

# 人工智能在干眼管理中的应用进展

杨冠英<sup>1</sup>, 李元彬<sup>2</sup>

1. 山东第二医科大学 临床医学院, 山东 潍坊 261053
2. 烟台毓璜顶医院 眼科, 山东 烟台 264000

**摘要:**人工智能(artificial intelligence, AI)是通过模拟人类思维与学习过程,实现数据分析与辅助决策的技术体系。干眼(dry eye disease, DED)是一种常见的慢性眼表疾病,传统诊疗过程依赖人工判断,存在主观性强、重复性差及效率低等不足。近年来,随着图像识别、深度学习与多模态数据融合等技术的发展,AI在医学领域的应用快速拓展,为DED的早期筛查、精准诊断、个体化治疗及长期随访提供了全新技术路径。本文以技术为导向,系统回顾了AI在DED临床管理各环节中的最新研究进展,深入分析当前面临的技术局限与临床应用瓶颈,重点阐述AI在提升诊断客观性与标准化水平、优化个体化治疗策略、构建智能化监测随访体系等方面的重要价值与应用前景。同时,本文对AI辅助DED管理的未来发展趋势进行展望,旨在为推进DED诊疗的智能化转型与精准医学实践提供参考。

**关键词:**人工智能;干眼;深度学习;机器学习;多模态数据

**中图分类号:**R771.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-3770(2026)03-0115-06

**引用格式:**杨冠英,李元彬. 人工智能在干眼管理中的应用进展[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报,2026, 40(3):115-120. YANG Guanying, LI Yuanbin. Advances in the application of artificial intelligence to dry eye disease management [J]. Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University, 2026, 40(3):115-120.

## Advances in the application of artificial intelligence to dry eye disease management

YANG Guanying<sup>1</sup>, LI Yuanbin<sup>2</sup>

1. School of Clinical Medicine, Shandong Second Medical University, Weifang 261053, Shandong, China
2. Department of Ophthalmology, Yantai Yuhuangding Hospital, Yantai 264000, Shandong, China

**Abstract:** Artificial intelligence (AI) mimics human cognitive processes to facilitate data analysis and support decision-making. Dry eye disease (DED) is a common chronic disorder of the ocular surface, and conventional diagnosis and treatment rely on manual judgement, which is often subjective, unreliable, and inefficient. However, recent advances in image recognition, deep learning and multimodal data fusion have expanded the role of AI in medicine. This offers new approaches for the early screening, accurate diagnosis and personalised treatment of DED, as well as its long-term follow-up. This technology-focused review summarises recent advances in AI across all stages of DED clinical management. It analyses current technical limitations and implementation challenges, and highlights the value of AI in enhancing diagnostic objectivity, optimising individualised therapeutic strategies, and establishing intelligent monitoring systems. It also discusses future directions in AI-assisted DED management to guide the intelligent transformation of DED care and promote the practice of precision medicine.

**Key words:** Artificial intelligence; Dry eye disease; Deep learning; Machine learning; Multimodal data

干眼(dry eye disease, DED)作为一种常见且复杂的多因素疾病,其特征为泪膜持续不稳定或缺陷,临床表现为眼部不适、视力障碍及角膜上皮损伤等,影响着全球数百万患者的生活<sup>[1-4]</sup>。流行病学数据显示,DED在全球范围内呈现上升趋势,我国成人干眼患病率大约21%,女性发病率更高<sup>[5]</sup>,且发病群体逐渐趋于年轻化<sup>[3]</sup>。目前,DED的诊断方式如泪膜破裂时间(tear film breakup time, TBUT)、

泪液分泌试验(schirmer i test, SIT)、泪河高度(tear meniscus height, TMH)、睑板腺成像、眼表炎症标志物检测以及眼睑健康评估等存在主观性强、重复性差、跨设备一致性不足等问题,加上患者体征和症状常常不一致<sup>[2]</sup>,因此,DED的诊疗过程面临着诸多挑战,尤其在当前基层医疗条件不足的情况下更为突出,临床上迫切需要客观、标准化且具备可推广性的技术路径。

收稿日期:2025-08-11

基金课题:烟台市科技计划项目(2024JCYJ05)

通信作者:李元彬。E-mail:690539122@qq.com

随着计算能力提升与算法发展,人工智能(artificial intelligence, AI)在医学影像与多模态数据处理中展现出了显著优势,尤其在眼科领域已经取得了实质性进展。AI的核心技术主要包括机器学习(machine learning, ML)、深度学习(deep learning, DL)及计算机视觉(computer vision, CV),ML通过神经网络建模实现预测和决策,DL可通过多层神经网络自动提取复杂特征,在图像识别和处理方面成果突出,CV则可高效处理裂隙灯图像与OCT影像,实现泪膜关键参数及睑板腺结构的自动化量化分析<sup>[6-8,11-12]</sup>。AI能够提升诊断效率,并利于多源信息整合,实现精准分型和疗效预测<sup>[9-10,12-13]</sup>。本文对人工智能在干眼管理中的应用进行系统梳理,明确不同技术在干眼管理中的适用场景与临床意义,为干眼智能化和精准化管理提供技术图谱与实践方向。

## 1 图像识别与处理技术

### 1.1 泪膜指标的自动化分析

目前研究表明,AI能够显著提高TBUT和TMH等指标的客观性与重复性。Su等<sup>[14]</sup>首次利用卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)实现了TBUT的自动识别,减少了人工主观差异。作为衡量水液缺乏型干眼(aqueous deficiency dry eye, ADDE)的重要指标,TMH的精确评估同样受到关注。Deng等<sup>[15]</sup>采用ResNet-8编码的U-net网络架构进行研究,结果显示其自动测量的TMH与人工金标准高度相关( $r=0.965$ ),且将图像分析时间从数分钟缩短至数秒。更重要的是,该模型能够捕捉泪河沿下睑的空间分布变化,如鼻侧、颞侧TMH高于瞳孔中心,这提示泪液分布存在区域性差异,AI通过捕捉不同局部特征,可以更精准地评估泪膜稳定性和干眼亚型,从而指导个体化治疗策略。Wang等<sup>[16]</sup>则进一步优化,开发了全自动测量系统,可结合角膜最大横径矫正TMH,使测量结果与人工测量高度一致( $r=0.942$ ),实现了泪膜参数检测自动化,为便携式筛查工具实用化奠定了稳定基础,也为探索泪液动力学与临床症状之间的关系提供了新工具。

### 1.2 便携式与非接触式检测

新型便携设备与AI的结合可以拓展筛查场景,Vaccaro等<sup>[17]</sup>研发出的D<sub>E</sub>vice<sup>®</sup>系统,可以通过监测眼表湿度与温度实现非接触式筛查,在短时间内给出初步结果。这种“AI+便携设备”的结合,为社区医疗和家庭自测提供了可能,有望突破传统检

查依赖专业设备的局限。

### 1.3 眼动与行为特征识别

除了静态影像,AI也应用于行为特征分析等方面。Han等<sup>[18]</sup>提出结合支持向量机与CNN的模型,可以高精度识别眨眼行为,精确率可达94.4%,目前已在移动端运行,为居家筛查和随访提供了可行方案。Zheng等<sup>[19]</sup>则将瞬目视频与多模态数据整合,证明不完全瞬目频率与眼表疾病指数(ocular surface disease index, OSDI)评分高度相关,为症状与体征的一致性的研究提供了新思路。由于结膜图像采集易受眼动伪影干扰,导致血管分割模糊、参数测量偏差,Jo等<sup>[20]</sup>采用Attention-UNet分割结膜血管的同时,搭配运动校正技术——该技术能有效对齐图像帧、消除位移干扰,为Attention-UNet精准分割低对比度结膜血管、提取血管直径、血流速度等炎症相关指标奠定了基础,从而提升了炎症程度评估的准确性。由此可见,AI不仅可以识别结构特征,还能整合患者的症状、体征与功能表现,为精准诊断提供更多证据。

### 1.4 睑板腺影像分析与分型诊疗

精准分型是DED个体化治疗的前提,AI在睑板腺成像分析中的应用已经成为DED分型的重要突破口,特别是在辅助识别蒸发过强型干眼(evaporative dry eye, EDE)方面<sup>[21]</sup>。

Wang等<sup>[22]</sup>开发出基于DL的腺体分析模型,能够自动识别“鬼腺”,并量化腺体萎缩,为分型诊断提供客观依据。针对更细致的亚型分类,Yokoi等<sup>[23]</sup>提出“AI支持的泪膜导向诊断(tear film-oriented diagnosis, TFOD)”模型,可同时区分水液缺乏型、蒸发型及混合型,准确率达78.4%,尤其在严重水液缺乏型诊断中优势突出。Shimizu等<sup>[24]</sup>则结合OSDI问卷与TBUT构建诊断模型,实现了“症状+体征”的双向整合。Setu等<sup>[25]</sup>和Li等<sup>[26]</sup>则进一步改进腺体图像分割,解决了低质量图像问题,提高了大规模应用的可行性。这一系列研究表明,AI正推动睑板腺成像从定性观察向量化、标准化发展,为临床诊断和治疗分型提供更有力的工具。

Abdelmotaal等<sup>[27]</sup>基于Keratograph 5M采集的眼表视频,构建深度迁移学习模型自动识别,模型通过类别激活图发现,下旁中心角膜区域是判别的重点区域,Kim等<sup>[28]</sup>则进一步构建了基于深度学习的干眼严重程度全自动分级系统,可通过角膜荧光素染色图像实现NEI评分的自动化测算,其结果与专家人工评分高度相关,验证了AI在干眼诊断中可实现从定性识别到定量分级的进阶应用。也就是

说, AI 不仅能够实现高效、客观的自动化识别, 还能帮助锁定疾病早期发生的关键解剖区域, 为临床医生在 DED 分型诊疗中提供新的参考依据。

除影像特征外, 分子层面的 AI 分析也为 DED 分型提供了新维度。钱金梅团队<sup>[13]</sup>指出, 泪液中的炎症标志物在 AI 模型训练中具有较高的预测价值, 这些分子指标与 DED 严重程度及睑板腺功能状态密切相关, 这一发现为 AI 融合多源数据、探索疾病机制和支持个体化诊疗提供了坚实的分子学基础。进一步的研究<sup>[29]</sup>则通过泪液蛋白质组学筛选关键蛋白, 构建人工神经网络模型, 分析结果证实泪液蛋白质是可靠的亚型生物标志物, 实现了对水液缺乏型、睑板腺功能障碍型及健康对照的有效区分, 验证了泪液蛋白质作为亚型生物标志物的潜力。这类分子学指标与 AI 技术结合, 拓展了 DED 分型与诊疗的研究视角, 还为推动个体化和精准化的治疗提供了科学依据。

## 2 预测建模与自动化干预

### 2.1 风险预测与分层评估

DED 作为临床常见的慢性、复发性眼表疾病, 病因复杂、症状异质性明显, 病程常呈波动性, 长期影响患者生活质量, 传统管理方法难以预测疾病严重程度及预后。而 AI 模型借助 DL 与特征融合技术, 整合人口学特征、泪膜指标、睑板腺功能状态及用眼行为等数据, 实现对疾病风险的动态评估。Britten-Jones 等<sup>[4]</sup>研究表明, 年龄增长、女性、东亚人种、频繁使用电子屏幕以及合并糖尿病等代谢性疾病, 是影响 DED 的进展独立危险因素, 这些变量可作为 AI 模型的训练特征, 为预测疾病发展趋势及早期干预提供理论依据。与此同时, Stapleton 等<sup>[30]</sup>强调 DED 患者的症状与体征常不一致, 传统诊断体系难以全面反映病情, AI 通过整合问卷、眼表图像、影像学数据及生理信号等多源信息, 可以解决这一问题, 实现更加精细的风险分层。

### 2.2 行为监测与实时干预

除疾病的生物学机制外, AI 在 DED 行为干预中的应用也逐步兴起。AI 通过可穿戴设备和智能手机平台实时捕捉眨眼频率、睑裂变化、注视时间等行为, 进而评估患者的用眼习惯并给出实时反馈。例如, Han 等<sup>[18]</sup>构建的支持向量机 (support vector machine, SVM) 与 CNN 的混合模型可在智能手机平台上实现实时眨眼检测, 其检测精度达 94.4%, 能够捕捉眨眼异常和注视过久等行为模式。系统还能通过界面提示患者休息或进行眨眼训练, 从而改善

泪膜稳定性, 适用于日常场景下的用眼行为监测。Nair 等<sup>[31]</sup>则是利用 OCT 影像、睑板腺形态特征与行为学数据构建模型, 不仅能够识别眼表微小结构变化, 还能预测 DED 的进展轨迹, 从而帮助医生选择最佳干预时机。Graham 等<sup>[32]</sup>则将屏幕使用时间、睡眠质量、饮食结构、驾驶时长和环境暴露等非传统医学变量整合进机器学习模型, 有效预测 OSDI 评分与角膜染色程度, 并识别出每日近距离工作时长与睑缘充血的强关联, 为医生提供可操作的生活方式干预建议。Stapleton 等<sup>[30]</sup>指出, 气候湿度、空气污染及社会经济水平等环境因素同样影响 DED 的发生与发展, AI 构建环境暴露与 DED 发病风险的关联模型, 为公共卫生层面的防控提供了新思路。由此可见, AI 推动了干眼管理从“院内诊疗”走向“全场景干预”, 大幅提升了个体化管理和预防的可行性。

## 3 挑战与展望

本文系统梳理了近年来 AI 在 DED 管理中的应用进展, AI 依靠在多模态影像处理、特征提取及辅助决策方面的优势, 显著提升了 DED 筛查与诊断的灵敏性与特异性, 并推动干预策略转向个体化、精细化<sup>[15, 22, 33-34]</sup>。目前, AI 在泪河高度自动量化、角膜病变分型、干预效果评估及患者行为监测与长期随访等方面均已展现出良好性能。通过对眼表图像、生理参数、行为特征及生活方式等多源数据的整合, AI 有望重构 DED 的诊疗流程, 推动构建以患者为核心的全程健康管理体系<sup>[15, 35-36]</sup>。

由此可见, AI 正在逐步成为 DED 管理的有力工具, 有效弥补了传统诊疗模式在主观性和一致性方面的局限, 但必须清醒地认识到, 当前 AI 研究与实际临床应用之间仍存在一定差距, ①模型泛化能力不足, 样本异质性和设备差异限制了其在多样化人群与临床环境中的推广; ②当前研究局限于小样本、单中心数据, 尚未经过大规模、多中心、前瞻性试验的验证, 影响结果的可靠性; ③现有模型对多元化治疗策略 (如睑板腺热敷、激光治疗、局部药物注射等) 的综合评估能力有待加强<sup>[36-38]</sup>; 此外, 在伦理规范、数据隐私、算法可解释性和责任认定等方面同样需要制度化保障。这些问题既是限制因素, 也是未来发展必须攻克的关键挑战<sup>[39-40]</sup>。

## 4 结论

综上所述, AI 在 DED 管理中的价值已远超出“辅助工具”的范畴 (见图 1), 它正在重构医患互动、诊疗决策和长期管理模式的道路上迈出关键步

伐。随着更多高质量证据的积累和技术—临床—政策协同机制的完善, AI 有望推动 DED 诊疗模式的

根本变革, 最终实现更高效、科学和个性化的患者全程管理, 并显著提升患者生活质量与医疗体验。

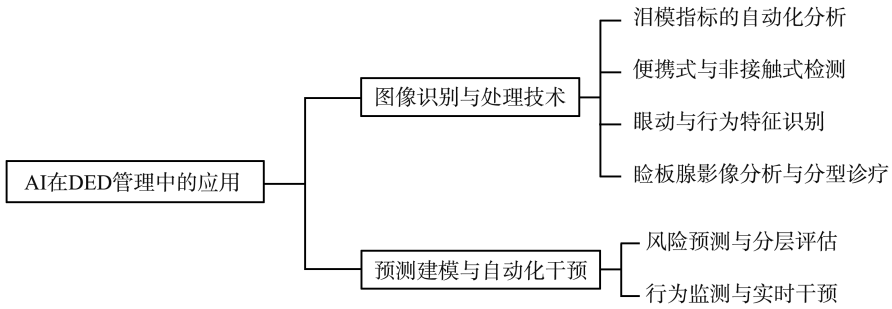


图 1 AI 在 DED 管理中的应用

Figure 1 Research on AI in the management of DED

参考文献:

[1] Tsubota K, Pflugfelder SC, Liu ZG, et al. Defining dry eye from a clinical perspective[J]. IntJMolSci, 2020, 21 (23): 9271. doi:10.3390/ijms21239271

[2] Sheppard J, Shen Lee B, Periman LM. Dry eye disease: identification and therapeutic strategies for primary care clinicians and clinical specialists[J]. AnnMed, 2023, 55 (1): 241-252. doi:10.1080/07853890.2022.2157477

[3] Stapleton F, Velez FG, Lau C, et al. Dry eye disease in the young: a narrative review[J]. OculSurf, 2024, 31: 11-20. doi:10.1016/j.jtos.2023.12.001

[4] Britten-Jones AC, Wang MTM, Samuels I, et al. Epidemiology and risk factors of dry eye disease: considerations for clinical management[J]. Medicina, 2024, 60 (9): 1458. doi:10.3390/medicina60091458

[5] 邵毅, 胡瑾瑜, 应平. 干眼炎症诊疗规范: 2023 欧洲专家共识解读[J]. 眼科新进展, 2024, 44 (2): 85-88. doi:10.13389/j.cnki.rao.2024.0017

SHAO Yi, HU Jinyu, YING Ping. Specification for diagnosis and treatment of inflammation in dry eye: interpretation of the European Expert Consensus 2023[J]. Recent Advances in Ophthalmology, 2024, 44 (2): 85-88. doi:10.13389/j.cnki.rao.2024.0017

[6] Storås AM, Strömke I, Riegler MA, et al. Artificial intelligence in dry eye disease[J]. Ocul Surf, 2022, 23: 74-86. doi:10.1016/j.jtos.2021.11.004

[7] Mintz Y, Brodie R. Introduction to artificial intelligence in medicine[J]. Minim Invasive Ther Allied Technol, 2019, 28 (2): 73-81. doi:10.1080/13645706.2019.1575882

[8] 邵毅, 接英, 刘祖国, 等. 人工智能在眼前节疾病诊断中的应用指南(2023)[J]. 国际眼科杂志, 2023, 23 (9): 1421-1430. doi:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.9.02

SHAO Yi, JIE Ying, LIU Zuguo, et al. Guidelines for the application of artificial intelligence in the diagnosis of

anterior segment diseases (2023) [J]. International Eye Science, 2023, 23 (9): 1421-1430. doi:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.9.02

[9] Larentzakis A, Lygeros N. Artificial Intelligence (AI) in medicine as a strategic valuable tool[J]. Pan Afr Med J, 2021, 38:184. doi:10.11604/pamj.2021.38.184.28197

[10] Hogarty DT, MacKey DA, Hewitt AW. Current state and future prospects of artificial intelligence in ophthalmology: a review[J]. Clin Exp Ophthalmol, 2019, 47 (1): 128-139. doi:10.1111/ceo.13381

[11] 韩雪, 丁婧娟, 陆淑婷, 等. 人工智能在干眼诊断中的研究进展[J]. 国际眼科杂志, 2022, 22 (12): 2063-2067. doi:10.3980/j.issn.1672-5123.2022.12.25

HAN Xue, DING Jingjuan, LU Shuting, et al. Application of artificial intelligence in the diagnosis of dry eye [J]. International Eye Science, 2022, 22 (12): 2063-2067. doi:10.3980/j.issn.1672-5123.2022.12.25

[12] 于慧, 周奕文, 杨燕宁. 人工智能在眼表疾病中的应用现状[J]. 国际眼科杂志, 2022, 22 (5): 726-730. doi:10.3980/j.issn.1672-5123.2022.5.06

YU Yi, ZHOU Yiwen, YANG Yanning. Application of artificial intelligence in ocular surface diseases[J]. International Eye Science, 2022, 22 (5): 726-730. doi:10.3980/j.issn.1672-5123.2022.5.06

[13] 钱金梅, 蔡岩. 干眼患者泪液相关检测指标及技术的研究进展[J]. 国际眼科杂志, 2024, 24 (9): 1448-1452. doi:10.3980/j.issn.1672-5123.2024.9.18

QIAN Jinmei, CAI Yan. Advances in tear-related indicators and techniques for patients with dry eye disease[J]. International Eye Science, 2024, 24 (9): 1448-1452. doi:10.3980/j.issn.1672-5123.2024.9.18

[14] Su TY, Liu ZY, Chen DY. Tear film break-up time measurement using deep convolutional neural networks for screening dry eye disease[J]. IEEE Sens J, 2018, 18 (16): 6857-6862. doi:10.1109/JSEN.2018.2850940

[15] Deng XY, Tian L, Liu ZY, et al. A deep learning ap-

- proach for the quantification of lower tear Meniscus height[J]. *Biomed Signal Process Control*, 2021, 68: 102655. doi:10.1016/j.bspc.2021.102655
- [16] Wang SP, He X, He JZ, et al. A fully automatic estimation of tear Meniscus height using artificial intelligence [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2023, 64(13): 7. doi: 10.1167/iovs.64.13.7
- [17] Vaccaro S, Borselli M, Scalia G, et al. A novel noninvasive screening tool for dry eye disease[J]. *Diagnostics*, 2024, 14(12): 1209. doi: 10.3390/diagnostics14121209
- [18] Han YJ, Kim W, Park JS. Efficient eye-blinking detection on smartphones: a hybrid approach based on deep learning[J]. *MobInfSyst*, 2018, 2018(1): 6929762. doi:10.1155/2018/6929762
- [19] Zheng QX, Wang L, Wen H, et al. Impact of incomplete blinking analyzed using a deep learning model with the keratograph 5M in dry eye disease[J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2022, 11(3): 38. doi:10.1167/tvst.11.3.38
- [20] Jo HC, Jeong H, Lee J, et al. Quantification of blood flow velocity in the human conjunctival microvessels using deep learning-based stabilization algorithm [J]. *Sensors*, 2021, 21(9): 3224. doi:10.3390/s21093224
- [21] 《面向人工智能应用的干眼影像分类与标注方法流程及质量控制专家共识(2025)》专家组, 中国医药教育协会智能眼科分会. 面向人工智能应用的干眼影像分类与标注方法、流程及质量控制专家共识(2025) [J]. *中华实验眼科杂志*, 2025, 43(4): 289-300. doi:10.3760/cma.j.cn115989-20250227-00055
- Expert Workgroup of Expert consensus on classification and annotation methods, processes and quality control for dry eye imaging in artificial intelligence applications (2025), Intelligent Ophthalmology Branch of China Medical Education Association. Expert consensus on classification and annotation methods, processes and quality control for dry eye imaging in artificial intelligence applications (2025) [J]. *Chinese Journal of Experimental Ophthalmology*, 2025, 43(4): 289-300. doi:10.3760/cma.j.cn115989-20250227-00055
- [22] Wang JY, Li SX, Yeh TN, et al. Quantifying meibomian gland morphology using artificial intelligence [J]. *Optom Vis Sci*, 2021, 98(9): 1094-1103. doi: 10.1097/OPX.0000000000001767
- [23] Yokoi N, Kusada N, Kato H, et al. Dry eye subtype classification using videokeratography and deep learning [J]. *Diagnostics*, 2023, 14(1): 52. doi:10.3390/diagnostics14010052
- [24] Shimizu E, Ishikawa T, Tanji M, et al. Artificial intelligence to estimate the tear film breakup time and diagnose dry eye disease[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 5822. doi: 10.1038/s41598-023-33021-5
- [25] Setu MAK, Horstmann J, Schmidt S, et al. Deep learning-based automatic meibomian gland segmentation and morphology assessment in infrared meibography[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 7649. doi: 10.1038/s41598-021-87314-8
- [26] Li L, Xiao K, Lai T, et al. Development and multi-center validation of an AI driven model for quantitative meibomian gland evaluation[J/OL]. *Npj Digital Medicine*, 2025, 8(1): 403. doi: 10.1038/s41746-025-01753-5
- [27] Abdelmotaal H, Hazarbasanov R, Taneri S, et al. Detecting dry eye from ocular surface videos based on deep learning[J]. *OculSurf*, 2023, 28: 90-98. doi:10.1016/j.jtos.2023.01.005
- [28] Kim S, Park D, Shin Y, et al. Deep learning-based fully automated grading system for dry eye disease severity [J]. *PLoS One*, 2024, 19(3): e0299776. doi: 10.1371/journal.pone.0299776
- [29] 韩亚波, 易全勇. 人工智能在睑板腺功能障碍相关干眼中的应用现状及进展 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2024, 42(2): 187-191. doi:10.3760/cma.j.cn115989-20220821-00385
- HAN Yabo, YI Quanyong. Application status and progress of artificial intelligence in dry eye associated with meibomian gland dysfunction[J]. *Chinese Journal of Experimental Ophthalmology*, 2024, 42(2): 187-191. doi: 10.3760/cma.j.cn115989-20220821-00385
- [30] Stapleton F, Alves M, BunyaVY, et al. TFOS DEWS II epidemiology report[J]. *Ocul Surf*, 2017, 15(3): 334-365. doi:10.1016/j.jtos.2017.05.003
- [31] Nair PP, Keskar M, Borghare PT, et al. Artificial intelligence in dry eye disease: a narrative review[J]. *Cureus*, 2024, 16(9): e70056. doi:10.7759/cureus.70056
- [32] Graham AD, Wang JY, Kothapalli T, et al. Artificial intelligence models utilize lifestyle factors to predict dry eye related outcomes[J]. *Sci Rep*, 2025, 15: 13378. doi:10.1038/s41598-025-96778-x
- [33] Peter Wiedemann, 惠延年. 眼科学人工智能 [J]. *国际眼科杂志*, 2023, 23(9): 1417-1420. doi: 10.3980/j.issn.1672-5123.2023.9.01
- Wiedemann Peter, HUI Yannian. Artificial intelligence in ophthalmology [J]. *International Eye Science*, 2023, 23(9): 1417-1420. doi:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.9.01
- [34] 李朝辉, 吴畏. 重视人工智能在眼科领域的应用 [J]. *解放军医学院学报*, 2022, 43(10): 1010-1013. doi: 10.3969/j.issn.2095-5227.2022.10.002
- LI Zhaohui, WU Wei. Prospects of artificial intelligence in ophthalmology [J]. *Academic Journal of Chinese Pla*

- Medical School, 2022, 43 ( 10 ): 1010-1013. doi: 10.3969/j.issn.2095-5227.2022.10.002
- [35] Gong D, Li XM, WanC, et al. Development and research status of intelligent ophthalmology in China[J]. Int J Ophthalmol, 2024, 17(12): 2308-2315. doi:10.18240/ijo.2024.12.20
- [36] Wang MH, Jiang XD, Zeng PJ, et al. Balancing accuracy and user satisfaction: the role of prompt engineering in AI-driven healthcare solutions [J]. Front Artif Intell, 2025, 8: 1517918. doi:10.3389/frai.2025.1517918
- [37] Li YH, Li YL, Wei MY, et al. Innovation and challenges of artificial intelligence technology in personalized healthcare[J]. Sci Rep, 2024, 14(1): 18994. doi:10.1038/s41598-024-70073-7
- [38] Ting DSJ, Foo VH, Yang LWY, et al. Artificial intelligence for anterior segment diseases: Emerging applications in ophthalmology[J]. Br J Ophthalmol, 2021, 105(2): 158-168. doi:10.1136/bjophthalmol-2019-315651
- [39] Hamet P, Tremblay J. Artificial intelligence in medicine [J]. Metabolism, 2017, 69: S36-S40. doi:10.1016/j.metabol.2017.01.011
- [40] 钱波, 李富江, 郑常乐, 等. 医疗大模型发展现状与展望[J]. 数据采集与处理, 2025, 40(3): 562-584. doi:10.16337/j.1004-9037.2025.03.002
- QIAN Bo, LI Fujiang, ZHENG Changle, et al. A review of development and future directions of medical foundation models[J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2025, 40(3): 562-584. doi:10.16337/j.1004-9037.2025.03.002
- (编辑:李伟)
- 
- (上接第 114 页)
- [28] 鲍诗平, 原晶晶, 张帆. 乙肝病毒携带者与慢性乙肝患者畸变产物耳声发射特征分析[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2018, 26(1): 61-63
- BAO Shiping, YUAN Jingjing, ZHANG Fan. Analysis of distortion product otoacoustic emissions in hepatitis B carrier and chronic hepatitis B patients with normal pure tone findings [J]. Journal of Audiology and Speech Pathology, 2018, 26(1): 61-63
- [29] Bao SP. Association between hepatitis B and hearing status [J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2017, 21(5): 922-927
- [30] Janssen HLA, van Zonneveld M, van Nunen AB, et al. Polyarteritis nodosa associated with hepatitis B virus infection. The role of antiviral treatment and mutations in the hepatitis B virus genome [J]. Eur J Gastroenterol Hepatol, 2004, 16(8): 801-807. doi:10.1097/01.meg.0000108362.41221.57
- [31] Gozdas HT, Karabay O. Reversible bilateral ototoxicity in a patient with chronic hepatitis B during peginterferon alpha-2a treatment [J]. Indian J Pharmacol, 2015, 47(1): 121-122. doi:10.4103/0253-7613.150377
- [32] Tunca A, Erbayrak M, Aytac S, et al. Axonal neuropathy and hearing loss associated with alpha interferon treatment in chronic hepatitis B: a case report[J]. Turk J Gastroenterol, 2004, 15(2): 97-99
- [33] Kanda Y, Shigeno K, Kinoshita N, et al. Sudden hearing loss associated with interferon [J]. Lancet, 1994, 343(8906): 1134-1135. doi:10.1016/s0140-6736(94)90237-2
- [34] Jandl JH. The *Anemia* of liver disease: observations on its mechanism [J]. J Clin Invest, 1955, 34(3): 390-404. doi:10.1172/JCI103087
- [35] Ye LT, Lai D, Tai JH. The association between *Anemia* and sensorineural hearing loss: a review [J]. Medicine, 2024, 103(44): e40326. doi:10.1097/MD.00000000000040326
- [36] Azizul Islam S, Chung JW, Lee YS, et al. Negative association of hepatitis B virus with hearing impairment [J]. Am J Audiol, 2018, 27(3): 324-332. doi:10.1044/2018\_AJA-17-0092
- (编辑:李伟)