

可穿戴设备在抑郁症监测与干预领域中的应用进展

何杨柳青, 梁芬荣, 王艺明, 魏雨寒, 马添佩

引用本文:

何杨柳青, 梁芬荣, 王艺明, 等. 可穿戴设备在抑郁症监测与干预领域中的应用进展[J]. 中国医疗器械杂志, 2024, 48(4): 407-412.

HE Yangliuqing, LIANG Fenrong, WANG Yiming, et al. Application Progress of Wearable Devices in the Field of Depression Monitoring and Intervention[J]. *Chinese Journal of Medical Instrumentation*, 2024, 48(4): 407-412.

<https://doi.org/10.12455/j.issn.1671-7104.230630>

收稿日期: 2023-11-07

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于脑电信号的无线可穿戴睡眠监测系统的研制

Development of Wireless Wearable Sleep Monitoring System Based on EEG Signal

中国医疗器械杂志. 2024, 48(2): 173-178 <http://doi.org/10.12455/j.issn.1671-7104.230414>

基于可穿戴设备的帕金森病运动迟缓检测评估方法研究进展

Research Progress on Evaluation Method of Parkinson's Disease Bradykinesia Detection Based on Wearable Device

中国医疗器械杂志. 2019, 43(6): 432-435 <http://doi.org/10.3969/j.issn.1671-7104.2019.06.011>

可穿戴多参数监护仪的关键技术

Core Technology of Wearable Multi-parameter Patient Monitor

中国医疗器械杂志. 2020, 44(4): 307-310 <http://doi.org/10.3969/j.issn.1671-7104.2020.04.005>

可穿戴心电设备快速筛查模式的探索

Exploration of Rapid Screening Mode of Wearable Intelligent ECG Device

中国医疗器械杂志. 2021, 45(2): 228-230 <http://doi.org/10.3969/j.issn.1671-7104.2021.02.022>

超低功耗可穿戴式无线心电测量系统的研制

Development of a Wearable Wireless ECG Monitoring System with Ultra-low Power Consumption

中国医疗器械杂志. 2020, 44(1): 28-32 <http://doi.org/10.3969/j.issn.1671-7104.2020.01.006>

可穿戴式老年人跌倒防护装置设计与研究

Design and Research of Wearable Fall Protection Device for the Elderly

中国医疗器械杂志. 2023, 47(3): 278-283 <http://doi.org/10.3969/j.issn.1671-7104.2023.03.009>



微信公众号



网站二维码

文章编号: 1671-7104(2024)04-0407-06

可穿戴设备在抑郁症监测与干预领域中的应用进展

【作者】 何杨柳青¹, 梁芬荣¹, 王艺明^{1,2}, 魏雨寒¹, 马添佩¹

1 贵州医科大学临床医学院, 贵阳市, 550000

2 贵州医科大学附属医院 精神科, 贵阳市, 550000

【摘要】 抑郁症的高复发率和严重后果对社会健康构成严峻挑战。为有效应对这一问题, 该综述旨在探索可穿戴设备在抑郁症监测与干预中的创新应用, 超越传统主观评估和患者自我报告的限制。该文系统分析了利用可穿戴设备监测抑郁症患者生理和行为指标的最新研究, 按照不同技术类型进行分类, 并评估其在早期诊断和干预中的实际效果。研究发现, 可穿戴设备能够持续监测与抑郁症相关的生理指标和行为模式, 为早期发现抑郁症提供可能, 并支持及时的干预措施。尽管可穿戴技术面临数据隐私和用户接受度等挑战, 但其在提升抑郁症治疗临床效果方面具有巨大潜力。

【关键词】 抑郁症; 可穿戴设备; 监测

【中图分类号】 R197.39; TH789

【文献标志码】 A

doi: 10.12455/j.issn.1671-7104.230630

Application Progress of Wearable Devices in the Field of Depression Monitoring and Intervention

【Authors】 HE Yangliuqing¹, LIANG Fenrong¹, WANG Yiming^{1,2}, WEI Yuhan¹, MA Tianpei¹

1 Clinical Medicine College of Guizhou Medical University, Guiyang, 550000

2 Department of Psychiatry, the Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Guiyang, 550000

【Abstract】 Depression's high recurrence rate and severe consequences pose significant challenges to public health. To address this issue effectively, this review explores the innovative application of wearable devices in monitoring and intervening in depression, surpassing the limitations of traditional subjective assessments and patient self-reports. The paper systematically analyzes recent studies utilizing wearable devices to monitor physiological and behavioral indicators of depression, categorizing them by different technological types and evaluating their practical effectiveness in early diagnosis and intervention. The findings indicate that wearable devices can continuously monitor physiological indicators and behavioral patterns related to depression, potentially enabling early detection of depressive episodes and supporting timely interventions. Despite challenges such as data privacy and user acceptance, wearable technology holds immense potential in enhancing clinical outcomes in depression treatment.

【Key words】 depression, wearable device, monitoring

0 引言

抑郁症是一种常见的情感性精神障碍, 其主要症状包括情绪低落、兴趣丧失等。在全球范围内, 抑郁症日益对公共卫生构成挑战。世界卫生组织 (WHO) 估计, 当前有超过3亿人患有抑郁症, 且2005—2015年患病率增长超过18%。预计到2030年, 抑郁症将成为全球主要疾病负担之一^[1]。

抑郁症特征包括高复发率、高致残率、与其他躯体和精神疾病的共病性, 以及显著的自杀风险^[2]。当前抑郁症的诊断主要依赖于患者的自我报告、医生的观察和量表评估。然而, 这些传统方法过于主观和耗时, 其评估结果的准确性有局限。特别是在门诊环境中, 患者与医生有限的互动时间可能影响对情绪变化的准确评估。因此, 实现对抑郁症的持续和实时监测显得尤为重要。随着近年来可穿戴技术的发展, 实现这一目标的可能性得到了提升。从智能手表到生理参数监测装置, 这些技术能实时追踪生理和行为数据, 为医生提供全面的患者信息。

收稿日期: 2023-11-07

基金项目: 贵州省科技计划项目 (〔2016〕5679)

作者简介: 何杨柳青, E-mail: 438124323@qq.com

通信作者: 王艺明, E-mail: 754603457@qq.com

本研究旨在探讨可穿戴技术在抑郁症诊断和治疗中的应用及潜在价值。下面讨论这些设备在监测抑郁症的生理和行为指标方面的应用、在疾病干预中的作用,以及探讨了可穿戴技术相关的伦理问题,特别是患者隐私和权益的保护。

1 可穿戴设备在抑郁症监测中的应用

可穿戴设备是指直接佩戴在人体上的电子设备,用于捕捉或跟踪与健康相关的生物特征信息^[3]。这些设备能够实时采集并检测心率、体温、血氧饱和度、皮肤电活动等^[4]参数,以促进健康管理。

随着人工智能技术的发展,可穿戴设备的数据分析变得更加自动、高效。通过Wi-Fi或蓝牙等信息传输媒介与系统交互,监测数据能够实时传输至数据中心进行处理,并快速反馈至用户。

在监测抑郁症方面,可穿戴设备发挥着关键作用,主要涉及对生理指标和行为指标的监测。

1.1 生理指标监测

1.1.1 心率变异性的监测

心率变异性(heart rate variability, HRV)是指心跳之间的时间间隔差异,通常用于评估自主神经系统的活动。研究发现,在仰卧休息状态下,抑郁症患者的HRV指标(低频成分和高频成分)均低于健康人群^[5],表明抑郁症患者具有较低的心率变异性。通过监测HRV的变化,研究人员可以评估抑郁症患者症状的严重程度并追踪治疗进展。目前常采用附有LED光学心率传感器的腕带式设备。然而,由于手腕位置相对远离心脏,所以可能存在记录心跳变化时的延迟。此外,若手腕监测器未与皮肤充分接触或位置不正确,可能影响读数的准确性。

1.1.2 皮肤电活动的监测

皮肤电活动被认为是反映情感激发和应激反应的敏感指标。研究发现,抑郁症患者的皮肤电导比健康人群低^[6]。BRANKOVIĆ等^[7]曾尝试通过皮肤电导预测特定抗抑郁药物的疗效反应,凸显了这一指标在治疗反应评估中的潜在价值。随着科技的进步,可穿戴设备(如Intel Basis Peak)通过生物阻抗传感器测量皮肤电导,有助于研究人员深入了解抑郁症患者的情感状态和情绪波动。这些数据对于制订个性化治疗计划和评估治疗效果具有重要帮助。

1.1.3 皮肤温度的监测

研究发现,抑郁症患者平均体温可能高于健康人群,且皮肤温度与睡眠时间和抑郁程度之间存

在关联^[8]。尽管目前可穿戴设备在监测皮肤温度方面的研究较少,技术仍不够成熟,但这一方法在评估患者的抑郁状态方面具有一定潜力。随着技术的发展,这种方法可能会变得更加可靠和有效。

1.1.4 脑电活动的监测

脑电图(electroencephalogram, EEG)是研究抑郁症的重要工具,特定波段(如 γ 波和 θ 波)在抑郁症的诊断中显示了较高的有效性^[9-10]。可穿戴设备的发展促进了便携式、高精度、实时采集脑电信号的技术。以DING等^[11]为例,他们通过多模态机器学习分析脑电图、眼动和皮肤电活动数据成功实现了抑郁症的检测(高达79.63%),而基于脑电图的神经反馈(EEG-NF)在辅助治疗抑郁症方面展现出潜力^[12]。

1.1.5 脑血流量的监测

抑郁症患者的大脑某些区域可能存在明显的脑血流量降低^[13]。功能性近红外光谱成像(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)是一种非侵入性技术,虽然在空间分辨率低和易受外部干扰方面存在局限,但因其能实时提供脑血流量数据,较其他脑成像技术(如功能性磁共振成像)更为便携低廉而具有独特优势。未来,随着设备的优化和数据处理算法的提升,fNIRS有望成为抑郁症研究和临床应用的重要工具。

1.2 行为指标监测

1.2.1 步数和活动水平的监测

研究表明,身体活动与抑郁症之间存在紧密联系。积极参与身体活动可降低患抑郁症的风险^[14],同时,抑郁情绪本身可能导致患者选择久坐生活方式及减少体育锻炼频率^[15]。可穿戴设备记录步数、运动时间和活动强度,医生和患者可通过监测这些指标评估患者的生活方式和身体活动水平。PALMIUS等^[16]发现,使用GPS信息的特征区分情绪抑郁状态和非抑郁状态,准确率达到85%。此外,借助特定的数据分析模型,还可基于患者早期以及后续活动增加的测量,来预测抑郁水平降低至达出院标准的日期^[17]。这有助于评估康复进展、制订康复计划和鼓励患者积极参与体育锻炼。

1.2.2 睡眠质量的监测

睡眠问题是抑郁症常见症状之一,而睡眠障碍可能导致或加重抑郁情绪^[18]。可穿戴设备监测睡眠模式、深度和质量,记录入睡时间、醒来时间、深度睡眠和浅睡眠的周期,从而提供患者的睡

眠习惯和睡眠问题的详细信息。研究表明,智能手环在反映使用者的睡眠情况方面与标准的多导睡眠图结果接近。通过收集患者昼夜节律相关参数,数字算法模型可以预测未来3 d的心境状况(准确率高达65%)^[19]。同时,通过收集睡眠相关参数,尤其是觉醒时间和总睡眠时间,可以预测抑郁症相关性慢性疼痛的程度^[20]。因此,监测睡眠质量有助于制定改善睡眠的策略,进而减轻抑郁症状。

1.2.3 社交互动的监测

抑郁症患者通常表现出社交孤立的倾向,其社交互动相对较少^[21]。可穿戴设备可以跟踪多种社交互动,包括电话通话、短信和社交媒体的使用情况。通过监测社交数据,研究人员能够深入了解患者的社交支持系统和社交孤立程度。这为制订支持和干预策略提供了关键线索,有助于协助患者建立更为健全的社交支持系统,提升他们的社交互动水平和心理健康,进而减轻抑郁症状。

1.3 使用可穿戴设备进行抑郁症的早期诊断

早期诊断对于抑郁症患者的治疗和康复至关重要。可穿戴设备通过实时监测患者的生理和行为指标,提供抑郁症早期识别的新途径。这一过程始于建立患者的基线数据,即在一定时间内收集其正常生理和行为模式的信息,为后续异常模式检测提供参照。

医生和研究人员使用专门的软件和算法来分

析这些数据^[22],如心率变异性的异常、情感激发模式异常、皮肤温度的异常波动、持续的活动水平下降、睡眠模式的改变及社交互动的减少,均可被视为潜在的抑郁症早期风险警示。例如,南洋理工大学进行的一项研究表明,利用YCOGNI模型处理Fitbit运动手环收集的心率和睡眠数据,可以识别高抑郁风险人群,准确率高达80%^[23]。这些发现不仅展示了可穿戴设备在早期诊断抑郁症中的应用潜力,也强调了特定生理指标与抑郁症发生之间的联系。

需要指出的是,早期抑郁症的诊断是一个复杂的过程,不能仅仅依赖可穿戴设备提供的数据。然而,这些设备可以为医疗专业人员提供有用的线索,帮助他们更早地发现患者的风险因素和症状,从而更好地管理和治疗抑郁症。随着技术的进步,可穿戴设备在抑郁症早期诊断中的作用将更加突出^[24-26]。

2 可穿戴技术在抑郁症干预中的角色

抑郁症患者往往因顾虑隐私,不愿寻求外界帮助。对此,可穿戴技术以其保障隐私和便携性,提供了新的解决方案。目前,抑郁症治疗中的可穿戴技术主要包括数字精神疗法和便携式物理治疗设备。可穿戴设备在抑郁症干预中的应用及优劣势比较如表1所示。

表1 可穿戴设备在抑郁症干预中的应用及优劣势比较

Tab.1 Application and comparison of advantages and disadvantages of wearable devices in depression intervention

可穿戴设备类型	主要功能	优势	劣势	适用场景
智能手表/手环	监测心率、运动、睡眠、情绪变化	易于佩戴,实时数据监测	数据准确性受传感器质量和佩戴位置影响	日常健康监测
情绪识别设备	通过面部表情、语音分析识别情绪	能够在特定情境下提供即时反馈	对环境 and 用户表现方式敏感	情感分析、心理辅导
光疗眼镜	通过LED光源模拟阳光频谱,减轻抑郁症状	有效缓解抑郁症状,提高日常治疗的可行性和便捷性	需要每日进行光照治疗,部分患者可能对光敏感	季节性抑郁患者、需要日常光照治疗的患者
家用经颅磁刺激设备	通过脉冲磁场作用于中枢神经系统,有助于减轻抑郁症状	广泛应用于抑郁症治疗、可制作成便携设备	技术起步阶段,需确保治疗效果,避免潜在损害	抑郁症患者、需要经颅磁刺激治疗的患者
EEG设备	监测脑电活动,辅助抑郁症诊断和治疗效果评估	提供深入脑活动模式分析,有助于个性化治疗方案制订	不适合长时间佩戴,需专业人员分析和解读数据	抑郁症研究、个性化治疗的辅助工具
fNIRS设备	通过监测大脑血流量变化评估大脑活动情况	非侵入性、适用于长时间监测,实时了解大脑功能状态	空间分辨率较低、易受外部环境的影响,需专业分析	抑郁症的日常监测和治疗进展跟踪
新型生物标志物	评估与抑郁症相关的新指标,如眼压、泪液成分、瞳孔扩张	提供全面的抑郁症评估和个性化治疗信息	需进一步研究验证、数据准确性和可靠性有待提高	抑郁症评估和个性化治疗的辅助工具

2.1 数字精神疗法

在大数据和网络医疗背景下,数字疗法通过可穿戴设备提供的实时生物反馈数据,帮助患者了

解和管理自身的生理状况。例如,当患者感受到焦虑或紧张时,设备通过监测心跳和皮肤电阻的变化,提示患者进行深呼吸等缓解技巧。此外,通过

记录生活习惯、睡眠模式以及情绪数据,可深化患者对自身身体和情绪状态的理解。如武田制药与 Cognition Kit 在 Apple Watch 上安装的应用程序,可监测和评估抑郁症患者对自我心理健康状态的认知,这种自我记录方式能助患者和医疗专业人员更有效地追踪病症发展和治疗效果^[25,27]。

人工智能 (artificial intelligence, AI) 和机器学习的应用进一步拓展了数字精神疗法的范围。多家公司正在研发基于认知行为疗法 (cognitive behavioral therapy, CBT) 的用户评估和干预系统。CBT 是一种常被用于抑郁症治疗的心理疗法,旨在帮助患者认识并改变自身的负面思维和行为模式。国内的好心情平台推出的数字助手“心心”和望里科技开发的手机应用即通过从可穿戴设备中获取用户的生理数据,再以高度整合的多媒体互动方式 (如动画、视频、声音以及交互训练) 进行 CBT 的实施。意味着当患者产生情绪波动或认知偏差时,这些设备和应用程序能够接收信号,并通过 AI 提供放松策略、情绪调节方案和积极思维引导,给予实时的心理支持。

2.2 便携版物理治疗仪器

为提高治疗可用性和便捷性,市面上已推出多种小型化、便携版的物理治疗设备。例如,光疗是抑郁症治疗中常用的方法,尤其对季节性抑郁症有效。SWANSON 等^[28]研发的家用光疗眼镜通过 LED 光源模拟阳光频谱,有效减轻抑郁症状,其便利性使患者能够在日常生活中接受治疗。

此外,经颅磁刺激 (transcranial magnetic stimulation, TMS) 和经颅直流电刺激 (transcranial direct current stimulation, tDCS) 等技术也被广泛应用于抑郁症治疗。tDCS 治疗示意如图 1 所示^[29]。例如,Flow、Thync 以及 Ybrain 公司的 Mindd 小型脑刺激设备为患者提供了新的治疗选择。但这些技术仍处于起步阶段,有待开展更多研究以确保它们在非专业监控下的安全性和有效性。



图1 tDCS治疗示意

Fig.1 Schematic diagram of tDCS treatment

可穿戴技术在抑郁症治疗中提供了个性化、便捷和保护隐私的治疗方案,较大提升治疗效果。数字精神疗法通过监测生理和行为指标支持个性化治疗。便携式物理治疗设备提高了治疗的便利性。这2种技术的结合为患者提供了灵活的治疗选择,提升了治疗效果和患者的体验。未来,将针对这些技术展开更多的研究和验证,以确保其安全性、有效性和长期效果。

3 可穿戴设备的未来发展

目前市面上占较大市场份额的智能手环,包括 Fitbit、Jawbone、Misfit、Apple Watch 和 Withings 等产品。这些设备通常需签订用户信息收集协议,以助完善抑郁症诊断的研究。除智能手环外,智能隐形眼镜^[30] (smart contact lenses, SCLs) 亦是具有巨大潜力的可穿戴设备。目前, SCLs 已实现了眼压、泪液成分、瞳孔扩张等作为抑郁症早期诊断潜在电生理学指标的监测。此外, SCLs 同智能眼镜及智能耳机一样,也是实现增强现实 (augmented reality, AR) 的一个手段。通过智能隐形眼镜与 AR 技术相结合,数字信息可以覆盖在真实世界环境之上,为抑郁症患者的治疗提供新的可能性,也许是未来发展的新方向。

总的来说,可穿戴技术为抑郁症患者提供了创新的诊断、监测及干预方式,增加了治疗的可及性和个性化程度。随着技术的不断进步,可穿戴设备将为抑郁症患者提供更多的支持和帮助。然而,这些技术仍需更多的研究和验证,以确保其安全性、有效性和长期效果。

4 可穿戴技术面临的挑战与机遇

可穿戴设备在抑郁症的诊断和治疗中展现了巨大的潜力,但仍面临一些挑战:①数据隐私和保密问题,可穿戴设备收集了包括情感状态和生理健康数据在内的敏感信息,患者和用户可能担心个人数据被泄露或不当使用;②数据的准确性与可靠性,市场上许多设备未经严格医学验证,设备之间的差异、使用环境和其他外部因素均可能影响数据准确性;③治疗过度依赖,患者可能过分关注自己的生理指标和行为数据,忽视其他重要的治疗方法,甚至可能加剧患者的焦虑和抑郁症状;④设备的用户友好性和接受度,对于某些用户群体,尤其是老年人,新技术的接受和使用可能存在障碍,未来的设计需考虑易用性,以提高普及率。

尽管面临挑战,可穿戴技术也给抑郁症治疗

带来了新的机遇：①个性化治疗，依据每位患者的数据，可提供更个性化的治疗建议和计划；②持续监测与实时反馈，医生可以实时获取患者健康数据，有助于更有效地监测病情并及时调整治疗策略；③纳入日常生活中的治疗，可穿戴设备为患者提供在日常生活中持续接受治疗和反馈的工具，使治疗更便捷；④疫情背景下的远程医疗，特别是在 COVID-19 等疾病大流行背景下，可穿戴设备为远程医疗和病情监测提供了新的可能性。

总的来说，可穿戴技术在抑郁症诊断和治疗中存在挑战，但随着技术进步和研究深入，它们有望提高抑郁症患者的生活质量和治疗效果。有效管理伦理问题并不断改进技术应用，是确保这些潜在机遇得以最大化实现的关键。

5 结论

目前抑郁症的治疗主要依赖药物，但这种方法面临依从性差、效果有限和存在副作用等问题。可穿戴设备为抑郁症的监测、诊断和干预治疗提供了新的途径。这些设备不仅可以作为传统诊疗手段的有力补充，提高诊疗效率和可及性，还能使患者在日常生活中进行持续干预和训练，摆脱了治疗的限制。

然而，如何确保数据的隐私和安全，如何获得患者的知情同意，以及如何确保设备的准确性和可靠性等都是亟待解决的问题。

随着“脑机接口”等新技术的发展，我们对未来寄予了更多期望。现在追求“千人千面”的精准医疗，如中国科学院心理研究所的“心花计划”，正推动可穿戴技术在抑郁症领域的应用，并提升其可靠性。其中，医生、研究人员、技术开发者以及患者之间的密切合作显得尤为关键。只有通过协作，才能确保技术既能提供帮助，又能最大限度地保护患者隐私和权益。

总之，可穿戴设备为抑郁症的监测与干预提供了新的机会和挑战。通过充分利用这些设备，结合 AI 和物联网技术实现数据共享，医疗团队可以远程监督和引导患者，提供更全面、个性化的预防、诊断和治疗方法。然而，在追求科技创新的同时，也必须深思伦理和技术问题，以确保该领域的发展既符合道德和法规要求，又造福患者。

参考文献

- [1] MURRAY C J L, VOS T, LOZANO R, et al. Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 diseases and injuries in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the global burden of disease study 2010[J]. *Lancet*, 2012, 380(9859): 2197-2223.
- [2] HAWTON K, CASAÑAS I, COMABELLA C, HAW C, et al. Risk factors for suicide in individuals with depression: A systematic review[J]. *J Affect Disord*, 2013, 147(1-3): 17-28.
- [3] NANJAPPAN V, LIANG H N, WANG W, et al. Big data: a classification of acquisition and generation methods[M]//HSU H H, CHANG C Y, HSU C H. Big Data Analytics for Sensor-Network Collected Intelligence. New York: Academic Press, 2017: 299-306.
- [4] DE PASQUALE G, RUGGERI V. Sensing strategies in wearable bio-mechanical systems for medicine and sport: a review[J]. *J Micromech Microeng*, 2019, 29(10): 103001.
- [5] SHINBA T. Major depressive disorder and generalized anxiety disorder show different autonomic dysregulations revealed by heart-rate variability analysis in first-onset drug-naïve patients without comorbidity[J]. *Psychiatry Clin Neurosci*, 2017, 71(2): 135-145.
- [6] BUTHMANN J, FINIK J, VENTURA G, et al. The children of superstorm sandy: maternal prenatal depression blunts offspring electrodermal activity[J]. *Biol Psychol*, 2019, 146: 107716.
- [7] BRANKOVIĆ S B. System identification of skin conductance response in depression - an attempt to probe the neurochemistry of limbic system[J]. *Psychiatr Danub*, 2008, 20(3): 310-322.
- [8] TAZAWA Y, LIANG K C, YOSHIMURA M, et al. Evaluating depression with multimodal wristband-type wearable device: screening and assessing patient severity utilizing machine-learning[J]. *Heliyon*, 2020, 6(2): e03274.
- [9] IOSIFESCU D V. Electroencephalography-derived biomarkers of antidepressant response[J]. *Harv Rev Psychiatry*, 2011, 19(3): 144-154.
- [10] DE AGUIAR NETO F S, ROSA J L G. Depression biomarkers using non-invasive EEG: a review[J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2019, 105: 83-93.
- [11] DING X F, YUE X X, ZHENG R, et al. Classifying major depression patients and healthy controls using EEG, eye tracking and galvanic skin response data[J]. *J Affect Disord*, 2019, 251: 156-161.
- [12] PATIL A U, LIN C, LEE S H, et al. Review of EEG-based neurofeedback as a therapeutic intervention to treat depression[J]. *Psychiatry Res Neuroimaging*, 2023, 329: 111591.
- [13] CHITHIRAMOHAN T, PAREKH J N, KRONENBERG G, et al. Investigating the association between depression and cerebral haemodynamics-a systematic review and meta-analysis[J]. *J Affect Disord*, 2022, 299: 144-158.
- [14] DE MELLO M T, LEMOS V D A, ANTUNES H K M, et al. Relationship between physical activity and depression and anxiety symptoms: a population study[J]. *J Affect*

- Disord, 2013, 149(1-3): 241-246.
- [15] HARRIS A H S, CRONKITE R, MOOS R. Physical activity, exercise coping, and depression in a 10-year cohort study of depressed patients[J]. *J Affect Disord*, 2006, 93(1-3): 79-85.
- [16] PALMIUS N, TSANAS A, SAUNDERS K E A, et al. Detecting bipolar depression from geographic location data[J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2017, 64(8): 1761-1771.
- [17] PEIS I, LÓPEZ-MORÍNIGO J D, PÉREZ-RODRÍGUEZ M M, et al. Actigraphic recording of motor activity in depressed inpatients: a novel computational approach to prediction of clinical course and hospital discharge[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 17286.
- [18] BYRNE E M, TIMMERMAN A, WRAY N R, et al. Sleep disorders and risk of incident depression: a population case-control study[J]. *Twin Res Hum Genet*, 2019(3): 22.
- [19] CHO C H, LEE T, KIM M G, et al. Mood prediction of patients with mood disorders by machine learning using passive digital phenotypes based on the circadian rhythm: prospective observational cohort study[J]. *J Med Internet Res*, 2019, 21(4): e11029.
- [20] CHUNG K F, TSO K C. Relationship between insomnia and pain in major depressive disorder: a sleep diary and actigraphy study[J]. *Sleep Med*, 2010, 11(8): 752-758.
- [21] SANTINI Z I, KOYANAGI A, TYROVOLAS S, et al. The association between social relationships and depression: a systematic review[J]. *J Affect Disord*, 2015, 175: 53-65.
- [22] MULLICK T, RADOVIC A, SHAABAN S, et al. Predicting depression in adolescents using mobile and wearable sensors: multimodal machine learning-based exploratory study[J]. *JMIR Form Res*, 2022, 6(6): e35807.
- [23] RYKOV Y, THACH T-Q, BOJIC I, et al. Digital biomarkers for depression screening with wearable devices: cross-sectional study with machine learning modeling[J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2021, 9(10): e24872.
- [24] ELGENDI M, MENON C, et al. Assessing anxiety disorders using wearable devices: challenges and future directions[J]. *Brain Sci*, 2019, 9(3): 50.
- [25] WUTTKE A, STEINMETZ A, ENDRES K, et al. Behavioral activation by wearable devices in patients with late-life depression[J]. *GeroPsych*, 2024, 37(2): 109-120.
- [26] SEQUEIRA L, PERROTTA S, LAGRASSA J, et al. Mobile and wearable technology for monitoring depressive symptoms in children and adolescents: a scoping review[J]. *J Affect Disord*, 2020, 265: 314-324.
- [27] ANGEL V D, LEWIS S, MUNIR S, et al. Using digital health tools for the remote assessment of treatment prognosis in depression (RAPID): a study protocol for a feasibility study[J]. *BMJ open*, 2022, 12(5): e059258.
- [28] SWANSON L M, BURGESS H J, ZOLLARS J, et al. An open-label pilot study of a home wearable light therapy device for postpartum depression[J]. *Arch Womens Ment Health*, 2018, 21(5): 583-586.
- [29] 博睿康. NeuStim经颅电刺激系统[EB/OL]. [2023-11-07]. <http://www.neuracle.cn/productinfo/147920.html>.
- [30] SEO H, CHUNG W G, KWON Y W, et al. Smart contact lenses as wearable ophthalmic devices for disease monitoring and health management[J]. *Chem Rev*, 2023, 123(19): 11488-11558.