DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2025354

· 综 述 ·

# 人工智能在青少年非自杀性自伤行为识别与干预中的研究进展

尹京凤,赵燕皓,刘欣怡,邹海欧

中国医学科学院北京协和医学院护理学院,北京 100144

【摘要】 青少年非自杀性自伤(NSSI)在全球范围内的流行趋势日益严峻,传统心理健康服务的资源配置和服务可及性难以满足日益增长的社会需求,而人工智能(AI)技术的快速发展提供了新的技术路径。文章系统综述 AI 技术在青少年 NSSI 领域的研究进展,展示了机器学习、自然语言处理与深度学习等关键技术在青少年 NSSI 风险预测、情绪识别与在线干预中的研究成果,但目前还存在算法偏见、数据隐私保护、模型可解释性及伦理决策问题,未来研究应着力基于人工智能开展多学科协同合作,构建安全、有效、可持续的数字化心理干预体系,为青少年 NSSI 行为的预警与干预提供创新性策略与技术支持。

【关键词】 人工智能;自我伤害行为;干预;青少年

【中图分类号】 C 913.5 B 844.2 TP 18 【文献标识码】 A 【文章编号】 1000-9817(2025)12-1820-05

**Research progress on the identification and intervention of non-suicidal self-injury behavior among adolescents using artificial intelligence**

YIN Jingfeng, ZHAO Yanhao, LIU Xinyi, ZOU Haiou

*School of Nursing, Peking Union Medical College, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing* 100144, *China*

【Abstract】 The global prevalence of non-suicidal self-harm (NSSI) among adolescents is becoming increasingly severe. Traditional mental health services are struggling to meet the growing social demand due to limited resource allocation and service accessibility. The rapid development of artificial intelligence (AI) technology provides a new technological path. The article systematically reviews the research progress of AI technology in adolescent NSSI, demonstrating key technologies such as machine learning, natural language processing, and deep learning in predicting NSSI risk prediction, emotion recognition and online intervention for adolescents. However, challenges remain, including algorithm bias, data privacy protection, model interpretability and ethical decision-making. Future research should focus on multi-disciplinary collaborative cooperation based on artificial intelligence to build a safe, effective and sustainable digital psychological intervention system, so as to provide innovative strategies and technical support for the early warning and intervention of NSSI behavior in adolescents.

【Keywords】 Artificial intelligence; Self-injurious behavior; Intervention; Adolescent

非自杀性自伤(non-suicidal self-injury,NSSI)指在没有自杀意图的情况下,故意损伤自己身体的行为,如割伤、烧伤、咬伤或抓伤皮肤等自残行为[1]。近年来,青少年 NSSI 在全球范围内的发病形势愈加严峻[2-3],其患病率随着时间的推移呈上升趋势[4-5]。一项汇总北美洲、大洋洲、欧洲和亚洲 17 个国家的 Meta 分析指出,10 ~ 19 岁青少年 NSSI 的患病率为 17.7%[6]。而中国青少年 NSSI 的现状也不容乐观,Qu 等[7]研究显示中国青少年 NSSI 终生患病率为 24.7%。此外,NSSI 还与瘢痕形成、社交困难和精神障碍等一系列不良结局相关[8],不仅损害青少年的身心健康,还会增加自杀的风险[9]。鉴于此,为该群体制定有效的干预措施已刻不容缓。为 NSSI 青少年提供心理健康服务是遏制其自伤的重要一环,传统心理健康服务虽发展成熟,但仍面临资源配置和服务可及性难以满足日益增长的心理需求的难题[10-11]。人工智能(artificial intelligence,AI)技术的进步为此提供了创新解决方案。AI 指非人类机器或人工实体,其在执行任务、解决问题、沟通、互动和逻辑行动方面具备与人类相似的实际能力[12]。Klarin 等[13]调查了 359 名青少年,结果显示 52.6%使用过 AI 且反馈良好。为此,本文对 AI 在青少年 NSSI 预测与干预方面的研究现状和最新进展进行综述,为临床医务人员制订精准、可扩展的 NSSI 预防及干预策略提供参考。

【作者简介】 尹京凤(2001- ),女,安徽桐城人,在读硕士,主要研究方向为青少年心理护理。

【通信作者】 邹海欧,E-mail:haiou5275@163.com

## 1　AI 在青少年非自杀性自伤中的探索实践

AI 是一个涵盖计算机系统和算法的理论和进步的领域，包括机器学习（machine learning，ML）、自然语言处理（natural language processing，NLP）、深度学习（deep learning，DL）、计算机视觉（computer vision，CV）等关键技术[14]。AI 在心理健康领域应用范围较为广泛：分析用户行为提供个性化内容、分析用户输入文本、进行沟通对话，以及生成文本、图像、音乐或视频等内容及执行更复杂的任务[15-17]。AI 呈现出自适应学习、智能推理、人机协同、交互优化和领域赋能等特点，具有强大的数据收集和交互分析能力，且不断迭代升级[18]。教育部等十七部门联合印发《全面加强和改进新时代学生心理健康工作专项行动计划（2023—2025 年）》[19]强调以科技手段完善心理健康监测与预警体系，推动心理健康服务高质量发展。AI 技术在青少年 NSSI 中进行了日益深入的探索实践，采用 ML、DL、CV 等关键技术，为青少年 NSSI 的风险预测、行为识别、早期干预及心理支持等诊疗环节提供重要支持，助力自伤青少年护理干预的精准性与临床诊疗效率的提升。

## 2　AI 在青少年非自杀性自伤中的技术应用

2.1　ML 技术　ML 是一种使用先进的统计和概率方法来构建系统的技术，ML 技术通过对大量数据的挖掘和分析，有助于 NSSI 相关风险因素的识别[20]。如 Su 等[21]利用随机森林算法开发了预测青少年自杀和 NSSI 的 AI 模型，发现抑郁情绪、情绪行为问题、自我认知以及学校和家庭关系是主要风险因素，有助于医务人员筛查高风险青少年，为其提供必要的心理支持和治疗，从而降低自杀和 NSSI 发生率；Chen 等[22]对中国 4 487 名初中和高中学生采用 10 种算法构建 NSSI 预测模型，结果表明集成 ML 算法可以提高青少年 NSSI 预测的准确性；Zhang[23]对 2 047 名 11～17 岁中国青少年开展调查，采用 ML 技术探索青少年 NSSI 风险因素，并基于熵权法进行了青少年自伤行为的风险网络分析。Haghish 等[24]基于 ML 技术识别了青少年 NSSI 的风险因素，还探讨了运用多模态数据实现区分青少年自杀性自伤和 NSSI 方法。ML 技术在 NSSI 个性化干预领域展现出潜力，该技术能够精准识别并归类现有干预措施效果不佳的青少年 NSSI 特征，从而指导研究改进以提高干预效果[25]。此外，ML 算法还用于识别生物标志物[26]，可从生理学指标实现靶向干预。如 Mürner-Lavanchy 等[27]利用 ML 技术（支持向量机、随机森林）分析 NSSI 青少年的神经影像（如前额叶、杏仁核）和生理数据（如皮质醇、心率变异性），发现 NSSI 组与健康对照组在脑结构和生理功能上存在差异。提示这些生物学特征可能构成 NSSI 的潜在生物表型，研究强调了多模态生物学数据在理解 NSSI 机制中的重要性，应进一步探索生物标志物在 NSSI 临床干预中的应用潜力。ML 技术在 NSSI 自伤风险预测方面表现尚佳，可为青少年 NSSI 个性化与精准治疗提供干预依据。

2.2　NLP 技术　NLP 技术是一种功能强大的文本挖掘方法，基于该技术可实现对大规模文本数据的深度解析，精准提取青少年情感倾向、语义内涵及主题偏好，从而有效识别与 NSSI 相关的情绪表达[28]。如 Do 等[29]通过 NLP 技术分析韩国青少年在新型冠状病毒感染疫情期间关于 NSSI、多动症和失眠的应对策略，包括在线交流、寻求心理支持和自我调节。Kim 等[30]研究使用 NLP 技术分析了在线平台上关于 NSSI 问题，可识别青少年关注的主要主题，包括情绪调节、自我认知、社会支持和寻求建议等，研究强调了基于 NLP 技术识别和精准干预 NSSI 倾向青少年的潜在价值。Huang 等[31]研究通过文献挖掘、NLP 技术及其语义标注的方法对 NSSI 行为与心理状态的关联进行了语义解析与推理，构建了 NSSI 知识图谱，并探索认知、情感和 NSSI 行为之间的关联。Habicht 等[32]基于 NLP 技术开发的名为“Limbic Access”智能转诊方案，旨在简化青少年的心理健康转诊流程，通过引导青少年参与基于文本的交互式对话，实现收集信息、风险筛查及评估转诊等功能，从而为青少年提供个性化且及时的 NSSI 医疗干预，提升了心理健康服务的可及性。

2.3　DL 技术　DL 技术利用神经网络自动学习和解决复杂问题，包括文本、语音和图像识别[20]。如 Obeid 等[33]通过 DL 技术分析电子健康记录中提取的临床文本注释，以识别和预测 NSSI 行为，研究发现 DL 模型识别 NSSI 的效果优于传统模型，提示未来可构建 DL 模型来提升识别 NSSI 的准确性。Xian 等[34]利用卷积神经网络（convolutional neural network，CNN）对社交媒体平台上带有“#self harm”标签的内容进行自动分类和分析，通过对 CNN 模型进行大量数据训练，实现了对 NSSI 相关内容的有效识别。Goyal 等[35]基于 AI 技术开发的多模态系统 MindLift，深度融合了 CNN 与 DL 技术，通过解析面部表情、语音韵律、文本情感及其他数据，实现对青少年情绪的实时评估，并结合认知行为疗法（cognitive behavioral therapy，CBT）为其提供个性化 NSSI 干预。Wu 等[36]研究基于 DL 技术与多模态数据整合出疼痛处理神经环路的功能磁共

振成像功能的连接特征,从而实现对 NSSI 的精准预测。Liang 等[37]研发出为 NSSI-Net 的新型 DL 模型,融合 CNN 技术与双向门控循环单元,可实现青少年患者的高维脑电图信号中识别 NSSI 行为,结果表明与现有的 DL 技术相比,NSSI-Net 在识别青少年 NSSI 行为方面性能提高了 5.44%,为基于生理信号的 NSSI 监测提供了新的技术手段。

2.4 CV 技术 CV 技术是 AI 的一个领域,赋予计算机和系统发现、观察和理解的能力[38],特别是在 NSSI 青少年情绪的识别、分类与理解方面展示出显著优势,为医务人员了解其状态提供了强有力的工具支持。如 Alamgir 等[39]专注于使用混合 AI 模型进行面部表情识别,展示了其有效分类情绪的能力。Zhu 等[40]基于 CV 技术完成了 1 644 例 NSSI 青少年的面部情绪识别任务,使用 OpenFace 2.0 软件提取 17 维面部动作单元及 3D 面部关键点,实现了动态识别青少年情绪、预警其自伤行为,从而为其提供及时的心理支持和干预。Zhen 等[41]通过静息态与冥想态脑电记录,采用 CV 技术从中国面部情感图片系统中选取的显示积极、消极或中性表情的面部灰度图像表情,对受试者进行情绪 Go/NoGo 任务,以考察其在情绪背景下,对特定刺激做出反应(Go)或抑制反应(NoGo)的能力,对比青少年 NSSI 患者在接受不同类型正念训练后脑功能网络的动态重塑过程,结果显示不同形式的正念练习并非等效,揭示了正念干预对青少年 NSSI 行为的神经调控机制;表明未来干预方案的设计应更注重冥想类型的选择与匹配,为青少年 NSSI 行为非药物干预提供新思路。

2.5 基于 AI 技术开发的心理健康应用程序 AI 技术用于开发数字化心理健康程序,实现了与青少年实时互动,提供咨询服务和支持,为 NSSI 青少年提供便捷、可及的心理健康服务。如 Silk 等[42]基于 AI 技术开发的 SmartCAT 2.0 的 CBT 应用程序,为青少年提供交互式和游戏化界面练习 CBT 技能,从而改善青少年负面情绪。Deshpande 等[43]基于 Twitter 和 Reddit 数据集,设计了轻量级、可嵌入心理健康聊天机器人的 NSSI 风险实时检测算法,且验证后准确率高达 97%,可通过准确检测青少年的自残言论并进行早期干预,从而提高其安全性。Rodante 等[44]运用 AI 技术开发名为“CALMA”交互式应用程序,为西班牙青少年提供基于辩证行为疗法的在线干预,协助青少年更好管理负面情绪。Inkster 等[45]和 Fitzpatrick 等[46]开发的应用程序为青少年提供心理健康干预,集成了多种功能模块,包括 AI 陪伴日记、正念练习、AI 疗愈音乐以及游戏化课程等,结果显示青少年对应用程序的满意度和保留率较高。此外,这些应用程序的使用有助于改善青少年的焦虑和抑郁情绪,并降低 NSSI 等危险行为的发生率。

## 3 挑战与展望

尽管 AI 在 NSSI 识别和预测方面具有潜力,但仍面临一些挑战,包括(1)数据隐私保护:在使用图像和视频数据进行 NSSI 识别时,需要严格遵守数据隐私保护法规,避免泄露个人信息;(2)数据集偏差:用于训练 ML 模型的数据集可能存在偏差,导致模型在不同人群中的预测效果不同,需要收集更多样本化、代表性的数据,以提高模型的泛化能力;(3)算法可解释性:DL 模型通常具有复杂的结构,难以解释其预测结果。提高算法的可解释性有助于医疗工作者理解 NSSI 的发生机制,并制定更有效的干预措施;(4)伦理问题:CV 在情感识别方面存在争议,需要谨慎应用,避免侵犯个人权益;(5)决策失误:过度依赖 AI 系统可能会削弱人际互动和专业判断,易做出不适当的决策。

针对 AI 在青少年 NSSI 识别与干预中应用的挑战,未来应采取多方面措施应对:在使用图像和视频数据进行 NSSI 识别时需严格遵守规范,如《通用数据保护条例》[47]、《儿童个人信息网络保护规定》[48]等相关法规,确保数据处理的合法性和透明度;应收集来自不同人群、文化背景和社会经济地位的数据,确保数据集的多样性和代表性;AI 模型应提供详细的预测报告,解释模型做出特定预测的原因,并提供相关证据和解释,有助于加强 AI 结果可信性;在 AI 技术应用于青少年 NSSI 时,必须建立明确的伦理指南和监管机制[49],确保技术的应用符合伦理道德标准;加强 AI 系统与专业人员的协作,将 AI 系统作为辅助工具,基于 AI 开展多学科协同合作,构建安全、有效、可持续的数字化心理干预体系,并审慎结合 AI 的预测结果和专业人员的经验进行科学判断。

未来的研究方向包括开发更加精准和个性化的 AI 干预措施,探索 AI 在不同文化和社会背景下的应用,以及加强对 AI 系统伦理问题的研究和监管,构建多学科、多层面的干预体系,为青少年开发出更有效、安全和可靠的 NSSI 筛查和干预工具。

**利益冲突声明** 所有作者声明无利益冲突。

**参考文献**

[1] BUELENS T, LUYCKX K, KIEKENS G, et al. Investigating the DSM-5 criteria for non-suicidal self-injury disorder in a community sample of adolescents[J]. J Affect Disord, 2020, 260: 314-322.

[2] XU Y E, BARRON D A, SUDOL K, et al. Suicidal behavior across a broad range of psychiatric disorders[J]. Mol Psychiatry, 2023, 28(7): 2764-2810.

[3] JIA J, DU X, DUAN T, et al. Trends in non-suicidal self-injury among adolescents: a global cross-temporal Meta-analysis, 2007-2023[J]. Psychol Med, 2025, 55: e340.

[4] NOCK M K. Self-injury[J]. Annu Rev Clin Psychol, 2010, 6: 339-363.

[5] DE LUCA L, PASTORE M, PALLADINO B E, et al. The development of non-suicidal self-injury (NSSI) during adolescence: a systematic review and Bayesian Meta-analysis[J]. J Affect Disord, 2023, 339: 648-659.

[6] DENTON E G, ÁLVAREZ K. The global prevalence of non-suicidal self-injury among adolescents[J]. JAMA Netw Open, 2024, 7(6): e2415406.

[7] QU D, WEN X, LIU B, et al. Non-suicidal self-injury in Chinese population: a scoping review of prevalence, method, risk factors and preventive interventions[J]. Lancet Reg Health West Pac, 2023, 37: 100794.

[8] KIEKENS G, HASKING P, BOYES M, et al. The associations between non-suicidal self-injury and first onset suicidal thoughts and behaviors[J]. J Affect Disord, 2018, 239: 171-179.

[9] LIU R T, WALSH R F L, SHEEHAN A E, et al. Prevalence and correlates of suicide and non-suicidal self-injury in children: a systematic review and Meta-analysis[J]. JAMA Psychiatry, 2022, 79(7): 718-726.

[10] 陈润滋, 马宁, 王云锋, 等. 2020 年中国内地精神卫生医疗机构心理治疗和心理咨询服务资源现状[J]. 中国公共卫生, 2024, 40(8): 969-973.
CHEN R Z, MA N, WANG Y F, et al. Current status of psychotherapy and counseling service resources in mental health institutions in Chinese mainland in 2020: a submitted data-based analysis[J]. Chin J Public Health, 2024, 40(8): 969-973. (in Chinese)

[11] LUAN Y, WANG Y, CHU L, et al. Policies, resources, and interventions for child and adolescent mental health in China: a scoping review[J]. Lancet Reg Health West Pac, 2025, 62: 101635.

[12] GIL DE ZúÑIGA H, GOYANES M, DUROTOYE T. A scholarly definition of artificial intelligence (AI): advancing AI as a conceptual framework in communication research[J]. Polit Commun, 2024, 41(2): 317-334.

[13] KLARIN J, HOFF E, LARSSON A, et al. Adolescents' use and perceived usefulness of generative AI for school work: exploring their relationships with executive functioning and academic achievement[J]. Front Artif Intell, 2024, 7: 1415782.

[14] CHOI R Y, COYNER A S, KALPATHY-CRAMER J, et al. Introduction to machine learning, neural networks, and deep learning[J]. Transl Vis Sci Technol, 2020, 9(2): 14.

[15] CASU M, TRISCARI S, BATTIATO S, et al. AI chatbots for mental health: a scoping review of effectiveness, feasibility, and applications[J]. Appl Sci, 2024, 14(13): 5889.

[16] KHOREV V, KISELEV A, BADARIN A, et al. Review on the use of AI-based methods and tools for treating mental conditions and mental rehabilitation[J]. Eur Phys J Spec Top, 2025, 234(15): 4139-4158.

[17] LI H, ZHANG R, LEE Y C, et al. Systematic review and Meta-analysis of AI-based conversational agents for promoting mental health and well-being[J]. NPJ Digit Med, 2023, 6(1): 236.

[18] CHEN Z, LIU X, ANDERSSON B. The transformative collaboration of human intelligence and artificial intelligence in designing knowledge-in-use science assessment for learning[J]. Educ Technol Soc, 2023, 26(3): 45-60.

[19] 中华人民共和国教育部, 最高人民检察院, 中央宣传部等十七部门关于印发《全面加强和改进新时代学生心理健康工作专项行动计划(2023—2025 年)》的通知[EB/OL]. (2023-04-20)[2025-10-11]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202305/content_6857361.htm.

[20] CHUNG J, TEO J. Mental health prediction using machine learning: taxonomy, applications, and challenges[J]. Appl Comput Intell Soft Comput, 2022, 2022(1): 9970363.

[21] SU R, JOHN J R, LIN P I. Machine learning-based prediction for self-harm and suicide attempts in adolescents[J]. Psychiatry Res, 2023, 328: 115446.

[22] CHEN W, GAO Y, XIAO S. Predicting non-suicidal self-injury among Chinese adolescents: the application of ten algorithms of machine learning[J]. Heliyon, 2024, 10(18): e37723.

[23] ZHANG Z, CHEN H, YE Y, et al. Entropy-based risk network identification in adolescent self-injurious behavior using machine learning and network analysis[J]. Transl Psychiatry, 2025, 15(1): 299.

[24] HAGHISH E F. Differentiating adolescent suicidal and non-suicidal self-harm with artificial intelligence: beyond suicidal intent and capability for suicide[J]. J Affect Disord, 2025, 378: 381-391.

[25] PATON L W, TIFFIN P A. Technology matters: machine learning approaches to personalised child and adolescent mental health care[J]. Child Adolesc Ment Health, 2022, 27(3): 307-308.

[26] TOPOL E J. Toward the eradication of medical diagnostic errors[J]. Science, 2024, 383(6681): eadn9602.

[27] MÜRNER-LAVANCHY I, KOENIG J, REICHL C, et al. The quest for a biological phenotype of adolescent non-suicidal self-injury: a machine-learning approach[J]. Transl Psychiatry, 2024, 14(1): 56.

[28] KHURANA D, KOLI A, KHATTER K, et al. Natural language processing: state of the art, current trends and challenges[J]. Multimedia Tools Appl, 2023, 82(3): 3713-3744.

[29] DO R, KIM S, LIM Y B, et al. Korean adolescents' coping strategies on self-harm, ADHD, insomnia during COVID-19: text mining of social media big data[J]. Front Psychiatry, 2023, 14: 1192123.

[30] KIM M S, YU J. Text mining for identifying the nature of online questions about non-suicidal self-injury[J]. BMC Public Health, 2022, 22(1): 1041.

[31] HUANG Z, CHEN F, ZHAO X. Towards cognition-emotion-behaviour models of non-suicidal self-injury: a knowledge graph approach[J]. Health Inf Sci Syst, 2025, 13(1): 26.

[32] HABICHT J, VISWANATHAN S, CARRINGTON B, et al. Closing the accessibility gap to mental health treatment with a personalized self-referral chatbot[J]. Nat Med, 2024, 30(2): 595-602.

[33] OBEID J S, DAHNE J, CHRISTENSEN S, et al. Identifying and predicting intentional self-harm in electronic health record clinical notes: deep learning approach[J]. JMIR Med Inform, 2020, 8(7): e17784.

[34] XIAN L, VICKERS S D, GIORDANO A L, et al. Self-harm on Insta-

gram: quantitative analysis and classification of non-suicidal self-injury [C]//Institute of Electrical and Electronics Engineers Proceedings of 2019 IEEE First International Conference on Cognitive Machine Intelligence (CogMI). Los Angeles, CA, 2019: 61-70.

[35] GOYAL S, DUTTA R, DEV S, et al. MindLift: AI-powered mental health assessment for students [J]. Neurosci Inform, 2025, 5(2): 100208.

[36] WU S, XUE Y, HANG Y, et al. Non-suicidal self-injury prediction with pain-processing neural circuits using interpretable graph neural network [J]. Ann Med, 2025, 57(1): 2520394.

[37] LIANG Z, YE W, LIU Q, et al. NSSI-net: a multi-concept GAN for non-suicidal self-injury detection using high-dimensional EEG in a semi-supervised framework [J]. IEEE J Biomed Health Inform, 2025, 29(8): 5452-5464.

[38] CHEN W, YI Z, LIM L J R, et al. Deep learning and remote photoplethysmography powered advancements in contactless physiological measurement [J]. Front Bioeng Biotechnol, 2024, 12: 1420100.

[39] ALAMGIR F M, ALAM M S. An artificial intelligence driven facial emotion recognition system using hybrid deep belief rain optimization [J]. Multimed Tools Appl, 2023, 82(2): 2437-2464.

[40] ZHU Y, REN W, YANG L, et al. Relationship between facial emotion recognition and non-suicidal self-injury in adolescents with depression: a multicenter cross-sectional study from China [J]. J Affect Disord, 2025, 383: 394-400.

[41] ZHEN Y, LIU P, JIANG L, et al. EEG signatures and effects of mindfulness approaches in adolescents with nonsuicidal self-injury [J]. Psychophysiology, 2025, 62(6): e70085.

[42] SILK J S, PRAMANA G, SEQUEIRA S L, et al. Using a smartphone app and clinician portal to enhance brief cognitive behavioral therapy for childhood anxiety disorders [J]. Behav Ther, 2020, 51(1): 69-84.

[43] DESHPANDE S, WARREN J. Self-harm detection for mental health chatbots [J]. Stud Health Technol Inform, 2021, 281: 48-52.

[44] RODANTE D E, CHIAPELLA L C, OLIVERA FEDI R, et al. A randomized 3-month, parallel-group, controlled trial of CALMA m-health app as an adjunct to therapy to reduce suicidal and non-suicidal self-injurious behaviors in adolescents: study protocol [J]. Front Psychiatry, 2023, 14: 1087097.

[45] INKSTER B, SARDA S, SUBRAMANIAN V. An empathy-driven, conversational artificial intelligence agent (wysa) for digital mental well-being: real-world data evaluation mixed-methods study [J]. JMIR Mhealth Uhealth, 2018, 6(11): e12106.

[46] FITZPATRICK K K, DARCY A, VIERHILE M. Delivering cognitive behavior therapy to young adults with symptoms of depression and anxiety using a fully automated conversational agent (woebot): a randomized controlled trial [J]. JMIR Ment Health, 2017, 4(2): e19.

[47] MITTAL S, THAKRAL K, SINGH R, et al. On responsible machine learning datasets emphasizing fairness, privacy and regulatory norms with examples in biometrics and healthcare [J]. Nat Mach Intell, 2024, 6(8): 936-949.

[48] 国家互联网信息办公室. 儿童个人信息网络保护规定: 网信办令第 4 号 [EB/OL]. (2019-08-22) [2025-11-19]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2019-08/22/content_5458118.htm.

[49] HOFWEBER T, WALKER R L. Machine learning in health care: ethical considerations tied to privacy, interpretability, and bias [J]. N C Med J, 2024, 85(4): 240-245.

收稿日期: 2025-08-11 修回日期: 2025-10-11 本文编辑: 汤建军

(上接第 1819 页)

[55] HUANG H, LIU J Q, YU Y, et al. Regulation of TWIK-related potassium channel-1 (Trek1) restitutes intestinal epithelial barrier function [J]. Cell Mol Immunol, 2016, 13(1): 110-118.

[56] ALTIERI L, NERI C, SACCO R, et al. Urinary p-cresol is elevated in small children with severe autism spectrum disorder [J]. Biomarkers, 2011, 16(3): 252-260.

[57] PERALTA-MARZAL L N, PRINCE N, BAJIC D, et al. The impact of gut microbiota-derived metabolites in autism spectrum disorders [J]. Int J Mol Sci, 2021, 22(18): 10052.

[58] TIMPERIO A M, GEVI F, CUCINOTTA F, et al. Urinary untargeted metabolic profile differentiates children with autism from their unaffected siblings [J]. Metabolites, 2022, 12(9): 797.

[59] YANO J M, YU K, DONALDSON G P, et al. Indigenous bacteria from the gut microbiota regulate host serotonin biosynthesis [J]. Cell, 2015, 161(2): 264-276.

[60] ROTHHAMMER V, MASCANFRONI I D, BUNSE L, et al. Type I interferons and microbial metabolites of tryptophan modulate astrocyte activity and central nervous system inflammation via the aryl hydrocarbon receptor [J]. Nat Med, 2016, 22(6): 586-597.

[61] AGUDELO L Z, FEMENÍA T, ORHAN F, et al. Skeletal muscle PGC-1α1 modulates kynurenine metabolism and mediates resilience to stress-induced depression [J]. Cell, 2014, 159(1): 33-45.

[62] CARABOTTI M, SCIROCCO A, MASELLI M A, et al. The gut-brain axis: interactions between enteric microbiota, central and enteric nervous systems [J]. Ann Gastroenterol, 2015, 28(2): 203-209.

[63] MYHRSTAD M C W, RUUD E, GAUNDAL L, et al. Gut microbiota, physical activity and/or metabolic markers in healthy individuals-towards new biomarkers of health [J]. Front Nutr, 2024, 11: 1438876.

[64] SGRITTA M, DOOLING S W, BUFFINGTON S A, et al. Mechanisms underlying microbial-mediated changes in social behavior in mouse models of autism spectrum disorder [J]. Neuron, 2019, 101(2): 246-259.

[65] SONG W, ZHANG M, TENG L, et al. Prebiotics and probiotics for autism spectrum disorder: a systematic review and Meta-analysis of controlled clinical trials [J]. J Med Microbiol, 2022, 71(4): 1-9.

[66] KANG D W, ADAMS J B, GREGORY A C, et al. Microbiota transfer therapy alters gut ecosystem and improves gastrointestinal and autism symptoms: an open-label study [J]. Microbiome, 2017, 5(1): 10.

收稿日期: 2025-07-11 修回日期: 2025-10-19 本文编辑: 王苗苗