

# 人工智能在妊娠期糖尿病管理中的应用进展

王滢滢<sup>1</sup>,张双丽<sup>1</sup>,李玉培<sup>2</sup>,冯世青<sup>3</sup>,程智临<sup>1</sup>,乔建红<sup>4</sup>

(1.山东第二医科大学 护理学院,山东 潍坊 261053;

2.山东第一医科大学第一附属医院 护理部,山东 济南 250014;

3.滨州医学院 护理学院,山东 烟台 264000;

4.山东第一医科大学第一附属医院 门诊部)

妊娠期糖尿病(gestational diabetes mellitus, GDM)是指在妊娠期间出现的糖代谢异常情况<sup>[1]</sup>。近些年,GDM的患病率不断攀升<sup>[2]</sup>。2024年《第11版全球糖尿病地图》报告<sup>[3]</sup>显示,我国GDM例数约占全球总数的15.7%,且与GDM有关的不良分娩病例高达160万例。GDM与子痫前期、巨大儿等不良妊娠结局密切相关,并且会对母婴健康造成长期的影响<sup>[4]</sup>。研究<sup>[5]</sup>表明,早期筛查与诊断GDM能降低不良妊娠结局的发生风险。目前,国内大多依赖传统的口服葡萄糖耐量试验进行筛查<sup>[6]</sup>,这种单一时间点筛查方法很难对高危人群实现早期发现与干预。加之,国内常规护理未考虑GDM孕妇的个体化需求以及部分孕妇随访不及时<sup>[7]</sup>,导致其管理效果不理想,因此构建覆盖孕前、孕期和产后的全周期管理体系对于GDM防控意义重大。人工智能(artificial intelligence, AI)是一种新兴的模拟人类的技术,在特定任务上有着高效的执行力和精准的决策力<sup>[8]</sup>,已在GDM疾病风险预测、个性化干预方案制订、运动管理等方面展现出巨大潜力。本文综述AI在GDM早期风险预测、血糖监测、膳食与运动管理、情绪及依从性管理等方面的应用,分析现阶段研究存在的挑战,以便为GDM智能化管理提供参考。

## 1 AI的概述

AI专注于开发可模拟和拓展人类智能的系统,以使这些系统拥有学习、推理、感知和决策等能力<sup>[9]</sup>。机器学习、深度学习等技术,能够从大规模、多源的医疗数据中不断学习,并优化模型的动态性能<sup>[10]</sup>。GDM管理中的血糖监测数据、临床指标和随访数据等呈现出动态和非线性变化,数据内部结构复杂,所以传统分析方法无法挖掘其中的内在规律。而神经网络通过模拟神经元的结构,能够学习

复杂数据模式,在GDM风险预测及个体化干预方案制订等方面具有良好的适配性,给精准化、智能化管理提供了关键的技术支撑<sup>[11]</sup>。由于AI在疾病管理上的潜在价值,国家卫生健康委员会等多部门联合印发《健康中国行动——糖尿病防治行动实施方案(2024—2030年)》<sup>[12]</sup>,明确提出要推广健康管理新技术,推进糖尿病智慧健康管理,充分利用人工智能等信息技术来丰富糖尿病的健康管理手段。当下AI在GDM领域应用于风险预测、血糖监测、个体化膳食和运动干预制订等诸多方面。

## 2 AI在GDM中的应用现状

2.1 AI在GDM早期风险预测中的应用 近几年来,AI开发出的决策树、神经网络等模型被广泛地应用于风险预测当中。采用此类方法可以使模型的性能不断地得到改善,从而成为开发预测模型的新途径。Wu等<sup>[13]</sup>用逻辑回归、K-最近邻、支持向量机、深度神经网络分别对妊娠12周前的临床数据进行分析并建立预测模型。该研究发现,深度神经网络模型比传统的预测方法提早了两个月,判断力也更强,给GDM的早期干预提供了宝贵的机会。但是该模型未经过外部验证,其可靠性以及泛化能力还需要研究。Gu等<sup>[14]</sup>在产前临床记录的基础上加上多基因风险评分,构建了预测妊娠20周之前GDM机器学习模型,并且准确率达83.5%。但是该模型在妊娠人群中的特异性以及基因效应的作用机制还未被深入研究。Kumar等<sup>[15]</sup>利用自动化机器学习(automated machine learning, Auto ML)对孕前生物指标进行分析,得到GDM的预测模型,受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)曲线下面积(under the curve, AUC)为0.93,预测性能较好。Auto ML是用进化算法来实现的,依靠自动选取算法、优化参数、自主监控和管理建模全过程,从而得到性能最好的模型,可以作为高效的风险分层工具<sup>[16]</sup>。这证明了Auto ML在疾病预测上的实用价值,并且也指出了未来技术发展的重要方向——创建具有自主学习与不断进化能力

【收稿日期】 2025-10-15 【修回日期】 2026-01-16

【基金项目】 山东第一医科大学青年基金培育项目(202201-088);山东省人文社会科学课题(2021-ZXJK-22)

【作者简介】 王滢滢,硕士在读,护士,电话:0536-8462409

【通信作者】 乔建红,电话:0536-8462409

的智能系统,使它成为 GDM 等疾病的预防和管理的主要生产力。虽然以上模型都有较高的预测能力,但是都存在缺少外部验证、模型偏移风险高、共享机制不完善等问题<sup>[17-18]</sup>,这也导致临床的采纳率较低。未来研究可以加入更多的数据维度来提高模型的稳定性,致力于把 AI 转化为可以落地的 GDM 孕妇健康管理核心技术。

**2.2 AI 在 GDM 孕妇实时血糖监测中的应用** 血糖是评价糖代谢状况的重要生物标志物,它的测定值是诊断和治疗 GDM 的金标准。传统的血糖监测依靠孕妇自我指血检测,该方法存在操作繁杂、过程痛苦、数据中断等,不能很好地体现血糖的波动情况。持续葡萄糖监测系统(continuous glucose monitoring, CGM)在 AI 的支持下得以革新。扫描式 CGM 系统依靠皮下传感器来实时采集组织间液中的葡萄糖浓度,经过 AI 算法处理后得到动态的血糖图谱。一项前瞻性研究<sup>[19]</sup>证明了 CGM 对于血糖监测的高精度,测量结果在共识误差网格的 A 区的值为 88.1%,在 A 区和 B 区内的结果为 99.8%,总体平均绝对相对差异为 11.8%。在此基础上,韩国一项研究<sup>[20]</sup>开发出虚拟 CGM 模型,虚拟 CGM 模型就是利用深度学习的方法来处理间断的血糖测量值及生活方式数据,之后对个体的血糖水平做时间序列的预测,模拟出 CGM 的血糖曲线。核心就是利用双向长短期记忆网络捕获血糖变化的双向时序依赖特征,再引入双重注意力机制对时间维度和特征维度进行加权分配,从而动态地评价饮食、运动等各方面的因素在不同时间对于血糖变化的作用。没有真实的 CGM 监测数据的情况下,该模型具有一定的价值。但是该模型的预测效果取决于输入数据的质量和模型的泛化能力。另外,无创血糖监测技术也是研究的热点,以光电容积脉搏波描记(photo plethysmography, PPG)为代表。它是一种无创光学监测方法,依靠心搏周期内血液容积的变化而产生的光信号波动来间接地评价外周循环的情况。路鹤晴等<sup>[21]</sup>使用近红外光和 PPG 相结合研发出妊娠期无创血糖检测仪。该研究使用双波长 PPG 来提取并分析出与血糖波动相关联的特征参数,为非侵入性监测提供了新思路。AI 技术使血糖监测的方式由间断的、侵入式的发展为连续的、非侵入式的,从而极大地减小患者监测的不便并提高使用的舒服度。未来可以改进 AI 算法、提高光电传感技术,使无创监测技术在适用范围和监测精度等各方面有新的发展。

**2.3 AI 在 GDM 患者膳食及运动管理中的应用** 在 GDM 患者非药物治疗中,膳食、运动管理起着非常关键的作用;AI 给该领域输入了新的技术力量。

肖佳祺<sup>[22]</sup>采用 AI 和图像处理技术,研发出饮食能量智能采集及分析系统。该系统把患者饮食日志、血糖监测数据、运动情况进行整合,给出个性化的科学饮食建议和运动指导;同样,李华等<sup>[23]</sup>以智能餐盘为载体,构建了基于远程 APP 的管理系统。孕妇可以把自己的膳食、血糖监测情况、运动、体质量等上传到该系统中,远程医疗团队会据此对孕妇进行即时干预。该方法对于改善孕期并发症、提高血糖控制效果等有积极作用;但是智能餐盘在实际应用当中存在携带不方便、食物识别困难等问题。AI 同可穿戴设备相结合,可以实现根据进餐时间对个体进行个性化饮食指导。通过可穿戴设备监测昼夜节律下进餐时间和代谢指标变化来确定个人的生物钟规律,并据此对饮食方案进行个性化调整,可以更加准确地给出进食时间的建议<sup>[24]</sup>。但是该系统在复杂实际情况下可用性有待检验。未来研究在优化算法的同时,还要重视临床可行性以及长期的管理效果。

**2.4 AI 在 GDM 孕妇情绪及依从性管理中的应用** 与正常孕妇相比,GDM 孕妇会对自身健康、分娩、后代产生担忧,同时疾病的自我管理也会增加其心理负担;而心理负担又会增加剖宫产、早产、新生儿低血糖等不良妊娠结局<sup>[25]</sup>。AI 为 GDM 孕妇情绪、依从性协同管理提供了新范式。智能机器人作为医学健康领域的创新载体,不仅能提供基础医疗服务,还能通过人机交互模式提供情感疗愈,为缓解 GDM 孕妇负面情绪提供切实可行的方法。李果等<sup>[26]</sup>借助智能机器人通过体征监测、膳食指导、运动管理、信息互动和健康教育等多模块对 GDM 孕妇进行健康管理,该机器人能有效调动其积极性和依从性,还能提高自我管理能力和 Yang 等<sup>[27]</sup>发现,机器人辅助数字教育更能缓解 GDM 孕妇的焦虑情绪,并提升其健康素养与依从性。人机交互模式通过拟人化对话与即时反馈,把单向的健康宣教转化为双向、沉浸式的体验,使患者更易理解并主动吸收医护人员传递的信息。未来需进一步开发 AI 在健康教育、情绪管理等方面的潜力,将其融入到 GDM 孕妇的全周期管理和护理中,以激发患者的主动参与,缓解其负面情绪,提升其生活质量。基于人工智能的妊娠期糖尿病管理流程图见图 1。

### 3 AI 应用于 GDM 领域的挑战与展望

**3.1 AI 在 GDM 管理领域的潜力与局限** 目前,AI 在 GDM 疾病管理中的应用仍处于早期探索阶段。AI 凭借其技术优势,可以将优质护理拓展到 GDM 人群中医疗资源相对匮乏的地方,减少患者频繁就诊的需求,而且 AI 整合多维数据后能够提供精准的

决策支持,从而减少母婴不良结局<sup>[28]</sup>。虽然 AI 在 GDM 诊断和预测方面取得了进展,但其临床可推广性仍然有限。Mennickent 等<sup>[29]</sup>系统审查了 109 项相关研究发现,在 GDM 预测模型中,仅有 8.3%的

模型得到了外部验证,但其预测性能表现为低等或中等;相反,缺乏外部验证的模型显示出非常高的预测能力。这说明模型可能存在过拟合的问题,也限制了 AI 模型在真实临床场景中的应用。

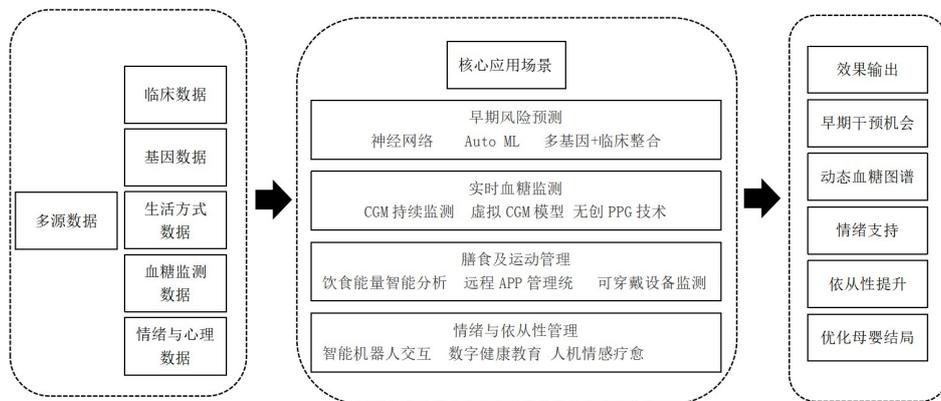


图 1 基于人工智能的妊娠期糖尿病管理流程图

当前 AI 应用功能单一,尚未形成对 GDM 孕妇从孕前到分娩后的整体医疗支持体系。值得注意的是, GDM 孕妇产后 1~11 年患 2 型糖尿病的风险是妊娠期血糖正常孕妇的近 10 倍,同时其产后发生多种代谢和非代谢疾病的风险均有增加<sup>[30]</sup>,这也凸显了建立全周期 AI 健康管理系统的迫切性。所以未来要进一步完善临床准入与监管标准,明确模型的外部验证要求、性能评估指标、算法透明度等内容,以保障 AI 在 GDM 管理中的安全性与有效性;同时,应依托多中心协作构建高质量的 GDM 专病数据库,推动数据标准化,为 AI 模型的开发和临床应用打牢基础。在此基础上,可逐步构建覆盖孕前、孕期及产后的连续管理模式,实现 GDM 全周期的风险监测与干预。

3.2 用户隐私与数据安全亟待加强 AI 虽能挖掘庞大复杂的多源数据并高效探索疾病间的潜在关联规律,但其广泛应用带来了伦理与隐私的挑战<sup>[31]</sup>。在孕产妇健康管理中,由于 AI 处理的信息常常包含生殖史、母体及胎儿健康状况以及遗传信息这类高度敏感的数据,所以数据隐私保护成了核心问题。为此,国内制订了《个人信息保护法》<sup>[32]</sup>,构建了对敏感信息收集、使用及跨境传输的规范体系。可见,保护用户隐私安全是 AI 持续发展必须关注和解决的核心问题。未来研究者可采用联邦学习、差分隐私、安全多方计算等隐私保护计算技术,在不直接共享原始数据的情况下实现多中心协作建模,以降低敏感数据泄露的风险。

3.3 AI 算法缺乏可解释性、透明性 伴随着以语

言大模型为代表的 AI 实用性成果的出现,其解释性和透明性受到了广泛关注。目前 AI 模型或算法内部机制未知,只能通过输入-输出来推测其功能。这也导致医生无法解释 AI 得出的诊断或者治疗决策,进而影响 GDM 患者对医生的信任,而使用可解释的 AI 算法可能会使模型性能降低<sup>[33]</sup>。通过量化各输入特征对模型预测结果的边际贡献,在不显著影响性能的前提下,实现复杂模型决策过程的透明化和可解释性分析。除此之外, LIME、Integrated Gradients 及多模态等解释方法,也在 AI 中逐渐被应用。因此,采用基于 SHAP 值和其他方法的解释方法,不仅能够增强 GDM 管理中 AI 的可解释性和透明性,也为其朝向可靠、符合医学伦理的稳健发展提供技术支撑。

#### 4 小结

AI 为 GDM 管理提供了创新性的解决方案,它不仅能够实现早期风险预测,还能进行实时血糖监测、膳食与运动管理以及情绪与依从性干预,为全周期管理提供个性化支持。然而,当前 AI 应用多为单一模块,临床可推广性有限,隐私保护与算法透明性仍需加强。未来应推动 AI 模块化整合与多源数据融合,结合代谢组学、遗传学及连续监测数据,实现精准预测与干预;同时,将 AI 嵌入临床决策支持系统和可穿戴设备,构建从早期识别到产后随访的闭环管理体系。此外,未来仍需开展大样本、多中心的临床研究,优化模型可解释性和用户隐私保护策略,以确保 AI 在 GDM 全周期管理中的安全、可靠与可持续应用。

【关键词】 人工智能;妊娠期糖尿病;管理

DOI:10.3969/j.issn.2097-1826.2026.02.008

【中图分类号】 R473.71 【文献标识码】 A

【文章编号】 2097-1826(2026)02-0032-04

### 【参考文献】

- [1] SIMMONS D, SWEETING A. Defining gestational diabetes; not just about cutoffs[J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2023, 11(5):303-304.
- [2] WU X, TIEMEIER H, XU T. Trends in gestational diabetes prevalence in China from 1990 to 2024: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Rev Endocr Metab Disord*, 2025, 26(6):1009-1021.
- [3] International Diabetes Federation. IDF diabetes atlas 2025 global diabetes data & insights[EB/OL]. [2025-07-29]. <https://diabetesatlas.org/resources/idf-diabetes-atlas-2025/>.
- [4] GONG Y, WANG Q, CHEN S, et al. Heterogeneity of gestational diabetes and risk for adverse pregnancy outcome: a cohort study[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2025, 110(7):e2264-e2272.
- [5] BASTIAN B, SMITHERS L G, PAPE A, et al. Early screening and diagnosis of gestational diabetes mellitus (GDM) and its impact on perinatal outcomes[J/OL]. [2025-09-01]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168822724008003?via%3Dihub> DOI:10.1016/j.diabetes.2024.111890.
- [6] 张溪竹, 湛浩然, 孙若宁, 等. 妊娠期糖尿病诊断标准的研究进展及发展趋势[J]. *中国糖尿病杂志*, 2023, 31(7):555-560.
- [7] 卢紫薇, 赵雨菲, 杨素勉, 等. 健康行为互动模式在妊娠期糖尿病孕妇自我管理中的应用[J]. *中国护理管理*, 2025, 25(5):763-769.
- [8] ALDOSARI B, ALDOSARI H, ALANAZI A. Challenges of artificial intelligence in medicine[J]. *Stud Health Technol Inform*, 2025, 323:16-20.
- [9] SOSA-HOLWERDA A, PARK O H, ALBRACHT-SCHULTE K, et al. The role of artificial intelligence in nutrition research: a scoping review [J/OL]. [2025-09-01]. <https://www.mdpi.com/2072-6643/16/13/2066>. DOI:10.3390/nu16132066.
- [10] HE J, BAXTER S L, XU J, et al. The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine [J]. *Nat Med*, 2019, 25(1):30-36.
- [11] GROSSI E. Special article the long journey of artificial intelligence in medicine: an overview[J]. *Clin Exp Rheumatol*, 2025, 43(5):815-821.
- [12] 国家卫生健康委员会. 关于印发健康中国行动——糖尿病防治行动实施方案(2024—2030年)的通知[EB/OL]. [2025-07-26]. [https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202407/content\\_6965000.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202407/content_6965000.htm).
- [13] WU Y T, ZHANG C J, MOL B W, et al. Early prediction of gestational diabetes mellitus in the Chinese population via advanced machine learning[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2021, 106(3):e1191-e1205.
- [14] GU Y, ZHENG H, WANG P, et al. Genetic architecture and risk prediction of gestational diabetes mellitus in Chinese pregnancies [J/OL]. [2025-09-01]. <https://www.nature.com/articles/s41467-025-59442-6>. DOI:10.1038/s41467-025-59442-6.
- [15] KUMAR M, ANG L T, PNG H, et al. Automated machine learning (AutoML)-derived preconception predictive risk model to guide early intervention for gestational diabetes mellitus[J/OL]. [2025-09-01]. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/11/6792>. DOI:10.3390/ijerph19116792.
- [16] SADEGHPOUR A, JIANG Z, HUMMEL Y M, et al. An automated machine learning-based quantitative multiparametric approach for mitral regurgitation severity grading[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2025, 18(1):1-12.
- [17] 刘哲, 刘维维. 妊娠期糖尿病患者产后糖代谢异常的预测模型研究进展[J]. *军事护理*, 2023, 40(5):29-32.
- [18] ERMAINE M, HEALY G, EGAN B. Lack of data sharing despite data availability statements in studies using machine learning models for prediction of gestational diabetes mellitus [J]. *Diabetes Care*, 2024, 47(10):e78-e79.
- [19] SCOTT E M, BILOUS R W, KAUTZKY-WILLER A. Accuracy, user acceptability, and safety evaluation for the FreeStyle Libre flash glucose monitoring system when used by pregnant women with diabetes[J]. *Diabetes Technol Ther*, 2018, 20(3):180-188.
- [20] LIM M H, CHAE H, YOON J, et al. A deep learning framework for virtual continuous glucose monitoring and glucose prediction based on life-log data[J/OL]. [2025-09-01]. <https://www.nature.com/articles/s41598-025-01367-7>. DOI:10.1038/s41598-025-01367-7.
- [21] 路鹤鸣, 程立瑞, 张晓峰, 等. 适用于妊娠期的 PPG 近红外无创血糖监测仪研发与临床测试[J]. *中国医疗设备*, 2025, 40(6):23-28, 54.
- [22] 肖佳祺. 基于图像处理的糖尿病孕妇饮食能量采集与分析系统 [D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2018.
- [23] 李华, 李文霞, 陈秋玲, 等. 人工智能技术在妊娠期糖尿病营养管理中的应用及其意义[J]. *中国医师杂志*, 2022, 24(5):719-722.
- [24] XEGA V, LIU J L. Chrononutrition in gestational diabetes: toward precision timing in maternal care[J/OL]. [2025-09-01]. <https://www.mdpi.com/2075-4426/15/11/534>. DOI:10.3390/jpm15110534.
- [25] 田瑞雪, 邹智杰, 吴圆圆, 等. 妊娠期糖尿病孕妇心理痛苦体验的质性研究[J]. *护理学杂志*, 2023, 38(24):80-83.
- [26] 李果, 王慧玲, 朱玉芬, 等. 人工智能机器人在妊娠期糖尿病孕妇居家自我管理中的应用[J]. *中国护理管理*, 2023, 23(8):1220-1224.
- [27] YANG C L, XU Z Y, CHANG C Y. The impact of robot-assisted digital education on prenatal women's health literacy: a randomized controlled trial [J/OL]. [2025-09-01]. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/jonm/8865606>. DOI:10.1155/jonm/8865606.
- [28] MURRIN E M, SAAD A F, SULLIVAN S, et al. Innovations in diabetes management for pregnant women: artificial intelligence and the internet of medical things[J]. *Am J Perinatol*, 2025, 42(12):1540-1549.
- [29] MENNICKENT D, RODRÍGUEZ A, FARIAS-JOFRE M, et al. Machine learning-based models for gestational diabetes mellitus prediction before 24–28 weeks of pregnancy: a review[J/OL]. [2025-09-01]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0933365722001361?via%3Dihub>. DOI:10.1016/j.artmed.2022.102378.
- [30] 隽娟, 高迪, 杨慧霞. 妊娠期糖尿病对母亲及其子代近远期健康的影响[J]. *中国医学前沿杂志: 电子版*, 2024, 16(4):1-7, 93.
- [31] MORLEY J, MACHADO C C V, BURR C, et al. The ethics of AI in health care: a mapping review[J/OL]. [2025-09-01]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277953620303919?via%3Dihub>. DOI:10.1016/j.socscimed.2020.113172.
- [32] 国家市场监督管理总局网络交易监督管理局. 中华人民共和国个人信息保护法[EB/OL]. [2026-01-16]. [https://www.sac.gov.cn/cms\\_files/filemanager/samr/www/samrnew/wljys/gzdz/202304/t20230417\\_354662.html](https://www.sac.gov.cn/cms_files/filemanager/samr/www/samrnew/wljys/gzdz/202304/t20230417_354662.html).
- [33] SANGARI A, SOOD A, LOZEAU D. What is wrong with a black box? Addressing the use of unexplainable artificial intelligence in patient care [J]. *J Am Acad Dermatol*, 2024, 91(4):784-785.

(本文编辑: 郁晓路)