

· AI+慢性病康复管理专题 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.24.001

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20241205.0931.002\(2024-12-05\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20241205.0931.002(2024-12-05))

人工智能在重大慢性病临床管理中的应用进展*

何雨涵¹, 刘勇^{2△}

(1. 陆军军医大学学员二大队六队, 重庆 400038; 2. 陆军军医大学第二附属医院疼痛与康复医学科, 重庆 400037)

[摘要] 人工智能(AI)技术近年来广泛应用于解读医学图像、预测传染病暴发、诊断疾病等多个方面。在慢性病管理中, AI通过整合和分析大数据, 结合智能设备, 在临床决策支持、随访、监测和治疗结果预测方面展现了其独特的优势。然而, 慢性病 AI管理仍面临诸多挑战, 包括数据质量问题、缺乏技术与临床实践的整合、隐私安全隐患及相关法律与制度不完善等。未来, AI需要进一步提升自然语言理解和个性化治疗推荐等方面的能力, 加强 AI技术人员和医疗专业人员间的密切合作, 确保 AI在慢性病管理中的开发和应用具有较高的临床意义, 真正实现对慢性病患者预防、治疗、康复的精准管理。该文探讨了 AI在高血压、糖尿病和慢性疼痛等重大慢性病管理中的最新应用进展。

[关键词] 人工智能; 慢性病管理; 高血压; 糖尿病; 慢性疼痛

[中图法分类号] TP18 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)24-3681-05

Progress in application of artificial intelligence in clinical management of major chronic diseases*

HE Yuhan¹, LIU Yong^{2△}

(1. Cadets Second Group Sixth Team, Army Military Medical University, Chongqing 400038, China; 2. Department of Pain and Rehabilitation Medicine, Second Affiliated Hospital of Army Military Medical University, Chongqing 400037, China)

[Abstract] Artificial intelligence (AI) technology has been widely used in many aspects such as interpreting medical images, predicting infectious disease outbreak and diagnosing rare and common diseases. In chronic disease management, AI shows the unique advantages in the aspects of clinical decision support, follow-up, monitoring and prediction of treatment outcome by integrating and analyzing large datasets and combining with smart devices. However, the chronic disease AI management still faces many challenges including the data quality question, lack of the integration of technique and clinical practice, privacy security secret worry and imperfect relevant laws and institutions. In the future, AI needs to further elevate its capabilities in natural language understanding and personalized treatment recommendations, and strengthen the close cooperation between AI technicians and medical professionals, ensure that the development and application of AI in chronic disease management has high clinical significance in order to really realize the precision management of prevention, treatment and rehabilitation in the patients with chronic diseases. This article explores the latest applications progress of AI in the management of major chronic diseases such as hypertension, diabetes and chronic pain.

[Key words] artificial intelligence; chronic disease management; high blood pressure; diabetes mellitus; chronic pain

人口老龄化和慢性病高发是我国健康服务领域面临的两大挑战, 2002—2018年, 高血压、糖尿病和血脂异常等慢性病患者率均有上升, 慢性病导致的死亡

人数占比从2002年80.0%上升至2018年88.5%^[1]。我国慢性疼痛患者超过3亿人, 且正以每年1 000万~2 000万的速度增长, 疼痛已经成为继心脑

* 基金项目: 重庆市技术创新与应用发展专项重点项目(CSTB2023TIAD-KPX0047)。 专家简介: 刘勇(1972—), 教授、主任医师, 硕士研究生导师, 陆军军医大学第二附属医院神经内科副主任、疼痛与康复医学科主任, 中国康复医学会特殊环境作业损伤防治与康复专业委员会副主任委员、重庆市医学会疼痛学分会副主任委员、美国 Vanderbilt 大学神经影像中心访问学者。发表学术论文 60 余篇, SCI 论文 15 篇, 主持国家自然科学基金 3 项。主要技术特长: 重症脑卒中救治与康复, 神经病理性疼痛诊治与康复, 战训伤防治与康复。 △ 通信作者, E-mail: lzsh@aliyun.com。

血管疾病、肿瘤之后的第三大健康问题。负“痛”前行严重影响了患者的生存质量^[2],将慢性疼痛纳入慢性病管理,强化慢性病的精准管理势在必行。人工智能(artificial intelligence, AI)和机器学习(machine learning, ML)已经以多种方式进入医学领域,包括解读医学图像、协助发现可能影响公众健康的传染病暴发,结合临床、遗传和许多其他实验室结果,确定可能漏诊的罕见病和常见病等^[3]。AI在重大慢性病临床决策支持、随访、监测及预测治疗结果等方面也展示出其独特优势和巨大应用前景^[4]。深入研究慢性病的风险因素与临床结局动态相关性,开展生成式 AI 辅助慢性病风险预测、医疗智能决策和智慧管理模型研究,创建基于大语言模型的风险预测决策体系和智慧管理平台,通过与患者进行自然语言沟通实现慢性病患者的个性化管理与指导,是积极应对我国健康服务领域面临挑战的关键所在,其可以有效提高家庭、社区和医院对慢性病患者的综合管理能力和水平。

1 AI 在高血压诊疗中的应用和发展趋势

高血压是一种非常普遍的慢性病,影响全球约 12.8 亿人,我国成人高血压患者约 2.45 亿,与西方发达国家比较,我国高血压知晓率、治疗率和控制率明显偏低。2018 年调查资料显示,60~<70 岁、70~<80 岁、≥80 岁人群高血压知晓率、治疗率都接近 50%,但控制率在 13.4%~14.8%,高血压仍然是导致心脑血管疾病发生和患者过早死亡的主要原因^[5-6]。近年来 AI 在高血压的测量、诊断、预后判断和患者管理等方面的研究和应用越来越多,通过将传统的心脑血管疾病危险因素与基因组学、社会经济、行为和环境因素相结合,AI 可能有助于开发适用于高血压患者的精确风险预测模型和个性化的治疗方法^[7-8]。这极有可能会改变高血压的临床实践,也为改变我国高血压的防治现状带了前所未有的挑战和机遇。

在高血压检测方面,可穿戴非侵入式连续血压测量技术是居家日常血压监测技术研究热点。针对特定的个体建立模型,随着个体数据累积,有望在生理状况稳定的情况下结合少量校准,实现血压长期波动趋势的追踪。LIU 等^[9]将单通道光电容积描记图(photoplethysmography, PPG)形态学特征与人口学特征相结合,实现基于个体特性进行血压趋势的预测,提出了一种 PPG 连续血压趋势预测建模方法。利用单通道 PPG 信号联合人口统计特征建模,采用端到端深度学习(deep learning, DL)模型逐点估计血压趋势,可在许多不同的群体上实现的血压趋势连续监测。

在高血压的诊断方面,应用 AI 辅助精准诊治是另一个研究热点,特别是利用 AI 识别高血压亚型。最近的研究表明,利用电子病历的大数据和一些临床容易获取的指标,如诊室血压、脉压、高密度脂蛋白-胆固醇水平等,ML 或 DL 可以用于隐匿性未控制高血

压或继发性高血压等的诊断^[10-11]。对高血压患者临床结局的预测也是 AI 应用场景之一,由于血压受到基因组学、人口统计学、生活方式和环境因素等多种因素的影响,具有复杂的多因素表型。在分析多模态数据时,AI 可以相对精准地对高血压患者的预后和风险分层做出综合分析。LOUCA 等^[12]分析了来自 TwinsUK 的多模态数据,包括血压、代谢组学、基因组学、生化测量和饮食数据,同时使用相同的算法对来自 Qatar Biobank 的 2 807 例个体的独立数据集也进行了分析,发现最具预测性价值的是传统的危险因素、代谢组学和饮食数据,而基因组学(单核苷酸多态性)似乎在预测预后中未发挥主要作用。

AI 也被广泛应用于高血压管理中,这对提高公众高血压意识、加强血压自我监测、促进健康行为和药物依从性等均有积极作用。AI 可以集成到健康指导相关 APP 中,通过可穿戴血压检测设备和/或社交软件分析患者的血压或活动数据,然后提供包括高血压药物选择和生活方式改变的个性化建议。一项随机对照研究发现,与对照组比较,使用智能手机应用程序可以改善药物依从性,从基线(试验开始时)到干预 12 周自我报告的药物依从性有了微小的改善,但通过 Morisky 药物依从性量表(MMAS)测量,收缩压并未发生明显变化^[13]。

KOREN 等^[14]通过 ML 大数据分析显示,最新指南中未推荐的药物,如受体阻滞剂、质子泵抑制剂和他汀类药物可能在提高高血压治疗成功率方面也发挥积极作用,这表明,AI 可用于已上市药物的新适应证的拓展。LI 等^[15]在纽约市社区健康调查中,使用穷尽卡方自动交互检测(exhaustive Chi-squared automatic Interaction detection, CHAID)的 ML 分割方法,评估了高血压药物非依从性患者的特征,该研究显示 18~44 岁的青年人是不依从高血压药物最重要的预测因素;在 45~65 岁的成年人中,无保险状况、无糖尿病和中、高度贫困社区也是高血压药物使用不依从的预测因素;对于>65 岁的老年人,如果家庭收入较低,或生活在中、高度贫困社区,就更有可能不坚持高血压药物的正确使用。

大多数关于高血压的 AI 研究仍然是探索性的,部分研究只是重新分析过去一些回顾性队列研究或其他随机对照试验的数据,只有少数随机对照试验测试了高血压疾病中的 AI 算法,如移动 APP 或血压测量设备的算法。随着 AI 技术的创新发展,极有可能突破血压测量、诊断、预后和管理等方面的技术瓶颈,这需要强化 AI 技术人员和医疗专业人员的合作,以确保 AI 的开发和验证有较高的临床实用性。

2 基于 AI 的代谢性疾病的精准防治和康复

糖尿病、高脂血症、高尿酸血症等常见代谢性疾病,都存在体内某些代谢物质的合成、分解、转化等异常,代谢产物的积累或缺乏,最终影响机体正常生理功能,导致疾病的发生。AI 在代谢性疾病的精准防

治和康复方面具有巨大潜力。在预防方面, AI 通过分析大数据和个人健康信息, 能够有效识别患者的潜在风险因素, 并提供个性化的预防建议。通过分析患者的基因数据、生活方式等信息, AI 可以预测一个人发展成为糖尿病、高尿酸血症等代谢性疾病的风险, 并向其提供相应的饮食、运动和药物干预建议。此外, AI 还可以与智能穿戴设备和移动应用程序等技术结合, 实时监测患者的生理参数, 并提供个性化的预警和健康管理信息^[16]。在康复方面, AI 也发挥着重要作用, 通过结合虚拟现实和增强现实等技术, AI 可以提供沉浸式的康复体验, 帮助患者恢复运动功能和日常生活能力^[17]。

糖尿病作为最重要的代谢性疾病之一, 全球患病人数接近 6 亿, 中国患病人数超 1.4 亿, 糖尿病及其并发症给患者、家庭和社会带来沉重的公共卫生负担, AI 技术已经被广泛应用于糖尿病相关领域的基础研究、转化研究和临床实践各方面。血糖控制是糖尿病治疗中的关键一环, 但我国血糖达标率仅为 20.02%~31.77%^[18-19]。AI 为实现血糖自动调节和控制提供了可能, 最新研发的闭环胰岛素输送系统就是基于规则的智能胰岛素给药模型, 其采用连续血糖仪 (continuous glucose monitoring, CGM) 监测血糖, 通过智能算法计算所需胰岛素输注剂量, 然后通过胰岛素泵自动注射胰岛素以维持血糖水平在正常范围^[20-21]。

在糖尿病的早期筛查和预警方面, 通过 AI 可以分析大规模人群的临床和生活方式数据, 从而构建 AI 模型以精准预测个体未来发生糖尿病的风险, AB-BASI 等^[22]采用 logistic 回归模型、Cox 比例风险模型和威布尔分布分析预测非糖尿病个体 5~10 年内糖尿病发病的有效性, 一致性指数 (C 指数) 范围达到 0.74~0.94。TAPAK 等^[23]对伊朗 6 500 例受试者的数据集进行了人工神经网络、支持向量机、模糊 c-均值聚类、随机森林、logistic 回归和线性判别分析, 收集了 10 个危险因素作为预测因素 (不包括血糖相关信息), 研究表明, 支持向量机比 logistic 回归和线性判别分析具有更高的曲线下面积 (area under curve, AUC)。

在糖尿病的综合教育方面, AI 技术可为患者提供个性化的健康教育、饮食指导、运动处方、血糖监测、用药推荐等全方位的生活方式建议和个性化教育。SUN 等^[24]针对中国中老年社区居民开展为期一年的基于云平台的智能、个性化的运动处方干预, 观察结果表明, 这种运动处方干预方案可以明显促进社区中老年居民心血管功能和身体健康状况。在糖尿病并发症的预测、筛查和管理方面, AI 同样发挥着重要作用, DAI 等^[25]构建的全球最大规模社区糖尿病眼底影像数据库和糖尿病视网膜病变全病程智能诊断系统, 实现了对糖尿病视网膜病变从轻度到增殖期病变的全病程自动诊断, 并能对眼底图像的质量进行实时反馈及实现眼底病变的识别分割。

尽管当前 AI 在糖尿病管理中展现出巨大潜力,

但其临床应用仍面临诸多瓶颈和障碍, 包括: (1) 数据质量问题; (2) AI 技术方案不佳; (3) 缺乏技术与临床实践的整合; (4) 隐私安全存在隐忧; (5) 用户依从性差; (6) 相关法律与制度尚不完善等。未来 AI 技术若要更好地服务于糖尿病管理, 还需要解决自然语言理解、个性化治疗推荐等方面的挑战。作者认为当前大型语言模型与多模态预训练技术有望为糖尿病的预防、诊断和治疗提供更加精准、个性化的解决方案和决策辅助, 从而改善患者的健康结局和生活质量^[26]。

3 慢性疼痛 AI 评估和精准调控

慢性疼痛困扰着许多人, 影响其生活质量甚至造成身心健康问题, 识别、评估、理解和治疗疼痛可以改善患者的临床结局和提高其生活质量^[27]。近年来, 随着 AI 的快速发展, AI 在慢性疼痛的诊疗中发挥着越来越重要的作用。AI 和疼痛医学的交叉融合主要体现在临床决策支持系统 (clinical decision support, CDS) 的使用。近年来, 与阿片类处方药物相关的 CDS 被归类为医疗设备, 如果该系统的算法缺乏透明度或存在闭环过程, 则需要美国 FDA 批准使用, 已有部分处方药物监测程序 (prescription drug monitoring programs, PDMP) 使用这一系统来计算阿片类药物使用风险评分。然而, 在大量文献支持了 CDS 益处的同时, 也有文献强调了系统警报疲劳风险^[28-29]。

ML、神经网络和 AI 的改进和创新让医务工作者可以更好地了解与慢性疼痛相关的各种临床资料、影像结果和生化检测变化等候选生物标志物间复杂的相互作用, 让多模态生物标志物的识别和确认成为可能, 这些研究的临床转化有可能改变传统的医生-患者一对一的慢性疼痛诊疗模式^[30-31]。此外数据驱动的 AI 也在大量应用于自动疼痛评估 (automatic pain assessment, APA) 的研究, 因为疼痛通常伴随有自发的面部表情和行为异常, 基于面部表情、身体姿势的图像分类和特征提取, 结合可穿戴设备实时提取患者的心电图、脑电图、呼吸模式等生物电信号, 通过支持向量机、决策树、随机森林等 ML 算法, 以及卷积和循环神经网络算法之类的人工神经网络实现 APA, 其可以相对客观地评价患者疼痛程度。今后有望开发出客观、标准化和可推广的 APA 工具, 用于不同临床环境下的疼痛评估^[32-33]。

大量研究发现, 基于 AI 的 APP 应用程序对慢性疼痛管理有积极的影响, 包括降低疼痛水平, 减少其他干预措施的使用, 协助运动康复治疗, 提高日常生活活动能力, 以及帮助慢性疼痛患者更早回归家庭和社会^[34-40], 这些研究有力证明了慢性疼痛患者自我管理的重要性, 也是慢性疼痛最重要和最基础的治疗。PIETTE 等^[34]开展的一项随机的非劣效性比较有效性试验, 验证基于患者进展反馈调整的 AI-慢性疼痛认知行为治疗干预 (adjusts cognitive behavioral therapy intervention for chronic pain, CBT-CP) 能否

在减少治疗师时间的同时达到不低于标准电话-CBT-CP 的效果。该试验共招募 278 例慢性背痛患者,按 1.4 : 1.0 分组,更多的患者被随机分配到 AI-CBT-CP 组,以最大限度地提高系统从患者交互中学习的能力。所有患者均接受了 10 周的 CBT-CP,结果表明 AI-CBT-CP 不劣于治疗师提供的标准电话-CBT-CP,并且需要治疗师的时间大大减少。AI-CBT-CP 可以让更多患者通过使用相同数量的治疗师的 CBT-CP 项目得到与标准电话-CBT-CP 同样有效的服务。对于疼痛科医生而言,目前主要问题并非研究是否应该使用 AI 技术,而是研究如何更好地利用 AI 来减轻工作负荷、改善患者诊治情况。

4 小 结

高血压、糖尿病和慢性疼痛等重大慢性病问题日益严重,疾病负担也日益增加。这些重大慢性病的治疗和管理是一个复杂且费用昂贵的过程,其管理周期中涉及众多医疗保健领域知识和技能,并且经常需要长期用药、改善生活方式、定期检查。AI 不仅可以减少医生工作量,协助诊断,并支持临床决策,而且具有无与伦比的速度和不易疲劳的特性,它有可能成为慢性病管理的一大突破口,在个性化患者教育、慢性病症状监测、药物管理和生活方式指导等方面发挥作用。当然 AI 仍然有其局限性,包括人工监督、数据隐私、患者参与度,以及道德、法律和监管盲区,这可能会阻碍其在现实生活中的有效实施,这需要进一步研究和严格的监管来支持其作为医生助手的作用。AI 只能作为慢性病管理的医疗支持系统,不会也不应该取代医生的角色。

参考文献

- [1] PENG W, CHEN S, CHEN X, et al. Trends in major non-communicable diseases and related risk factors in China 2002—2019: an analysis of nationally representative survey data[J]. *Lancet Reg Health West Pac*, 2024, 43: 100809.
- [2] 赵玉遂, 李顺. 面对疼痛, 不能忍忍就过了[J]. *健康博览*, 2024(10): 4-8.
- [3] HAUG C J, DRAZEN J M. Artificial intelligence and machine learning in clinical medicine, 2023 [J]. *N Engl J Med*, 2023, 388(13): 1201-1208.
- [4] SINGAREDDY S, SN V P, JARAMILLO A P, et al. Artificial intelligence and its role in the management of chronic medical conditions: a systematic review[J]. *Cureus*, 2023, 15(9): e46066.
- [5] ZHOU B, PEREL P, MENSAH G A, et al. Global epidemiology, health burden and effective interventions for elevated blood pressure and hypertension [J]. *Nat Rev Cardiol*, 2021, 18(11): 785-802.
- [6] ZHANG M, SHI Y, ZHOU B, et al. Prevalence, awareness, treatment, and control of hypertension in China, 2004-18: findings from six rounds of a national survey [J]. *BMJ*, 2023, 380: e71952.
- [7] CHO J S, PARK J H. Application of artificial intelligence in hypertension [J]. *Clin Hypertens*, 2024, 30(1): 11.
- [8] LAYTON A T. AI, machine learning, and ChatGPT in hypertension [J]. *Hypertension*, 2024, 81(4): 709-716.
- [9] LIU Z, ZHANG Y, ZHOU C. BiGRU-attention for continuous blood pressure trends estimation through single channel PPG [J]. *Comput Biol Med*, 2024, 168: 107795.
- [10] HUNG M H, SHIH L C, WANG Y C, et al. Prediction of masked hypertension and masked uncontrolled hypertension using machine learning [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2021, 8: 778306.
- [11] WU X, YUAN X, WANG W, et al. Value of a machine learning approach for predicting clinical outcomes in young patients with hypertension [J]. *Hypertension*, 2020, 75(5): 1271-1278.
- [12] LOUCA P, TRAN T, TOIT C D, et al. Machine learning integration of multimodal data identifies key features of blood pressure regulation [J]. *EBioMedicine*, 2022, 84: 104243.
- [13] MORAWSKI K, GHAZINOURI R, KRUMME A, et al. Association of a smartphone application with medication adherence and blood pressure control: the MedISAFE-BP randomized clinical trial [J]. *JAMA Intern Med*, 2018, 178(6): 802-809.
- [14] KOREN G, NORDON G, RADINSKY K, et al. Machine learning of big data in gaining insight into successful treatment of hypertension [J]. *Pharmacol Res Perspect*, 2018, 6(3): e396.
- [15] LI Y, JASANI F, SU D, et al. Decoding nonadherence to hypertensive medication in new york city: a population segmentation approach [J]. *J Prim Care Community Health*, 2019, 10: 922992321.
- [16] MOHAMMADZADEH N, GHOLAMZADEH M, SAEEDI S, et al. The application of wearable smart sensors for monitoring the vital signs of patients in epidemics: a systematic literature review [J]. *J Ambient Intell Humaniz Comput*, 2023, 14(5): 6027-6041.
- [17] CHAE S H, KIM Y, LEE K S, et al. Development and clinical evaluation of a web-based upper limb home rehabilitation system using a

- smartwatch and machine learning model for chronic stroke survivors; prospective comparative study[J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2020, 8(7):e17216.
- [18] 纪立农, 陆菊明, 郭晓蕙, 等. 中国 2 型糖尿病药物治疗现状与血糖控制的调查研究[J]. *中华糖尿病杂志*, 2012, 4(7):397-401.
- [19] JIA W. Diabetes care in China: innovations and implications[J]. *J Diabetes Investig*, 2022, 13(11):1795-1797.
- [20] BROOME D T, HILTON C B, MEHTA N. Policy implications of artificial intelligence and machine learning in diabetes management[J]. *Curr Diab Rep*, 2020, 20(2):5.
- [21] EL-KHATIB F H, BALLIRO C, HILLARD M A, et al. Home use of a bihormonal bionic pancreas versus insulin pump therapy in adults with type 1 diabetes; a multicentre randomised crossover trial[J]. *Lancet*, 2017, 389(10067):369-380.
- [22] ABBASI A, PEELEN L M, CORPELEIJN E, et al. Prediction models for risk of developing type 2 diabetes; systematic literature search and independent external validation study[J]. *BMJ*, 2012, 345:e5900.
- [23] TAPAK L, MAHJUB H, HAMIDI O, et al. Real-data comparison of data mining methods in prediction of diabetes in iran[J]. *Health Inform Res*, 2013, 19(3):177-185.
- [24] SUN T, XU Y, XIE H, et al. Intelligent personalized exercise prescription based on an ehealth promotion system to improve health outcomes of middle-aged and older adult community dwellers; pretest-posttest study[J]. *J Med Internet Res*, 2021, 23(5):e28221.
- [25] DAI L, WU L, LI H, et al. A deep learning system for detecting diabetic retinopathy across the disease spectrum[J]. *Nat Commun*, 2021, 12(1):3242.
- [26] GUAN Z, LI H, LIU R, et al. Artificial intelligence in diabetes management; advancements, opportunities, and challenges[J]. *Cell Rep Med*, 2023, 4(10):101213.
- [27] COHEN S P, VASE L, HOOTEN W M. Chronic pain; an update on burden, best practices, and new advances[J]. *Lancet*, 2021, 397(10289):2082-2097.
- [28] HUSSAIN M I, NELSON A M, YEUNG B G, et al. How the presentation of patient information and decision-support advisories influences opioid prescribing behavior; a simulation study[J]. *J Am Med Inform Assoc*, 2020, 27(4):613-620.
- [29] ADAMS M, NELSON A M, NAROUZE S. Daring discourse: artificial intelligence in pain medicine, opportunities and challenges[J]. *Reg Anesth Pain Med*, 2023, 48(9):439-442.
- [30] TRACEY I, WOOLF C J, ANDREWS N A. Composite pain biomarker signatures for objective assessment and effective treatment[J]. *Neuron*, 2019, 101(5):783-800.
- [31] SHIRVALKAR P, PROSKY J, CHIN G, et al. First-in-human prediction of chronic pain state using intracranial neural biomarkers[J]. *Nat Neurosci*, 2023, 26(6):1090-1099.
- [32] ZHANG M, ZHU L, LIN S Y, et al. Using artificial intelligence to improve pain assessment and pain management; a scoping review[J]. *J Am Med Inform Assoc*, 2023, 30(3):570-587.
- [33] CASCELLA M, SCHIAVO D, CUOMO A, et al. Artificial intelligence for automatic pain assessment: research methods and perspectives[J]. *Pain Res Manag*, 2023, 2023:6018736.
- [34] PIETTE J D, NEWMAN S, KREIN S L, et al. Patient-centered pain care using artificial intelligence and mobile health tools; a randomized comparative effectiveness trial[J]. *JAMA Intern Med*, 2022, 182(9):975-983.
- [35] SANDAL L F, ØVERÅS C K, NORDSTOGA A L, et al. A digital decision support system (selfBACK) for improved self-management of low back pain; a pilot study with 6-week follow-up[J]. *Pilot Feasibility Stud*, 2020, 6:72.
- [36] LO W, LEI D, LI L, et al. The perceived benefits of an artificial intelligence-embedded mobile app implementing evidence-based guidelines for the self-management of chronic neck and back pain; observational study[J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2018, 6(11):e198.
- [37] RABBI M, AUNG M S, GAY G, et al. Feasibility and acceptability of mobile phone-based auto-personalized physical activity recommendations for chronic pain self-management; pilot study on adults[J]. *J Med Internet Res*, 2018, 20(10):e10147.
- [38] SANDAL L F, BACH K, ØVERÅS C K, et al. Effectiveness of app-delivered, tailored self-management support for adults with lower back pain-related disability; a selfback randomized clinical trial[J]. *JAMA Intern Med*, 2021, 181(10):1288-1296. (下转第 3691 页)