

• 专论:人工智能赋能慢性病管理 •

编者按:随着社会经济发展、人口老龄化加速,以及生活方式的变化,糖尿病等慢性病已成为影响公众健康的重大公共卫生问题。通过连续监测、评估与综合干预等医学行为及过程,可显著改善治疗效果,提高患者生活质量。近年来,人工智能、大数据、云计算、物联网、5G 以及可穿戴设备等技术快速发展,并逐渐应用于慢性病预防、监测、诊断、治疗、康养等环节,为健康管理带来更多可能性。尤其是医疗大模型的出现,赋能慢性病防控进入新阶段,逐渐形成更加主动的预防模式、更加精准的诊断方法和更加多样的治疗手段。本期专论着眼于人工智能在慢性病管理领域的应用研究,所载论文包括大语言模型等人工智能技术在糖尿病健康管理中的应用进展,以及基于电子病历与机器学习的慢性病辅助诊断模型研究等,以期为人工智能技术在慢性病管理领域的应用与发展提供参考。

人工智能在基层 2 型糖尿病健康管理中的应用进展与趋势

芮晨^{1,2} 陈玥琪¹ 李金斌³ 张胜发⁴

(¹ 河北大学公共卫生学院 保定 071000 ² 沧州市中心医院医院管理研究所 沧州 061000

³ 北京理工大学医学技术学院 北京 100081 ⁴ 中国医学科学院国家人口健康科学数据中心 北京 100730)

【摘要】 目的/意义 探究人工智能技术在基层 2 型糖尿病健康管理中的应用现状、面临挑战及发展趋势,为提升基层医疗卫生机构服务水平提供参考。**方法/过程** 基于案例分析人工智能技术在基层 2 型糖尿病健康管理中的应用价值与实践路径,探讨相关挑战与趋势。**结果/结论** 人工智能技术在 2 型糖尿病风险预测、血糖监测、药物治疗、饮食运动干预及健康教育等方面具有巨大潜力和价值。部分基层医疗卫生机构已探索应用人工智能技术开展 2 型糖尿病健康管理,但该技术在基层应用仍面临数据质量差、隐私风险高、复合型人才匮乏及患者接受度低等挑战。为此,提出提升数据质量、保障数据安全、加强人才培养和建立患者信任等建议,推动 AI 技术在基层 T2DM 健康管理中的应用。

【关键词】 2 型糖尿病; 健康管理; 基本公共卫生; 人工智能

【中图分类号】 R-058 **【文献标识码】** A **【DOI】** 10.3969/j.issn.1673-6036.2025.10.001

Progress and Trend of the Application of Artificial Intelligence in the Primary Health Management of Type 2 Diabetes Mellitus

RUI Chen^{1,2}, CHEN Yueqi¹, LI Jinbin³, ZHANG Shengfa⁴

¹ School of Public Health, Hebei University, Baoding 071000, China; ² Institute of Hospital Management, Cangzhou Central Hospital, Cangzhou 061000, China; ³ School of Medical Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; ⁴ National Population

【修回日期】 2025-05-26

【作者简介】 芮晨, 博士, 高级经济师, 发表论文 10 篇; 通信作者: 张胜发。

【基金项目】 国家科技重大项目 (项目编号: 2023ZD0509702)。

Health Data Center, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100730, China

[Abstract] **Purpose/Significance** To explore the current application status, challenges and trends of artificial intelligence (AI) technology in the primary health management of type 2 diabetes mellitus (T2DM), and to provide references for improving the service level of primary medical and health institutions. **Method/Process** The application value and practical path of AI technology in the primary health management of T2DM are analyzed based on cases, and related challenges and trends are discussed. **Result/Conclusion** AI technology has great potential and value in the risk prediction of T2DM, blood glucose monitoring, drug treatment, dietary and exercise intervention, and health education. Some primary medical and health institutions have explored the application of AI technology in the health management of T2DM. However, the application of AI at the primary level still faces challenges such as poor data quality, high privacy risks, a shortage of compound talents, and low patient acceptance. In view of this, suggestions such as improving data quality, ensuring data security, strengthening talent cultivation and building patient trust are put forward to promote the application of AI technology in the health management of T2DM at the primary level.

[Keywords] type 2 diabetes mellitus (T2DM); health management; primary public health; artificial intelligence (AI)

1 引言

2009 年国家基本公共卫生服务正式实施, 2 型糖尿病 (type 2 diabetes mellitus, T2DM) 作为重要内容, 其管理与控制对提高国民健康水平、降低医疗成本意义重大^[1]。项目实施以来, 基层 T2DM 管理取得一定成效^[2]。随着人工智能 (artificial intelligence, AI) 技术发展, 其在 T2DM 健康管理中展现出巨大潜力和价值^[3]。2024 年发布的《卫生健康行业人工智能应用场景参考指引》^[4]指出要进一步推动 AI 技术在医疗服务中的应用。目前, 鲜有对 AI 技术应用于我国基层 T2DM 管理的系统性梳理研究。本研究基于应用案例, 总结 AI 技术在基层医疗卫生机构 T2DM 管理中的实际应用情况, 探讨其发展趋势和挑战, 以推动 AI 技术应用, 提升基层 T2DM 健康管理水平。

2 文献来源

在中国知网、万方医学网、PubMed、Web of Science 等数据库进行文献检索, 时间范围为 2005 年 1 月—2025 年 3 月, 以“2 型糖尿病”“人工智能”“基层公共卫生”等作为中文检索主题词或关键词, 以“type 2 diabetes”“artificial intelligence”“basic public health”等作为英文检索主题词或关键词, 英文检索式为 (type 2 diabetes OR diabetes mellitus type 2 OR T2DM) AND (artificial intelligence OR

machine learning OR AI) AND (basic public health OR primary health care OR public health services)。英文期刊影响因子 (impact factor, IF) 依据 2023 年发布的《期刊引证报告》 (journal citation report, JCR) 确定, 优先纳入近 5 年 JCR Q1/Q2 区期刊 (IF $\geq$ 5.0) 论文, 如 *Nature Medicine* (IF: 87.241) 等, 如果查询不到合适论文, 适量选取 JCR Q3/Q4 区期刊论文, 同时结合“中国科技核心期刊目录”, 遴选国内高质量期刊文献纳入研究。

初步筛选检索到的文献, 排除与研究主题不相关的文献。文献纳入标准: 必须与 T2DM 健康管理直接相关; 应包含 AI、机器学习等技术在 T2DM 管理, 尤其是基层 T2DM 管理中的应用。文献排除标准: 涉及 AI、机器学习等技术, 但与 T2DM 管理无关; 仅有理论研讨, 无实际应用。文献筛选流程, 见图 1。

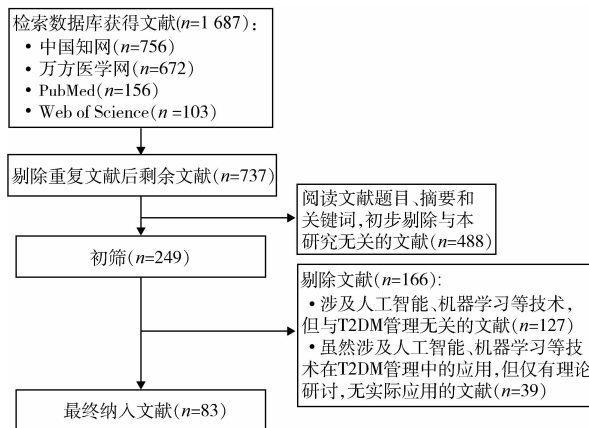


图 1 文献筛选流程

3 AI 技术在 T2DM 健康管理中的典型应用场景

3.1 T2DM 健康管理中常用的 AI 技术

在 T2DM 健康管理中，常用的 AI 技术如下。一是经典机器学习（machine learning, ML）。经典 ML 是实现 AI 的关键技术之一，使计算机从海量数据中自主探索规律，无须明确编程指令。通过特定算法模型，使计算机在“试错”与“优化”循环中学习，最终实现对新数据的准确预测和智能决策^[5]。二是深度学习（deep learning, DL）。DL 是 ML 的扩展，通过多层神经网络自动提取数据特征。其核心是基于生物神经系统的人工神经网络，通过训练数据优化参数^[6]。三是智能机器人（intelligent robots, IR）。IR

是能自主感知环境、执行任务的机械装置。2021 年我国发布的《“十四五”机器人产业发展规划》推动了中国机器人产业发展^[7]。四是专家系统（expert system, ES）。ES 是模拟人类专家推理思维的 AI 程序，通过整合专业知识和推理方法解决复杂问题^[8]。五是计算机机器视觉（machine vision, MV）。计算机 MV 通过摄像头等传感器获取图像信息并处理分析，实现图像识别与检测。六是人机交互（human – computer interaction, HCI）。HCI 依赖语音识别与合成，研究人与计算机间的信息交换过程。

3.2 T2DM 及其并发症患病风险预测

目前，AI 算法应用于 T2DM 及其并发症患病风险预测的研究成为领域热点，见表 1。

表 1 AI 技术在 T2DM 及其并发症患病风险预测中的应用

第一作者	AI 技术	应用场景	结果
Urrea C ^[9]	ES	T2DM 患病风险预测	与医生结果相似
欧阳平 ^[10]	ML	T2DM 患病风险预测	logitic 回归和 LightGBM 算法的灵敏度、特异度高
郭金旦 ^[11]	ML	T2DM 患病风险预测	logitic 回归整体效果好、泛化力强
张红梅 ^[12]	ML	T2DM 并发症影响因素预测	随机森林算法预测性最好
Sun R ^[13]	DL	T2DM 并发症病灶预测	Transformer 算法可及时发现并发症
Dhiravidachelvi E ^[14]	DL	T2DM 并发症影响因素预测	CNN 算法与 RNN 算法联用预测性能最佳
宋亚南 ^[15]	ML	T2DM 并发症影响因素预测	XGBoost 算法与 SHAP 模型联用预测性能最佳
Wang S ^[16-17]	ML	T2DM 创面愈合率预测	朴素贝叶斯模型泛化力最佳
Margolis D J ^[18]	ML	影响 T2DM 病程第 16 周变量预测	lasso 回归模型 AUC 值为 0.721，表现较好

3.3 血糖预测与监测

血糖预测与监测是规范化防治和管理 T2DM 的重要环节。覃伟等^[19]发现随机森林算法对 T2DM 患者 3 个月后血糖控制情况预测效果最佳。张紫鹏等^[20]提出将 DNN 算法与混合回归法联用监测血糖。Arfan A 等^[21]提到，部分可穿戴设备^[22]通过支持向量机算法和随机森林算法建立数学模型连续监测人体血糖，经医疗物联网实时上传至平台，精确度高，已在国内外投入商用。

3.4 药物治疗

目前，T2DM 药物治疗包括口服药物、注射胰岛素等。Klonoff D C 等^[23]将胰岛素剂量数据与实时

连续血浆胰岛素数据结合，用 ML 算法计算准确剂量。Fiedorova K 等^[24]提出应用神经网络算法建立数学模型智能控制胰岛素用量。刘晓薇^[25]构建基于 ML 的 T2DM 药物预测模型，减少药物研发人力成本，结果表明基于 XGBoost 的模型泛化能力较强。Srisongkram T 等^[26]通过随机森林算法建立 T2DM 药物筛选模型，发现潜在治疗药物。

3.5 饮食、运动干预

饮食对预防及维持正常血糖和血脂水平具有重要作用。利用基于 MV 和 HCI 的可穿戴设备收集患者生活习惯，可制定个性化饮食管理方案^[27]；山东省立第三医院利用 ES 构建饮食处方平台，融合 AI 技术与营养师意见^[28]；Berman M A 等^[29]借助移动应用

程序向受试者推送提醒，督促其完成饮食干预；Oka R 等^[30]研发能识别照片中食物，并计算摄入量的移动应用，部分认证应用被采纳为辅助治疗工具^[31]。运动有助于控制血糖和体重，提高胰岛素敏感性。目前 AI 直接进行运动干预的方法较少，多通过监测运动时身体素质、疾病指标进行干预。相关应用总结，见表 2。

表 2 AI 技术在 T2DM 饮食、运动干预中的应用

第一作者	AI 技术	应用场景	结果
Zeevi D ^[32]	ML	饮食后血糖反应	准确预测个性化餐后血糖反应
刘岩 ^[28]	ES	建立饮食处方平台	平台准确率 92%
Limketkai B N ^[27]	MV + HCI	饮食干预	准确分析并制定个性化饮食干预方案
Limketkai B N ^[27]	MV + HCI	运动干预	准确记录体征数据
Berman M A ^[29]	HCI	饮食干预	患者使用率越高、血糖控制效果越好
Oka R ^[30]	MV	饮食干预	使用应用程序与人工干预血糖一样有效
Ergün U ^[33]	DL	运动干预	自动识别肥胖并跟踪患者运动状况

3.6 普及教育

实际生活中，健康教育普及受场地、时间等因素制约，居民对公共卫生服务知晓率较低^[34]。司小平等^[35]基于 IR 建立区域智慧健康管理平台，患者可居家接受健康教育，医护人员可远程查看评估。马绮娴等^[36]提出，ChatGPT 等新技术可针对不同 T2DM 患者情况提供个性化教育和管理。

3.7 不同 AI 技术在特定应用场景的性能差异比较

AI 在 T2DM 健康管理中的应用算法多元，但

不同技术适用场景差异显著。在基础疾病预测方面，传统模型（logistic 回归）准确率低于集成算法（LightGBM/XGBoost）；而在并发症预测中，算法选择多依赖数据类型，Transformer 模型在大规模标注数据中表现突出，CNN - RNN 混合模型对小样本局部特征提取更具鲁棒性。AI 血糖预测监测技术呈“从静态到动态”演进，短期预测（3 个月血糖控制）中随机森林处理缺失值能力强，效果更佳；连续监测优先使用 DNN。不同 T2DM 管理应用场景中最优算法适用性及效果，见表 3。

表 3 AI 技术在 T2DM 管理中的任务依赖性

应用场景	最优算法	性能优势	主要局限
风险预测	XGBoost/Transformer	AUC > 0.89 ^[37-38]	需大规模标注数据
血糖监测	DNN 混合算法	AUC > 0.9 ^[20]	硬件依赖性高
药物剂量计算	多模态 ML	剂量误差 < 10% ^[23]	临床验证不足
饮食干预	多模态 ML	个性化准确率提高 37% ^[32]	用户依从性差
运动监测	DL	实时性佳 ^[33]	动作识别率低
健康教育	混合 IR + 大模型语言	问答覆盖率 > 90% ^[35]	合规性风险

4 AI 技术在我国基层 T2DM 健康管理中的应用现状

AI 技术在 T2DM 管理中应用前景广阔，但在我国基层医疗卫生机构中，其应用和研究尚处起步阶段。

4.1 基层 T2DM 患病风险预测

AI 技术能够助力基层医疗卫生机构预测 T2DM 风险。基于 ML 的 T2DM 风险评估模型，通过分析患者电子健康记录数据，预测患者未来患病风险，准确率超 80%^[39]，帮助基层医疗卫生机构识别高风险人群并干预，实现早发现、早干预^[40]。基于 DL 的

T2DM 并发症预测系统分析医疗影像数据, 预测视网膜病变并发症风险^[41], 有助于基层医疗卫生机构提前发现并干预, 降低患者治疗成本和疾病负担。

4.2 基层血糖预测与监测

基层血糖监测多依赖传统血糖仪, 基于 AI 技术的动态血糖监测系统应用并不广泛。但随着远程医疗和移动健康的应用推广, 基层患者血糖监测数据可实时上传云端, 便于医生远程指导。部分地区医疗卫生机构利用 AI 和大数据分析技术预测血糖变化趋势, 实现更精准、个性化的治疗管理。在社区引入智能血糖监测系统, 通过可穿戴设备监测患者血糖水平^[42], 分析血糖变化趋势并发出异常警报, 帮助医生及时调整治疗方案^[41]。上海市闵行区江川社区卫生服务中心依托“社区卫生服务中心+ 区级医院+ 市级医院”一体化管理模式, 用智能血糖管理系统推动 T2DM 分级诊疗工作落地^[43]。

4.3 基层 T2DM 药物治疗

我国基层 T2DM 药物治疗正逐步规范普及^[44], 但基层医疗卫生机构资源有限, 部分地区在药物种类、供应及新型降糖药可及性上仍有差距。地区基层医疗卫生机构积极探索与上级医院合作, 通过远程医疗为患者提供药物治疗指导。基层医院推出虚拟健康助手, 通过语音识别交互^[45], 为患者提供健康咨询、用药提醒等服务, 且能够进行个性化调整。北京一社区采用智能药物管理系统, 根据患者血糖控制情况和药物反应, 可自动调整药物剂量和用药方案^[46]。

4.4 基层 T2DM 患者干预措施

基层医疗卫生机构对 T2DM 患者干预已取得一定进展^[47], 部分地区医疗卫生机构基于移动健康应用和远程监测设备辅助患者日常血糖控制和并发症预防。如“掌控糖尿病”移动应用程序集成饮食记录、运动跟踪等功能并设在线社区, 供患者自我管理、分享经验。但由于基层医疗卫生资源分布不均、专业人才缺乏, 干预效果有差异, 偏远贫困地区 T2DM 患者健康干预亟待加强^[48]。

4.5 基层 T2DM 患者健康教育

基层医疗卫生机构通过国家基本公共卫生服务项目, 为糖尿病患者提供包括健康教育在内的综合服务指南, 健康教育是提升患者自我管理能力的关键。AI 技术推动线上健康教育平台和移动应用程序在基层健康教育中的应用。上海瑞金医院开发智能 T2DM 教育平台, 利用自然语言处理技术为患者提供个性化的教育内容^[49], 平台还整合社交媒体功能, 供患者交流经验信息。

5 AI 技术应用于基层 T2DM 健康管理的挑战与发展趋势

5.1 挑战

虽然 AI 在基层 T2DM 健康管理中应用潜力巨大, 但在推进过程中仍面临挑战。一是数据质量差, 存在数据孤岛。基层缺乏资金更新设备或开发新信息系统^[50], 硬件设施陈旧, 数据质量欠佳, 收集存储与共享困难, 限制信息化系统有效运行。此外, 基层医疗卫生机构存在数据孤岛现象, 跨部门间缺乏数据互通协同, 制约 AI 在疾病预测及管理中的应用。二是安全隐私问题。AI 依赖大量患者数据进行训练, 而医疗信息的数字痕迹易留存、难消除^[51], 患者隐私保护成为 AI 应用于 T2DM 管理的重大挑战。三是医疗 AI 复合型人才匮乏。基层医疗卫生机构缺少既懂医疗又懂信息技术的复合型人才, 部分人员不擅长操作智能化设备、缺乏 AI 知识储备等^[52], 偏远基层医护人员可能对新技术持保守态度, 缺乏使用 AI 技术的信心和经验。四是患者对 AI 技术接受程度有差异。研究^[53]表明患者对新型服务模式接受程度受年龄、地区等因素影响。基层 T2DM 患者中老年人居多, 其对 AI 技术的接受程度有待提高, 使患者信任 AI 技术是提升 T2DM 管理效果的关键。

5.2 发展趋势

我国 AI 在 T2DM 健康管理中的应用已有一定成果但仍显不足。未来研究中, AI 技术应用于 T2DM 健康管理将呈现多维趋势。技术革新将持续提升数据质量与安全防护水平, 保障患者数据安全, 完善

标准化数据架构,推动跨机构数据整合共享,促进多部门协同诊疗,提升 T2DM 预测与治疗水平。同时,通过个性化交互设计适配不同患者需求,通过透明沟通机制积累成功案例增强用户信任。医工交叉复合型人才涌现,将为医疗 AI 创新提供核心动能,推动行业向智能化、精准化方向发展。

6 推动 AI 技术在基层 T2DM 健康管理中应用的建议

6.1 提升数据质量,促进信息共享

建议构建系统化治理框架,制定基层 T2DM 数据采集标准,统一临床指标与技术规范,配备标准化智能终端实现检测数据直连上传,减少人工录入误差。政府提供财政支持和优惠政策,对采用 AI 技术的基层医疗卫生机构给予税收减免、租金优惠等支持^[54]。依托区块链技术搭建区域医疗数据共享平台,在保护数据隐私前提下实现基层医疗卫生机构、上级医院及公共卫生系统数据互通。

6.2 保障数据管理与隐私安全

建议基层医疗卫生机构完善数据存储管理系统,投资建设或租用安全可靠的数据中心,引入云计算和大数据技术,实现数据实时备份、异地容灾和高效分析^[55]。同时,严格实施数据安全措施,相关部门完善 AI 技术在医疗领域应用的法律法规^[56],明确数据安全、隐私保护要求,建立监管机制,加强安全评估和合规审查。

6.3 提升人员专业能力

建议加强基层医疗 AI 复合人才培养体系建设,推动医学院校与理工高校联合开设“智能医学工程”交叉专业^[57];针对在职人员构建分层分类的继续教育体系^[58],对临床医师重点培训 AI 系统操作与结果解读,对医技人员强化数据标注与算法验证能力。推动基层医疗卫生机构与 AI 企业共建培训基地,开发临床决策模拟器和虚拟沟通训练系统,建立企业工程师驻点指导制度。

6.4 增强患者 AI 技术接受度

建议通过开展社区健康讲座、宣传教育及短视频等多元形式,系统科普 AI 诊疗逻辑与数据安全机制,重点突破老年群体技术认知壁垒^[59]。基于患者画像开发个性化交互界面^[60],针对文化程度较低群体设计图文引导流程,为视障患者配备屏幕朗读系统。强化适老化改造,开发语音交互慢病管理 App^[61],优化智能设备操作界面(如大字体、一键呼叫),集成 AI 驱动的用药提醒、复诊预约等实用功能。搭建医患双向反馈平台^[62],患者可实时查询 AI 诊疗依据与数据溯源路径,建立成功案例数据库,通过真实诊疗故事的可视化展示,强化技术可信度。

7 结语

本研究全面探讨 AI 技术在基层 T2DM 健康管理中的应用,调研显示 AI 已在 T2DM 风险预测、血糖监测、药物治疗、饮食运动干预及健康教育等方面发挥重要作用,不同算法在各场景呈现性能差异。基层 T2DM 健康管理仍面临数据质量差、隐私风险高、复合型人才匮乏及患者接受度低等挑战。为此,提出提升数据质量、促进信息共享、保障数据管理与隐私安全、提升人员专业能力、增强患者对 AI 技术接受度等建议。

作者贡献: 芮晨负责研究设计、论文撰写;陈玥琪负责资料分析、论文撰写;李金斌负责论文修订;张胜发负责论文审核。

利益声明: 所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- 1 国家基本公共卫生服务规范(2011年版)[EB/OL]. [2025-02-03]. <http://www.moh.gov.cn/mohfyb-jysqwss/s3577/201105/51780.shtml>.
- 2 刘美岑,杨凌鹤,陈新月,等.中国2型糖尿病患者国家基本公共卫生服务利用情况与管理效果的关系研究[J].中国全科医学,2022,25(1):43-49.
- 3 钟雪萍,夏文芳.人工智能应用于糖尿病领域的研究进展[J].华中科技大学学报(医学版),2023,52(5):719-725.

- 4 国家卫生健康委员会办公厅印发《卫生健康行业人工智能应用场景参考指引》[J]. 上海护理, 2025, 25 (1): 83.
- 5 伍亚舟, 陈锡程, 易东. 人工智能在临床领域的研究进展及前景展望[J]. 第三军医大学学报, 2022, 44 (1): 89–102.
- 6 邹琼, 张杨, 万毅, 等. 糖尿病相关预测模型构建的机器学习方法[J]. 中国卫生统计, 2023, 40 (4): 631–635, 640.
- 7 张璇, 张飞, 李铭麟, 等. 智能机器人在基层慢性病管理中的应用与挑战[J]. 中国全科医学, 2025, 28 (1): 7–12, 19.
- 8 苏尤丽, 胡宣宇, 马世杰, 等. 人工智能在中医诊疗领域的研究综述[J]. 计算机工程与应用, 2024, 60 (16): 1–18.
- 9 URREA C, MIGNOGNA A. Development of an expert system for pre – diagnosis of hypertension, diabetes mellitus type 2 and metabolic syndrome [J]. Health informatics journal, 2020, 26 (4): 16.
- 10 欧阳平, 李小溪, 冷芬, 等. 机器学习算法在体检人群糖尿病风险预测中的应用[J]. 中华疾病控制杂志, 2021, 25 (7): 849–853, 868.
- 11 郭金旦, 高艳艳, 高怀林, 等. 2 型糖尿病风险预测模型性能比较研究[J]. 中国生物工程杂志, 2023, 43 (11): 35–42.
- 12 张红梅, 张宁, 孙玉娇, 等. 基于机器学习和 logistic 回归分析模型分析 2 型糖尿病轻度认知功能障碍的影响因素[J]. 中华疾病控制杂志, 2024, 28 (3): 269–276.
- 13 SUN R, LI Y, ZHANG T, et al. Lesion – aware transformers for diabetic retinopathy grading [C]. Online: IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2021.
- 14 DHIRAVIDACHELVI E, SENTHIL P S, PRABAVATHI R, et al. Artificial humming bird optimization – based hybrid CNN – RNN for accurate exudate classification from fundus images [J]. Journal of digital imaging, 2023, 36 (1): 14.
- 15 宋亚男, 武惠韬, 应俊, 等. 基于机器学习算法探讨糖尿病视网膜病变的风险因素[J]. 解放军医学院学报, 2021, 42 (9): 906–912, 992.
- 16 王诗琪, 袁斯明. 机器学习在糖尿病足预后应用的研究进展[J]. 医学研究与战创伤救治, 2023, 36 (10): 1111–1115.
- 17 WANG S, WANG J, ZHU M X, et al. Machine learning for the prediction of minor amputation in University of Texas grade 3 diabetic foot ulcers [J]. Plos one, 2022, 17 (12): 17.
- 18 MARGOLIS D J, MITRA N, MALAY D S, et al. Further evidence that wound size and duration are strong prognostic markers of diabetic foot ulcer healing [J]. Wound repair and regeneration, 2022, 30 (4): 487–490.
- 19 覃伟, 高敏, 沈莹, 等. 基于机器学习算法的 2 型糖尿病患者 3 个月血糖预测[J]. 中华疾病控制杂志, 2019, 23 (11): 1313–1317.
- 20 张紫鹏, 王伟. 基于混合回归算法的电子鼻无创血糖检测技术研究[J]. 国外电子测量技术, 2023, 42 (10): 126–132.
- 21 ARFAN A, SARAH A, ALAA A, et al. Overview of artificial intelligence – driven wearable devices for diabetes; scoping review [J]. Journal of medical internet research, 2022, 24 (8): e36010.
- 22 张嵩, 陈宽, 闵栋, 等. 发展数字生态系统, 提升糖尿病管理水平[J]. 中国医刊, 2020, 55 (6): 589–591.
- 23 KLONOFF D C, KERR D. Smart pens will improve insulin therapy [J]. Journal of diabetes science and technology, 2018, 12 (3): 551–553.
- 24 FIEDOROVA K, AUGUSTYNEK M, KUBICEK J, et al. Review of present method of glucose from human blood and body fluids assessment [J]. Biosensors & bioelectronics, 2022, 211 (9): 114348.
- 25 刘晓薇. 基于机器学习构建治疗糖尿病药物预测模型[D]. 成都: 电子科技大学, 2024.
- 26 SRISONGKRAM T, WAITHONG S, THITIMETHAROCH T, et al. Machine learning and in vitro chemical screening of potential α – amylase and α – glucosidase inhibitors from thai indigenous plants [J]. Nutrients, 2022, 14 (2): 267.
- 27 LIMKETKAI B N, MAULDIN K, MANITIUS N, et al. The age of artificial intelligence: use of digital technology in clinical nutrition [J]. Current surgery reports, 2021, 9 (7): 20.
- 28 刘岩, 张馨月, 王祥香, 等. 人工智能在糖尿病患者饮食管理中应用的研究进展[J]. 预防医学论坛, 2023, 29 (4): 315–320.
- 29 BERMAN M A, GUTHRIE N L, EDWARDS K L, et al. Change in glycemic control with use of a digital therapeutic in adults with type 2 diabetes; cohort study [J]. JMIR diabetes, 2018, 3 (1): e4.
- 30 OKA R, NOMURA A, YASUGI A, et al. Study protocol for the effects of artificial intelligence (AI) – supported automated nutritional intervention on glycemic control in patients with type 2 diabetes mellitus [J]. Diabetes therapy, 2019, 10 (3): 1151–1161.
- 31 AGARWAL P, MUKERJI G, DESVESUX L, et al. Mobile App for improved self – management of type 2 diabetes; multicenter pragmatic randomized controlled trial [J]. JMIR mhealth and uhealth, 2019, 7 (1): e10321.
- 32 ZEEVI D, KOREM T, ZMORA N, et al. Personalized nutrition by prediction of glycemic responses [J]. Cell,

- 2015, 163 (5): 1079–1094.
- 33 ERGÜN U. The classification of obesity disease in logistic regression and neural network methods [J]. *Journal of medical systems*, 2009, 33 (1): 67–72.
- 34 李淑兰. 公共卫生服务项目存在的问题及对策 [J]. *现代审计与会计*, 2021 (10): 2.
- 35 司小平, 丁腊春, 王译, 等. 人工智能机器人在区域智慧健康管理平台中的应用 [J]. *医学信息*, 2021, 34 (8): 13–16.
- 36 马绮娟, 陈清光, 陆灏. ChatGPT 技术在中医药防治糖尿病中的应用展望 [C]. 上海: 第二十届国际中医糖尿病学术年会, 2023.
- 37 GULSHAN V, PENG L, CORAM M, et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs [J]. *JAMA*, 2016, 316 (22): 2402–2410.
- 38 WANG V, LO M T, CHEN T C, et al. A deep learning system for predicting the progression of diabetic retinopathy [J]. *Investigative ophthalmology & visual science*, 2024, 65 (7): 3.
- 39 MOHAMMED K H, ANIKA T, DR J F. Machine learning – based diabetic risk prediction model for early detection [J]. *International journal of scientific research in science and technology*, 2023, 10 (3): 247–255.
- 40 蔡小玲, 巩慧玲, 杨波, 等. 糖尿病前期新的标志物及预防 [J]. *基础医学与临床*, 2019, 39 (2): 268–271.
- 41 WANG Z, YANG J. Diabetic retinopathy detection via deep convolutional networks for discriminative localization and visual explanation [EB/OL]. [2024–07–18]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1703.10757>.
- 42 汤晓涵, 林晓锡, 李霞, 等. 2021 年《成人 1 型糖尿病管理: ADA/EASD 联合共识》解读 [J]. *中华医学杂志*, 2022, 102 (16): 1193–1201.
- 43 盛清, 李群. “1+1+1” 组合签约分级诊疗模式对 2 型糖尿病管理和费用的效果评价 [J]. *上海医药*, 2017, 38 (22): 53–55.
- 44 邢小燕, 陈琳, 史玲, 等. 提升基层胰岛素应用能力, 推进社区糖尿病规范化管理 [J]. *中华全科医师杂志*, 2021, 20 (7): 345–348.
- 45 贺志阳, 葛健聪, 肖飞, 等. 面向基层医疗的人工智能辅助系统开发与应用 [J]. *中国数字医学*, 2021, 16 (3): 27–32.
- 46 李磊. 智能设备在社区糖尿病管理中的应用分析 [J]. *中国医疗器械信息*, 2016, 22 (6): 97–98.
- 47 杨薇, 蔡毅媛, 陈佳佳, 等. 基层医疗机构实施糖尿病共享门诊的组织准备度与影响因素研究 [J]. *协和医学杂志*, 2025, 16 (2): 479–491.
- 48 杨展, 胡晓, 陈饶, 等. 我国基层医疗卫生资源配置公平性研究 [J]. *中国卫生资源*, 2017, 20 (2): 106–109, 122.
- 49 高逸佳, 林靖生, 杨海俊, 等. 基于多模态智能对话机器人的糖尿病健康管理服务平台应用研究 [J]. *中国医疗设备*, 2022, 37 (6): 106–109, 131.
- 50 沈骥, 赵晓光, 钟新秋, 等. 以科学发展观为指导, 规范农村基层医疗卫生机构标准化建设 [J]. *中国卫生事业管理*, 2013, 30 (3): 164–166, 186.
- 51 薛澜, 王净宇. 人工智能发展的前沿趋势、治理挑战与应对策略 [J]. *行政管理改革*, 2024 (8): 4–13.
- 52 LI J, HUANG J, ZHENG L, et al. Application of artificial intelligence in diabetes education and management: present status and promising prospect [J]. *Frontiers in public health*, 2020 (8): 173.
- 63 沈勤, 徐越. 老年人参与“互联网+慢性病管理”意愿影响因素分析——基于 Anderson 健康行为模型的实证研究 [J]. *卫生经济研究*, 2020, 37 (1): 45–48.
- 54 张伟, 何东, 张研, 等. 政策工具视角下我国远程医疗国家层面政策分析 (1997–2019) [J]. *中国卫生政策研究*, 2020, 13 (6): 56–64.
- 55 CAHN A, AKIROV A, RAZ I. Digital health technology and diabetes management [J]. *Journal of diabetes*, 2018, 10 (1): 10–17.
- 56 胡佳敏, 邱艳, 任菁菁. AI 在基层医疗慢性病管理中的应用研究进展 [J]. *中华全科医学*, 2024, 22 (3): 481–485.
- 57 吴辉群, 蒋葵, 董建成, 等. 基于 CDIO 模式导师制的“新医科”智能医学方向人才培养的探索与实践 [J]. *中国高等医学教育*, 2023 (5): 22–24.
- 58 刘雨安, 杨小文, 李乐之. 机器学习在疾病预测的应用研究进展 [J]. *护理学报*, 2021, 28 (7): 30–34.
- 59 闫冠楹, 陈洪恩, 李舜, 等. 大数据视阈下糖尿病患者管理模式探析 [J]. *中国全科医学*, 2018, 21 (9): 1066–1069, 1084.
- 60 ABUALIGAH L, ALOMARI S A, ALMOMANI M H, et al. Artificial intelligence – driven translational medicine: a machine learning framework for predicting disease outcomes and optimizing patient – centric care [J]. *Journal of translational medicine*, 2025, 23 (1): 302.
- 61 高媛, 周敏, 秦满粉, 等. 健康教练技术联合可穿戴设备对 2 型糖尿病患者糖脂代谢及自我管理行为的影响研究 [J]. *中国全科医学*, 2024, 27 (8): 908–914.
- 62 KUMAR E, OSEI – KESSE F, ANABA C. Understanding and using patient experience feedback to improve health care quality: systematic review and framework development [J]. *Journal of patient – centered research and reviews*, 2017, 4 (1): 24–31.