

· 综述 ·

# 基于功能性 RMI 技术 探讨推拿治疗慢性腰痛中枢效应的研究进展

吕涵哲<sup>1</sup>, 周星辰<sup>1</sup>, 吴双<sup>2</sup>, 利涛<sup>2</sup>, 沈颖<sup>1</sup>, 张子瑜<sup>2</sup>, 盛威<sup>2</sup>, 王炳豪<sup>1</sup>, 吕智桢<sup>3</sup>, 吕立江<sup>3</sup>

(1. 浙江中医药大学第三临床医学院, 浙江 杭州 310053;

2. 浙江中医药大学附属第三医院, 浙江 杭州 310005;

3. 浙江中医药大学推拿/脊柱病研究所, 浙江 杭州 310053)

**摘要** 推拿作为传统中医外治法, 治疗慢性腰痛疗效确切, 但其镇痛的中枢效应尚未完全明确, 特别是缺乏客观的神经生物学证据。功能性 MRI (functional MRI, fMRI) 具有无创性和高空间分辨率等特点, 已成为研究推拿镇痛中枢效应的重要工具。本文概述了与慢性腰痛相关的 fMRI 技术, 从默认模式网络、疼痛矩阵及下行疼痛调制系统等方面梳理了基于 fMRI 技术探讨推拿治疗慢性腰痛中枢效应的相关研究, 并初步探讨了基于 fMRI 技术的慢性腰痛推拿治疗方案, 为慢性腰痛推拿疗法的推广应用提供了科学依据。

**关键词** 腰痛; 慢性疼痛; 推拿疗法; 镇痛; 中枢效应; 功能性磁共振成像; 综述

慢性腰痛是一种以腰骶部疼痛为主要表现, 症状持续或反复发作超过 3 个月的临床综合征<sup>[1]</sup>。推拿作为传统中医外治法, 其治疗慢性腰痛的有效性已在临床中得到证实<sup>[2-4]</sup>。然而, 目前推拿镇痛的中枢效应尚未完全明确, 特别是缺乏客观的神经生物学证据。功能性 MRI (functional MRI, fMRI) 具有无创性和高空间分辨率等特点<sup>[5]</sup>, 已被广泛应用于镇痛效应的相关研究中, 是研究推拿镇痛中枢效应的理想工具。我们系统梳理了基于 fMRI 技术探讨推拿治疗慢性腰痛中枢效应的相关研究, 以为慢性腰痛推拿疗法的推广应用提供科学依据。

## 1 与慢性腰痛相关的 fMRI 技术

fMRI 是在常规磁共振成像基础上发展起来的一种新的成像技术。fMRI 是揭示推拿治疗慢性腰痛中枢效应的重要工具, 常用技术路径包括静息态 fMRI 和任务态 fMRI, 前者在静息条件下评估自发神经活动与网络耦合, 后者在特定运动或疼痛相关刺激条件下解析诱发激活与调控模式。与推拿治疗慢性腰痛中枢效应研究相关的 fMRI 指标主要有低频振幅、区域一致性、功能连接及图论指标, 其中低频振幅用于

量化局部自发活动强度, 区域一致性反映局部时间同步性, 功能连接表征跨脑区信号协同, 图论指标用于量化整体网络拓扑与信息整合能力<sup>[6]</sup>。

## 2 推拿治疗慢性腰痛的中枢效应

近年来, 基于 fMRI 的研究初步表明, 慢性腰痛患者在默认模式网络 (default mode network, DMN)、疼痛矩阵及下行疼痛调制系统 (descending pain modulatory system, DPMS) 等方面存在异常改变<sup>[7-8]</sup>, 而推拿治疗可在上述层面诱发可塑性重构, 并伴随患者疼痛及功能障碍改善<sup>[9]</sup>。因此, 我们将主要从上述 3 个方面梳理基于 fMRI 技术探讨推拿治疗慢性腰痛中枢效应的相关研究。

### 2.1 抑制 DMN 过度活动

DMN 是大脑在静息状态下高度活跃的功能网络, 主要包括内侧前额叶皮质、后扣带回、楔前叶和角回等区域, 涉及自我相关思维、注意内省和情绪调节等功能<sup>[10]</sup>。在慢性疼痛状态下, DMN 的功能连接常出现异常, 被认为与疼痛的持久化密切相关。Ng 等<sup>[11]</sup>对慢性腰痛患者进行了静息态 fMRI 扫描, 发现其后扣带回与角回之间的功能连接明显减弱, 提示慢性疼痛可能削弱了 DMN 在整合内外信息中的协同调控能力; 此外, 该研究还初步探讨了 DMN 连接异常与疼痛灾难化倾向之间的关系, 但未发现明显关联。Heukamp 等<sup>[12]</sup>通过一项大样本研究发现, DMN 多个区域之间的连接强度 (包括后扣带回与内侧前额叶皮

基金项目: 国家自然科学基金项目 (8247151032, 82274672, 82305426); 浙江省名老中医专家传承工作室建设项目 (GZS2021026); 浙江省自然科学基金项目 (LQ23H270010)

通讯作者: 吕立江 E-mail: lvlijiang0288@163.com

质,以及后扣带回与角回之间)与腰痛所致残疾生存年数呈明显负相关。这表明,长期疼痛暴露可能持续损害自我参照网络的功能整合能力。需要注意的是,DMN 连接异常除与疼痛持续时间有关外,还与性别存在一定关联。Hidalgo-lopez 等<sup>[13]</sup>基于对 684 例多部位疼痛青少年患者的 fMRI 分析发现,女性患者 DMN 与奖赏网络之间的功能连接强度降低,而且这一变化与睡眠障碍及情绪问题显著相关。

基于前期研究,Zhou 等<sup>[14]</sup>对以慢性腰痛为主要表现的椎间盘突出症患者实施推拿治疗,并基于图论分析评估了推拿对 DMN 的调节作用;结果显示,推拿组患者右侧角回与左侧中眶回之间的功能连接增强,而与右侧额中回之间的连接减弱,表现出典型的“DMN-背侧注意网络”重塑现象;此外,该研究结果还显示,右侧角回的功能连接变化与疼痛视觉模拟量表评分及日本骨科学会评分改善程度呈明显正相关。这表明,推拿可通过促进 DMN 与注意网络之间的功能平衡,实现对慢性腰痛的中枢调控,即经过推拿治疗后,患者 DMN 过度活动得到抑制、DMN 与外向型注意网络的交互增强,从而减少对内在痛觉的过度关注。此外,一项关于动态功能连接的研究发现,慢性腰痛患者 DMN 与疼痛矩阵之间的功能连接呈现出高频、短暂且不稳定的“碎片化”模式,其连接状态的持续时间明显短于健康对照组<sup>[7]</sup>。另一项研究进一步证实,推拿可有效调控此类异常动态连接模式<sup>[15]</sup>。这为“推拿干预—动态功能连接稳定性增强—疼痛即时缓解”这一潜在机制提供了神经动力学层面的证据。

由此可见,DMN 功能失衡可能是导致慢性腰痛患者疼痛持久化的原因之一,而推拿治疗则可能通过调节 DMN 功能,促进大脑内在网络间正常协同模式的恢复,从而缓解疼痛。

## 2.2 调节疼痛矩阵关键脑区之间的功能连接

疼痛矩阵是指一组在伤害性刺激和疼痛体验中反复被激活的脑区集合,主要包括初级躯体感觉皮质、次级躯体感觉皮质、岛叶皮质、前扣带回、前额叶皮质与丘脑等,这些脑区协同参与疼痛的感觉辨别、情绪反应与认知评估过程,被视作疼痛感知与调控的神经基础<sup>[16]</sup>。慢性腰痛患者疼痛矩阵相关脑区常存在结构和功能异常。Baliki 等<sup>[17]</sup>采用 fMRI 研究发现,慢性腰痛患者在进行与疼痛相关的认知任务时,

其前扣带回与前岛叶皮质激活增强,提示该区域可能在情绪调节与疼痛记忆中发挥重要作用。Seminowicz 等<sup>[18]</sup>在此基础上观察到,慢性腰痛患者的初级和次级躯体感觉皮质的体感重组现象与疼痛持续时间密切相关,表现为功能连接增强及皮质区边界模糊,提示疼痛矩阵在慢性疼痛中具有可塑性。

关于推拿对疼痛矩阵的调节作用,已有初步影像学证据。Zhang 等<sup>[19]</sup>利用静息态 fMRI 比较了推拿治疗前后慢性腰痛患者的脑活动变化,发现在岛叶皮质、前扣带回、初级和次级躯体感觉皮质等疼痛相关脑区的低频振幅和局部一致性发生明显改变,其中部分脑区低频振幅下降、局部一致性增加;据此研究者认为,推拿可能降低这些区域的异常兴奋,增强局部神经元群的同步性,从而减轻疼痛感知。此外,Isenburg 等<sup>[20]</sup>发现,推拿治疗后慢性腰痛患者右侧岛叶皮质与背外侧前额叶皮质之间的功能连接增强,而且该变化与患者疼痛视觉模拟量表评分的改善呈正相关。这提示,推拿可通过强化疼痛矩阵中情绪模块和认知模块的交流,增强对痛觉的抑制。进一步的研究也表明,推拿治疗可在感觉-运动网络与边缘系统之间诱发广域功能耦合增强,并伴随疼痛、情绪、睡眠质量及整体生活质量的全面提升,提示推拿具有跨网络神经可塑性调节潜力<sup>[21]</sup>。

由此可见,慢性腰痛患者的疼痛矩阵通常处于高度敏化与功能重组状态,而推拿治疗能够有效调节这种异常的中枢活动,其作用可能包括:降低痛觉相关脑区的过度兴奋性、促进躯体感觉皮质中体感表征的正常化并稳定其局部神经同步性,以及增强情绪-认知脑区对疼痛信号的调控能力。尽管其具体机制尚需进一步阐明,但这些神经影像学发现为阐释推拿治疗慢性腰痛的中枢效应提供了直观且重要的实证依据。

## 2.3 激活 DPMS

DPMS 是中枢神经系统调节疼痛感知的重要神经机制,其核心结构包括前额叶皮质、前扣带回、中脑导水管周围灰质(periaqueductal gray matter, PAG)及延髓头端腹内侧区(rostral ventromedial medulla, RVM)<sup>[22]</sup>等。DPMS 通过抑制脊髓背角的伤害性感受信息传入,实现对外周疼痛信号的调节与抑制,在慢性疼痛的发生与维持中发挥关键作用<sup>[23]</sup>。慢性腰痛患者常存在 DPMS 受损的情况。Yu 等<sup>[24]</sup>采用静息

态 fMRI 研究发现,慢性腰痛患者 PAG 与前额叶皮质之间的功能连接明显减弱,提示慢性疼痛可能通过削弱中枢抑制系统增强疼痛感知。Ossipov 等<sup>[25]</sup>发现,慢性疼痛患者的 DPMS 功能受损,导致疼痛信号调控失衡。Mao 等<sup>[26]</sup>基于动态因果建模分析发现,杏仁核和前额叶皮质之间的连接减弱与疼痛情绪维度显著相关。

在推拿镇痛的中枢效应研究中,DPMS 被视为关键通路之一。Gay 等<sup>[27]</sup>对腰痛患者施以整脊手法、脊柱活动术、治疗性触摸等手法,fMRI 结果显示治疗后患者后岛叶皮质与 PAG 之间的连接明显增强,且这种变化与患者疼痛评分的降低呈负相关,提示推拿可能通过调节 DPMS 的关键节点发挥镇痛作用。值得注意的是,DPMS 的效能除依赖于其关键节点的激活外,还受到内源性阿片样肽与患者正向期望的共同调控。Crawford 等<sup>[28]</sup>通过 fMRI 研究发现,当受试者预期疼痛缓解时,其 PAG-RVM 功能连接增强,且变化幅度与疼痛强度下降显著相关。Ellingsen 等<sup>[29-30]</sup>在研究中观察到,通过手法刺激结合患者对镇痛的正向预期,可显著激活前额叶皮质-PAG 通路,从而减轻由于运动诱发的疼痛恐惧和防御性紧张反应。Schenk 等<sup>[31]</sup>利用 fMRI 研究了高期望和低期望条件下推拿对疼痛的影响,结果表明高期望条件对于疼痛缓解可起到促进作用。该机制被认为是治疗慢性疼痛的一种“认知门控”模式。对于推拿疗法而言,治疗过程中医患良好互动、患者信任和放松等因素也可能通过类似机制提升镇痛效果。内源性阿片样肽是 DPMS 的重要介质之一,当 PAG 等被激活时,会释放脑啡肽等物质,在脊髓水平抑制疼痛信号传递<sup>[22,32]</sup>。推拿可能正是通过调控这些内在镇痛相关物质而产生镇痛作用。

由此可见,慢性腰痛患者 DPMS 功能低下是其疼痛持续的原因之一,而推拿能够增强大脑对疼痛的“抑制性输出”,重建从皮层到脊髓的疼痛控制回路,实现主动的疼痛抑制。但推拿对 DPMS 的具体调节机制目前尚不明确,不同脑区在其中的因果关系也有待厘清。未来可结合图论分析和动态因果建模等方法对推拿刺激下 DPMS 各节点的交互作用进行深入研究,从而更加精准地阐明推拿镇痛的中枢效应。

#### 2.4 其他中枢效应

除上述异常外,慢性腰痛患者还存在顶叶-边缘

网络及额-枕网络等边缘环路的连接异常<sup>[33]</sup>,这些区域多涉及空间注意、情绪调节及疼痛预期。因此,针对推拿与边缘环路之间的激活关系的研究,可能是今后推拿镇痛中枢效应研究的新思路和方向。此外,小脑作为疼痛调控与情绪-运动整合的重要节点,在探讨推拿治疗慢性腰痛的中枢效应时亦不可忽视。Zhang 等<sup>[34]</sup>的研究发现,慢性腰痛患者的小脑后叶与感觉-运动网络之间的功能连接明显减弱,而该指标与主观疼痛强度呈正相关。这一发现提示,小脑-皮层通路功能障碍可能是慢性腰痛持续化和姿势-步态代偿的神经基础;推拿治疗可能通过脊髓-小脑-皮层环路实现一体化调节,具体包括强化感觉-运动网络与前额叶、顶叶注意网络的功能耦合,增强 DPMS 的抑制性输出,从而促进疼痛与功能的协同改善。

### 3 基于 fMRI 技术的慢性腰痛推拿治疗方案

基于 fMRI 所揭示的脑网络异常,可为慢性腰痛患者提供个体化治疗方案。当患者以 DMN 功能失衡为主要表现时,宜采用低至中等强度、节律性放松手法进行治疗,并配合疼痛科学教育与节律性呼吸训练,从而缓解疼痛灾难化倾向,降低内感受性放大效应<sup>[35]</sup>。当患者表现出显著的疼痛矩阵特征时,建议采取分区递进式治疗策略,结合限幅关节松动技术,并融入感觉-运动整合再训练(如闭链稳定性训练及低负荷本体感觉任务),宜采用短时高频治疗模式,从而促进体感皮层表征的重建<sup>[36]</sup>。若 fMRI 提示 DPMS 功能低下,宜在患者可耐受范围内逐步增加手法治疗强度,并配合治疗期望引导和放松训练;必要时可联合低强度有氧运动、针刺或经皮神经电刺激等辅助干预,以协同募集和强化内源性镇痛机制。建议治疗 2~3 次后进行静息态 fMRI 复评,将 DMN 过度活动回落、岛叶皮质和前扣带回信号下降、初级和次级躯体感觉皮质的区域一致性趋稳、感觉-运动网络与前额叶皮质协同增强、PAG 通路强化视为早期影像学改善的参考指标。对于发生影像学改善者,可进入剂量上调阶段,并逐步延长治疗间隔以巩固疗效;对于未改善者,应根据检查结果调整手法参数或联合其他干预措施,同时强化对患者的依从性管理与安全边界管理,以提升治疗效果。

### 4 小结

近年来,fMRI 技术的应用为揭示推拿治疗慢性腰痛的中枢效应提供了新的研究视角与方法支持。

现有证据表明,推拿可能通过抑制 DMN 的过度活动、调节疼痛矩阵关键脑区之间的功能连接,以及激活 DPMS,发挥中枢镇痛作用。然而,目前该领域的研究仍存在若干问题,包括临床研究方法学质量参差不齐、推拿手法缺乏统一标准、安全性监测体系不完善及长期随访数据匮乏等,这些问题制约了推拿在国际医学界的应用推广。未来研究应致力于开展大规模、多中心、高质量的随机对照试验,推进推拿手法的标准化与规范化,构建客观、系统的疗效评价体系;同时,应加强治疗的安全性监测与长期效应随访,进一步深入探讨推拿治疗慢性腰痛的中枢效应及其生物学基础,从而推动推拿疗法向科学化、规范化的方向发展。

### 参考文献

- [1] MA K, ZHUANG Z G, WANG L, et al. The Chinese Association for the Study of Pain (CASP): consensus on the assessment and management of chronic nonspecific low back pain[J]. *Pain Res Manag*, 2019, 2019: 8957847.
- [2] 林乐颖. 推拿疗法对比运动疗法治疗慢性非特异性下腰痛疗效的贝叶斯网络 Meta 分析[D]. 北京: 北京中医药大学, 2024.
- [3] ZHOU X, MA Q, YANG J, et al. Clinical outcome measures reporting in randomized trials evaluating Tuina therapy for chronic nonspecific low back pain: a systematic review[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2023, 102(16): e33628.
- [4] YANG J, ZHOU X, MA Q, et al. Efficacy and safety of Tuina for chronic nonspecific low back pain: a PRISMA-compliant systematic review and meta-analysis[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2023, 102(9): e33018.
- [5] 周星辰, 吕智桢, 吴双, 等. 基于“按之快然”点按力敏舒快态委中穴对腰椎间盘突出症患者的即刻功能脑网络研究[J]. *中国中西医结合杂志*, 2024, 44(7): 814 - 820.
- [6] CANARIO E, CHEN D, BISWAL B. A review of resting-state fMRI and its use to examine psychiatric disorders[J]. *Psychoradiology*, 2021, 1(1): 42 - 53.
- [7] LIU H, WAN X. Alterations in static and dynamic functional network connectivity in chronic low back pain: a resting-state network functional connectivity and machine learning study[J]. *Neuroreport*, 2025, 36(7): 364 - 377.
- [8] TU Y, FU Z, MAO C, et al. Distinct thalamocortical network dynamics are associated with the pathophysiology of chronic low back pain[J]. *Nat Commun*, 2020, 11(1): 3948.
- [9] FAN N, CHEN J, ZHAO B, et al. Neural correlates of central pain sensitization in chronic low back pain: a resting-state fMRI study [J]. *Neuroradiology*, 2023, 65(12): 1767 - 1776.
- [10] AZARIAS F R, ALMEIDA G, DE MELO L F, et al. The journey of the default mode network: development, function, and impact on mental health [J]. *Biology (Basel)*, 2025, 14(4): 395.
- [11] NG S K, URQUHART D M, FITZGERALD P B, et al. Examining resting-state functional connectivity in key hubs of the default mode network in chronic low back pain [J]. *Scand J Pain*, 2021, 21(4): 839 - 846.
- [12] HEUKAMP N J, MOLIADZE V, MISIC M, et al. Beyond the chronic pain stage: default mode network perturbation depends on years lived with back pain [J]. *Pain*, 2025, 166(1): 160 - 170.
- [13] HIDALGO-LOPEZ E, SMITH T, ANGSTADT M, et al. Sex, neural networks, and behavioral symptoms among adolescents with multisite pain [J]. *JAMA Netw Open*, 2025, 8(4): e255364.
- [14] ZHOU X C, WU S, WANG K Z, et al. Default mode network and dorsal attentional network connectivity changes as neural markers of spinal manipulative therapy in lumbar disc herniation [J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 29541.
- [15] CHEN X M, WEN Y, CHEN S, et al. Traditional Chinese manual therapy (Tuina) reshape the function of default mode network in patients with lumbar disc herniation [J]. *Front Neurosci*, 2023, 17: 1125677.
- [16] 王锡友. 推拿治疗疼痛研究的机遇与挑战 [J]. *北京中医药*, 2024, 43(7): 714 - 718.
- [17] BALIKI M N, CHIALVO D R, GEHA P Y, et al. Chronic pain and the emotional brain: specific brain activity associated with spontaneous fluctuations of intensity of chronic back pain [J]. *J Neurosci*, 2006, 26(47): 12165 - 12173.
- [18] SEMINOWICZ D A, DAVIS K D. A re-examination of pain-cognition interactions: implications for neuroimaging [J]. *Pain*, 2007, 130(1/2): 8 - 13.
- [19] ZHANG B, JUNG M, TU Y, et al. Identifying brain regions associated with the neuropathology of chronic low back pain: a resting-state amplitude of low-frequency fluctuation study [J]. *Br J Anaesth*, 2019, 123(2): e303 - e311.
- [20] ISENBURG K, MAWLA I, LOGGIA M L, et al. Increased salience network connectivity following manual therapy is associated with reduced pain in chronic low back pain patients [J]. *J Pain*, 2021, 22(5): 545 - 555.
- [21] HAAVIK H, NIAZI I K, AMJAD I, et al. Neuroplastic responses to chiropractic care: broad impacts on pain, mood,

- sleep, and quality of life [J]. *Brain Sci*, 2024, 14 (11): 1124.
- [22] PINTO M, CASTRO A R, TSHUDY F, et al. Opioids modulate pain facilitation from the dorsal reticular nucleus [J]. *Mol Cell Neurosci*, 2008, 39 (4): 508 - 518.
- [23] FIELDS H. State-dependent opioid control of pain [J]. *Nat Rev Neurosci*, 2004, 5 (7): 565 - 575.
- [24] YU S, LI W, SHEN W, et al. Impaired mesocorticolimbic connectivity underlies increased pain sensitivity in chronic low back pain [J]. *Neuroimage*, 2020, 218: 116969.
- [25] OSSIPOV M H, MORIMURA K, PORRECA F. Descending pain modulation and chronification of pain [J]. *Curr Opin Support Palliat Care*, 2014, 8 (2): 143 - 151.
- [26] MAO C P, YANG H J, YANG Q X, et al. Altered amygdala-prefrontal connectivity in chronic nonspecific low back pain: resting-state fMRI and dynamic causal modelling study [J]. *Neuroscience*, 2022, 482: 18 - 29.
- [27] GAY C W, ROBINSON M E, GEORGE S Z, et al. Immediate changes after manual therapy in resting-state functional connectivity as measured by functional magnetic resonance imaging in participants with induced low back pain [J]. *J Manipulative Physiol Ther*, 2014, 37 (9): 614 - 627.
- [28] CRAWFORD L S, MILLS E P, HANSON T, et al. Brainstem mechanisms of pain modulation: a within-subjects 7T fMRI study of placebo analgesic and nocebo hyperalgesic responses [J]. *J Neurosci*, 2021, 41 (47): 9794 - 9806.
- [29] ELLINGSEN D M, NAPADOW V, PROTSSENKO E, et al. Brain mechanisms of anticipated painful movements and their modulation by manual therapy in chronic low back pain [J]. *J Pain*, 2018, 19 (11): 1352 - 1365.
- [30] ELLINGSEN D M, WESSBERG J, EIKEMO M, et al. Placebo improves pleasure and pain through opposite modulation of sensory processing [J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2013, 110 (44): 17993 - 17998.
- [31] SCHENK L A, SPRENGER C, GEUTER S, et al. Expectation requires treatment to boost pain relief: an fMRI study [J]. *Pain*, 2014, 155 (1): 150 - 157.
- [32] BAGLEY E E, INGRAM S L. Endogenous opioid peptides in the descending pain modulatory circuit [J]. *Neuropharmacology*, 2020, 173: 108131.
- [33] HUANG Z, TAN H, FU Y, et al. Neurotransmitter imbalance and amygdala synaptic plasticity in lumbar disc herniation-induced chronic pain and related emotional disturbances: a multi-omics analysis [J]. *Neuropharmacology*, 2025, 271: 110405.
- [34] ZHANG S, ZHANG G, BAO S, et al. Resting-state functional connectivity of the cerebellum in patients with chronic low back pain [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2025, 104 (3): 257 - 263.
- [35] JONES S A, MORALES A M, HOLLEY A L, et al. Default mode network connectivity is related to pain frequency and intensity in adolescents [J]. *Neuroimage Clin*, 2020, 27: 102326.
- [36] BAGG M K, WAND B M, CASHIN A G, et al. Effect of graded sensorimotor retraining on pain intensity in patients with chronic low back pain: a randomized clinical trial [J]. *JAMA*, 2022, 328 (5): 430 - 439.

(收稿日期: 2025-04-24 本文编辑: 李晓乐)

(上接第 26 页)

- [30] KAMILU SULAIMAN S, WONG A, LIANGCHI LI L, et al. The use of mobile health technology in the management of osteoarthritis: a scoping review with scientometric analyses [J]. *Int J Med Inform*, 2023, 170: 104937.
- [31] 刘茜, 邱梦思, 张含之, 等. 基于信息化的社区骨关节炎患者多学科管理模式构建及应用研究 [J]. *中国全科医学*, 2022, 25 (25): 3171 - 3177.
- [32] 中国老年保健协会骨关节分会. 早期膝骨关节炎诊断与非手术治疗指南 (2024 版) [J]. *中华医学杂志*, 2024, 104 (31): 2895 - 2909.
- [33] 梁明, 魏珍, 谢荣, 等. 虚拟现实技术改善脑卒中患者平衡与步行功能的系统评价 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2020, 42 (7): 632 - 639.
- [34] DE FAZIO R, MASTRONARDI V M, DE VITTORIO M, et al. Wearable sensors and smart devices to monitor rehabilitation parameters and sports performance: an overview [J]. *Sensors (Basel)*, 2023, 23 (4): 1856.
- [35] 刘芳明, 石秀秀, 唐冲, 等. 骨科康复患者对数字疗法应用的知晓度和需求度: 一项基于 928 份问卷调查结果分析 [J]. *中华临床医师杂志 (电子版)*, 2024, 18 (7): 654 - 661.
- [36] VILLIGER M, LIVIERO J, AWAI L, et al. Home-based virtual reality-augmented training improves lower limb muscle strength, balance, and functional mobility following chronic incomplete spinal cord injury [J]. *Front Neurol*, 2017, 8: 635.
- [37] 膝骨关节炎运动治疗临床实践指南编写组. 膝骨关节炎运动治疗临床实践指南 [J]. *中华医学杂志*, 2020, 100 (15): 1123 - 1129.

(收稿日期: 2025-06-30 本文编辑: 李晓乐)