

慢性非特异性腰背痛的预防性康复治疗研究进展

徐露, 肖登*

重庆医科大学附属大学城医院康复医学科, 重庆

收稿日期: 2025年11月23日; 录用日期: 2025年12月18日; 发布日期: 2025年12月24日

摘要

慢性腰痛(Chronic low back pain, CLBP)是骨科与康复科的常见病之一, 根据病因可分为慢性特异性腰痛(Chronic specific low back pain, CSLBP)和慢性非特异性腰痛(Chronic nonspecific low back pain, CNLBP), 其中CNLBP占CLBP的85%左右。初次发作的腰痛患者中, 高达60%~80%会在一年内复发, 不仅严重影响患者的生活质量, 还会导致患者工作能力丧失, 增加家庭和社会的经济负担。因此CNLBP的管理持续成为研究热点, 涵盖预防、诊断和治疗。现代人对健康的追求不断提高, 预防性康复治疗逐渐成为新兴热点, 其手段通常是安全无创的, 并能带来长期可持续的益处。本文从运动疗法、营养干预、睡眠优化以及充分应用可穿戴医疗设备方面对CNLBP的预防措施作一综述, 以期为潜在腰痛患者的自我健康管理提供一定参考。

关键词

慢性非特异性腰痛, 运动疗法, 营养干预, 睡眠优化, 可穿戴医疗设备

Research Advances in Preventive Rehabilitation Treatment for Chronic Nonspecific Low Back Pain

Lu Xu, Deng Xiao*

Department of Rehabilitation Medicine, University-Town Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: November 23, 2025; accepted: December 18, 2025; published: December 24, 2025

Abstract

Chronic low back pain (CLBP) is one of the most common conditions in orthopedics and

*通讯作者。

文章引用: 徐露, 肖登. 慢性非特异性腰背痛的预防性康复治疗研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(12): 2542-2548.
DOI: 10.12677/acm.2025.15123686

rehabilitation medicine. Based on etiology, it can be classified into chronic specific low back pain (CSLBP) and chronic nonspecific low back pain (CNLBP). CNLBP accounts for approximately 85% of CLBP cases. Among patients experiencing their first episode of low back pain, as many as 60% to 80% will experience recurrence within one year. This not only severely impacts patients' quality of life but also leads to loss of work capacity, increasing the economic burden on families and society. Therefore, the management of CNLBP continues to be a research hotspot, encompassing prevention, diagnosis, and treatment. With modern society's increasing emphasis on health, preventive rehabilitation therapy has emerged as a new focus. These approaches are typically safe, non-invasive, and deliver long-term, sustainable benefits. This article reviews preventive measures for CNLBP through exercise therapy, nutritional intervention, sleep optimization, and the comprehensive use of wearable medical devices, aiming to provide guidance for potential low back pain patients in self-health management.

Keywords

Chronic Nonspecific Low Back Pain, Exercise Therapy, Nutritional Intervention, Sleep Optimization, Wearable Medical Devices

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

慢性非特异性腰背痛(Chronic nonspecific low back pain, CNLBP)是发生在腰椎、腰骶部的一组以疼痛为主的综合征, 目前是指排除可识别的特定病理(如感染、肿瘤、骨质疏松症、腰椎骨折、结构畸形、炎症性疾病、神经根综合征或马尾综合征)后仍出现超过 3 个月的腰痛, 尚无 CNLBP 的明确病因和发病机制, 多数学者认为与遗传、外伤、炎症介质、压力及内分泌有关[1]。有文献指出, 80%的成年人在一生的不同时期都会出现下腰痛, 腰痛已成为全球活动受限和工作缺勤的首要原因, 也是全球人口致残的重要原因[2][3]。在急性期疼痛初步控制后或首次腰痛发作后的缓解期, 是启动预防性康复的黄金窗口。此时组织修复在进行, 神经系统可塑性强, 更容易建立正确的运动模式和习惯, 预防疼痛慢性化效果最佳, 以达到帮助患者尽早恢复、回归社会的目的。

2. 运动疗法

在 NICE 指南中, 推荐以运动疗法作为保守治疗核心部分的综合治疗方案, 并将手法治疗和心理治疗作为该方案的辅助部分[4]。主动功能锻炼对于慢性腰背痛患者是一种积极有效的方法, 不但可以从疗效、复发周期及发作持续时间方面加以改善, 更为重要的是极大增强了患者主动参与社会实践的能力[5]。

常见的运动疗法包含躯干协调性、力量和耐力训练及神经肌肉控制训练, 主要目的是改善脊柱稳定性, 纠正腰椎力学变化, 达到减轻腰痛症状的作用。普拉提、瑜伽、麦肯基是国外常见的体育锻炼项目, 且广泛地应用在运动康复领域。Cherie Wells 等[6]纳取 14 个随机对照试验, 结果显示, 与常规护理和身体活动相比, 普拉提运动治疗慢性下腰痛患者在短期(4 至 15 周)内的疼痛和功能能力方面具有显著的疗效优势。还有一些研究[7][8]在运动干预后进行了随访, 发现普拉提运动对慢性下腰痛患者的疗效在 12 个月的随访期内仍然维持。Zhu 等[9]通过检索 2019-2020 年的在线数据库中评估瑜伽对慢性腰痛患者疼痛、残疾和生活质量影响的随机对照试验, 发现与非运动治疗相比瑜伽可从短期到中期减少疼痛, 从短期到长期改善功能障碍, 但在身体和精神生活质量上没有明显的差异。麦肯基疗法由新西兰物理治疗师

罗宾·麦肯基于 20 世纪 50 年代创立,核心理念是通过特定的运动和姿势训练来缓解腰痛,主要包括俯卧、俯卧伸展、卧位伸展、站立伸展等动作训练。研究显示,麦肯基疗法能够有效缓解腰椎间盘突出症患者的腰痛,恢复或重建患者的腰椎功能,提高患者的生活质量[10]。

近年来,循证医学研究不断证实,源于我国传统医学的太极拳、八段锦与五禽戏,在腰痛的综合管理与初级预防方面展现出显著的防治功效。核心肌群中深层的腹横肌像腰带一样环绕腹部,稳定腹内压,太极拳“气沉丹田”与“含胸塌腰”的动作要领要求习练者时刻保持核心微微收紧的状态,这实际上就是在持续、低强度地激活腹横肌,从而建立起稳固的“发力源”。冯春霞等[11]的研究发现长期练习太极拳有助于减轻下腰痛,对改善患者生活质量有一定帮助。八段锦运动融合多种运动要素,如力量训练、身体重心调节、肢体多方位转换等内容,强调“以腰为轴”,可拔伸脊柱,疏通腰部经络,起到“濡筋骨而利关节”的作用[12]。如“摇头摆尾去心火”动作中,包含大幅度脊柱前屈、侧屈和环转,对竖脊肌进行了较好的离心和向心收缩训练。王阳[13]通过研究发现长期八段锦训练可增强竖脊肌下段、多裂肌、腹直肌下段、腹外斜肌的肌肉力量和耐力。五禽戏是东汉末年著名的医学家华佗仔细观察虎、鹿、猿、熊、鸟等动物的活动姿态进而创作的一套养生健身功法,其中大量的弓步、单腿独立姿势,可显著改善髂腰肌的柔韧性和功能。Yao 等[14]在对患者五禽戏干预后进行较长时间随访,发现患者不仅疼痛减轻,睡眠质量也有所改善,肌肉力量也有一定提高,证明与一般运动相比,在疼痛强度和生活质量方面,五禽戏对 CNLBP 有较好的效果。

目前研究尚未明确何种运动方式对慢性非特异性腰痛患者的疗效最具优势。尽管中西医运动疗法的形式与侧重点存在差异,但其核心机制均是通过主动训练恢复并增强深层稳定肌群的运动控制能力,进而提升机体的协调性和脊柱稳定性[15]。此类疗法因便于操作、形式多样且成本效益高的特点,已获得国内外指南与专家共识的广泛推荐。然而,针对不同运动疗法的疗效比较,现有证据仍不足以得出明确结论。

3. 营养干预

许多学者提出将精准营养策略应用于多种慢性疾病的预防和管理[16]。慢性非特异性腰痛常伴随局部炎症微环境的持续存在,突出的椎间盘组织释放大量炎性介质,地中海饮食因其综合抗炎效应和改善代谢健康的能力,被推荐为腰痛管理的首选膳食模式,以新鲜水果和蔬菜、鱼类、豆类、坚果、橄榄油为主,富含健康脂肪酸和抗氧化剂,并尽量减少不健康食物[17]。研究表明,地中海饮食可以显著改变肠道微生物组结构,与炎症反应相关的菌群丰度下降[18]。唐月红等[19]研究发现地中海饮食模式与渐进式抗阻及有氧训练联合干预能够改善老年肌少症患者躯体功能,提升患者肌肉力量、营养水平和生活质量。

过度体重特别是腹部肥胖显著增加腰椎机械负荷,加速椎间盘退变和关节退化。研究发现,肥胖患者椎间盘退变速度较正常体重者快 30%以上[20]。同时,胰岛素抵抗状态会促进晚期糖基化终末产物积累,影响细胞外基质及酶合成,降低椎间盘组织的弹性和修复能力[21]。研究表明,动脉粥样硬化是连接肥胖与腰椎间盘退变的一个潜在中介机制。肥胖可促使动脉粥样硬化发生,进而削弱对椎间盘的血流灌注与营养支持,最终加速其退行性变[22]。此外,肥胖被视为一种系统性炎症疾病,能够显著提升白细胞介素(IL)-1、肿瘤坏死因子(TNF)- α 等多种炎性因子水平。这种慢性炎症状态可能驱动了腰椎间盘退变的病理进程,但二者间的确切因果联系目前仍未明确[23]。营养干预通过控制能量摄入、优化宏量营养素比例,鼓励摄入高蛋白、低升糖指数碳水、健康脂肪和增加膳食纤维,实现减重和代谢改善,减轻腰椎机械压力。

腰背部肌肉的持续紧张状态还可诱发氧化应激反应,产生大量活性氧自由基,损伤神经细胞膜和线粒体功能。抗氧化营养素如维生素 C、维生素 E 及植物多酚等可通过激活 Nrf2 抗氧化通路,增强机体清除自由基的能力,保护神经细胞免受氧化损伤[24]。白藜芦醇是一种天然的多酚类化合物,广泛存在于葡萄皮、花生等植物中,能够降低丙二醛、4-羟基壬烯酸和 8-羟基脱氧鸟苷的水平,并提高机体谷胱甘肽

过氧化物酶和过氧化氢酶等抗氧化酶活性, 最终减少氧化应激[25]。在骨质疏松引起的腰痛中, 椎体压缩性骨折和肌肉减少症引起的脊柱稳定性下降是重要原因。钙、维生素 D、维生素 K2、镁等营养素协同维持骨密度, 而优质蛋白质是肌肉合成与修复的基本原料。汪元浚等[26]研究证明采取综合营养干预措施, 可明显提高老年原发性骨质疏松患者的骨密度, 对预防和改善老年原发性骨质疏松有重要意义。综上所述, 坚持抗炎抗氧化的饮食模式可能会对 CNLBP 的疾病活动性、临床症状及预后产生有益的影响。

营养干预通过多靶点作用, 包括抗炎、抗氧化、护骨、强肌、控制体重, 为腰痛的预防及进展延缓提供了安全有效的策略。尽管营养干预在腰痛管理中展现出广阔前景, 现有研究仍存在明显局限。多数研究样本量小、随访时间短, 研究间干预方案, 如剂量、剂型、持续时间差异显著, 难以进行荟萃分析, 成功实施营养干预需要个体化考量。

4. 睡眠优化

睡眠障碍主要包括睡眠中的异常活动、失眠、嗜睡和睡眠-觉醒障碍, 与炎症因子的释放密切相关, 而炎症反应可导致神经病理性疼痛的感知增加, 并促进疼痛信号的传导, 降低对疼痛的耐受性及疼痛阈值[27] [28], 也会增加焦虑和抑郁的发生风险, 从而更易引起或加剧躯体的疼痛。日本一项针对 2059 例 CLBP 患者长达 3 年的随访调查显示, 有睡眠障碍的患者 CLBP 发生率为 39.2%, 明显高于无睡眠障碍的患者(20.6%), 且前者从 CLBP 中恢复的概率更低[29]。超过 45% 的慢性腰痛患者同时存在睡眠障碍, 这种共病关系并非单向影响, 而是互为因果, 形成一种自我强化的恶性循环。

睡眠障碍患者群体呈现出显著的临床三联征: 疼痛强度加剧、功能受限加重及焦虑抑郁等共病心理负担。多导睡眠图(PSG)客观数据揭示, 慢性疼痛患者相较于健康人群存在四大特征性睡眠异常: 入睡潜伏期延长、睡眠效率下降、夜间觉醒频率增加以及总睡眠时间缩减。更具机制提示意义的是, 健康受试者在实验性睡眠剥夺后激活下丘脑-垂体-肾上腺轴(HPA 轴), 导致皮质醇水平升高, 放大疼痛信号, 出现痛阈显著降低与自发疼痛强度上升, 这直接印证了睡眠质量与疼痛神经生物学机制间的因果关联[30]。

睡眠障碍的治疗方法主要包括认知治疗、药物治疗等。失眠认知行为疗法(CBT-I)是一种针对失眠的非药物心理治疗方法, 被美国睡眠医学会推荐为慢性失眠的一线治疗方案。其通过改变患者的睡眠认知和行为习惯, 以重建健康的睡眠模式[31]。常用的药物包括褪黑素及催眠类药物。褪黑素可恢复昼夜节律和正常睡眠, KURGANOVA 等[32]采用褪黑素治疗 CLBP 患者, 研究证实, 该干预不仅具有镇痛效应, 还能显著改善共病睡眠障碍及抑郁等合并症的疼痛患者的睡眠质量。GOFORTH 等[33] 通过一项纳入 52 例 CLBP 伴睡眠障碍患者的随机、双盲对照试验发现, 右佐匹克隆联合止痛药物可显著改善睡眠时间与疼痛评分, 表明疼痛评分与睡眠时间显著相关, 右佐匹克隆可在改善睡眠障碍的同时有效缓解疼痛。CBTI 联合药物可以帮助患者更好地控制失眠, 改善整体睡眠健康状况[34]。

目前对睡眠障碍伴 CNLBP 的研究多以主观评分为主, 今后为获得更加准确的数据信息, 应开展多中心前瞻性队列研究, 实现对睡眠结构与疼痛通路的多维客观量化, 以期为疾病预防和治疗带来新的可能, 也为止痛药物和助眠药物的改进提供新的思路。

5. 可穿戴医疗设备

穿戴式设备是基于可穿戴技术和互联网技术, 以头、腕部、脚等为支撑, 对人们日常穿戴进行智能化配置, 实现用户信息数据的采集、分析, 拓展用户感知能力的一种设备[35]。可穿戴式医疗设备与传统医疗设备相比, 具有重量轻、可移动、远程及动态监测的优势, 逐渐应用于临床实践。常用的监测数据包括体温、血压、心率、血氧饱和度及心电信号等, 其数据监测的科学性和实用性得到了广泛认可[36] [37], 潜移默化地引导用户形成更健康的生活方式, 在慢性腰痛的预防和管理中正成为循证医学支持的新工具。

现代生活节奏加速, 长期维持站姿或坐姿的职业性工作模式, 构成一种持续的静态负荷, 易引发腰背部肌肉骨骼系统的功能紊乱。从生物力学视角看, 这种状态导致身体前侧屈肌与后侧伸肌的协调性被破坏, 核心稳定肌群功能被抑制, 而表浅肌群则代偿性过度紧张, 最终引发持续性疼痛与功能活动障碍[38]。Shanmugam 等[39]开发了一种由微型陀螺仪和加速度传感器组成的可穿戴式腰椎自主运动检测装置, 该系统由振动器、蓝牙元件、微控制器和 Android 应用程序组成, 用户可将设备佩戴于腰部或置于上衣口袋中。其内置的震动马达能够识别出持续的静态姿势或不当动作, 并即时发出触觉反馈, 以警示用户及时调整体态, 从而避免不良姿势的维持与重复。长期使用可显著减少椎间盘压力峰值, 形成自动化姿势控制, 降低腰痛复发风险。

研究表明, 通过监测日常活动量结合人工智能算法, 设备可生成个体化运动处方, 有效解决了运动不足致功能退化与运动过度诱发疼痛的矛盾, 减少疼痛发作频率[40]。Perotti 等[41]探究应用超声成像设备实时反馈腰痛患者核心肌群激活状态, 增加锻炼的趣味性和动力, 有利于帮助患者掌握难以感知的深层肌肉收缩技巧, 从而提升康复效果, 延长疼痛复发时间。

可穿戴医疗设备通过对数据进行记录、储存及呈现, 进而对早期腰痛患者进行个体化评估, 通过实时生物反馈、数据驱动决策及行为干预促进医疗健康模式向预防保健、健康管理模式的更快转变[42]。然而, 这种便利也伴随着潜在的健康焦虑, 数据的精准度、专业度, 用户的使用率、依从性, 以及涉及的隐私、安全、伦理问题, 设备的舒适性及使用寿命等问题仍然存在[43]。

6. 综合预防策略与展望

CNLBP 的预防需从单一因素干预转向多维度协同策略, 其核心在于把握运动、营养与睡眠等因素间的相互作用机制。规律运动不仅通过增强核心肌群稳定性改善脊柱力学环境, 还能有效调节睡眠结构, 延长深度睡眠时间。而充足的睡眠既为运动后组织修复创造条件, 又能通过神经内分泌调节提高疼痛耐受性。在营养层面, 优质蛋白质为肌肉合成提供必需原料, 膳食抗氧化成分则有助于清除因运动产生的过量活性氧, 维持氧化还原平衡。基于此, 我们构建了一个三层递进的整合性预防理论模型: 在基础层面, 通过抗炎饮食与规律运动协同调节内在生理环境; 在功能层面, 利用高质量睡眠促进组织修复与疼痛调节; 在行为层面, 通过姿势矫正与核心肌群训练增强脊柱稳定性。这一模型的确立, 为开发基于可穿戴设备的动态监测与即时反馈系统提供了理论依据, 使针对不同风险模式的精准预防成为可能。

根据《“健康中国 2030”规划纲要》, 我们应该坚持预防为主、防治结合的核心战略, 腰痛作为全球首要致残因素, 临床治疗现状不佳, 缺乏专业的针对性治疗和健康指导, 导致部分患者以消极的方式应对, 极大降低了日常生活和工作能力。本文将康复视角前移, 通过介绍增加锻炼、优化营养及睡眠、应用可穿戴医疗设备等方法, 强调预防性康复和健康生活方式作为慢性腰痛治疗基石的重要性。未来需要进行长期的对照研究, 以确认其中的因果关系和潜在的介导途径, 从而确定控制 CNLBP 疾病活动度和进展的最佳综合方案。

参考文献

- [1] Chenot, J., Greitemann, B., Kladny, B., Petzke, F., Pfingsten, M. and Schorr, S.G. (2017) Non-Specific Low Back Pain. *Deutsches Ärzteblatt International*, **114**, 883-890. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2017.0883>
- [2] Maher, C., Underwood, M. and Buchbinder, R. (2017) Non-Specific Low Back Pain. *The Lancet*, **389**, 736-747. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(16\)30970-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(16)30970-9)
- [3] Chen, S., Chen, M., Wu, X., Lin, S., Tao, C., Cao, H., et al. (2021) Global, Regional and National Burden of Low Back Pain 1990-2019: A Systematic Analysis of the Global Burden of Disease Study 2019. *Journal of Orthopaedic Translation*, **32**, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.jot.2021.07.005>
- [4] de Campos, T.F. (2017) Low Back Pain and Sciatica in over 16s: Assessment and Management NICE Guideline [ng59].

- Journal of Physiotherapy*, **63**, Article 120. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2017.02.012>
- [5] 邹荣琪, 郭黎, 王大安, 等. 运动疗法结合脉冲短波治疗运动员慢性下腰痛的疗效[J]. 中国临床研究, 2022, 35(6): 819-822+827.
 - [6] Wells, C., Kolt, G.S., Marshall, P., Hill, B. and Bialocerkowski, A. (2014) The Effectiveness of Pilates Exercise in People with Chronic Low Back Pain: A Systematic Review. *PLOS ONE*, **9**, e100402. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100402>
 - [7] Rydeard, R., Leger, A. and Smith, D. (2006) Pilates-Based Therapeutic Exercise: Effect on Subjects with Nonspecific Chronic Low Back Pain and Functional Disability: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, **36**, 472-484. <https://doi.org/10.2519/jospt.2006.2144>
 - [8] Cruz-Díaz, D., Martínez-Amat, A., Osuna-Pérez, M.C., De la Torre-Cruz, M.J. and Hita-Contreras, F. (2016) Short- and Long-Term Effects of a Six-Week Clinical Pilates Program in Addition to Physical Therapy on Postmenopausal Women with Chronic Low Back Pain: A Randomized Controlled Trial. *Disability and Rehabilitation*, **38**, 1300-1308. <https://doi.org/10.3109/09638288.2015.1090485>
 - [9] Zhu, F., Zhang, M., Wang, D., Hong, Q., Zeng, C. and Chen, W. (2020) Yoga Compared to Non-Exercise or Physical Therapy Exercise on Pain, Disability, and Quality of Life for Patients with Chronic Low Back Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *PLOS ONE*, **15**, e0238544. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238544>
 - [10] 李永杰, 杨贝贝. 麦肯基疗法治疗腰椎间盘突出症疗效的 Meta 分析[J]. 华南国防医学杂志, 2020, 34(2): 129-135.
 - [11] 冯春霞, 刘传勤. 体医融合背景下国内太极拳干预慢性疾病的研究进展[J]. 当代体育科技, 2022, 12(35): 115-118.
 - [12] 陈子怡, 刘保光, 杨雨欣, 等. 体医融合视域下八段锦临床研究进展[J]. 中国中医药现代远程教育, 2024, 22(20): 188-191.
 - [13] 王阳. 八段锦训练对健康大学生腰腹部核心肌群表面肌电信号的影响性研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 湖北中医药大学, 2021.
 - [14] Yao, C., Li, Z., Zhang, S., Wu, Z., Zhu, Q. and Fang, L. (2020) Effects of Wuqinxi in the Patients with Chronic Low Back Pain: A Randomized Controlled Trial. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, **2020**, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2020/1428246>
 - [15] 王瑞, 王雪强. 基于循证实践的腰痛康复治疗国际指南解读与启示[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(12): 1464-1469.
 - [16] Wang, D.D. and Hu, F.B. (2018) Precision Nutrition for Prevention and Management of Type 2 Diabetes. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, **6**, 416-426. [https://doi.org/10.1016/s2213-8587\(18\)30037-8](https://doi.org/10.1016/s2213-8587(18)30037-8)
 - [17] 郭姜伶, 郭琪, 韩佩佩, 等. 地中海饮食模式对肌少症影响的研究进展[J]. 护理研究, 2023, 37(8): 1401-1404.
 - [18] Ghosh, T.S., Rampelli, S., Jeffery, I.B., Santoro, A., Neto, M., Capri, M., et al. (2020) Mediterranean Diet Intervention Alters the Gut Microbiome in Older People Reducing Frailty and Improving Health Status: The NU-AGE 1-Year Dietary Intervention across Five European Countries. *Gut*, **69**, 1218-1228. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2019-319654>
 - [19] 唐月红, 游靓, 彭瑛, 等. 地中海饮食模式联合渐进式抗阻及有氧训练对老年肌少症患者躯体功能、肌肉力量、营养水平的影响[J]. 中国当代医药, 2025, 32(4): 170-173.
 - [20] Wong, C.K., Mak, R.Y., Kwok, T.S., Tsang, J.S., Leung, M.Y., Funabashi, M., et al. (2022) Prevalence, Incidence, and Factors Associated with Non-Specific Chronic Low Back Pain in Community-Dwelling Older Adults Aged 60 Years and Older: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Journal of Pain*, **23**, 509-534. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2021.07.012>
 - [21] Francisco, V., Pino, J., González-Gay, M.Á., Lago, F., Karppinen, J., Tervonen, O., et al. (2022) A New Immunometabolism Perspective of Intervertebral Disc Degeneration. *Nature Reviews Rheumatology*, **18**, 47-60. <https://doi.org/10.1038/s41584-021-00713-z>
 - [22] 李怀智, 陈兴莹, 冯美晨, 等. 绝经后 2 型糖尿病患者颈动脉粥样硬化斑块与骨密度、髌部几何结构的相关性[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2020, 13(2): 116-125.
 - [23] 达逸峰, 王志浩, 郑文凯, 等. 炎症因子及信号通路在腰椎退行性疾病中的研究进展[J]. 中华骨科杂志, 2020, 40(9): 597-606.
 - [24] Tan, Y., Peng, L., Wen, L.Y., et al. (2022) Correlations of Inflammatory Cytokines in the Intestinal Mucosa, Serum Inflammation, Oxidative Stresses and Immune Changes with Vitamin Deficiency in Ulcerative Colitis Patients. *Cellular and Molecular Biology*, **68**, 101-106. <https://doi.org/10.14715/cmb/2022.68.7.17>
 - [25] 陈俊, 贾绍辉, 郭成根, 等. 白藜芦醇延缓运动性疲劳的作用与机制[J]. 中国组织工程研究, 2025, 29(29): 6285-6294.

- [26] 汪元浚, 杨发满, 李蓉, 等. 综合营养干预措施对老年原发性骨质疏松患者骨密度的影响[J]. 中国老年学杂志, 2012, 32(4): 727-728.
- [27] Alsaadi, S.M., McAuley, J.H., Hush, J.M., Bartlett, D.J., Henschke, N., Grunstein, R.R., *et al.* (2013) Detecting Insomnia in Patients with Low Back Pain: Accuracy of Four Self-Report Sleep Measures. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **14**, Article No. 196. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-14-196>
- [28] Skarpsno, E.S., Mork, P.J., Marcuzzi, A., Lund Nilsen, T.I. and Meisingset, I. (2021) Subtypes of Insomnia and the Risk of Chronic Spinal Pain: The HUNT Study. *Sleep Medicine*, **85**, 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2021.06.029>
- [29] Yabe, Y., Hagiwara, Y., Sekiguchi, T., Sugawara, Y., Tsuchiya, M., Yoshida, S., *et al.* (2022) Association between Sleep Disturbance and Low Back Pain. *Spine*, **47**, 361-368. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000004234>
- [30] Finan, P.H., Goodin, B.R. and Smith, M.T. (2013) The Association of Sleep and Pain: An Update and a Path Forward. *The Journal of Pain*, **14**, 1539-1552. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2013.08.007>
- [31] 龚珏如, 黄庆玲, 邓平, 等. 基于认知行为疗法的自我睡眠管理改善慢性失眠的临床初探[J]. 中风与神经疾病杂志, 2024, 41(3): 215-218+289.
- [32] Kurganova, Y.M. and Danilov, A.B. (2017) Melatonin in the Treatment of Low Back Pain and Predictors of Its Efficacy. *Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii im. S.S. Korsakova*, **117**, 49-54. <https://doi.org/10.17116/jnevro201711710149-54>
- [33] Goforth, H.W., Preud'homme, X.A. and Krystal, A.D. (2014) A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial of Eszopiclone for the Treatment of Insomnia in Patients with Chronic Low Back Pain. *Sleep*, **37**, 1053-1060. <https://doi.org/10.5665/sleep.3760>
- [34] Sateia, M.J., Buysse, D.J., Krystal, A.D., Neubauer, D.N. and Heald, J.L. (2017) Clinical Practice Guideline for the Pharmacologic Treatment of Chronic Insomnia in Adults: An American Academy of Sleep Medicine Clinical Practice Guideline. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, **13**, 307-349. <https://doi.org/10.5664/jcsm.6470>
- [35] 刘俊英, 于雅凝, 路萍, 等. 可穿戴医疗设备在康复医学科住院患者护理管理中的应用价值研究[J]. 中国医学装备, 2021, 18(11): 162-165.
- [36] 魏奕星, 邓朝华. 可穿戴医疗设备在医疗健康领域的应用综述[J]. 中国数字医学, 2019, 14(12): 22-25.
- [37] 何龙龙, 黄国志. 可穿戴设备在脑卒中患者康复评定中的应用进展[J]. 中国康复医学杂志, 2020, 35(2): 224-227.
- [38] Wong, M.L., Anderson, R.G., Garcia, K., Housmann, E.M., McHale, E., Goldberger, G.S., *et al.* (2017) The Effect of Inspiratory Muscle Training on Respiratory Variables in a Patient with Ankylosing Spondylitis: A Case Report. *Physiotherapy Theory and Practice*, **33**, 805-814. <https://doi.org/10.1080/09593985.2017.1346023>
- [39] Shanmugam, M., Nehru, S. and Shanmugam, S. (2018) A Wearable Embedded Device for Chronic Low Back Patients to Track Lumbar Spine Position. *Biomedical Research*, **2**, 118-123. <https://doi.org/10.4066/biomedicalresearch.29-17-1304>
- [40] Vlaeyen, J.W.S., Crombez, G. and Linton, S.J. (2016) The Fear-Avoidance Model of Pain. *Pain*, **157**, 1588-1589. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000574>
- [41] Perotti, L., Stamm, O., Mesletky, L., Vorwerg, S., Fournelle, M. and Müller-Werdan, U. (2023) Needs and Attitudes of Older Chronic Back Pain Patients towards a Wearable for Ultrasound Biofeedback during Stabilization Exercises: A Qualitative Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **20**, Article 4927. <https://doi.org/10.3390/ijerph20064927>
- [42] 刘永凯, 孙坤, 史文飞, 等. 一种基于可穿戴设备和智能手机的呼吸监测系统[J]. 北京生物医学工程, 2019, 38(4): 417-423.
- [43] Alahmri, F., Nuhmani, S. and Muaidi, Q. (2025) Effectiveness of Telerehabilitation on Chronic Low Back Pain: Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Medical Informatics*, **206**, Article 106174. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2025.106174>