效缓解术后疼痛感,还能通过促进末梢血液循环来降低深静脉血栓的发生风险,从而为早期下地活动创造条件^[18]。

2.2.2 空气质量调控的应用 针对因长期卧床而处于高感染风险的骨科重症患者(如高位脊髓损伤者),配备空气净化与通风系统的一体化病房,已成为预防医院获得性肺炎的关键设施。临床数据显示,该环境调控方案能显著降低病区内可吸入颗粒物

浓度与病原微生物载量,从而直接降低患者呼吸道感染的发生率^[19]。

2.2.3 空间环境调控的应用 在骨科康复病房中,系统性环境改造是预防跌倒风险的关键环节。其核心措施包括将病床调至最低高度、在通道及卫生间安装连续扶手,以及全面铺设防滑地板等。一项回顾性分析证实,实施这些措施后,住院患者的跌倒发生率显著下降,保障了康复进程的连续性与安全性^[20]。

2.3 重症康复 在重症康复领域,特别是针对意识障碍患者,环境调控技术旨在通过提供系统性的感官刺激并调节生理节律,促进大脑网络整合,从而支持意识水平的恢复。

2.3.1 多感官刺激环境应用 多感官刺激为昏迷促醒的核心环境干预手段。临床采用序贯性多感官刺激方案,即按照一定的顺序(如听觉-触觉-视觉-嗅觉)和时长,为患者提供具有个人意义的、非过载的刺激。如播放亲属的呼唤录音、进行轻柔的肢体按摩、展示熟悉的家庭照片、引入患者偏好的食物气味等。研究显示,此类个体化的系统刺激,相较于杂乱无章的环境,能更有效地提高患者的JFK昏迷恢复量表评分,并诱发出更多的目标导向性行为(如视觉追踪、指令执行等),为意识恢复创造契机^[21]。

2.3.2 环境节律模拟应用 意识障碍患者的内在生物钟常严重紊乱。通过模拟自然昼夜的光照周期(日间使用高照度、高色温的冷白光,夜间切换为低照度、低色温的暖黄光甚至黑暗)并结合规律性的声音环境管理(日间有治疗性谈话和自然声音,夜间保持静谧),可以帮助重建其睡眠-觉醒周期。研究表明,稳定的环境节律不仅能改善患者的各项生理指标,更是促进意识恢复的重要基础^[22]。

2.3.3 人文环境调控应用 人文环境作为非物理性环境调控的重要形式,强调通过对家属与医护人员进行系统性培训,构建一个充满关怀、积极沟通的社交微环境,具体措施包括鼓励亲属在床旁进行情感倾诉,以及引导医护人员在操作前给予充分解释与亲切呼唤等。尽管这类干预的效果难以量化,但它被普遍认为能有效减轻患者的孤立感、提供持续的情感支持,并可能通过激活与意识状态相关的边缘系统网络,在促醒过程中发挥关键的协同作用^[22]。

3 当前挑战与局限

环境调控技术虽展现出广阔的应用前景,但在其康复领域的规模化应用仍面临诸多挑战。

3.1 技术标准与证据体系不完善 目前缺乏针对不同病种、不同功能状态的最佳环境参数(如光照强度、声音分贝等)标准,且大多数应用仍基于小样本研究,缺乏高级别的循证医学证据。

3.2 评估与干预脱节 如何将环境调控的效果有效量化并纳入ICF核心组合的评估体系,尚缺乏成熟的工具和方法,导致“评估-干预-再评估”的闭环难以形成。

3.3 成本与可及性 智能环境控制系统虽技术先进,但因成本较高,在基层医疗机构与社区家庭中的普及受到限制,可能进一步加剧康复资源配置的不均衡现象。

4 未来展望

为克服当前局限,充分发挥环境调控技术的潜力,未来发展可以从以下方面着力。

4.1 智能化与个性化 传感器技术不断发展,可更精准、实时地监测患者心率、血压、肌肉电活动等生理指标,系统根据这些数据自动调整康复环境和治疗方案^[23]。借助VR、AR技术,依据患者的兴趣、康复需求和病情,定制个性化的康复训练场景,提高患者参与度和训练效果。

4.2 多学科融合 推动康复医学与建筑学、工程学、信息科学、心理学等学科的深度融合,协同研发人性化与智能化的环境调控解决方案。如针对神经损伤患者,结合脑机接口技术,根据大脑神经信号调整康复环境刺激,促进神经功能恢复。与工程学领域的协同创新,尤其是通过机械工程、电子工程等学科的技术融合,可为环境调控技术提供更先进的硬件支持,从而研发出更智能、便捷、高效的康复设备和环境调控系统。

4.3 社区与居家康复拓展 开放低成本、模块化、易操作的家用环境调控产品和服务,通过物联网、移动互联网等技术,将专业康复机构的环境调控技术延伸到社区和家庭。患者在家中就能接受远程康复指导和环境监测,医师根据患者数据远程调整康复环境参数和治疗计划。为患者的居家环境配备智能温湿度调节、照明控制、安全监测等系统,打造舒适、安全、便捷的康复环境,降低患者康复成本,提高生活质量^[24]。

4.4 评估与干预一体化 研发与ICF评估框架紧密衔接的环境调控疗效评定工具。借助大数据分析 with 人工智能算法,可对患者在康复环境中的生理、行为等多维数据进行实时分析与综合评估,从而及时发现康复过程中的异常情况与潜在风险。根据评估结果,环境调控系统自动、动态地调整康复环境和治疗方案,实现评估与干预的无缝衔接,提高康复效果和效率。

4.5 人文关怀与心理康复强化 运用色彩疗法、香薰疗法、音乐疗法等,营造温馨、舒适、愉悦的康复氛围,缓解患者的焦虑、抑郁等负面情绪,促进心理康复^[25]。通过社交网络平台、智能通信设备等,为患者搭建与家人、朋友、病友交流的平台,增加患者的社会支持,改善心理状态,助力康复。

5 小结

环境调控技术凭借工程技术、物理方法及智能化手段,实现对特定空间内多类环境因素的精准把控。在康复医学领域,它全方位调控物理与空间环境因素,致力于打造最优康复环境。其应用不仅是ICF理念的具体实践,更彰显了环境因素作为康复要素的核心价值。在ICF框架下,环境调控技术已超越单纯的康复辅助背景,成为连接个体功能与环境因素、推动康复模式从“修复身体”向“优化交互”转变的核心驱动力。通过深化其理论内涵、夯实临床证据并突破技术瓶颈,该技术有望最终实现ICF所倡导的全人群功能健康与充分参与的目标。

所有作者均声明不存在利益冲突关系。

参考文献:

- [1] 刘昌清,王文渊,王丽萍. 植物工厂生菜生长环境调控技术及其实施方法与应用案例[J]. 数字农业与智能农机, 2024(2):67-69.
- [2] 周姊毓,李颖. ICF理念下残疾人职业能力评估探析[J]. 现代特殊教育, 2019(20):66-70.
- [3] Rosenbaum P, Stewart D. The World Health Organization international classification of functioning, disability, and health: a model to guide clinical thinking, practice and research in the field of cerebral palsy [J]. Semin Pediatr Neurol, 2004, 11(1):5-10.
- [4] 刘叶,陈迪,秦晴,等. 虚拟现实技术在脑卒中康复中应用的文献计量分析[J]. 中国康复理论与实践, 2024, 30(12):1407-1419.
- [5] 邵明璐,孟宪忠,华靖,等. 针刺夹脊穴联合心脏康复

- 用于冠心病PCI术后患者疗效观察[J]. 现代中西医结合杂志, 2024, 33(6): 778-784.
- [6] 李迪, 陈香敏, 陈耀宗, 等. 面向卧床康复患者的物联网智能监测系统[J]. 电脑知识与技术, 2024, 20(10): 113-115.
- [7] 胡晓越, Kawabata T. 超低温冷疗对高温高湿环境下运动后人体体温调节及心血管系统机能恢复的影响[J]. 中国体育科技, 2024, 60(11): 72-80.
- [8] 王旭伟, 崔改琴, 程斌. 邵氏无痛手法联合中药塌渍、牵引治疗神经根型颈椎病49例疗效观察[J]. 中国民族民间医药, 2024, 33(13): 92-95.
- [9] 张晓阳. 亚低温联合依达拉奉治疗急性脑梗死的效果[J]. 临床医学, 2022, 42(10): 53-55.
- [10] 刘婷, 于佳琪, 张爽. 鄂尔多斯宜居宜游宜养气候特征及优势分析[J]. 内蒙古科技与经济, 2024(23): 102-105.
- [11] 孟雨萌, 张遥迟, 雷莉, 等. 光照在睡眠障碍治疗中的应用[J]. 神经解剖学杂志, 2024, 40(2): 251-256.
- [12] 刘渊, 王平. 五行音乐联合刺五加中药对睡眠剥夺模型大鼠睡眠记忆及肠道微生态的影响[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2025, 27(2): 573-580.
- [13] 张玉阁, 张通, 刘丽旭. 节奏性听觉刺激对脑卒中偏瘫患者步态的效果[J]. 中国康复理论与实践, 2016, 22(9): 999-1003.
- [14] 龚江涛, 初梦迪, 李金, 等. 智能家居场景下的非接触式生理感知计算[J]. 包装工程, 2022, 43(16): 10-26.
- [15] 徐群鸽, 樊玥玥, 吴玉燕, 等. 基于色彩心理学理念的系统化护理模式对脑胶质瘤患者心理及生存质量的影响[J]. 中国临床研究, 2024, 37(12): 1969-1974.
- [16] 许伟才. 温度对骨折愈合的影响及潜在机制的研究[D]. 汕头: 汕头大学, 2019.
- [17] 徐娜娜, 李露佳, 梁雪景. 湿性愈合理念在软组织缺损患者术后创面管理中的应用[J]. 中国医疗美容, 2024, 14(12): 101-104.
- [18] 宋驰, 王泽宇, 杜崇利, 等. 尺动脉皮瓣修复口腔颌面部软组织缺损[J]. 中国修复重建外科杂志, 2024, 38(9): 1098-1104.
- [19] 芦德玲, 王岩, 董英俊, 等. 2008年住院患者医院感染的分析与对策[J]. 中华医院感染学杂志, 2009, 19(21): 2841-2843.
- [20] 郭蕾, 袁昕. 老龄化背景下城市社区养老公共服务空间设计[J]. 上海包装, 2025(7): 114-116.
- [21] 阮青青, 乔增勇, 戴勇. 数字孪生技术在心脏射频消融术中的应用进展[J]. 手术电子杂志, 2024(4): 44-47.
- [22] 晋琅, 康晓刚. 急慢性意识障碍患者睡眠电生理研究进展[J]. 现代电生理学杂志, 2024, 31(2): 125-129.
- [23] 邱继文, 夏青, 房钰鑫, 等. 传感器在康复医学中的应用现状研究[J]. 康复学报, 2017, 27(3): 61-65.
- [24] 赵春宇. 如何帮助衰弱的脑卒中患者运动[J]. 人人健康, 2024(29): 76-77.
- [25] 吴晓敏, 余小锋, 马振宇. 中西医结合康复理念在慢性疾病管理中的应用[J]. 中医药管理杂志, 2022, 30(21): 183-185.

(收稿: 2025-02-26) (修回: 2025-10-09)

(责任编辑: 睦荣燕)