·综　　述·

人工智能在 2 型糖尿病健康管理中的应用研究进展*

金亦周[1]，周　利[2]综述，徐明智[3,4△]审校

[1. 树兰国际医学院，浙江 杭州 310015；2. 浙江大学医学院附属第一医院重症医学科，浙江 杭州 310000；
3. 浙江树人学院树兰国际医学院附属树兰（杭州）医院内分泌与代谢病科，浙江 杭州 310004；
4. 浙江省肿瘤医院综合内科/中国科学院基础医学与肿瘤研究所，浙江 杭州 310022]

[摘　要]　2 型糖尿病（T2DM）及其并发症影响了全球数亿人的健康和生活质量，其主要治疗方式为胰岛素和降糖药物的使用，但由于确诊不及时、起始治疗过晚、药物剂量调整不积极等问题，仍有很多患者血糖控制不佳。人工智能（AI）是数字信息智能化飞速发展的产物，在糖尿病等慢性疾病的预测、诊断、治疗、随访等健康管理环节中发挥重要作用。现已有多种 AI 技术融入 T2DM 的健康管理中，如远程医疗、动态血糖监测等。该文综述了近期 AI 在 T2DM 健康管理中的应用成果，并对存在的问题和研究方向进行了讨论。

[关键词]　人工智能；　2 型糖尿病；　健康管理；　综述

DOI：10.3969/j.issn.1009-5519.2023.24.021　　**中图法分类号**：R587

文章编号：1009-5519(2023)24-4242-06　　**文献标识码**：A

Research progress on application of AI in health management of T2DM*

JIN Yizhou[1], *ZHOU Li*[2], *XU Mingzhi*[3,4△]

[1. *Shulan International Medical College, Hangzhou, Zhejiang* 310015, *China*; 2. *Department of Critical Care Medicine, the First Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou, Zhejiang* 310000, *China*; 3. *Department of Endocrinology and Metabolism, Shulan (Hangzhou) Hospital, Affiliated to Shulan International Medical College, Zhejiang Shuren University, Hangzhou, Zhejiang* 310004, *China*; 4. *Department of General Medicine, Zhejiang Cancer Hospital, Institute of Basic Medicine and Cancer/Chinese Academy of Sciences, Hangzhou, Zhejiang* 310022, *China*]

[**Abstract**]　Type 2 diabetes mellitus (T2DM) and its complications have affected global hundreds of millions of people's health and quality of life. The main treatment methods are the use of insulin and hypoglycemic drugs. However, due to problems such as untimely diagnosis, late initial treatment and inactive drug dosage adjustment, many patients still have poor blood sugar control. Artificial intelligence (AI) is the product of the rapid development of digital information intelligence, which plays an important role in health management such as the prediction, diagnosis, treatment and follow-up of chronic diseases such as diabetes. A variety of AI technologies have been integrated into the health management of T2DM, such as telemedicine and dynamic blood glucose monitoring. This article reviewed the recent application achievements of AI in T2DM health management, and discussed the existing problems and research directions.

[**Key words**]　Artificial intelligence;　Type 2 diabetes mellitus;　Health management;　Review

糖尿病（DM）是一种以血糖水平升高、代谢紊乱为特征的慢性疾病，全球患者数量超过 5 亿[1]。近 30 多年来，我国的 DM 患病率显著增加，由于城市化、老龄化等因素的影响，DM 的知晓率、治疗率和控制率虽然已经取得一定改善，但仍处于较低水平[2]。在 DM 人群中，2 型糖尿病（T2DM）占 90%以上，1 型糖尿病（T1DM）和其他类型的 DM 较少见。

在 T2DM 的并发症中最重要的是血管并发症，微血管系统的病变会引发肾病、视网膜病变、足溃疡等疾病[3]，大血管并发症包括冠心病、心力衰竭等，还有脑血管和外周动脉疾病，对 T2DM 的发病率和死亡率均有很大的影响[4]。据估计，高达 25%新诊断的

*　**基金项目**：国家重点研发计划资助（2021YFA1301100、2021YFA1301104）；浙江省医药卫生科技计划项目（2022KY784）。

△　**通信作者**，E-mail：xumz@zjcc.org.cn。

T2DM 患者已经出现了一种或多种糖尿病并发症[3]。

T2DM 患病人数的不断上升和患病群体的年轻化，使社会与医疗机构亟须寻找新的技术方法和管理方式来提高 T2DM 的诊治效率，减轻 T2DM 患者的负担，降低医疗费用支出。在近几年全球新型冠状病毒感染大流行中，远程医疗和数字技术的重要性得到了证明[5]，人工智能（AI）有望改变医疗模式，在 DM 等慢性疾病中将发挥越来越大的作用。

1　AI 的现状与应用优势

AI 一词早在 1956 年就被提出，意味着尽可能减少人为干预，使用计算机来模拟智能行为。计算能力的指数增长、大数据处理技术、机器学习等重大技术突破都让 AI 彻底改变医疗领域成为可能。当前，我国医疗健康领域已进入数字医疗阶段，并大力推动数字化转型成为智慧健康医疗[6]。建立基于 5G 网络的智慧医院、智慧社区和智慧家庭病房是 AI 在我国应用于医疗服务的创新模式，AI 技术和机器人被大量应用于病房管理、感染控制、安全管理与培训等场景[7]。此外，我国关于 AI 的研究与创新也逐渐与国际接轨，国际上有关 AI 的研究在前期一直发展缓慢，进入 21 世纪后开始有所突破，在 2017 年后呈爆发式增长趋势，中国的发展趋势也与国际总体相似。同时，与 DM 有关的 AI 研究也随着 AI 领域的深入发展逐渐增多。

2　AI 用于 T2DM 的预测与诊断

T2DM 患病率在不同年龄段群体中差异较大，其是中老年人 DM 的主要类型，但近年来低龄儿童患病率明显上升，18 周岁以下的患者数量也不容小觑。此外，在过去的几十年中，我国妊娠糖尿病（GDM）患病率持续增加，在某些地区可超过 20%，特别是“二孩”“三孩”政策实施后，高龄高危孕妇的 GDM 患病率急剧上升[8]，患有 GDM 的女性在随后几年中患 T2DM 的风险很高[9]。利用大数据及 AI 方法对 T2DM 进行预测与诊断，尤其是对高血糖预防意识不足的孕妇、儿童、青少年群体，有利于 T2DM 的早发现、早诊断、早治疗。预测 T2DM，需先从医疗机构的体检信息中提取数据，涉及体重指数、空腹血糖等数 10 项指标，再利用多种机器学习算法建模对数据进行分析，学习算法包括决策树、随机森林、支持向量机等，早期预测并筛查出潜在的 T2DM 患者，以便及时干预治疗。

3　AI 用于 T2DM 的管理

T2DM 作为慢性终身疾病，虽然无法彻底治愈，但可以通过长期的生活方式干预和药物治疗有效控制疾病，做到带病生存。T2DM 管理是一项复合型的团队服务工作，涉及病情监测、指导用药等医疗活动，还有膳食管理、体育锻炼、心理疏通等生活干预，需要患者个人、家庭、社区、医疗机构的共同参与。对 T2DM 患者来说，AI 除了能够进行疾病风险预测，还能辅助诊疗，优化决策，帮助医院管理和患者个人管理（图 1）。

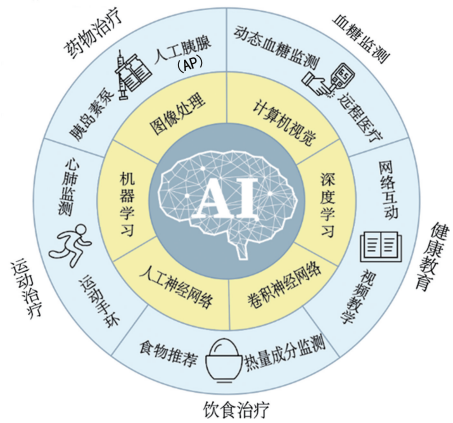

图 1　AI 用于 T2DM 的管理的示意图

3.1　血糖监测与胰岛素治疗

3.1.1　连续动态血糖监测（CGM）　CGM 是一种先进的穿戴式血糖监测方法，准确性高，侵入性小，通过传感器连续监测皮下组织液的葡萄糖浓度变化[2]，提供实时的持续性血糖测量数据，可以由医护人员手动调节血糖目标范围，当监测到患者血糖超出范围时就会发出警报提示，同时 CGM 还会主动将信息传输到专用的接收器、胰岛素泵、手机或云端，包括血糖变化率、个性化阈值基础上的高血糖和低血糖、根据血糖趋势得到的低血糖预警[10]。另外，还有佩戴式动态血糖手表、腕带等，通过多个 AI 模型结合传感器阵列组合，连续监测人体血糖、血压等多项生理参数，实时上传至云平台，精确度高，在国内外均已投入商用[11]。

3.1.2　胰岛素泵　胰岛素泵也称持续皮下胰岛素注射，通过在皮下组织中放置插管向体内持续注射胰岛素，与 CGM、DM 信息管理合称为胰岛素“3C”整合管理系统，是 DM 管理的突破性发展。传统的胰岛素给药是通过胰岛素注射器或胰岛素笔每日多次注射，而胰岛素泵疗法则是根据日常需求和昼夜节律需求调整基础胰岛素，只需 2～3 d 更换 1 次输液装置，提供更精确、灵活的治疗，使患者体内的胰岛素水平尽可能接近正常生理情况。大多数胰岛素泵都是通过管型的输液装置来注射胰岛素，也有通过直接接触皮肤的贴片泵进行无管注射的[10]。有研究证明，胰岛素泵对 T1DM 患者有益，现也有专门为 T2DM 患者设计的胰岛素泵出现，简化了泵的设置，降低成本[12]。

3.1.3　人工胰腺（AP）　AP 也称闭环胰岛素系统，是一种基于数学算法，根据 CGM 数据即患者的血糖情况来调整胰岛素传输的自动胰岛素输送系统。AP

主要由血糖检测装置、反馈调节系统和胰岛素输注系统三部分组成，也就是 CGM、胰岛素泵和算法控制器的整合，控制算法的诞生与更新使 AP 真正实现了对 AP 根据血糖水平分泌胰岛素的仿生模拟。目前，MPC 是临床应用最多的血糖控制算法，相对于 PID 和模糊预测控制算法，MPC 将血糖控制在理想范围内的效果更好，并能有效减少夜间低血糖的发生[13]。根据不同的治疗需求，AP 衍生出了多种模式，最简单的是暂停胰岛素输注模式，在达到低血糖阈值之前暂时关闭胰岛素泵，及时纠正低血糖状态，此外还有夜间、日夜、双激素闭环模式等。AP 的算法还在不断更新，可以实现更复杂的功能，如根据血糖的趋势持续性调整胰岛素输送[10]。

3.2　互联网远程医疗　近年来，我国大力推动 DM 的基层防治工作，但仍缺乏系统的 T2DM 患者管理策略。互联网医疗＋AI 是影响现代医疗服务的最前沿技术之一[7]，实现了医疗数字化，在慢性疾病管理中的作用日益凸显。有研究发现，通过搭建专科医护人员与社区医护团队业务交流的平台进行互联网视频通话，基于互联网-全科-专科合作的 DM 管理模式能够帮助患者实现血糖控制、增加健康行为、提升诊治依从性的作用，且不会增加药物治疗费用[14]。目前已有一些医疗机构采用互联网平台对患者的血糖、血压进行远程监控管理，保证管理的连续性，避免了传统随访带来的时空限制[15]。患者可以手动上传数据或由血糖仪和 CGM 自动上传数据，医护人员分析血糖情况后再通过互联网平台反馈给患者，及时调整治疗计划，大大提高了数据监测的效率。

健康宣教也是互联网医疗重要的一部分，患者的日常行为和自我管理能力对疾病的控制起关键作用，需要不断学习和掌握疾病管理相关的知识技能。互联网可以为患者提供教学和沟通的平台，以社区为单位搭建“互联网＋健康教育”管理模式，形成“医学院校-基层医院-家庭”三级联动管理系统，开展线上健康管理，促进患者健康生活方式养成，提升患者的自我管理能力，同时也可以减轻患者的心理负担[16]。

3.3　饮食与运动　科学合理的 T2DM 管理策略应该是综合性的，糖尿病教育、血糖监测、饮食治疗、运动治疗、药物治疗缺一不可。但我国患者对饮食治疗知识的掌握水平偏低，医嘱的依从性低，容易造成血糖大幅度波动、营养过剩或不良。AI 在饮食管理中的应用主要分为饮食推荐和自动监测两方面，帮助患者纠正不良饮食习惯。

饮食推荐系统能够根据医生的医嘱，结合患者偏好进行个性化饮食推荐，在我国已产生了基于食物交换份法[17]、可变精度[18]、矩阵分解和标签[19]等的饮食推荐系统，其中协同过滤系统被认为是最成熟的，但由于医疗健康领域的数据库非常巨大，其推荐精度效果和用户满意度对比其在其他领域的应用还有待提高[20]。

饮食监测系统可以解决手动报告饮食情况准确性低、反馈慢的问题，采用移动摄像头和计算机视觉的自动记录保存方法，这种基于图像的识别评估系统使用深度学习将照片处理切割，提取特征并分类，进而计算食物体积和能量营养。Snap-n-Eat 是一种食物识别系统，可以在无人为干预的情况下自动识别食物并估算热量和营养成分。目前，已有超过 10 000 个用于体重管理和饮食监测的应用程序被开发[21]，一些用于计算食物摄入量的手机 APP 如 FoodIntech 也可用于医疗机构，帮助医护人员了解患者的营养状况。

目前，T2DM 患者运动管理的评价方法较缺乏，而模糊层次分析法可以将疾病指标、心血管安全性及身体素质指标进行统筹结合，为运动方案的个体化、自动化问题提供解决思路。基于此方法的相关研究认为，在制定 T2DM 患者运动计划时需要更多地考虑个体的心肺功能、保障方案的具体实施效果和安全性[22]。包括 iWatch 在内的可穿戴活动监测器可以实时检测记录患者的运动情况，如热量消耗、心率等，并反馈给医生，增加医患沟通说服力，提高患者对运动治疗的依从性。

4　AI 在 T2DM 并发症中的应用

T2DM 患者短期和长期的血糖异常波动容易引发大血管和微血管并发症，还会引起氧化应激和慢性炎症因子的增加，导致器官受损。AI 在提高 T2DM 并发症的预测与早期筛查效率和准确率上作用显著，AI 医学影像分析显现出强大优势，基于支持向量机、逻辑回归、多层神经网络等算法的预测模型也已被证实是可行可靠的，AI 不断满足 T2DM 并发症临床诊治的各种需求，有较高的应用价值。

4.1　糖尿病视网膜病变(DR)　DR 是 DM 最常见的眼部并发症，会导致患者视力下降，甚至失明，是中老年人视力丧失的主要原因[23]。在中国的 T2DM 患者中，DR 的患病率为 28%～43%。因此，进行 T2DM 的系统管理，在早期对 DR 进行筛查诊断并及时管理治疗，有助于减少继发于 T2DM 的视力损害。

近年来，AI 在眼科学的应用范围不断扩展，深度学习作为最先进的机器学习技术，在图像、声音识别方面具有诊断性能，尤其是对于眼科疾病来说，可以降低成本、提高诊断准确性[24]。AI 可以从丰富的图像数据中识别出 DR 患者是否有出现出血渗出、微动脉瘤和新生血管，对 DR 进行筛查诊断和分级。2018 年，首个用于 DR 临床筛查的深度学习算法获得美国

食品药品监督管理局(FDA)批准，敏感度和特异度分别为 87.2%和 90.7%，这是 AI 在眼科领域应用的里程碑事件[25]。国内外研究人员多次对卷积神经系统模型进行训练测试，结果显示 AI 系统筛查检出可疑 DR 和同为 DM 眼部并发症的糖尿病黄斑水肿(DME)的敏感度超过 90%，达到眼科医生的水平。智能视网膜成像系统具有自动、远程控制的特点，可以将最新的视网膜图像与早期 DR 的图像数据进行比较，根据病变程度提出转诊建议[26]。

对于医疗资源相对匮乏的基层医院，AI 辅助诊断既能提高效率，又能节省费用，减少医生工作量。有研究显示，AI 阅片诊断的符合率高于不同职称的内分泌医生，在转诊决策性能评估上，AI 系统的转诊效率也优于培训后的社区医生[26]，AI 对 DR 的诊断依赖于清晰准确的图像数据，然而不同地区和医疗机构的技术水平不同，造成图像数据质量不稳定，这会对 AI 诊断判别 DR 的准确性带来一定影响。AI 还可以用于 DR 的风险分级，根据患者性别、DM 类型、DR 严重程度、持续时间等风险特征，通过使用数字算法估计 DR 的风险，并确定个性化筛查间隔，在关注患者 DR 发展情况的同时合理分配医疗资源[27]。

4.2　糖尿病肾病(DKD)　DKD 是 T2DM 的常见微血管并发症，对 25%的患者都造成了影响[3]，是慢性肾病和终末期肾病的主要原因。通过精确的预测模型对 DKD 进行早期干预，可以遏制其在无明显症状或体征的 T2DM 患者中发展。已有通过大数据机器学习构建基于电子病历的 T2DM 患者 DKD 的预测模型，评估蛋白尿和估计肾小球滤过率等生物标志物[3]，旨在预测 DKD 并进行有效准确的干预，避免患者进行血液透析治疗，减少心血管事件的发生。

基于机器学习的 mMRI-TA 模型可用于评估 DKD 的肾功能，肾纤维化的 T2WI 成像变化很难被肉眼识别，但 AI 技术可以通过提取大量 MRI 成像纹理和细节特征分析来检测肾功能不全和纤维化患者的信号强度变化并进行量化[28]。DR、血细胞比容和血尿是区分 DKD 与非 DKD 重要特征变量，通过机器学习方法建立逻辑回归模型，对未进行肾活检的患者进行无创鉴别，可以提高临床诊断能力，降低疾病分类的误诊概率[29]。此外，将机器学习与 WGCNA 分析相结合，鉴定 DKD 的差异表达基因，并对免疫和氧化应激相关的枢纽基因进行筛选，为 DKD 的诊断和治疗提供新靶点[30]。

4.3　心血管疾病(CVD)　CVD 是 T2DM 患者死亡的主要原因，与一般人群相比，T2DM 患者的高血压患病率显著增加，且 T2DM 合并高血压患者的心血管死亡风险更高[31]，CVD 也是 DM 患者医疗保健支出的最大组成部分[4]。

目前，越来越多的治疗方案将降糖和降压共同作为治疗重点，近期已有国内自主研发的智能血压腕表通过Ⅱ类医疗器械注册检验，随着传感器技术、算法的更新，血压测量的敏感度、准确度不断得到优化，还可以帮助患者监测心率，发现心律失常，早期预警心血管疾病[32]。基于机器学习的 RUSBoost 算法模型可分析糖化血红蛋白(HbA1c)、平均血糖、DM 持续时间等参数，识别 CVD 低风险和高风险的 T2DM 患者，改善传统量表预测风险“一刀切”的缺点，转向精确预测，挖掘患者群体在 CVD 方面的异质性，有利于定制更有效的预防和治疗策略[33]。

此外，AI 也广泛应用于心电图[34]、心血管影像[35]等检查，这些方法敏感度和准确度高，可以量化心血管的结构和功能，鉴别疾病，及时筛查出异常情况，尽早发现心 CVD 并进行及时有效的救治。

4.4　糖尿病足(DF)　DF 是由周围神经病变导致感染、溃疡等的常见慢性并发症，若不及时治疗，可能会导致截肢。AI 在 DF 中的应用主要有以下三方面。

4.4.1　足部溃疡和截肢的风险预测　机器学习技术建立统计模型可以评估患者病史、经济水平等因素来进行预测[36]，旨在改善患者的生活质量和减轻截肢带来的经济负担。DF 预警系统可分为足底压力检测、红外热成像和温湿度检测，实时监控 DF 高危因素，及时筛查 DF，有效降低其发病率[37]。

4.4.2　通过足底温度评估分析潜在炎症程度　足底温度升高是潜在炎症的关键指征，基于高分辨率红外相机和计算机捕获分析参数的红外热成像技术可以用于自动检测 DF，分析温度的伤口炎症指数与伤口愈合之间的关系，预测伤口愈合情况，与液晶热成像相比，其具有非侵入性测量的优点，有利于进行自动分析，在远程医疗应用中显示出更大的潜力[38]。

4.4.3　可以协助判断伤口大小及深度　在 DF 的诊治过程中，准确测量伤口大小至关重要，为了准确和客观地进行伤口大小测量，一些手机 APP 如 NDKare 采用可在二维和三维 2 个层面获取伤口表面积、深度和体积并进行统计分析评估，这些数据将上传至系统供医护人员使用[39]。基于深度学习的 APP 还可实现智能闭环式全病程管理，涵盖对患者的资料采集、智能测量、分级评估、多学科会诊和医联体医院间智能化转诊，有助于实现信息共享、线上线下一体化诊疗[40]。

5　AI 在 T2DM 管理中的局限性

AI 的应用也面临医疗安全、医学伦理方面的争议。比如 AI 系统模型涉及大量的医疗数据信息，存在伦理与隐私问题；AI 更新迅速，医护人员跟不上 AI

的发展步伐，难以配合达到效果最大化，缺少系统培训来适应传统医疗到智慧医疗的转变；虽然目前 AI 技术已经尽可能秉持“以人为本”的原则进行人性化设计，但老年人使用智能设备仍然存在障碍，不利于疾病的管理。

6　小结与展望

智慧医疗是“健康中国”战略实施的重要支撑和保障，AI 使医疗朝着更智慧、更便捷、更实用、更安全的方向发展。对于医疗机构来说，AI 的应用大幅度提高了效率，减轻医护人员的工作压力和医疗卫生系统的负担；对于患者来说，AI 的应用可以辅助自我管理，改善行为依从性和生活质量。AI 还使患者、家庭、社区、医疗机构共同参与到健康管理中，促进信息交互，及时调整治疗策略。目前，机器学习是 AI 中最热门的方向，基于机器学习构建的算法模型既可以辅助诊断、预测风险，又参与医疗信息化，管理分析大数据并进行可视化，医学影像等领域都取得了超越传统方法的效果。

AI 在 T2DM 健康管理中发挥了重要的作用，未来前景可期。目前，大数据规范应用标准化建设、人工智能应用标准化建设都在逐步推进，在之后的研究中，AI 领域不仅需要优化算法，进一步探索个性化、人性化，还需要建设更完善的责任制度体系和监督体系，重视患者信息的隐私保护，并重视医疗机构、社区、家庭对患者的人文关怀。

参考文献

[1] AHMAD E, LIM S, LAMPTEY R, et al. Type 2 diabetes[J]. Lancet, 2022, 400(10365): 1803-1820.

[2] 中华医学会糖尿病学分会. 中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版)[J]. 中华糖尿病杂志, 2021, 13(4): 315-409.

[3] FASELIS C, KATSIMARDOU A, IMPRIALOS K, et al. Microvascular complications of type 2 diabetes mellitus[J]. Curr Vasc Pharmacol, 2020, 18(2): 117-124.

[4] VIIGIMAA M, SACHINIDIS A, TOUMPOURLEKA M, et al. Macrovascular complications of type 2 diabetes mellitus[J]. Curr Vasc Pharmacol, 2020, 18(2): 110-116.

[5] PHILLIP M, BERGENSTAL R M, CLOSE K L, et al. The digital/virtual diabetes clinic: The future is now-recommendations from an international panel on diabetes digital technologies introduction[J]. Diabetes Technol Ther, 2021, 23(2): 146-154.

[6] 陈敏. 2021 年度我国智慧医疗新进展与展望[J]. 中华医学信息导报, 2021, 26(24): 6-7.

[7] 魏东海, STUMPF S, RUBINO L, 等. 从远程医疗到互联网＋人工智能(AI)医疗看医疗数字化的演进[J]. 中国研究型医院, 2022, 9(5): 64-76.

[8] JUAN J, YANG H. Prevalence, prevention, and lifestyle intervention of gestational diabetes mellitus in China[J]. Int J Environ Res Public Health, 2020, 17(24): 223-231.

[9] SZMUILOWICZ E D, JOSEFSON J L, METZGER B E. Gestational diabetes mellitus[J]. Endocrinol Metab Clin North Am, 2019, 48(3): 479-493.

[10] SHERWOOD J S, RUSSELL S J, PUTMAN M S. New and emerging technologies in type 1 diabetes[J]. Endocrinol Metab Clin North Am, 2020, 49(4): 667-678.

[11] AHMED A, AZIZ S, ABD-ALRAZAQ A, et al. Overview of artificial intelligence-driven wearable devices for diabetes: Scoping review[J]. J Med Internet Res, 2022, 24(8): e36010.

[12] FRECKMANN G, BUCK S, WALDENMAIER D, et al. Insulin pump therapy for patients with type 2 diabetes mellitus: Evidence, current barriers, and new technologies[J]. J Diabetes Sci Technol, 2021, 15(4): 901-915.

[13] 姚玉峰, 刘亚欣, 黄博, 等. 用于人工胰腺的血糖闭环控制方法研究进展[J]. 中国生物医学工程学报, 2013, 32(6): 741-751.

[14] 沈洁. 基于信息化基础的新时代血糖管理模式探讨[J]. 中华糖尿病杂志, 2019, 27(10): 695-697.

[15] 吴之易, 牟新. 国内“互联网＋”糖尿病管理方法的进展[J]. 中华糖尿病杂志, 2022, 14(2): 204-207.

[16] 郑传芬, 武书兴, 窦雄, 等. 构建“互联网＋健康教育”社区糖尿病三级联动管理新模式[J]. 健康教育与健康促进, 2022, 17(1): 89-92.

[17] 曹文倩, 康凤英, 滕云. 基于 IMB 模型的血糖负荷食物交换份法在 2 型糖尿病肥胖患者中的应用[J]. 中华现代护理杂志, 2021, 27(17): 2248-54.

[18] 万杰, 杨东辉, 于光, 等. 基于可变精度的协同过滤推荐算法研究[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(16): 181-185.

[19] 姜全有，刘欣，汤秦，等. 基于矩阵分解和标签的饮食推荐系统[J]. 信息与电脑(理论版)，2021，33(24)：57-59.

[20] SUN Y，ZHOU J，JI M，et al. Development and evaluation of health recommender systems：systematic scoping review and evidence mapping [J]. J Med Internet Res，2023，25：e38184.

[21] DALAKLEIDI K V，PAPADELLI M，KAPOLOS I，et al. Applying image-based food-recognition systems on dietary assessment：A systematic review[J]. Adv Nutr，2022，13(6)：2590-2619.

[22] 刘欣然，陈昉，潘道延，等. 基于模糊层次分析法的糖尿病运动康复管理数学模型[J]. 现代医院，2022，22(10)：1633-1640.

[23] LIN K Y，HSIH W H，LIN Y B，et al. Update in the epidemiology，risk factors，screening，and treatment of diabetic retinopathy[J]. J Diabetes Investig，2021，12(8)：1322-1325.

[24] GRZYBOWSKI A，BRONA P，LIM G，et al. Artificial intelligence for diabetic retinopathy screening：A review[J]. Eye(Lond)，2020，34(3)：451-460.

[25] 肖璐璐，窦晓燕. 人工智能在眼部疾病中的应用及其挑战[J]. 国际眼科杂志，2020，20(7)：1197-1201.

[26] 董秀清，杜绍林，刘华秀，等. 人工智能在社区糖尿病视网膜病变诊断及转诊中的应用[J]. 中华实验眼科杂志，2022，40(12)：1158-1163.

[27] ZAFAR S，MAHJOUB H，MEHTA N，et al. Artificial intelligence algorithms in diabetic retinopathy screening[J]. Curr Diab Rep，2022，22(6)：267-274.

[28] CHEN W，ZHANG L，CAI G，et al. Machine learning-based multimodal MRI texture analysis for assessing renal function and fibrosis in diabetic nephropathy：A retrospective study [J]. Front Endocrinol(Lausanne)，2023，14：1050078.

[29] HUI D，SUN Y，XU S，et al. Analysis of clinical predictors of kidney diseases in type 2 diabetes patients based on machine learning[J]. Int Urol Nephrol，2023，55(3)：687-696.

[30] XU M，ZHOU H，HU P，et al. Identification and validation of immune and oxidative stress-related diagnostic markers for diabetic nephropathy by WGCNA and machine learning [J]. Front Immunol，2023，14：1084531.

[31] STRAIN W D，PALDÁNIUS P M. Diabetes，cardiovascular disease and the microcirculation [J]. Cardiovasc Diabetol，2018，17(1)：57.

[32] 刘靖，刘静，张宇清，等. 智能可穿戴设备在中青年血压管理中应用中国专家共识[J]. 中华高血压杂志，2022，30(8)：720-724.

[33] NABRDALIK K，KWIENDACZ H，DROŽDŽ K，et al. Machine learning predicts cardiovascular events in patients with diabetes：The silesia diabetes-heart project[J]. Curr Probl Cardiol，2023，48(7)：101694.

[34] 渠强，孙劲禹，阚俊彦，等. 人工智能在心电图中的应用进展[J]. 中华心血管病杂志，2021，49(11)：1146-1151.

[35] 朱业，谢雨霁，谢明星，等. 人工智能在心血管超声的应用[J]. 中华超声影像学杂志，2021，23(4)：356-61.

[36] SCHÄFER Z，MATHISEN A，SVENDSEN K，et al. Toward machine-learning-based decision support in diabetes care：A risk stratification study on diabetic foot ulcer and amputation[J]. Front Med(Lausanne)，2020，7：601602.

[37] 许鸿本，赵国睿，赵文，等. 糖尿病足预警系统研究进展[J]. 中国糖尿病杂志，2022，30(3)：231-233.

[38] VAN NETTEN J J，VAN BAAL J G，LIU C，et al. Infrared thermal imaging for automated detection of diabetic foot complications[J]. J Diabetes Sci Technol，2013，7(5)：1122-1129.

[39] KUANG B，PENA G，SZPAK Z，et al. Assessment of a smartphone-based application for diabetic foot ulcer measurement[J]. Wound Repair Regen，2021，29(3)：460-465.

[40] 张利娟，赵楠，吴辽芳，等. 医务人员使用糖尿病足智能 APP 的意愿调查及影响因素分析[J]. 中国现代医学杂志，2022，32(20)：96-100.

(收稿日期：2023-04-23　修回日期：2023-08-12)