

数字疗法在慢性疼痛诊疗中的应用进展

季和宇, 崔旭蕾, 黄宇光

中国医学科学院北京协和医院麻醉科, 北京 100730

通信作者: 崔旭蕾, E-mail: cuixulei10685@pumch.cn

【摘要】慢性疼痛具有发病率高、迁延难愈的特点, 不仅严重困扰着患者, 其临床治疗亦面临巨大挑战。数字疗法 (digital therapeutics, DTx) 是一种由软件程序驱动, 以循证医学证据为基础的新兴治疗方法, 可基于数字化网络为患者提供个体化疾病管理策略, 在提高治疗依从性的同时, 为临床收集相关数据提供了诸多便利, 为慢性疼痛的治疗提供了新思路和发展方向。本文围绕 DTx 在慢性疼痛诊疗中的应用进展作一综述, 以期为临床进行慢性疼痛管理提供借鉴。

【关键词】数字疗法; 慢性疼痛; 虚拟现实技术; 网络平台

【中图分类号】 R441.1 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-9081(2023)05-1046-07

DOI: 10.12290/xhyxzz.2023-0086

Recent Advances of Digital Therapeutics in Treatment of Chronic Pain

Ji Heyu, Cui Xulei, HUANG Yuguang

Department of Anesthesiology, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100730, China

Corresponding author: CUI Xulei, E-mail: cuixulei10685@pumch.cn

【Abstract】Chronic pain is characterized by a high incidence and persistent, challenging recovery. It not only significantly troubles patients but also poses substantial challenges for clinical treatment. Digital therapeutics (DTx), an emerging evidence-based therapeutic approach by software programs, provides individualized disease management strategies for patients through digital networks. DTx enhances treatment adherence and facilitates data collection, which can be used as a monotherapy or in combination with other therapies. This review aims to summarize the progress of DTx application in the diagnosis and treatment of chronic pain, with the goal of providing valuable insights for the clinical management of chronic pain.

【Key words】digital therapeutics; chronic pain; virtual reality; web-based platform

Funding: National High Level Hospital Clinical Research Funding (2022-PUMCH-B-007)

Med J PUMCH, 2023,14(5):1046-1052

慢性疼痛是临床最主要的疼痛类型, 具有发病率高、疼痛持久、难以治愈的特点, 长期持续性疼痛不仅引起患者躯体不适, 对其心理健康也产生不利影响

响, 患者可出现进行性自主神经症状, 如紧张、焦虑、精神迟钝、睡眠障碍、无聊、厌食、抑郁等, 影响正常工作和生活。与此同时, 上述症状亦会加重疼

基金项目: 中央高水平医院临床科研专项 (2022-PUMCH-B-007)

引用本文: 季和宇, 崔旭蕾, 黄宇光. 数字疗法在慢性疼痛诊疗中的应用进展 [J]. 协和医学杂志, 2023, 14 (5): 1046-1052. doi: 10.12290/xhyxzz.2023-0086.

痛,形成互相促进、互为因果的不良关系,增加了临床诊疗的难度^[1]。慢性疼痛作为一类异质性较强的疾病,发病机制具有多样性,治疗常基于症状或具体的疾病类型而展开,临床指南推荐个性化、多模式、多学科治疗的策略,包括药物、运动、心理治疗及相关疾病的手术治疗等,但上述治疗方式存在副作用大、治疗效果欠佳、患者依从性差等局限性,亟需探寻新的治疗策略。数字疗法(digital therapeutics, DTx)是近年来兴起的治疗方式,可为患者提供基于循证医学证据的疼痛管理策略,有望改善慢性疼痛治疗现状。本文就DTx在慢性疼痛诊疗中的应用进展展开综述,以期临床慢性疼痛管理提供新思路。

1 慢性疼痛概述

疼痛是一种与实际或潜在组织损伤相关的不愉快感觉和情感体验,或与此相似的经历^[1]。疼痛可激活神经调控的防御反应,是一种复杂而动态的疾病现象或身体损伤的预警信号。疼痛的感觉与大脑体感皮层第一躯体感觉区及第二躯体感觉区的活动有关,疼痛情感产生与扣带皮层、岛叶和前额叶皮层等区域的活动相关^[2]。疼痛引起的情感变化与疼痛持续加重存在关联性,甚至可在人体皮质中产生类似于“基因组”的疼痛记忆^[3]。持续性或间断性疼痛时间超过3个月被称为慢性疼痛,其可发生于身体的任何部位,国际疼痛学会(International Association for the Study of Pain, IASP)将慢性疼痛分为原发性疼痛和继发性疼痛,后者主要见于慢性癌症疼痛、慢性神经病理性疼痛、慢性继发性内脏疼痛、慢性创伤后/手术后疼痛、慢性继发性头痛和口腔面部疼痛以及慢性继发肌肉骨骼疼痛^[4]。第11版《国际疾病分类》将慢性疼痛分类标注进行补充修订,并制定了分级诊断分类目录^[5]。与急性疼痛不同,慢性疼痛给患者带来的身体、精神伤害具有长期性、持续性。英国和加拿大人群中,慢性疼痛发生率为11%,瑞典为40%,美国、新西兰分别为2%~45%和14%~24%;而我国居民中慢性疼痛发生率为20%~45%,疼痛门诊就诊患者中,慢性疼痛患者占比约为30%~40%^[6],提示在全球范围内慢性疼痛均较常见,因此探寻新的慢性疼痛管理策略势在必行。

2 DTx 概述

DTx为医疗科技领域的新概念,属于数字健康的分支,其定义为借助于软件程序,为患者提供具有循

证医学证据支持的干预疗法,通过预防、管理等方式达到治疗目的。作为一种全新的治疗模式,DTx既可作为独立的治疗手段,也可与药物治疗、非药物治疗(手术、放射或物理治疗)、心理行为治疗等传统治疗方式联合应用,以优化患者管理和慢病控制。DTx的主要特征:高质量软件程序、有循证医学证据、提供干预与治疗^[7]。DTx的运行基础是软件和程序,国际医疗器械监管机构论坛(International Medical Device Regulators Forum, IMDRF)将DTx定义为“无需硬件设备的用于一种或多种医疗目的的软件”^[7]。

2017年国际数字疗法联盟(Digital Therapeutics Alliance, DTA)成立,其对DTx的概念进行了定义,并提出了行业标准和规范准则,极大程度上促进了DTx的发展。2021年DTx已在全球兴起,足可见其潜在的应用价值和广阔的应用前景。目前美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)批准的DTx产品相关随机对照试验(randomized controlled trial, RCT)已在陆续开展中,该类临床试验有助于控制偏倚,可提供高级别循证医学证据,是DTx提供治疗决策的依据和金标准^[8]。

3 DTx 在慢性疼痛中的应用

鉴于慢性疼痛包含疾病种类较多,发病机制较复杂,临床尚缺乏特效干预手段,主要以对症治疗和控制原发病为主,药物治疗为其主要治疗方式,其中以阿片类药物的应用最为广泛,该类药物虽然镇痛效果明确,但易出现药物耐受、药物依赖且不良反应明显,包括头晕、恶心、呕吐等^[9-10];同时,作为慢性疾病,慢性疼痛的控制是一个长期过程,而长期服药将降低患者依从性。此外,慢性疼痛的诊疗疗效取决于患者与医生的密切配合,而非单方面的临床诊疗,多模式相结合的治疗效果更佳。在慢性疼痛管理方面,DTx与传统治疗方式相比具有如下优势:(1)通过远程监控,患者居家即可实现疾病的干预,使治疗更加便捷;(2)可根据患者具体情况制订个体化干预策略,提高了治疗的依从性;(3)通过相应的程序记录患者的临床指标变化并及时向临床反馈,可实现疾病的动态监测和干预策略的及时调整,使治疗更高效;(4)无传统药物治疗副作用。

目前,DTx主要干预手段包括移动医疗应用程序(application program, APP)、虚拟现实技术(virtual reality, VR)、数字诊疗网络平台及其他一些组合式干预手段等(图1)。由于DTx涵盖领域广泛,DTx的

干预手段包括但不限于上述干预手段，还包含未被明确归类的治疗领域。

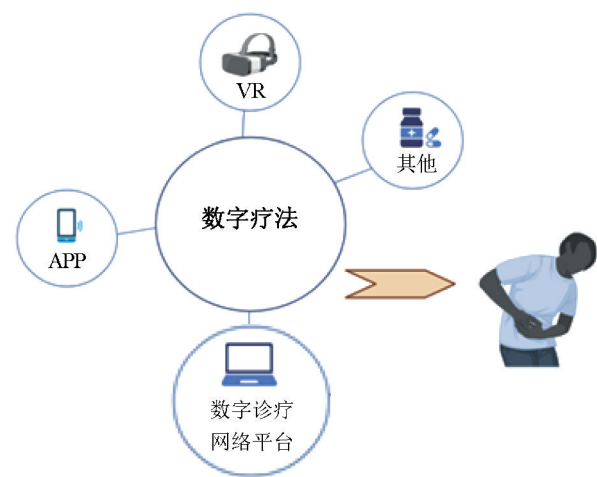


图 1 数字疗法干预手段
VR：虚拟现实技术；APP：移动医疗应用程序

3.1 移动医疗 APP

随着智能手机的研发，手机 APP 得到了广泛普及、推广和应用，可在多方面影响人们的生活和健康^[11]。一项系统性评价针对智能手机（iPhone、Android、Blackberry、诺基亚/Symbian 和 Windows Mobile）的疼痛相关 APP 使用情况进行了检索，关键词包括：APP、疼痛教育、疼痛管理及疼痛缓解，发现 APP 可对疼痛变量进行跟踪和记录^[11]。一项针对我国成都市中老年慢性疼痛患者治疗现状和对移动医疗 APP 使用意愿的问卷调查表明，多数中老年慢性疼痛患者支持使用移动医疗 APP 进行疼痛管理，为开发针对慢性疼痛管理 APP 提供了参考^[12]。三星电子公司将老年智能手表应用于疼痛评估，证实通过移动医疗 APP 改善慢性疼痛具有可行性^[13]。有研究证实，将 Pain Guard 移动程序应用于癌痛患者后，患者的疼痛得到了减轻，药物依从性得到了改善，且不良反应少，患者满意度高^[14]。一项纳入 15 项研究共 1962 例疼痛患者的系统性评价表明，智能手机 APP 有益于门诊患者的疼痛管理^[11]。APP 可实现疼痛相关数据的实时收集，有研究表明，将可穿戴的疼痛监测系统应用于肌纤维痛患者，可实时监控疼痛变化并将数据记录传输至数据库，为医生制订临床决策及患者了解治疗效果提供了有价值的参考信息^[15-16]。患者的生活方式对于慢性疾病的预后至关重要，APP 可通过为患者提供正确的生活方式指导和建议，有效改变疼痛患者的生活习惯，以达到治疗疼痛的目的，此种缓解疼痛的方式可行性强且无副作用^[17]。一项针对慢性腰痛患者的回

顾性研究表明，Kaia（一款数字化多学科腰痛康复 APP）通过指导锻炼、教育练习等方式有助于减轻腰痛程度^[18]。健康教育可辅助患者正确认识自身疼痛，激励其积极参与治疗，而 APP 在其中亦可起到促进作用。研究表明，合并慢性疼痛的青少年患儿使用疼痛管理健康教育相关智能手机 APP 后，对其疼痛强度和不同维度生活质量的改善均有积极影响^[19]。此外，智能手机 APP 可提供肌肉放松相关指导建议，有助于慢性腰背痛和颈部疼痛患者松弛肌肉，缓解疼痛^[20]。国内研究方面，林海玉等^[21]将“互联网+”背景下的“317 护”APP 应用于癌症患者的健康教育后，患者的服药依从性明显提高，达到了理想的止痛效果和宣教目的，且此种模式有望运用于其他疾病患者的宣教。一项基于移动医疗 APP 的放松疗法治疗慢性下腰痛患者的研究表明，使用 APP 放松疗法可减少患者疼痛评分^[22]。鉴于 DTx 可为疼痛医学提供重要数据，目前疼痛管理相关 APP 正在不断研发和推广中（表 1）^[23-24]，其性能有待进一步评价。

尽管 APP 可辅助患者进行疼痛管理，但目前其功能尚未完善。APP 可基于智能手机的多媒体功能收集患者提供和自动记录的信息（如药物和疼痛程度），以提高患者的自我监控意识，有益于患者主观上进行疼痛管理，但上述功能常被分散于不同的 APP 中，尚无法将提供的信息数据进行智能整合，以提供最佳的疼痛管理策略或建议。

3.2 VR

VR 是一种多感官技术，可创造一个完全或部分的仿真场景，涵盖视觉、听觉、嗅觉、味觉和触觉等所有感官体验，通过强互动感和沉浸感转移患者注意力，以达到调节疼痛强度的目的，并可提供正向的心理矫正环境，辅助患者进行情绪管理，减少治疗回避，该技术在临床已应用 20 余年^[25]。VR 并非是一种标准的干预措施，Mazurek 等^[26]依据真实世界将 VR 分为 3 类：第一类是将计算机生成的数据合并至真实场景的图像中以增强真实性；第二类是将现实生活中的数据合并至计算机生成的场景中以增强虚拟性；第三类是生成的场景完全由计算机创建。

情感和认知管理在慢性疼痛的治疗中可发挥积极正向的作用。研究表明，自我意识和生活方式的改变（如冥想或瑜伽）有助于减轻疼痛^[27]，通过多种途径获得的社会支持（物质和精神上的帮助、支援）可减轻慢性疼痛患者对疼痛的感知^[28]。VR 与生物反馈相结合，可重塑患者的情感和认知，起到缓解慢性疼痛的作用。此外，VR 沉浸式的交互体验可转移患

者注意力，亦是 VR 减轻疼痛的主要机制^[29]。

首个用于镇痛的 VR 技术是 Hoffman 等^[30]研发的 SpiderWorld，其可用于烧伤患者急性疼痛的辅助治疗。经过不断功能完善，VR 技术已不再局限于急性疼痛患者的治疗，而逐步应用于肌纤维痛、头痛等慢性疼痛患者的镇痛，且表现出极大的潜在应用价值^[31]。由 Firsthand technology Inc. 公司研发的 VR 程序（如 SnowWorld）集成了生物反馈传感器、沉浸式虚拟环境和立体声音，可辅助慢性疼痛患者进行正念减压训练（一种冥想形式），经验证在减轻感知疼痛方面有效^[32]。AppliedVR Inc. 主要探索 VR 程序在术后急性疼痛和慢性疼痛管理中的功效，回顾性研究证实了其应用价值，但确切结论尚需大规模 RCT 进行

验证^[33]。国内研究表明，基于 VR 的疼痛控制管理平台可减轻肝胆外科患者术后疼痛感，并缓解应激反应和改善其睡眠质量^[34]。张宁宁等^[35]研究显示，将 VR 技术与音乐疗法相结合用于烧伤患者面部换药时，可有效减轻患者的疼痛程度。随着 VR 技术的日趋成熟，其有望成为疼痛管理的有效辅助治疗技术，以减少阿片类药物用量，且具有无药物并发症的优势^[36]，且使用时仅需 VR 设备，相对便捷，患者依从性更佳。但该技术亦存在一定局限性，如缺少长期随访、涉及慢性疼痛的种类受限、需特定设备且价格昂贵等^[37]。目前，多家数字医疗保健公司正在对 VR 在疼痛治疗中的作用进行验证（表 2）^[30,38-40]，其商业价值有待进一步考证。

表 1 用于慢性疼痛诊疗的 APP 软件

APP 软件	干预方式	干预效果	疼痛类型
Kaia Health	人工智能算法指导物理治疗和康复，建立物理疗法	减轻疼痛和压力、提高舒适度	慢性背痛、骨关节痛
Habit Changer	关注疼痛管理认知行为的改变	提供与疼痛、心理、社会体验的任务和日常信息，通过自我监管程序指导个人进行疼痛管理	-
Pocket Therapy	提供疼痛相关原因、部位与症状等信息、改善运动范围和肌肉力量练习；减轻疼痛的其他技术（温度控制、服用非甾体抗炎药和按摩）	-	-
Chronic Pain Tracker	重新定义疼痛，包括强度、位置、类型、服用药物和自由注释；疼痛强度分级（0~10 分）；提供人体图像可直观绘制疼痛位置	-	-
My Pain Diary	可输入多个变量：疼痛强度、部位、类型、触发因素、采取的补救措施和注释；疼痛强度为 0~10 分	-	-
Iposture	利用智能手机内置传感器从直立位置测量手机的角度，通过姿势改变提醒用户调整生活方式	-	-
Pain Guard	提供患者管理模块，患者可进行疼痛自测、记录和设置提醒通知；对疼痛进行评分，有专业的疼痛管理团队服务解答患者的疑问	-	-

-：表示暂无明确的临床研究及效果验证

表 2 VR 在慢性疼痛治疗中的应用

VR	干预方式	干预效果	疼痛类型
SpiderWorld	沉浸式 VR，分散注意力（如视频游戏）	疼痛得到缓解	烧伤痛
RelieVRx	基于身临其境的体验管理疼痛，正向引导患者获得理想的临床效果	疼痛评分降低，整体疼痛感减轻	中重度腰痛
BreatheVR	深呼吸技术与专门设计的虚拟场景相结合	4/5 受试者表示短期内即可获得明显的疼痛缓解，余受试者表示疼痛缓解不佳	-
Flowly	将 VR 与应用程序相结合，通过生物反馈技术管理疼痛	疼痛评分及剧烈疼痛发生率均降低，阿片类药物用量减少	-
Exergame+ HoloTour	根据患者需求创建个体化 VR 锻炼游戏，激励患者定期进行锻炼	-	慢性腰背痛

VR：同图 1；-：表示暂无明确的临床研究及效果验证

3.3 数字诊疗网络平台

数字诊疗网络平台的功能与移动医疗 APP 相似,旨在培养患者的认知行为,以便更好地管理与控制疾病。数字化网络平台 Joint Academy 是新兴的自主管理网络程序,通过专业的物理治疗师对患者进行相关培训后,患者可根据网络平台提供的个体化建议自行进行功能锻炼、疼痛监测及自我管理,经证实对减轻骨关节炎患者疼痛具有积极作用^[41]。iCanCope 是数字化疼痛自我管理平台,可提供以用户为中心的疼痛自我管理计划,RCT 研究显示,多数参与该研究的幼年特发性关节炎患者对此诊疗平台显示出中高度的依从性,疼痛强度获得具有临床意义的减低^[42]。患者自身有相应的网络设备,同时积极使用,是数字诊疗网络平台发挥作用的前提,但该平台仍面临诸多挑战,如临床医生和患者个人隐私问题以及平台是否被平等使用,其临床有效性和安全问题存在一定隐患等。

3.4 其他

数字化非药物干预措施是慢性疼痛患者进行自我管理的重要组成部分,包括冥想、音乐疗法、体育锻炼、正念减压训练等相关方式的软件程序,必要时采取多种干预方式的个性化组合,不仅缓解疼痛效果确切、安全性高,且能减少镇痛药物用量^[43-44]。Metcalf 等^[45]研究显示,基于 DTx 技术的疗法可提供行为、心理社会、疾病自我管理和基于音乐的干预措施,在动物模型中证实可减轻疼痛模型小鼠的疼痛程度。一项纳入 97 项 RCT 研究的荟萃分析评估了音乐在疼痛治疗中的作用,结果显示音乐疗法在减轻疼痛量表评分、疼痛引起的情绪痛苦、麻醉药使用量、阿片类与非阿片类药物用量方面均具有显著意义^[46]。基于循证医学证据的数字护理计划可提供物理疗法和正念训练干预,治疗 12 周后下腰痛患者的 Oswestry 功能障碍指数、疼痛评分均显著改善^[24,47-48],为慢性疼痛管理提供了新的选择方案。上述干预模式有望在未来提升疼痛治疗效果、制订疼痛管理策略方面发挥一定作用,但前提是需经过相关临床试验进行有效性验证。

4 小结与展望

数字化技术为多种疾病的诊疗提供了新视角,作为一种新兴的治疗方式,DTx 具有传统治疗方式不具备的独特优势,已在多项研究中应用于慢性疼痛治疗且取得了一定成果。临床医生可基于 DTx 收集的数

据信息,优化疼痛管理策略,提高治疗效果,但该疗法亦面临诸多挑战:(1) DTx 的疗效受患者年龄、教育水平及其对该疗法接受度等因素的影响,效果的均一性无法保证^[49];(2) 目前尚无充足的证据表明数字化信息干预可改变疼痛相关行为^[50],若以改变疼痛行为习惯为目标,需提升患者对疼痛本身的认知和理解;(3) 作为一种数字化产品,长时间不当使用智能手机 APP、VR 设备可能加重颈部疼痛^[51],故建议在专业人员指导性进行疼痛干预;(4) 疗效缺乏高质量临床试验进行多维度验证,且尚缺乏统一、规范的应用指南和监管平台,影响干预措施的有效性和可靠性。相信随着监管措施、临床研究的完善及数字化技术的进步,未来 DTx 在慢性疼痛的管理中必将发挥更大的作用。

作者贡献:季和宇负责查阅文献,撰写论文;崔旭蕾、黄宇光负责指导、修订论文。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 宋学军,樊碧发,万有,等. 国际疼痛学会新版疼痛定义修订简析 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2020, 26: 641-644.
- [2] Davis KD, Moayed M. Central mechanisms of pain revealed through functional and structural MRI [J]. J Neuroimmune Pharmacol, 2013, 8: 518-534.
- [3] Descalzi G, Ikegami D, Ushijima T, et al., Epigenetic mechanisms of chronic pain [J]. Trends Neurosci, 2015, 38: 237-246.
- [4] Cohen SP, Vase L, Hooten WM. Chronic pain: an update on burden, best practices, and new advances [J]. Lancet, 2021, 397: 2082-2097.
- [5] Treede RD, Rief W, Barke A, et al. Chronic pain as a symptom or a disease: the IASP Classification of Chronic Pain for the International Classification of Diseases (ICD-11) [J]. Pain, 2019, 160: 19-27.
- [6] Zheng YJ, Zhang TJ, Yang XQ, et al. A survey of chronic pain in China [J]. Libyan J Med, 2020, 15: 1730550.
- [7] Hong JS, Wasden C, Han DH. Introduction of digital therapeutics [J]. Comput Methods Programs Biomed, 2021, 209: 106319.
- [8] 徐宜蕙,张一帆,李杨,等. 美国 FDA 批准的数字疗法产品临床试验设计研究 [J]. 中国医学装备, 2022, 19: 1-7.
- [9] Benyamin R, Trescot AM, Datta S, et al. Opioid complica-

- tions and side effects [J]. *Pain Physician*, 2008, 11: S105-S120.
- [10] Hagemeyer NE. Introduction to the opioid epidemic: the economic burden on the healthcare system and impact on quality of life [J]. *Am J Manag Care*, 2018, 24: S200-S206.
 - [11] Thurnheer SE, Gravestock I, Pichierri G, et al. Benefits of Mobile Apps in Pain Management: Systematic Review [J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2018, 6: e11231.
 - [12] 罗尔丹, 白倩, 卞鹰, 成都市中老年慢性疼痛患者的治疗概况及移动医疗 APP 需求情况调查 [J]. *临床医学研究与实践*, 2021, 6: 10-13.
 - [13] Manini TM, Mendoza T, Battula M, et al. Perception of Older Adults Toward Smartwatch Technology for Assessing Pain and Related Patient-Reported Outcomes: Pilot Study [J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2019, 7: e10044.
 - [14] Yang J, Weng L, Chen Z, et al. Development and Testing of a Mobile App for Pain Management Among Cancer Patients Discharged From Hospital Treatment: Randomized Controlled Trial [J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2019, 7: e12542.
 - [15] Lee J, Park SH, Ju JH, et al. Application of a real-time pain monitoring system in Korean fibromyalgia patients: A pilot study [J]. *Int J Rheum Dis*, 2019, 22: 934-939.
 - [16] Chen J, Abbod M, Shieh JS. Pain and Stress Detection Using Wearable Sensors and Devices-A Review [J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21: 1030.
 - [17] Rosser BA, Eccleston C. Smartphone applications for pain management [J]. *J Telemed Telecare*, 2011, 17: 308-312.
 - [18] Clement I, Lorenz A, Ulm B, et al. Implementing Systematically Collected User Feedback to Increase User Retention in a Mobile App for Self-Management of Low Back Pain: Retrospective Cohort Study [J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2018, 6: e10422.
 - [19] Shaygan M, Jaber A. The effect of a smartphone-based pain management application on pain intensity and quality of life in adolescents with chronic pain [J]. *Sci Rep*, 2021, 11: 6588.
 - [20] Blödt S, Pach D, Roll S, et al. Effectiveness of app-based relaxation for patients with chronic low back pain (Relax-back) and chronic neck pain (Relaxneck): study protocol for two randomized pragmatic trials [J]. *Trials*, 2014, 15: 490.
 - [21] 林海玉, 郑珍丽, 陈伊文, 等. “互联网+”背景下采用“317 护”APP 对癌痛患者健康教育体会 [J]. *中国农村卫生事业管理*, 2018, 38: 771-773.
 - [22] 阮兰红. 基于 APP 的放松疗法对慢性下腰痛患者情绪、疼痛和腰部功能的影响 [J]. *颈腰痛杂志*, 2022, 43: 37-40.
 - [23] Biebl JT, Rykala M, Strobel M, et al. App-Based Feedback for Rehabilitation Exercise Correction in Patients With Knee or Hip Osteoarthritis: Prospective Cohort Study [J]. *J Med Internet Res*, 2021, 23: 26658.
 - [24] Priebe JA, Haas KK, Moreno Sanchez LF, et al. Digital Treatment of Back Pain versus Standard of Care: The Cluster-Randomized Controlled Trial, Rise-uP [J]. *J Pain Res*, 2020, 13: 1823-1838.
 - [25] Mahrer NE, Gold JI. The use of virtual reality for pain control: a review [J]. *Curr Pain Headache Rep*, 2009, 13: 100-109.
 - [26] Mazurek J, Kiper P, Cielik B, et al. Virtual reality in medicine: A brief overview and future research directions [J]. *Hum Movement*, 2019, 20: 16-22.
 - [27] Bushnell MC, Case LK, Ceko M, et al. Effect of environment on the long-term consequences of chronic pain [J]. *Pain*, 2015, 156: S42-S49.
 - [28] Macdonald G, Leary MR. Why does social exclusion hurt? The relationship between social and physical pain [J]. *Psychol Bull*, 2005, 131: 202-223.
 - [29] Gold JI, Belmont KA, Thomas DA. The neurobiology of virtual reality pain attenuation [J]. *Cyberpsychol Behav*, 2007, 10: 536-544.
 - [30] Hoffman HG, Doctor JN, Patterson DR, et al. Virtual reality as an adjunctive pain control during burn wound care in adolescent patients [J]. *Pain*, 2000, 85: 305-309.
 - [31] Gupta A, Scott K, Dukewich M. Innovative Technology Using Virtual Reality in the Treatment of Pain: Does It Reduce Pain via Distraction, or Is There More to It? [J]. *Pain Med*, 2018, 19: 151-159.
 - [32] Gromala D, Tong X, Choo A, et al. The Virtual Meditative Walk: Virtual Reality Therapy for Chronic Pain Management [C]. *ACM CHI 2015*. ACM, 2015. doi: 10.1145/2702123.2702344.
 - [33] Hadjiat Y, Marchand S. Virtual Reality and the Mediation of Acute and Chronic Pain in Adult and Pediatric Populations: Research Developments [J]. *Front Pain Res (Lausanne)*, 2022, 3: 840921.
 - [34] 刘秋红. 基于虚拟现实的疼痛控制管理平台对行肝胆外科手术患者的干预效果 [J]. *中西医结合护理*, 2021, 7: 97-99.
 - [35] 张宁宁, 陈艺. 虚拟现实技术结合音乐干预对烧伤患者创面换药时疼痛程度及心率、血压的影响 [J]. *解放军护理杂志*, 2020, 37: 78-80.
 - [36] Lee HJ. Digital therapeutics in pain medicine [J]. *Korean J Pain*, 2021, 34: 247-249.
 - [37] 巩树伟, 刘爱峰, 郎爽, 等. 虚拟现实技术对慢性疼痛

- 治疗的应用进展 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2020, 26: 438-442.
- [38] Rubin R. Virtual Reality Device Is Authorized to Relieve Back Pain [J]. JAMA, 2021, 326: 2354.
- [39] Mevleviolu D, Murphy D, Tabircan SM. Visual Respiratory Feedback in Virtual Reality Exposure Therapy: A Pilot Study [C]. ACM International Conference on Interactive Media Experiences. Association for Computing Machinery, 2021. doi: 10.1145/3452918.3458799.
- [40] Stamm O, Dahms R, Müller-Werdan U. Virtual reality in pain therapy: a requirements analysis for older adults with chronic back pain [J]. J Neuroeng Rehabil, 2020, 17: 129.
- [41] Dahlberg LE, Grahm D, Dahlberg JE, et al. A Web-Based Platform for Patients With Osteoarthritis of the Hip and Knee: A Pilot Study [J]. JMIR Res Protoc, 2016, 5: e115.
- [42] Lalloo C, Nishat F, Zempsky W, et al. Characterizing User Engagement With a Digital Intervention for Pain Self-management Among Youth With Sickle Cell Disease and Their Caregivers: Subanalysis of a Randomized Controlled Trial [J]. J Med Internet Res, 2022, 24: e40096.
- [43] Tick H, Nielsen A, Pelletier KR, et al. Evidence-Based Nonpharmacologic Strategies for Comprehensive Pain Care: The Consortium Pain Task Force White Paper [J]. Explore (NY), 2018, 14: 177-211.
- [44] Bulaj G, Clark J, Ebrahimi M, et al. From Precision Metapharmacology to Patient Empowerment: Delivery of Self-Care Practices for Epilepsy, Pain, Depression and Cancer Using Digital Health Technologies [J]. Front Pharmacol, 2021, 12: 612602.
- [45] Metcalf CS, Huntsman M, Garcia G, et al. Music-Enhanced Analgesia and Antiseizure Activities in Animal Models of Pain and Epilepsy: Toward Preclinical Studies Supporting Development of Digital Therapeutics and Their Combinations With Pharmaceutical Drugs [J]. Front Neurol, 2019, 10: 277.
- [46] Lee JH. The Effects of Music on Pain: A Meta-Analysis [J]. J Music Ther, 2016, 53: 430-477.
- [47] Shebib R, Bailey JF, Smittenaar P, et al. Randomized controlled trial of a 12-week digital care program in improving low back pain [J]. NPJ Digit Med, 2019, 2: 1.
- [48] Huber S, Priebe JA, Baumann KM, et al. Treatment of Low Back Pain with a Digital Multidisciplinary Pain Treatment App: Short-Term Results [J]. JMIR Rehabil Assist Technol, 2017, 4: e11.
- [49] van der Vaart R, van Driel D, Pronk K, et al. The Role of Age, Education, and Digital Health Literacy in the Usability of Internet-Based Cognitive Behavioral Therapy for Chronic Pain: Mixed Methods Study [J]. JMIR Form Res, 2019, 3: e12883.
- [50] Griffiths C, Foster G, Ramsay J, et al. How effective are expert patient (lay led) education programmes for chronic disease? [J]. BMJ, 2007, 334: 1254-1256.
- [51] 陈玮. 智能手机使用对医学生颈痛影响的调查研究 [D]. 青岛: 青岛大学, 2019.
- (收稿: 2023-02-16 录用: 2023-04-13)
(本文编辑: 董 哲)