

# 糖尿病患者健康管理中视觉智能的研究进展

张敏娜<sup>1</sup>, 林艳<sup>2</sup>, 杨恺欣<sup>1</sup>, 林心怡<sup>1</sup>

**摘要:**阐述了视觉智能的概念、发展和特点,综述其在糖尿病患者健康管理中的应用,包括糖尿病视网膜病变筛查、无创血糖监测、食物营养实时评估、运动姿势调整及足部伤口管理。提出未来应深化多模态数据融合,加速临床应用与转化,同时加强隐私保护,以推动视觉智能技术在糖尿病患者管理中的应用。

**关键词:**糖尿病; 健康管理; 视觉智能; 人工智能; 糖尿病视网膜病变; 血糖; 伤口管理; 综述文献

**中图分类号:**R473.5 **DOI:**10.3870/j.issn.1001-4152.2026.05.125

## Research progress on visual intelligence in diabetes health management Zhang Minna,

Lin Yan, Yang Kaixin, Lin Xinyi. Department of Genetics and Endocrinology, Women and Children's Medical Center Affiliated to Guangzhou Medical University, Guangzhou 510623, China

**Abstract:** This article elaborates on the concept, development, and characteristics of visual intelligence, and reviews its application in diabetes health management, including diabetic retinopathy screening, non-invasive blood glucose monitoring, real-time food nutrition assessment, exercise posture adjustment, and foot wound management. It proposes that future efforts should focus on deepening the integration of multimodal data, accelerating clinical application and translation, and strengthening privacy protection, to promote the application of visual intelligence technology in diabetes management.

**Keywords:** diabetes; health management; visual intelligence; artificial intelligence; diabetic retinopathy; blood glucose; wound management; literature review

国际糖尿病联盟最新数据显示,全球 20~79 岁成人糖尿病患者人数已达 5.89 亿<sup>[1]</sup>。糖尿病及其并发症不仅显著增加患者的致残率与致死率,更在全球范围内形成沉重的医疗负担。实现有效的糖尿病管理,既是改善患者临床预后的核心环节,也是减轻社会医疗经济负担的关键举措。《医药工业数智化转型实施方案(2025—2030 年)》<sup>[2]</sup>强调了新一代信息技术在推动全民健康管理中的重要作用。目前,智能技术在糖尿病管理中的应用已成为国内外的研究焦点,其中连续动态血糖监测系统、自动化胰岛素输注系统、远程医疗模式及虚拟病房等创新手段,显著提升了糖尿病患者健康管理的便捷性与效率<sup>[3-4]</sup>。传统健康管理模式因依赖患者自我监测与定期门诊,存在数据碎片化、干预滞后等局限;然而,旨在破解这些难题的智能管理方式,在实际应用中又面临着医疗资源不均、信息分散冗余等新挑战,难以满足精准化、动态化管理需求。视觉智能(Visual Intelligence, VI)作为人工智能的前沿分支,以计算机视觉为核心,并融合深度学习与多模态数据分析,通过模拟人类视觉认知实现对图像、视频的检测、识别、分割与语义理解,进而为环境感知、动态交互与智能决策提供支撑<sup>[5]</sup>。在人工智能领域,视觉智能已成为研究热点,可实现糖尿病视网膜病变自动化分级<sup>[6]</sup>、无创血糖监测<sup>[7]</sup>、食物

营养实时评估<sup>[8]</sup>、运动姿势调整<sup>[9]</sup>、足部伤口管理<sup>[10]</sup>等功能,为糖尿病患者健康管理提供了全新的思路与方法。本研究介绍视觉智能的概念、发展和特点,综述其在糖尿病患者健康管理中的应用,旨在为糖尿病患者健康管理提供参考。

## 1 视觉智能概述

**1.1 视觉智能概念** 视觉智能技术作为新兴监测手段,是依托计算机系统及摄像设备、传感器等终端,模拟并延伸人类视觉效能,对视觉数据进行识别、跟踪、测量与分析的人工智能应用技术。其核心是机器通过摄像头、传感器等设备获取图像、视频、红外热成像等多类视觉数据,对图像序列开展目标跟踪与特征分析,进而精确定位目标点的移动轨迹。从技术内涵看,视觉智能融合图像处理、深度学习、多模态数据分析与语义推理等关键技术,模拟人类视觉的认知机制,使机器系统能够从原始的视觉像素数据中提取高级语义信息,进而理解物体间关系、场景布局及其动态演变过程,完成从低层“图像特征解析”向高层“认知理解”的范式跃迁,并将其转化为可执行的洞察,实现对物理世界的感知、理解、推理与交互<sup>[5]</sup>。本质上,视觉智能是赋予机器“看”并“理解”世界的的能力,通过对海量非结构化视觉数据进行结构化解析、特征提取与关联整合,高效处理复杂场景中的空间关系、动态行为及语义信息,成为连接物理世界视觉信息与智能化应用的关键技术纽带,进而支持自动化决策与行动,为用户提供精准、实时、低门槛的视觉决策支持,最终使机器具备类人水平的视觉处理与智能决策能力<sup>[11]</sup>。

作者单位:广州医科大学附属妇女儿童医疗中心 1. 遗传与内分泌科 2. 护理部(广东 广州, 510623)

通信作者:林艳, ly26937@126.com

张敏娜:女,硕士,主管护师, 2261578648@qq.com

收稿:2025-10-25;修回:2025-12-22

**1.2 视觉智能的发展** 视觉智能的演进历程,彰显了人工智能从感知理解迈向认知决策的重大范式转型。其雏形可追溯至20世纪60年代,当时模拟人类视觉系统是早期人工智能研究的核心方向,研究者通过将摄像机与计算机相连,试图让机器自动描述视觉场景。1982年,Marr<sup>[12]</sup>提出的视觉计算理论,进一步将该领域从零散探索升级为系统性学科。步入21世纪初期,视觉智能实现了具有革命性的突破。2012年,ImageNet大规模视觉识别挑战赛依托百万级图像与千级类别的海量数据,为计算机视觉研究的突破性进展提供了核心支撑<sup>[13]</sup>。在此背景下,由8个可学习参数层构成的深度卷积神经网络 AlexNet 应运而生<sup>[14]</sup>,开启了数据驱动的深度学习的构建模式。近年来,在计算机视觉领域成效显著的深度学习网络技术,能够从大规模数据中自主挖掘图像间的潜在关联,大幅提高特征信息提取的效能<sup>[15]</sup>。其中,He等<sup>[16]</sup>提出的基于深层残差网络的图像识别模型,以及李亚鹏等<sup>[17]</sup>构建的基于卷积神经网络的行人属性多标签识别模型,均为该领域的技术发展提供了重要实践支持。国际跨语言图像检索论坛作为视觉智能与医学交叉领域的核心评估平台,自2017年起,对PubMed Central 医学文献中的生物医学图像展开体系化阐释与归纳,促进了视觉智能在医学专业领域的标准化应用探索<sup>[18]</sup>。现代视觉智能的发展脉络可细分为四个阶段:第一阶段是监督学习框架下的封闭域、特定任务阶段,第二阶段为自监督学习主导阶段,第三阶段是开放域与多模态融合阶段,第四阶段则是世界模型构建阶段。目前,视觉智能已广泛应用于医疗影像诊断、自动驾驶环境感知、工业视觉质检、安防监控预警及消费电子等多个领域,影响力不断加深。其中,医学领域作为视觉智能应用最广泛的方向之一,已成为全球人工智能研究的核心,在医学影像诊断、手术导航与机器人辅助、康复训练评估、智能监护及个性化治疗方案制订等智慧医疗场景中显示出巨大的发展潜力。

## 2 视觉智能在糖尿病患者健康管理中的应用

**2.1 糖尿病视网膜病变筛查** 糖尿病视网膜病变发病过程是可防、可控、可治的,关键在于早期筛查与干预。然而,传统的筛查模式依赖于眼科医生对眼底彩照进行人工判读,面临人力资源有限和地域分布不均的双重瓶颈,视觉智能技术为糖尿病视网膜病变的自动化筛查、诊断与分级以及早期风险预警提供了突破性的解决方案。在技术落地与国际进展方面,糖尿病视网膜病变的自动化筛查已取得显著进展。2018年,美国食品药品监督管理局开创性地批准了全球首款可独立用于一线医疗的自主式糖尿病视网膜病变筛查设备,该设备无需医生介入即可通过分析视网膜图像完成诊断<sup>[19]</sup>。在算法研发层面,Gandor等<sup>[20]</sup>基于波兰政府项目下的9个数据库,通过对14 402张眼

底图像的分析,构建了准确率达80.41%的糖尿病视网膜病变分类模型。在应用模式上,Lieng等<sup>[21]</sup>研究指出,手持式眼底相机等远程眼科设备通过赋能基层筛查与共享专家资源,不仅能降低医疗成本,更大幅提升了资源匮乏地区的医疗护理服务可及性。此外,Saleh等<sup>[22]</sup>评估了91项采用人工智能方法检测与分类糖尿病视网膜病变的研究,这些研究分别通过眼底彩色照相、光学相干断层扫描、光学相干断层扫描血管成像及眼底荧光素血管造影实现技术落地,且在所审查的研究中,有81%使用眼底图像作为核心分析数据,反映出其在技术落地中的主导地位。与此同时,我国在糖尿病视网膜病变辅助诊断技术的研发与应用方面也取得了显著进展,逐步应用于糖尿病视网膜病变的临床辅助筛查与患者管理。Dai等<sup>[23]</sup>开发的DeepDR Plus系统基于超过71.8万张眼底图像进行预训练,构建了时间序列模型,能够预测患者5年内糖尿病性视网膜病变的进展风险,实现个体化预警,并支持将筛查间隔安全延长至31个月。Dong等<sup>[24]</sup>利用120 002张眼底照片开发出一套视网膜人工智能诊断系统,该研究旨在评估系统在识别10种视网膜疾病方面的综合性能,结果系统对其中7种的诊断灵敏度高于或接近资深视网膜专科医生,对另外2种的检测表现与眼科医生相当,此外,该系统在图像分析效率上实现显著提升,所需时间较人工评估减少96%~97%,可极大缓解医生与护理联合筛查中的工作负荷。王慧霞等<sup>[25]</sup>构建了基于计算机视觉的深度学习的模型,该模型通过可视化技术增强了决策透明度,在糖尿病视网膜病变转诊分类任务中准确率达到91.0%,其性能优于低年资眼科医生,并能有效辅助各年资医生提升诊断水平。综上所述,视觉智能技术正深刻改变着糖尿病视网膜病变的筛查范式,推动其从依赖人工的传统模式向人工智能驱动的解决方案转型。尽管远程眼科筛查项目已被证实有效,但其全面推行仍面临显著障碍,导致技术采纳进程相对缓慢。未来支持糖尿病视网膜病变诊断的人工智能模型有望成为基层医疗保健系统不可或缺的一部分,从而加速筛查流程、缩短患者等待时间。

**2.2 无创血糖监测** 基于视觉智能的无创血糖监测技术,其机制在于血糖波动会引起面部皮肤血流动力学特性及组织液葡萄糖浓度的变化,进而影响特定波段光线的反射与吸收特性。通过分析面部图像的颜色、纹理特征及近红外等光谱信号,可实现血糖水平的非侵入式估算,既避免了传统采血带来的疼痛与不便,又为血糖管理提供了创新的技术路径。近年来,视觉智能与深度学习技术的突破为基于面部图像的无创血糖监测奠定了坚实基础。面部图像作为表征个体生理状态的重要生物信息载体,蕴含了反映血糖波动相关特征在内的多种细微生理特征。Nakagawa等<sup>[26]</sup>基于血糖波动会引发面部血流动力学变化并反映于光学特

征的原理,采用多波长面部成像技术进行无创血糖估算研究。该研究通过提取可见光、近红外及红外面部图像的空间特征以构建多维血糖评估模型,其中,红外图像用于捕捉鼻部区域的微循环特征,而可见光图像则侧重分析眼下及面部轮廓区域的表现变化,研究结果证实,近红外光凭借其优异的组织穿透性,在捕捉深层血管中与血糖相关的生理信号方面表现最为突出,基于此优势,研究团队利用近红外波段在眼眶区、鼻侧等血管富集区域提取的特征构建预测模型,成功追踪了血糖变化,从而验证了此项无创监测技术路线的可行性。Nogay 等<sup>[7]</sup>基于卷积神经网络构建了分类模型,旨在通过捕捉面部表现特征以实现高、低血糖状态的识别。该研究创新性地采用人工智能生成的面部图像作为数据源,通过构建涵盖不同血糖状态且类别均衡的面部数据集,并结合迁移学习策略,有效提升了模型在合成数据上的泛化与分类性能。相较于依赖真实数据与侵入性血液采样的传统模式,该方法不仅解决了数据稀缺与隐私问题,又引入了新颖的非侵入性图像分类技术,推动了基于面部图像的健康监测领域发展。然而,无创血糖监测技术仍面临挑战:由于血糖波动信号微弱,其测量精度与可靠性易受肤色、年龄、生理状态及环境因素等多重干扰,导致血糖估计准确度存在局限;此外,作为直接关系患者安全的医疗设备,此类产品必须通过严格的监管审批流程,以充分证明其临床应用的安全性及有效性。

**2.3 食物营养实时评估** 饮食管理是糖尿病血糖控制的基础,在相关临床指南中均被明确推荐,然而患者依从性普遍不佳,成为临床管理的重要难点。传统饮食评估方法虽能分析个体的营养素摄入与营养结构,但执行成本高、流程耗时,且依赖营养师的专业判断。食物摄影技术的引入在一定程度上减少了记录遗漏与估测偏差,但仍未解决人工判读图像所带来的效率限制。目前,基于视觉智能的图像辅助膳食评估技术逐渐兴起,该技术使患者能够实时量化膳食营养成分,在提高评估准确度的同时有效控制人力与时间成本,为开展个性化膳食干预提供了高效支持。随着图像分析与计算机视觉等智能化方法的不断成熟,营养评估领域已逐步形成清晰的技术路径,通过移动终端或可穿戴设备拍摄食物图像,可实现食物类别的自动判别、摄入量的估算以及营养成分的自动计算。目前,该领域的研究主要集中在基于图像识别的食物分类与营养估算,以及结合可穿戴设备的实时监测与评估方法。Anthimopoulos 等<sup>[27]</sup>提出了一种基于计算机视觉智能的食物图像自动识别方案,用于评估糖尿病患者膳食中的碳水化合物含量,在包含近 5 000 张食物图像的数据库中,对 11 类常见食物进行识别,准确率达到 77.8%。Alfonsi 等<sup>[28]</sup>开发了一款面向青少年 1 型糖尿病患者的移动应用程序,基于图像识别与人工智能技术,实现食物图像自动分析与碳水化合

物计算,其综合识别准确率为 94.5%。马兰芳等<sup>[29]</sup>针对慢性病人群研发了一套智能膳食评估系统,该系统融合深度学习与图像分割技术,通过识别食材类别并结合其与餐盘的相对面积估算质量,进而自动计算营养素含量,研究结果表明,系统对能量、蛋白质等关键营养指标的估算误差均处于可接受范围。该系统允许患者通过移动端上传膳食图像,实时获取营养成分报告,为慢性病膳食管理提供了实用化工具。此外,Jobarteh 等<sup>[30]</sup>探讨了可穿戴摄像设备在进食过程中被动采集饮食图像的适用性与实际价值,并验证了基于图像进行食物份量与营养摄入估计的效度。未来研究应进一步推动可穿戴摄像设备与图像识别模型的深度融合,构建从图像采集、识别到营养评估的全流程自动化系统,以提升饮食管理的效率与精度。

**2.4 运动姿势调整** 对糖尿病患者的运动姿势进行有效监督与即时矫正,有助于改善血糖控制水平,以及预防糖尿病足的发生。近年来,视觉智能技术在运动姿势调整中展现出了实时监测与精准量化评估,并为动态矫正提供依据。Grewal 等<sup>[31]</sup>采用随机对照试验设计,旨在评估一种融合实时视觉反馈的交互式平衡训练对姿势稳定性的改善作用,结果表明基于视觉反馈的训练能有效增强糖尿病周围神经病变患者的姿势控制能力,减少身体晃动,从而减少糖尿病足和跌倒的发生风险。Chae 等<sup>[32]</sup>开发了一款基于深度学习架构的移动端康复训练系统,该系统通过智能手机摄像头实时动作捕捉,并模拟专家视觉评估标准,为用户提供包含姿势评分与关节可视化反馈的自我修正指导,结果表明,使用该系统的受试者在姿势矫正方面表现出显著提升,不仅加快了对标准动作的掌握速度,还能更精准地把握动作细节。Nam 等<sup>[9]</sup>采用的 LEGSsys 系统是一种集成了无线可穿戴传感器与视觉捕捉技术的便携式步态分析平台,通过在受试者下肢关键部位佩戴多个无线传感器,同时结合摄像头实时捕捉腿部多部位运动细节,实现了对步态参数的全方位采集,通过蓝牙将多源监测数据同步传输至计算机或移动终端,系统能够在数分钟内完成对步态模式与平衡功能的定量评估,并自动生成标准化报告。一项涵盖 22 项研究的系统评价表明,以计算机视觉为核心的深度学习模型,能够通过摄像头实现无接触动作捕捉与实时分析,精准识别姿势偏差与高风险动作,进而借助即时视觉反馈为用户提供高效的运动姿势评估与矫正方案<sup>[33]</sup>。尽管在数据标准化、个体生物力学差异适应性及算法伦理等方面仍存挑战,视觉智能技术的深入应用,正持续推动运动姿势调整、疾病预防与康复治疗向智能化、个体化及精准化的方向深度演进。

**2.5 足部伤口管理** 当前糖尿病足伤口管理仍主要依赖医护人员的主观视觉评估,存在评估标准不统一、耗时较长、医疗资源分配不均以及患者自我监测困难等挑战,导致早期干预不足与病情延误。近年来,视觉

智能技术的迅速发展为该领域带来了革命性变革。Healico<sup>®</sup>是一款基于视觉智能技术的伤口护理智能手机应用程序,该应用程序通过智能影像功能系统性地实现伤口照片的拍摄、归档与分析,支持对伤口演进过程的动态可视化追踪与量化评估,其基于视觉的数据整合体系使医护人员能够精准监测伤口状态变化,并通过安全共享平台实现跨机构协同诊断。Matilla等<sup>[34]</sup>通过1例糖尿病足溃疡案例证实,该应用程序通过集成伤口影像与临床数据管理,构建了连接初级医疗与专科医院的协同诊疗平台。Li等<sup>[35]</sup>开发并验证了一种基于视觉智能的自动化伤口面积评估方法,采用K均值聚类算法进行伤口区域分割,并创新性地引入患者身份识别二维码作为空间参考尺度,有效校正了因拍摄距离不同导致的图像比例失真。于震<sup>[36]</sup>通过采集146张医学图像并结合临床医生标注,构建了多分类糖尿病足溃疡数据集,构建了一套基于计算机视觉的糖尿病足溃疡智能评估系统,该系统集成足溃疡分类与溃疡区域分割功能,支持图像输入、严重程度识别与溃疡面积计算,实现了对糖尿病足溃疡的定性分析与定量分析,为医生辅助诊断、护士伤口评估与患者自我筛查提供了可行的视觉智能解决方案。尽管上述伤口监测模式已显示出显著的临床可行性,但缺乏成本效益分析,需通过进一步研究予以量化。此外,未来的研究可致力于开发集成实时伤口尺寸评估、愈合进程动态监测与恶化风险早期预警功能的人工智能移动系统,实现伤口护理的闭环管理,为糖尿病患者提供更智能、及时的远程监护解决方案。

### 3 展望

视觉智能技术凭借其非侵入、可量化与高效率的优势,为糖尿病健康管理带来了变革潜力。它致力于将传统依赖主观经验与间断随访的模式,转变为客观、连续、动态的智能监测与干预模式,显著提升了疾病筛查效率、并发症预警能力、个体治疗精度及医疗健康服务可及性,为构建数字化、个性化的糖尿病全程管理新范式奠定了坚实基础。然而,尽管该技术优势显著,其发展与应用仍面临挑战,为此,本研究提出三个未来的重点发展方向。

**3.1 深化多模态数据融合,并着力提升数据的准确性与质量控制标准** 未来的研究应超越单一的视觉分析,致力于推动视觉数据与连续葡萄糖监测、可穿戴设备动态生理参数、电子健康档案等多源信息的深度融合。构建此类多模态数据集是实现全方位、关联性健康洞察的基础。与此同时,必须同步建立严格的数据质量控制体系与算法优化流程,这包括制订标准化的图像采集规范,如拍摄距离、光照、角度,研发更先进的图像增强与校正算法以消除环境干扰,并通过持续学习机制提升模型在复杂真实场景下的泛化能力,保障数据源的可靠性与分析结果的准确性。

**3.2 加速临床应用与转化,重点关注系统集成、资源下沉与成本效益** 在交互设计上,应融入糖尿病患者的情感计算与用户画像技术,使系统不仅能理解用户指令,更能感知情绪状态,从而提供富有情味且符合个体习惯的个性化交互体验,提升患者的依从性。同时,应积极推进其与医院信息系统、区域医疗平台的深度对接,打破信息孤岛,实现数据驱动的临床 workflow再造。需重点探索该技术在基层与偏远地区的部署模式,通过便携设备与远程诊断相结合,促进优质医疗资源的下沉与均衡分配。此外,开展前瞻性的卫生经济学研究,通过科学的成本效益分析,以实证数据证明其长期应用价值。

**3.3 构建隐私保护与法律法规** 视觉智能处理的大量生物识别信息,如糖尿病患者的面部、眼底影像,具有高度敏感性。未来的发展必须将隐私保护置于核心位置。在技术层面,需对数据进行严格的匿名化处理,在保障个人隐私绝对安全的前提下,提供数据服务。在法规层面,应明确数据所有权、使用权限和知情同意规则,建立数据的安全监管体系,同时,必须明确人工智能辅助诊断中的责任归属,并制订清晰的行业标准与法律法规,确保技术发展安全可靠、公平透明,赢得医患双方的共同信任。

## 4 小结

视觉智能技术在糖尿病视网膜病变筛查、无创血糖监测、食物营养评估、运动姿势调整及足部伤口管理等多个关键环节展现出显著潜力。然而,其全面发展仍面临多模态数据融合深度不足、临床转化应用壁垒以及隐私安全与法律法规框架尚不健全等挑战。未来,研究应聚焦于深化多源信息融合与数据质量控制、加速技术临床落地与卫生经济学评价,并构建稳健的隐私保护与法律法规等,以推动视觉智能技术在糖尿病患者管理中的广泛应用与全方位发展。

### 参考文献:

- [1] International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas, 11th ed[EB/OL]. (2025-04-07)[2025-06-01]. <https://www.diabetesatlas.org/>.
- [2] 工业和信息化部,商务部,国家卫生健康委,等. 医药工业数智化转型实施方案(2025—2030年)[EB/OL]. (2025-04-03)[2025-10-02]. [https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202504/content\\_7020857.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202504/content_7020857.htm).
- [3] Nimri R, Phillip M, Clements M A, et al. Closed-loop control, artificial intelligence-based decision-support systems, and data science[J]. *Diabetes Technol Ther*, 2024, 26(S1):S68-S89.
- [4] 林艳,蒋新军,邢树平,等. 数字疗法在2型糖尿病患者自我管理中的应用进展[J]. *护理学杂志*, 2024, 39(15):120-124.
- [5] 魏云超,任中伟,方岩. 视觉智能发展综述[J]. *北京交通大学学报*, 2025, 49(5):66-81.
- [6] Vohra H, Hasan M K, Abdullah S N H S, et al. A low-cost AI-powered system for early detection of diabetic retinopathy and ocular diseases in resource limited set-

- tings[J]. *IEEE Access*, 2025, 13: 97322-97336.
- [7] Nogay H S, Nogay N H, Adeli H. Detection of hyperglycemia and hypoglycemia using deep learning from facial images obtained with an AI image generator[J]. *Biomed Signal Proces*, 2025, 111: 108351.
- [8] Chotwanvirat P, Prachansuwan A, Sridonpai P, et al. Advancements in using AI for dietary assessment based on food images: scoping review[J]. *J Med Internet Res*, 2024, 26: e51432.
- [9] Nam S M, Lee D Y. Effects of visual cue deprivation balance training with head control on balance and gait function in stroke patients[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2022, 58(5): 629.
- [10] Ravenscroft R, Boulton A, Vileikyte L, et al. IDF21-0386 DFU track, building a novel, artificial intelligence-based method to monitor wound healing[J]. *Diabetes Res Clin Pr*, 2022, 186(S1): 109439.
- [11] 王嫣然, 陈清亮, 吴俊君. 面向复杂环境的图像语义分割方法综述[J]. *计算机科学*, 2019, 46(9): 36-46.
- [12] Marr D. *Vision: a computational investigation into the human representation and processing of visual information*[M]. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1982: 19-31.
- [13] Russakovsky O, Deng J, Su H, et al. Imagenet large scale visual recognition challenge[J]. *Int J Comput Vision*, 2015, 115(3): 211-252.
- [14] Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton G E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks[J]. *Commun ACM*, 2017, 60(6): 84-90.
- [15] Litjens G, Kooi T, Bejnordi B E, et al. A survey on deep learning in medical image analysis[J]. *Med Image Anal*, 2017, 42(9): 60-88.
- [16] He K, Zhang X, Ren S, et al. Deep residual learning for image recognition[C]. Las Vegas: proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2016: 770-778.
- [17] 李亚鹏, 万遂人. 基于深度学习的行人属性多标签识别[J]. *中国生物医学工程学报*, 2018, 37(4): 423-428.
- [18] ImageCLEF. ImageCLEFcaption 2017 Homepage[EB/OL]. (2017-09-14)[2025-05-01]. <http://www.imageclef.org/2017/caption>.
- [19] van der Heijden A A, Abramoff M D, Verbraak F, et al. Validation of automated screening for referable diabetic retinopathy with the IDx-DR device in the Hoorn Diabetes Care System[J]. *Acta Ophthalmol*, 2018, 96(1): 63-68.
- [20] Gandor M, Pałka F, Książek W, et al. Diagnostics of diabetic retinopathy based on fundus photos using machine learning methods with advanced feature engineering algorithms[J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 34486.
- [21] Lieng M K, Emami-Naeini P, Lee S C, et al. Teleophthalmology provides earlier eye care access for patients with newly-diagnosed diabetes[J]. *Heliyon*, 2024, 10(4): e25845.
- [22] Saleh I, El-Den N N, Elsharkawy M, et al. AI-based methods for diagnosing and grading diabetic retinopathy: a comprehensive review[J]. *Artif Intell Med*, 2025, 168: 103221.
- [23] Dai L, Sheng B, Chen T, et al. A deep learning system for predicting time to progression of diabetic retinopathy[J]. *Nat Med*, 2024, 30(2): 584-594.
- [24] Dong L, He W, Zhang R, et al. Artificial intelligence for screening of multiple retinal and optic nerve diseases[J]. *JAMA Netw Open*, 2022, 5(5): e229960.
- [25] 王慧霞, 张玉婷, 王莹, 等. 计算机视觉模型在糖尿病视网膜病变转诊中的应用[J]. *中国医疗设备*, 2023, 38(11): 1-5.
- [26] Nakagawa M, Oiwa K, Nanai Y, et al. Feature extraction for estimating acute blood glucose level variation from multiwave length facial images[J]. *IEEE Sens J*, 2023, 23(17): 20247-20257.
- [27] Anthimopoulos M M, Gianola L, Scarnato L, et al. A food recognition system for diabetic patients based on an optimized bag-of-features model[J]. *IEEE J Biomed Health*, 2014, 18(4): 1261-1271.
- [28] Alfonsi J E, Choi E E Y, Arshad T, et al. Carbohydrate counting app using image recognition for youth with type 1 diabetes: pilot randomized control trial[J]. *JMIR mHealth uHealth*, 2020, 8(10): e22074.
- [29] 马兰芳, 薛怡蓉. 面向慢性病人群的智能膳食评估系统[J]. *首都医科大学学报*, 2021, 42(2): 262-268.
- [30] Jobarteh M L, McCrory M A, Lo B, et al. Evaluation of acceptability, functionality, and validity of a passive image-based dietary intake assessment method in adults and children of Ghanaian and Kenyan origin living in London, UK[J]. *Nutrients*, 2023, 15(18): 4075.
- [31] Grewal G S, Schwenk M, Lee-Eng J, et al. Sensor-based interactive balance training with visual joint movement feedback for improving postural stability in diabetics with peripheral neuropathy: a randomized controlled trial[J]. *Gerontology*, 2015, 61(6): 567-574.
- [32] Chae H J, Kim J B, Park G, et al. An artificial intelligence exercise coaching mobile App: development and randomized controlled trial to verify its effectiveness in posture correction[J]. *Interact J Med Res*, 2023, 12(1): e37604.
- [33] Jubair H, Chowdhury R T, Akter F, et al. Machine learning for real-time exercise correction and injury prevention: a systematic review[J]. *Mach Learn*, 2025, 13: 1-20.
- [34] Matilla A C, Mena A C, Giménez A A, et al. Role of the Healico<sup>®</sup> wound care smartphone application in preventing a foot amputation in a 65-year-old patient with diabetes[J]. *Am J Case Rep*, 2022, 23: e936359.
- [35] Li K C, Lee Y H, Lin Y H. Automated image-based wound area assessment in outpatient clinics using computer-aided methods: a development and validation study[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2025, 61(6): 1099.
- [36] 于震. 基于计算机视觉的糖尿病足溃疡评估方法研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2025.