中山大學 中山眼科中心 ZHONGSHAN OPHTHALMIC CENTER, SUN YAT-SEN UNIVERSITY

全文收录于 Lighthouse Scholar

眼科学报

官网： journal.gzzoc. com



doi: 10.12419/24022907
**View this article at:** https://dx.doi.org/10.12419/24022907

·综述·

# 基于眼科前沿技术研究和发展的综述

黄睿[1] 综述，钱一峰[2] 审校

（1. 苏州大学苏州医学院，苏州 215123；2. 苏州大学附属第一医院眼科，苏州 215006）

## 文章亮点

**1. 关键发现**

- 通过广泛搜集国内外数字眼科技术的发展，深入总结各项技术在各领域的革新进展。

**2. 已知与发现**

- 眼科人工智能在疾病监测和远程诊断方面已迈入新的阶段。
- 数字眼科技术的更新在手术设计和精密度提升方面取得较大进步。
- 多元化发展使得眼科发展更加具备创新性。

**3. 意义与改变**

- 数字眼科的蓬勃发展顺应了时代趋势，也改变了眼科诊疗的方方面面，必将带给眼科新的发展和机遇。

[摘　要]　数字眼科技术的蓬勃发展已经渗透于眼科各领域，并为眼科前沿技术研究带来了重大变革。文章对眼科前沿技术研究和发展进行综述，重点关注各项技术的突破和成果，聚焦国内的同时也放眼全球，阐明近年来全球数字眼科前沿技术现状和成果。如人工智能可运用于诸多疾病的精准监测、高发疾病的高效评估、远程医疗的技术支持等，提高了筛查、诊断、治疗等各环节的精确度和效率，减轻了医生的负担，展现了极大的应用潜能。其余各类技术方面，如数字成像技术也取得了飞跃式进展，在手术导航和影像诊断方面实现突破；3D建模技术和机器学习技术在手术设计和提高手术成功率方面立下汗马功劳，为世界各地的眼科疾病患者提供了更为高效、便捷的服务。此外，数字眼科技术还呈现出多元化发展的态势，与多学科协同交流，交叉运用。虽然诸多眼科前沿技术还处在发展初期，距离全覆盖实施仍有一定距离，在算法的准确性和可解释性、医疗伦理、民众接受度、医疗纠纷、临床技术挑战等问题上还存在很多不确定性。但毫无疑问的是，随着医学水平的日益提升，上述技术必会得到不断完善和普及。

**收稿日期(Received)**: 2024-02-22; **修订日期(Revised)**: 2024-03-03; **接收日期(Accepted)**: 2024-03-18

**通信作者(Corresponding author)**: 钱一峰，Email：qianyifeng@hotmail.com

**基金项目(Foundation item)**: 江苏省“科教强卫”青年医学人才项目(QNRC2016717)。This work was supported by the Grants from the Jiangsu Provincial Medical Youth Talent Project, China(QNRC2016717).

**作者贡献声明**: 构思设计: 钱一峰; 行政支持: 钱一峰; 提供研究材料: 所有作者; 数据收集与汇总: 所有作者; 数据分析与解读: 所有作者; 稿件撰写: 所有作者; 稿件最终修订与同意: 所有作者

**Contributions:** Conception and design: QIAN Yifeng; Administrative support: QIAN Yifeng; Provision of study materials: Both authors; Collection and assembly of data: Both authors; Data analysis and interpretation: Both authors; Manuscript writing: Both authors; Final approval of manuscript: Both authors

电子全文

[关键词] 眼科前沿技术；数字眼科学；人工智能；远程医疗；数字成像技术
[中图分类号] TP18，R77，U283.1 [文献标志码] A

引用本文：黄睿，钱一峰. 基于眼科前沿技术研究和发展的综述[J]. 眼科学报，2024，39(3)：153-159. doi: 10.12419/24022907

# A review of cutting-edge research and development in ophthalmology

HUANG Rui[1], QIAN Yifeng[2]

*(1.Suzhou Medical College of Soochow University, Suzhou 215123, China; 2. Department of Ophthalmology, the First Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou 215006, China)*

**Abstract** The rapid evolution of digital ophthalmology technology has profoundly transformed various fields within ophthalmology. This article provides a comprehensive overview of the research and advancements in cutting-edge ophthalmology technologies, emphasizing both domestic and global breakthroughs and achievements. For instance, artificial intelligence has demonstrated remarkable potential in precise monitoring of various diseases, efficient assessment of high-prevalence conditions, and the technological support for telemedicine, thereby enhancing the accuracy and efficiency of screening, diagnosis, treatment processes, while alleviating the workload of medical professionals. Additionally, digital imaging technology has made significant strides in surgical navigation and diagnostic imaging, while 3D modeling and novel machine learning techniques have contributed to surgical planning and enhanced surgical success rates, ultimately delivering more efficient and convenient services to patients with eye diseases worldwide. Despite the diversified development trends and interdisciplinary collaborations that digital ophthalmology technology exhibits, many of these cutting-edge technology are still in their infancy, facing challenges in achieving high coverage, algorithm accuracy and interpretability, medical ethics, public acceptance, medical disputes, and clinical technical hurdles. Nonetheless, while the continuous advancement of medical standards, it is anticipated that these technologies will undergo further refinement and widespread adoption.

**Keywords** advanced ophthalmic technology; digital ophthalmology; artificial intelligence; telemedicine; digital imaging technology

**Cite this article as:** HUANG Rui, QIAN Yifeng. A review of cutting-edge research and development in ophthalmology[J]. Yan Ke Xue Bao, 2024, 39(3): 153-159. doi: 10.12419/24022907

近年来，信息通信的多项关键数字创新技术飞速发展并不断成熟，创造了新世纪以来的高速发展纪录，为医疗健康行业开创了一个充满可能性的新时代，也彻底改变了医疗领域的方方面面，如从早期疾病监测到个性化计划诊疗到后期的预后改善。数字眼科学(digital ophthalmology)是一门囊括了第五代(5G)电信网络和物联网(IoT)、数字成像技术、人工智能(artificial intelligence,AI)等多个领域的跨专业学科[1]，为医学领域带来了前所未有的大变革，为开发新的护理模式提供了机会。对于眼科这一门严格基于成像技术和视觉数据分析的学科，数字眼科的优势更是体现得淋漓尽致，在AI、数字成像技术甚至多学科交叉发展方面也起到了推动发展的至关作用，拥有光明的前景与未来。本文在眼科AI的研究与发展方面选取了典型大类眼科疾病以及高发具体疾病进行详细论述，在数字成像技术方面筛选了近年来发展较为迅速的一些前沿眼科技术进行阐述，最后围绕眼科的多元化发展列举了眼科与其他学科交融的范例。

## 1 眼科AI的研究与发展

### 1.1 为诸多眼科疾病提供精准监测

#### 1.1.1 视网膜病

AI在视网膜病诊断评估方面可以说是教科书级别的示范。基于光学相干断层成像(optical coherence tomography,OCT) 等图像的视网膜疾病筛查可实现快速区分正常眼和患病眼，使眼科医生更加专注于已确诊患者的诊疗和管理，大大提高了整体效率和准确性[2]。此外，作为影响众多糖尿病患者视力的罪魁祸首、视网膜病之一的糖尿病性视网膜病变(diabetic retinopathy,DR)的诊断，也引入了AI技术以提高筛查的准确率和效率。由美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration,FDA)批准的自主诊断系统利用眼底影像可对DR进行精确诊断和分类[3]。目前，最为常用的AI筛查技术为深度学习(deep learning,DL)，可运用多层的人工神经网络，从广泛的数据集理解复杂的模式，具备自动从视网膜图像中提取特征的能力，在没有人为干预和先验知识的情况下鉴别正常和异常的病例，达到了97.5%的灵敏度和93.4%的特异度，其高灵敏度和高特异度可以更好地筛查假阳性和阴性病例。不仅如此，从成本效率和临床影响的角度来比较，使用AI的DR筛查系统较传统方法都展现了其优越的性能特征[2]。我国是世界上成人糖尿病患者数最多的国家，患病率估计为10%~11%[4-6]，造成了 DR 的高负担[7]。DR正在成为我国最普遍的致盲疾病之一[8]。根据“健康中国2030”战略，国家正式提出需探索和实施高效的DR筛查策略，以“预防为主”为原则，积极推进慢性病早期筛查[9]，争取做到早筛查、早诊断、早治疗、早治愈。

#### 1.1.2 角膜病

参考角膜地形图、前节OCT和Pentacam眼前节三维图像等数据，多个研究团队利用卷积神经网络(convolutional neural network,CNN)陆续开发出针对圆锥角膜的多个自动分级方法，其中KeratoDetect算法保证了高水平的性能，在数据测试集上获得了99.33%的准确率[10-13]。通过对活体共聚焦显微镜图像的自动识别，AI可精准、快速地诊断真菌性角膜炎[14]。类似地，通过AI分析角膜溃疡荧光染色图片，可自动识别角膜损伤区域，并进行严重程度分级[15]。近日，温州医科大学陈蔚教授团队[16]利用AI方法开发了基于裂隙灯照相数据的角膜炎自动诊断系统，在对正异常角膜区分的测试中，具备6年经验的资深角膜专家分别获得了96.6% (95.4%~97.7%)、98.6%(97.8%~99.4%)和97.3% (96.3%~98.3%)的准确度；具备3年经验的角膜专家的准确度为98.3% (97.4%~99.1%)、96.2% (95.0%~97.5%)和95.2% (93.8%~96.5%)，而角膜炎自动诊断系统的准确率达到了96.3% (95.1%~97.5%)、 96.7% (95.5%~97.8%)和98.2% (97.3%~99.0%)，其诊断灵敏度和特异度可与角膜专家媲美(P<0.05)，研究结果对于角膜炎的早期监测、及时治疗和预后具有重要意义。

#### 1.1.3 眼眶病

早在2002年，Salvi 等[17]基于不同程度甲状腺相关眼病 (thyroid-associated orbitopathy,TAO) 患者的眼科检查数据(如睑裂宽度、眼突度、视力、电子计算机断层扫描等) 进行了神经网络分析，开发出一种TAO分期和预测疾病进展的方法，准确率可达67%。近年研究报道了甲状腺相关眼病的新诊断和分级方法的发展，通过DL和图像分析实现了准确率均大于85%的目标[18-19]。在眼眶肿瘤方面，浙江大学附属第二医院眼科中心叶娟教授团队[20]深度挖掘眼睑良、恶性肿瘤的病理图片，开发了一种可深度鉴别良恶性肿瘤的深度学习系统(DLS)，对于组织病理切片的特异度、准确度和灵敏度达到了95.3%、94.9%和94.7%；7位经浙江大学医学院附属第二医院董事会认证的病理学家的平均特异度、准确度和灵敏度分别为(93.2 ± 9.9)%、(92.5 ± 6.2)%、(91.2 ± 11.2)%，DLS成功提高了病理诊断准确性。

### 1.2 对高发疾病实施高效评估

#### 1.2.1 近视

屈光不正是广泛的公共卫生问题，近视防控已经上升为国家战略，AI也在该领域应运而生。最近，中山大学刘奕志教授团队[21]利用AI分析学龄儿童的屈光大数据，成功开发了一种可准确预测儿童屈光度变化的方法，3年内准确率达90%，10年内准确率达80%以上，这对于有效防控和干预近视具有重大意义。在国外也开发了可预测近视的DLS，推导出三种不同模型——临床、图像和混合(临床＋图像)来预测5年后青少年(11~17岁)的高度近视发展情况。使用受试者操作特征曲线下面积(area under curve,AUC)，分别与测试数据集进行对比，评估模型性能。其中，临床模型的主要数据集 AUC为0.90~0.97，测试数据集为0.93~0.94；图像模型的主要数据集 AUC为0.93~0.95，测试数据集为0.91~0.93)；混合模型的主要数据集 AUC为0.97，测试数据集为0.97–0.98，3种模型均达到临床可接受范围

的性能[22]。此外，AI还可指导角膜屈光手术和角膜塑形镜验配的选择[23]，从各层面优化了诊疗效率、精确度，为患者提供更舒心的就医体验。

1.2.2 青光眼

青光眼是一种视神经疾病，由房水循环阻滞导致，以视神经乳头凹陷加深及萎缩、病理性眼压增高等为特征，是导致全世界不可逆失明患者的主要原因。预计到2040年，全球青光眼患者将增加到1.12亿[24]。此外，部分青光眼患者早期无症状的情况增加了筛查难度。积极实施青光眼监测和治疗刻不容缓。Shigueoka及其同事使用来自462例患者的14 034次的谱域光学相干层析成像技术(spectral domain OCT,SD-OCT)所获得数据作为DL模型的数据源，通过不断完善模型，现已可用于青光眼病程发展的监测[25]。以上说明，AI在实施低成本监测和优化早期治疗方面发挥了关键作用。

1.2.3 年龄相关性黄斑变性(age-related macular degeneration,AMD)

AMD是发达国家老年人视力减弱或丧失的主要原因。逐渐老龄化的社会需要一个可以对患者进行评估的、强有力的AI筛选系统。由于AMD具有慢性和复发性的特点，治疗过程中比较棘手的问题在于耗费时间和频繁地预约检查。因此，英国采用了虚拟诊所的诊疗方式，患者可以在虚拟诊所进行视力复查和OCT检查等基本就诊步骤，有效减少了平均预约时长。此外，家庭监测和个人保健已成为趋势，许多具备高灵敏度的家庭监测设备获得了群众和医生的青睐。例如可用于AMD监测、由瑞士眼科医生马克·阿姆斯勒(Marc Amsler)开发的阿姆斯勒表已成为眼科家庭监测的代表。通过患者定期的自我监测，可以及时发现诸如视力下降、视物变形、暗点等疾病前兆，获得进一步诊断和治疗的先机，相较于传统的定期复查，自我监测的过程使得整体的治疗过程更加富有弹性和个性化，赋予患者更大的自主权。遗憾的是，目前仍未有相关的临床数据提供参考对照[1]。

1.2.4 白内障

AI在提高患者白内障监测效率和质量方面拥有巨大潜力，优化了诊断流程并提升了准确度。基于裂隙灯照片的算法成功问世，实现了小儿白内障的分级诊疗，运用支持向量机(support vector machine,SVM)和softmax分类器与传统的医疗模式相比较，在特异度、灵敏度、平均准确度这3个方面均表现出了优异性能——位置(89.28%、82.70%和93.08%)、分类(97.07%、97.28%和96.83%)、三度分级区域(89.02%、86.63%和90.75%)、密度(92.68%、91.05%和93.94%)[26]，为更多患者提供了快速、及时的诊疗机会。

### 1.3 远程医疗带来先进的技术支持

远程医疗是指综合利用电信技术，对远程患者进行监测和咨询，促进及时干预。远程医疗可以平衡人民日益增长的医疗需求与城乡资源结构不均匀之间的矛盾，具有广阔的应用前景和发展空间，近年来在眼科疾病筛查方面也取得了很大进展。

1.3.1 用于DR远程医疗筛查治疗的AI技术进展

一直以来，DR远程筛查都是提高诊疗效率的关键点。对此，一些发达国家提出培养训练有素的视网膜分级师，综合利用AI进而衍生发明出电话眼底(fundus on phone,FOP)视网膜成像算法，实现了临床医生和卫生人员的工作分级，扩大了筛查覆盖率，解决了不同地区资源分配不均衡的问题[1]。早在2010年，新加坡就已经设立了国家级的远程医疗DR筛查计划——新加坡综合DR计划(Singapore Integrated Diabetic Retinopathy Programme,SiDRP)[27]。通过远程医疗平台传送视网膜照片，使得大多数患者在1 h内即可接收到报告，极大程度地缩短就诊时间和降低医疗成本[1]。除此以外，以DR筛查为目的的营利性公司有部分已经上市，IDx-DR是第一且是唯一获得FDA授权的自主AI诊断系统[1]。

1.3.2 用于早产儿视网膜病变(retinopathy of prematurity,ROP)远程医疗筛查诊疗的AI技术进展

ROP是一种视网膜增生性疾病，若没有得到及时良好的治疗，或可能恶化为牵引性视网膜脱离(retinal detachment,RD)，严重者可出现视力完全丧失。早期筛查和及时治疗已被证实为有效的防范手段。然而，在ROP筛查方面仍然存在许多挑战和不足。如在美国，只有11%的眼科医生能够使用双目间接检眼镜进行ROP筛查，甚至更少(6%)眼科医生能够对ROP进行激光光凝术[28]。因此，提升ROP筛查的远程医疗技术非常必要。有不少行业领先单位已经成功开发出相关诊疗模型并取得了进展。Brown等[29]构建了基于DL的算法用于ROP诊断,在包含100张图像的独立测试集上，该算法实现了91%的准确率和0.92的二次加权κ系数，在8名参与测试的ROP专家中仅2名超过了该正确率，该算法的可靠性得到了证实。因此，ROP远程筛查可促进有限的医疗资源更有效和公平地分配，为身处异地的患者提供了较为精确的诊断，带来了便捷与可信。

当然，任何技术的发展都是挑战与机遇并存的。尽管AI的优势非常明显，但在医疗伦理、技术风险、

评价标准、建立数据库等方面仍然存在需要改进提升的部分。例如，AI缺乏公认的评价标准，当分析结果与医生判断结果存在差异时也缺乏可解释性，但一项技术的成熟，往往需要时间和经验的积淀。

## 2 数字成像技术的研究进展

### 2.1 OCT技术在眼科手术导航方面的进展

OCT是一种非接触式断层成像技术，可有效解决眼科显微手术中手术器械和内部结构不可视的问题。由于其具有可提供深度信息、成像快、非侵入、分辨率高等优点，被广泛运用于眼科手术的术中导航。OCT涵盖多种类型：第一代OCT称为时域OCT，其诞生十年后衍生出二代频域OCT，又名傅里叶OCT，提高了成像质量和灵敏度。除此以外，由于传统台式OCT的物理限制，手持术中OCT应时而生；手术显微镜集成OCT(microscope-integrated OCT,MIOCT)的问世又弥补了手持式OCT的不足。当下最为广泛使用的OCT为可实现术中实时三维成像的MIOCT，借助于平视成像系统，妥善解决了手术中不能提供完整信息和观察图像不便等问题[30]。

### 2.2 分子影像技术(molecular imaging)在眼科肿瘤方面的进展

分子影像技术是一种采用非侵入性方式在活体状态下对生物体的细胞或者亚细胞进行可视化或者量化分析的技术，可用于肿瘤的早期诊断、个性化治疗和预后判断。眼部肿瘤的早期发现是提高治疗成功率和生存率的重中之重，因眼部结构精细，不适用活组织检查，故分子影像技术将成为诊断眼部肿瘤的有力工具。正电子发射型计算机断层扫描显像仪(positron emission tomography,PET)和电子计算机断层扫描(computed tomography,CT)均可用于诊断和监测肿瘤转移，利用PET/CT实时监测脉络膜黑色素瘤代谢情况，若出现代谢异常，可能意味着局部转移或复发[31]。

### 2.3 医学成像在3D建模中的创新进展

医学成像数据如CT扫描和MRI图像数据，可以通过3D打印转换为详细的三维模型，实现了从二维平面到三维立体的转变，大大提高了患者对手术过程和目的的了解，增加医患信任度，彻底改变了术前规划领域。医生也可以对二维图像没有精确涉及的深度信息做到深度把握，更好地计划手术流程，最大程度地降低手术风险，改善患者的手术效果，做到更加个性化的诊疗。外科医生还可以利用 3D 打印定制每个患者独特的手术植入物，从而提高精度并缩短手术时间[32]。

### 2.4 新的机器学习技术在提高图像分辨率上的研究进展

低分辨率图像中模糊或者丢失的细节可以用新机器学习技术得到画质恢复，改善了图片质量；新的知觉损失函数也逐渐被纳入医疗系统，巧妙结合了医学影像分割等多个知识层面的信息[4]，旨在加强边缘、纹理等部分的图像质量和分辨率，在细微处提升了医生诊疗的准确性。

## 3 多元化发展

### 3.1 与化学的交叉融合

静电纺丝制备的纳米纤维膜与细胞外基质相似，具有高比表面积、高空隙率、可添加多种成分等特点，使其具备药物装载方面的优势，可实现药物缓释等作用。目前静电纺丝膜已经运用于眼表疾病、角膜病、青光眼以及视网膜疾病治疗等方面。如载药纳米纤维为生物可降解材料，可作为新型植入性材料固定于患者结膜囊内，研究结果显示患者并未出现不良反应，该材料还增长了药物在角膜表面发挥药效的时间，降低了给药率，提高了药物利用率[33]。

### 3.2 与工程学的交叉融合

通过对裂隙灯显微镜这类眼科医学装备的维修环节进行评估，对维修成本较高的配件进行测绘并3D建模，打印配件最后进行临床测试。研究结果表明，3D打印制作的配件使用效果极佳，提高了维修效率，降低了维修成本，提高了设备使用率，延长了设备使用寿命[34]。

### 3.3 与计算机的交叉融合

三维动画(three dimensional animation)又称3D动画，可综合利用多种技术模拟真实物体，具备可操作性、真实性和生动性，为眼科理论授课和手术培训增加了趣味性，成功调动了学生课堂上的积极性和参与度，显示出了巨大优势和良好的教学效果，广泛运用于各科各专业。目前，该项计算机技术也已经完美融入眼科教学事业当中[35]。此外，虚拟现实(virtual reality,VR)也被证实在眼科解剖学教学中具备提升学习趣味

性和教学效果的作用。将学生随机分为使用传统聚氯乙烯(polyvinyl chloride,PVC)模型进行教学的对照组和使用VR进行教学的实验组，在随堂测验中显示实验组平均取得(80.55 ± 11.99)分，而对照组平均取得(71.68 ± 15.82)分[36]。结果显示，使用VR进行教学有助于学生更快、更好地理解组织结构，取得更为理想的成绩。

## 4 结语

无数创新技术和科研人才的智慧为眼科蓬勃发展创造了良好的环境。在众多创新之中，数字眼科技术是一股势不可挡的强大力量，正在逐渐渗透进眼科领域的各方各面，目前为止也取得了丰硕的成果。尽管某些技术仍然处于开发探索阶段，缺乏临床试验或数据支撑，医生和民众的接受度也需要时间的沉淀和心理的过渡，但毫无疑问的是，智能化治疗是未来的就医趋势，伴随医疗行业的飞速发展和科研工作者的不懈努力，各项技术的运用必定趋向成熟并在临床就医上得到普及和认可，为患者提供更加优质、可持续的眼科诊疗，创造更良好的就诊体验、就诊环境和医患关系。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突。

## 开放获取声明

本文适用于知识共享许可协议(Creative Commons)，允许第三方用户按照署名(BY)-非商业性使用(NC)-禁止演绎(ND)(CC BY-NC-ND)的方式共享，即允许第三方对本刊发表的文章进行复制、发行、展览、表演、放映、广播或通过信息网络向公众传播，但在这些过程中必须保留作者署名、仅限于非商业性目的、不得进行演绎创作。详情请访问：https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/。

### 参考文献

1. Li JO, Liu H, Ting DSJ, et al. Digital technology, tele-medicine and artificial intelligence in ophthalmology: a global perspective[J]. Prog Retin Eye Res, 2021, 82: 100900. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2020.100900.
2. Schmidt-Erfurth U, Sadeghipour A, Gerendas BS, et al. Artificial intelligence in retina[J]. Prog Retin Eye Res, 2018, 67: 1-29. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2018.07.004.
3. Abdullah YI, Schuman JS, Shabsigh R, et al. Ethics of artificial intelligence in medicine and ophthalmology[J]. Asia Pac J Ophthalmol, 2021, 10(3): 289-298. DOI: 10.1097/APO.0000000000000397.
4. Pinto-Coelho L. How artificial intelligence is shaping medical imaging technology: a survey of innovations and applications[J]. Bioengineering, 2023, 10(12): 1435. DOI: 10.3390/bioengineering10121435.
5. Yang W, Lu J, Weng J, et al. Prevalence of diabetes among men and women in China[J]. N Engl J Med, 2010, 362(12):1090-1101. DOI:10.1056/NEJMoa0908292.
6. Wang L, Gao P, Zhang M, et al. Prevalence and ethnic pattern of diabetes and prediabetes in China in 2013[J]. JAMA, 2017, 317(24): 2515-2523. DOI: 10.1001/jama.2017.7596.
7. Song P, Yu J, Chan KY, et al. Prevalence, risk factors and burden of diabetic retinopathy in China: a systematic review and meta-analysis[J]. J Glob Health, 2018, 8(1): 010803. DOI: 10.7189/jogh.08.010803.
8. Jonas JB, Aung T, Bourne RR, et al. Glaucoma[J]. Lancet, 2017, 390(10108): 2183-2193. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)31469-1.
9. Chen P, Li F, Harmer P. Healthy China 2030: moving from blueprint to action with a new focus on public health[J]. Lancet Public Health, 2019, 4(9): e447. DOI: 10.1016/S2468-2667(19)30160-4.
10. Yousefi S, Yousefi E, Takahashi H, et al. Keratoconus severity identification using unsupervised machine learning[J]. PLoS One, 2018, 13(11): e0205998. DOI: 10.1371/journal.pone.0205998.
11. Chen X, Zhao J, Iselin KC, et al. Keratoconus detection of changes using deep learning of colour-coded maps[J]. BMJ Open Ophthalmol, 2021, 6(1): e000824. DOI: 10.1136/bmjophth-2021-000824.
12. Kamiya K, Ayatsuka Y, Kato Y, et al. Keratoconus detection using deep learning of colour-coded maps with anterior segment optical coherence tomography: a diagnostic accuracy study[J]. BMJ Open, 2019, 9(9): e031313. DOI: 10.1136/bmjopen-2019-031313.
13. Lavric A, Valentin P. KeratoDetect: keratoconus detection algorithm using convolutional neural networks[J]. ComputIntellNeurosci, 2019, 2019: 8162567. DOI: 10.1155/2019/8162567.
14. Lv J, Zhang K, Chen Q, et al. Deep learning-based automated diagnosis of fungal keratitis with in vivo confocal microscopy images[J]. Ann Transl Med, 2020, 8(11): 706. DOI: 10.21037/atm.2020.03.134.
15. Deng L, Lyu J, Huang H, et al. The SUSTech-SYSU dataset for automatically segmenting and classifying corneal ulcers[J]. Sci Data, 2020, 7(1): 23. DOI: 10.1038/s41597-020-0360-7.
16. Li Z, Jiang J, Chen K, et al. Preventing corneal blindness caused by keratitis using artificial intelligence[J]. Nat Commun, 2021, 12(1): 3738. DOI: 10.1038/s41467-021-24116-6.
17. Salvi M, Dazzi D, Pellistri I, et al. Prediction of the progression of thyroid-associated ophthalmopathy at first ophthalmologic examination:

use of a neural network[J]. Thyroid, 2002, 12(3): 233-236. DOI: 10.1089/105072502753600197.

18. Song X, Liu Z, Li L, et al. Artificial intelligence CT screening model for thyroid-associated ophthalmopathy and tests under clinical conditions[J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2021, 16(2): 323-330. DOI: 10.1007/s11548-020-02281-1.
19. Lin C, Song X, Li L, et al. Detection of active and inactive phases of thyroid-associated ophthalmopathy using deep convolutional neural network[J]. BMC Ophthalmol, 2021, 21(1): 39. DOI: 10.1186/s12886-020-01783-5.
20. Wang L, Ding L, Liu Z, et al. Automated identification of malignancy in whole-slide pathological images: identification of eyelid malignant melanoma in gigapixel pathological slides using deep learning[J]. Br J Ophthalmol, 2020, 104(3): 318-323. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2018-313706.
21. Lin H, Long E, Ding X, et al. Prediction of myopia development among Chinese school-aged children using refraction data from electronic medical records: a retrospective, multicentre machine learning study[J]. PLoS Med, 2018, 15(11): e1002674. DOI: 10.1371/journal.pmed.1002674.
22. Foo LL, Lim GYS, Lanca C, et al. Deep learning system to predict the 5-year risk of high myopia using fundus imaging in children[J]. NPJ Digit Med, 2023, 6(1): 10. DOI: 10.1038/s41746-023-00752-8.
23. Yoo TK, Ryu IH, Choi H, et al. Explainable machine learning approach as a tool to understand factors used to select the refractive surgery technique on the expert level[J]. Transl Vis Sci Technol, 2020, 9(2): 8. DOI: 10.1167/tvst.9.2.8.
24. Barkana Y, Dorairaj S. Re: Tham et Al.: global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis (Ophthalmology 2014;121: 2081-90)[J]. Ophthalmology, 2015, 122(7): e40-e41. DOI: 10.1016/j.ophtha.2014.11.030.
25. Mariottoni EB, Datta S, Shigueoka LS, et al. Deep Learning-Assisted Detection of Glaucoma Progressionin Spectral-Domain OCT[J]. Ophthalmol Glaucoma. 2023 May-Jun;6(3):228-238. doi: 10.1016/j.ogla.2022.11.004.
26. Liu X, Jiang J, Zhang K, et al. Localization and diagnosis framework for pediatric cataracts based on slit-lamp images using deep features of a convolutional neural network[J]. PLoS One, 2017, 12(3): e0168606. DOI: 10.1371/journal.pone.0168606.
27. Nguyen HV, Tan GS, Tapp RJ, et al. Cost-effectiveness of a national telemedicine diabetic retinopathy screening program in Singapore[J]. Ophthalmology, 2016, 123(12): 2571-2580. DOI: 10.1016/j.ophtha.2016.08.021.
28. Trese MT. What is the real gold standard for ROP screening?[J]. Retina, 2008, 28(3 Suppl): S1-S2. DOI: 10.1097/IAE.0b013e31816a5587.
29. Brown JM, Campbell JP, Beers A, et al. Automated diagnosis of plus disease in retinopathy of prematurity using deep convolutional neural networks[J]. JAMA Ophthalmol, 2018, 136(7): 803-810. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2018.1934.
30. 李云耀,樊金宇,蒋天亮, 等.光学相干层析技术在眼科手术导航方面的研究进展[J].光电工程,2023,50(1):3-19.DOI: 10.12086/oee.2023.220027.

Li YY, Fan JY, Jiang TL, et al. Research progress of optical coherence tomography in ophthalmic surgical navigation[J].Optoelectronic,,2023,50(1):3-19. DOI: 10.12086/oee.2023.220027.
31. 王玲, 朱雪, 王柯. 分子影像技术应用于眼科肿瘤的研究进展[J]. 分子影像学杂志, 2023, 46(6): 1138-1142. DOI: 10.12122/j.issn.1674-4500.2023.06.32.

Wang L, Zhu X, Wang K. Research progress of molecular imaging technology for ocular tumor[J]. J Mol Imag, 2023, 46(6): 1138-1142. DOI: 10.12122/j.issn.1674-4500.2023.06.32.
32. Zhang K, Hu H, Philbrick K, et al. SOUP-GAN: super-resolution MRI using generative adversarial networks[J]. Tomography, 2022, 8(2): 905-919. DOI: 10.3390/tomography8020073.
33. 吴霞, 梁亮. 静电纺丝技术在眼科中的应用进展[J]. 新医学, 2023, 54(9): 618-623. DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2023.09.002.

Wu X, Liang L. Progress in application of electrospinning technology in ophthalmology[J]. J N Med, 2023, 54(9): 618-623. DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2023.09.002.
34. 黄君. 眼视光学设备的技术进步与眼科疾病早期筛查关系[C]//第三届全国医药研究论坛论文集(三). 西安, 2023: 524-532.

Huang J. The relationship between the technological progress of ophthalmic optical equipment and early screening of ophthalmic diseases [C]//Proceedings of the Third National Medical Research Forum (Ⅲ). Xi'an, 2023: 524-532.
35. 张扬, 卞爱玲, 周崎, 等. 三维动画技术在眼科教学中的应用[J]. 中国毕业后医学教育, 2023, 7(6): 481-483.

Zhang Y, Bian AL, Zhou Q, et al. Application of three-dimensional animation in ophthalmology residents training[J]. Chin J Graduate Med Educ, 2023, 7(6): 481-483.
36. 邹绚, 吴世靖, 睢瑞芳. 虚拟现实技术辅助眼部解剖教学的效果分析[J]. 中华医学教育杂志, 2021, 41(6): 537-540. DOI: 10.3760/cma.j.cn115259-20210112-00061.

Zou X, Wu SJ, Sui RF. Application of virtual reality-based training tools in ocular anatomy teaching for medical undergraduates[J]. Chin J Med Educ, 2021, 41(6): 537-540. DOI: 10.3760/cma.j.cn115259-20210112-00061.

(**责任编委**：罗明杰；**责任编辑**：李扬杵)