

眼科学人工智能

Peter Wiedemann, 惠延年(译)

引用: Peter Wiedemann, 惠延年(译). 眼科学人工智能. 国际眼科杂志 2023;23(9):1417-1420

作者单位: (04103) 德国莱比锡, 莱比锡大学医学院
译者单位: (710032) 中国陕西省西安市, 空军军医大学西京医院眼科 全军眼科研究所

作者简介



Peter Wiedemann 国际眼科理事会(ICO) 前任主席; 国际眼科科学院(AOI) 院士、前任秘书长; *International Journal of Ophthalmology* (IJO)/《国际眼科杂志》(IES) 共同主编; 世界眼科大会(WOC) 学术委员会原主席; 德国科学院院士, 德国眼科学会(DOG) 原主席; 德国莱比锡大学原常务副校长、眼科医院院长; Club Jules Gonin 执行委员(2000-2006); *Ryan's Retina* 第 6、7 版共同主编; 中华眼科学会 2020 国际金奖获得者; 中国空军军医大学(第四军医大学) 客座教授; 世界著名视网膜眼底病专家, 发表论文 645 余篇, 主编/参编专著 8 部以上。

译者简介



惠延年 空军军医大学(第四军医大学) 西京医院眼科教授、主任医师、博士研究生导师; 国家人事部/总政治部“有突出贡献中青年专家”(1998); 国家教委“做出突出贡献的中国学位获得者”(1991); “眼科学国家重点实验室”“眼视光学和视觉科学国家重点实验室”原学术委员; 《国际眼科杂志》中、英文版主编, *Ophthalmologica* 编委; 《中华眼科杂志》《中华眼底病杂志》原副主编/顾问; 美国外科学会“国际客座学者”(1984); 国际眼底病专家学会(Club Jules Gonin) 原会员; 全国高等医药院校统编教材《眼科学》第五、六版主编, 四、七版参编; 主/参编著作《眼科全书》, *Ryan's Retina* 等 30 余部; 发表论文综述等 740 篇(含 SCI 收录 70 余篇); 获国家科技进步奖 1 项, 军队/省部级二等奖 10 余项; 培养研究生 110 余名。

通讯作者: Peter Wiedemann. Peter.wiedemann@medizin.uni-leipzig.de

收稿日期: 2023-07-15 修回日期: 2023-07-27

译者按

人工智能(AI)是指计算机模拟人类的智力推理、决策和

行为。AI 已经在各个医学领域得到了应用。由于 AI 高度依赖于眼成像技术和视觉数据, 在眼科已显示出巨大潜力。AI 的总体潜能包括筛查、诊断分级, 自动检测疾病活动、复发、治疗效果量化, 以及确定新疗法的相关靶点, 使个性化医疗和大规模管理成为可能。本文简要介绍和评论 AI 在眼科中的主要应用, 包括糖尿病视网膜病变、年龄相关性黄斑变性、青光眼、白内障, 远程医疗以及相关主题, 并提出了 AI 在临床实践中面临的机遇和挑战, 包括临床和技术的挑战、数据质量、算法结果的可解释性、医学法律以及伦理问题等。

关键词: 人工智能; 眼科学; 视网膜疾病; 青光眼; 白内障; 远程医疗; 伦理

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.9.01

Artificial intelligence in ophthalmology

Peter Wiedemann

Medical Faculty, Leipzig University, Leipzig 04103, Germany

Correspondence to: Peter Wiedemann. Medical Faculty, Leipzig University, Leipzig 04103, Germany. Peter.wiedemann@medizin.uni-leipzig.de

Received:2023-07-15 Accepted:2023-07-27

Abstract

• Artificial Intelligence (AI) refers to computer simulation of human mental reasoning, decision making, and behavior. AI has been implemented in various medical fields. AI application has shown tremendous potentials in ophthalmology, as it relies heavily on ocular imaging and visual data. The overall potential of AI includes screening, diagnostic grading, automated detection of disease activity, recurrences, quantification of therapeutic effects, and identification of relevant targets for novel therapeutic approaches, enabling personalized health care and large-scale management. This review briefly introduces and comments the main AI applications in ophthalmology, including diabetic retinopathy, age-related macular degeneration, glaucoma, cataract, telehealth, and related topics. The review also points out the opportunities and challenges in AI implement in clinical practice, including clinical and technical challenges, data quality, explainability of the algorithm results, medicolegal and ethical issues.

• KEYWORDS: artificial intelligence; ophthalmology; retinal diseases; glaucoma; cataract; telehealth; ethics

Citation: Wiedemann P. Artificial intelligence in ophthalmology. *Guoji Yanke Zazhi(Int Eye Sci)* 2023;23(9):1417-1420

0 引言

人工智能(AI)的概念最早出现在20世纪50年代,是指“机器模拟人类的智力推理、决策和行为”^[1-2],由计算机来执行通常需要人类智能的任务。AI包括机器学习(ML)和深度学习(DL)组分。ML使用高质量的典范性数据样本训练其模型,然后将训练数据中识别的模式或规则应用于新数据,以辨别特征或做出预测。DL是一种机器学习,其利用多层的人工神经网络,从广泛的数据集理解复杂的模式。

AI已经在各个医学领域得到了应用。AI显示出巨大潜力的一个领域是眼科,因为其高度依赖于成像技术和视觉数据^[3]。近来,开发了一种基于AI的新方法,通过采用纵向的眼底影像和全基因组关联分析,建立了人类视网膜衰老时钟(human retinal aging clock)^[4]。AI的总体潜能包括筛查、诊断分级,具备自动检测疾病活动、复发、治疗效果量化、预后的治疗指南,以及确定新疗法的相关靶点^[5]。在过去10a,发表的眼科AI文章数量大幅增长,反映了这一主题日益增长的兴趣和重要性^[6]。然而,还没有专门的期刊致力于刊载眼科AI文章,关于AI的文章分散在各种范围和受众均不相同的期刊上。本文简要概述AI在眼科的主要应用、挑战和机遇。

眼科成像技术,包括眼底数码照相和相干光断层扫描(OCT),是诊断和监测眼部疾病进展的关键方法。OCT已广泛用于诊断和处理眼部疾病,如年龄相关性黄斑变性(ARMD)、糖尿病视网膜病变(DR)和青光眼。黄斑和视神经的OCT影像是一种很有前途的DL应用方式,这基于大量且不断增加的OCT影像可用于训练DL系统,这些OCT影像的结构是一致的和三维的,并且有可能从细节中发现新的疾病生物标志物。解释OCT图像可能具有挑战性,特别是对于大规模筛查和纵向监测。因此,将ML和DL方法应用于OCT影像的解释,可以提高基于OCT诊断的准确性和效率^[7]。

1 眼科AI的临床应用与益处

第一部分将讨论AI在两种最常见的、引起视力丧失的视网膜疾病,即DR和ARMD中的应用,AI在上述疾病的准确检测和分类、实现及时干预和处理方面显示出有希望的结果。第二部分将专注于AI在另一个全球主要致盲原因——青光眼中的作用,AI可以帮助早期诊断和疾病监测,从而带来更好的结果。第三部分将探讨AI在眼前段疾病中的应用潜能。最后,我们考量AI在提供远程医疗方面的应用。

1.1 AI在DR的应用 DR是影响全球数以百万计患者视

力损害和失明的一个重要原因。早期发现和治疗DR可以预防视力下降,改善生活质量。然而,由于费用、获取机会和认识等方面的障碍,许多患者没能及时接受眼科检查。因此,开发基于AI的DR自动检测算法越来越受到重视。首个由美国食品药品监督管理局(FDA)批准的自主诊断系统使用眼底影像对DR进行诊断和分类^[8]。几种前沿的AI DR筛查技术已经商业化,并显示出有前途的结果^[9]。DL是一种通常应用的、基于AI的DR筛查系统,其可以自动从视网膜影像中提取特征,在没有人干预和先验知识的情况下鉴别正常和异常病例,由此提高DR筛查的准确性和效率。基于AI的DR筛查系统的临床影响和成本效益与传统方法具有良好的可比性^[7]。

1.2 AI在ARMD的应用 随着人口老龄化,临床上迫切需要有一个强健的AI系统筛选这些患者以进行进一步评估。DL对于常规的和ARMD的OCT影像的分类是足够的和准确的^[3]。这对未来利用OCT进行自动筛查和开发计算机辅助诊断工具具有重要意义。AI将成为科学调查、诊断和治疗处理决策的一部分^[10]。一项临床前期研究探讨了AI支持的工具在新生血管性ARMD治疗决策中的安全性和有效性^[11]。定量OCT成像生物标志物可以在执行新生血管性ARMD的治疗和延长方案(treat & extend regimen)中预测视力结果和治疗需要^[12]。黄斑OCT影像是DL研究中的一种合适且具有挑战性的数据来源。DL与OCT技术的结合在检测视网膜疾病和提高眼后段疾病的诊断方面是可靠的^[10]。预测和预后结论进一步扩大了AI在视网膜疾病中应用的潜在益处,使个性化医疗和大规模管理成为可能^[7]。ML和DL可以识别、定位和量化几乎每一种黄斑和视网膜疾病的病理特征。此外,AI在小儿眼科中也有潜在的应用价值,如早产儿视网膜病变的自动检测,其结果与专家诊断结果相当^[13]。

1.3 AI在青光眼的应用 来自视神经和黄斑的结构和功能测试的信息,使青光眼成为AI应用的一个特别合适的领域^[14]。DL可以分析不同类型的眼部影像,如眼底照片、OCT扫描、视野测试和房角镜检查视频,并提供青光眼的自动诊断、分类和预测。DL还可以通过生成激活地图(activation maps)突出图像中感兴趣的关键区域,从而增强我们对青光眼进展过程的理解^[15]。诊断和疾病监测需要将临床检查的信息与视野测试的主观数据和客观生物特征数据,包括角膜厚度测量、角膜迟滞、视神经和视网膜成像整合。由于缺乏对青光眼视神经病变的存在和进展的明确定义,这一复杂的过程变得更加难以处理,这使其容易受到临床医生错误解释的影响。AI和AI驱动的工作流程已被认为是可靠的解决方案^[16]。

1.4 AI在眼前段疾病的应用 AI在眼前段疾病中的应用范围较广,有助于各种眼部疾病的诊断、治疗和预后^[17-18]。这里列举与白内障处理相关的4种应用^[19]。AI可以用作远程诊断平台,通过裂隙灯和眼底照片对白内障

患者进行筛查和诊断,并利用 DL 恰当地检测和分类提供会诊的白内障。一些最新的人工晶状体公式已经应用 AI 提高预测精度,获得了比传统公式更优的术后屈光结果。AI 可以通过识别视频上白内障手术的不同阶段增强白内障手术技能培训,并通过准确预测手术步骤的时间优化手术室工作流程。AI 还可以有效预测后囊混浊的进展和最终需要 YAG 激光后囊切开术。AI 的这些进展可以改变和优化白内障处理,使提供高效的眼科诊疗服务成为可能。此外, AI 已被证明是疾病诊断、图像解释和角膜地形图绘制的高效工具^[17]。

1.5 远程医疗和 AI 两者的结合为全球眼科医生和医疗保健提供者面临的挑战提供了同步解决方案^[20]。眼科在这两个领域的成功可归因于许多依赖于成像的调查技术。分析这样的图像既耗时又昂贵,而且容易出现人为错误。AI 可以通过促进远程眼科服务和减轻眼科医生的负担改善医疗公平性。基于 AI 的系统在简化威胁视力的眼病筛查、分期和治疗计划方面至关重要,减轻眼科专家繁琐的任务,允许更好的人口覆盖率,并为每位患者提供最好的可能的照护^[5]。

此外, AI 还可以协助确认可预防的视力丧失患者,并将他们引导到医生那里,特别是在发展中国家,训练有素的专业人员和医生较少,不容易见到^[21]。因此,通过自动化应用系统检测和治疗 DR、ARMD、青光眼及其它眼科疾病将是不可避免的^[17]。基于 AI 的筛查项目与传统方法一样具有成本效益,同时保持相似的临床有效性水平^[22]。

近年来, FDA 批准的 AI 和 ML 算法的数量急剧增加。截至 2023-01, FDA 已经批准了 520 多种用于医疗用途的 AI 和 ML 算法^[23]。AI 应用程序有各种影响其性能和价值的因素,如现实环境、数据质量和数量、AI 变量、算法以及应用程序的目的和用途。在这些因素中,偏差和错误都可能发生。因此,在评估 AI 应用时,至关重要的是使用循证医学原则——这是有时才会达到的一个标准^[24]。

2 伦理方面、转化与结论

鉴于 AI 在医学和眼科学的兴起,定义其准确性和可靠性将指导该领域未来的研究,增强其现实中的适应性^[25]。

在眼科应用 DL 的潜在挑战包括临床和技术的挑战、数据质量、算法结果的可解释性、医学法律问题,以及医生和患者对 AI“黑箱”算法的接受程度。AI 在医学实施的生物伦理挑战可以分为六大类,即机器训练伦理、机器准确性伦理、与患者相关的伦理、与医生相关的伦理、共同的道德规范如义务和罪责、问责制和责任以及监管者的作用。这些类别反映出围绕医学和眼科 AI 的伦理问题所涉及到的多个利益相关者^[8]。

AI 可能会在未来彻底改变眼科的实践方式。通用医学 AI (GMAI) 模型可以用很少或没有特定任务的标记数据来执行各种任务^[26]。快速发展、高度灵活、可重复使用

的 AI 模型可能会带来新发现的医疗能力。研究人员、临床医生、行业合作伙伴、监管机构和患者之间的协作对于将 AI 成功地整合到患者照护中至关重要^[9,27]。因此,基于 AI 的筛查系统的未来发展方向和机遇包括整合多模式数据资源、结合临床结果,并改善用户体验。它们必须展示临床可接受的性能,改进 AI 模型在异质人群中的通用性,并提高最终用户的信任^[19]。开放获取的数据集和软件可以缓解这些问题,鼓励进一步的应用^[13]。将研究成果转化为临床实践是 AI 在卫生医疗中实施的一个重大挑战。AI 的实际应用还必须解决监管和组织方面的挑战。科学基础是现代医学的基本要素。因此,循证医学原则和人的判断必须透明地评估基于 AI 眼科应用的客观性(独立于不受控制的影响因素)、可靠性(可信任)和合法性(有效性),以防止患者风险。

参考文献

- 1 McCarthy J, Minsky M, Rochester N, et al. A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence, August 31, 1955. *AI Mag* 2006;27:12-14
- 2 Srivastava O, Tennant M, Grewal P, et al. Artificial intelligence and machine learning in ophthalmology: a review. *Indian J Ophthalmol* 2023; 71(1):11-17
- 3 Ting DSW, Pasquale LR, Peng L, et al. Artificial intelligence and deep learning in ophthalmology. *Br J Ophthalmol* 2019; 103(2): 167-175
- 4 Ahadi S, Wilson KA, Babenko B, et al. Longitudinal fundus imaging and its genome-wide association analysis provide evidence for a human retinal aging clock. *Elife* 2023;12:e82364
- 5 Benet D, Pellicer-Valero OJ. Artificial intelligence: the unstoppable revolution in ophthalmology. *Surv Ophthalmol* 2022;67(1):252-270
- 6 Boudry C, Al Hajj H, Arnould L, et al. Analysis of international publication trends in artificial intelligence in ophthalmology. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2022;260(5):1779-1788
- 7 Schmidt -Erfurth U, Sadeghipour A, Gerendas BS, et al. Artificial intelligence in retina. *Prog Retin Eye Res* 2018;67:1-29
- 8 Abdullah YI, Schuman JS, Shabsigh R, et al. Ethics of artificial intelligence in medicine and ophthalmology. *Asia Pac J Ophthalmol* 2021;10(3):289-298
- 9 Grzybowski A, Brona P, Lim G, et al. Artificial intelligence for diabetic retinopathy screening: a review. *Eye (Lond)* 2020; 34(3): 451-460
- 10 Moraru A, Costin D, Moraru R, et al. Artificial intelligence and deep learning in ophthalmology - present and future (Review). *Exp Ther Med* 2020;20(4):3469-3473
- 11 Hogg HDJ, Brittain K, Teare D, et al. Safety and efficacy of an artificial intelligence-enabled decision tool for treatment decisions in neovascular age-related macular degeneration and an exploration of clinical pathway integration and implementation: protocol for a multi-methods validation study. *BMJ Open* 2023;13(2):e069443
- 12 Bogunović H, Mares V, Reiter GS, et al. Predicting treat-and-extend outcomes and treatment intervals in neovascular age-related macular degeneration from retinal optical coherence tomography using artificial intelligence. *Front Med* 2022;9:958469

- 13 Reid JE, Eaton E. Artificial intelligence for pediatric ophthalmology. *Curr Opin Ophthalmol* 2019;30(5):337-346
- 14 Bunod R, Augstburger E, Brasnu E, et al. Artificial intelligence and glaucoma: A literature review. *J Fr Ophthalmol* 2022;45(2):216-232
- 15 Mayro EL, Wang MY, Elze T, et al. The impact of artificial intelligence in the diagnosis and management of glaucoma. *Eye (Lond)* 2020;34(1):1-11
- 16 Ittoop SM, Jaccard N, Lanouette G, et al. The role of artificial intelligence in the diagnosis and management of glaucoma. *J Glaucoma* 2022;31(3):137-146
- 17 Balyen L, Peto T. Promising Artificial Intelligence-Machine Learning-Deep Learning Algorithms in Ophthalmology. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2019;8(3):264-272
- 18 Ting DSJ, Foo VH, Yang LWY, et al. Artificial intelligence for anterior segment diseases: emerging applications in ophthalmology. *Br J Ophthalmol* 2021;105(2):158-168
- 19 Gutierrez L, Lim JS, Foo LL, et al. Correction to: application of artificial intelligence in cataract management: current and future directions. *Eye Vis (Lond)* 2022;9(1):11
- 20 Li JO, Liu HR, Ting DSJ, et al. Digital technology, tele-medicine and artificial intelligence in ophthalmology: a global perspective. *Prog Retin Eye Res* 2021;82:100900
- 21 Keskinbora K, Güven F. Artificial intelligence and ophthalmology. *Turk J Ophthalmol* 2020;50:37-43
- 22 Pietris J, Lam A, Bacchi S, et al. Health economic implications of artificial intelligence implementation for ophthalmology in Australia: a systematic review. *Asia Pac J Ophthalmol(Phila)* 2022;11(6):554-562
- 23 Administration U. S. F. D. Artificial Intelligence and Machine Learning (AI/ML)-Enabled Medical Devices 2022
- 24 Wehkamp K, Krawczak M, Schreiber S. The quality and utility of artificial intelligence in patient care. *Dtsch Arztebl Int* 2023[Epub ahead of print]
- 25 Cao J, Chang-Kit B, Katsnelson G, et al. Protocol for a systematic review and meta-analysis of the diagnostic accuracy of artificial intelligence for grading of ophthalmology imaging modalities. *Diagn Progn Res* 2022;6(1):15
- 26 Moor M, Banerjee O, Abad ZSH, et al. Foundation models for generalist medical artificial intelligence. *Nature* 2023;616(7956):259-265
- 27 Grzybowski A. Artificial intelligence in ophthalmology. Berlin: Springer 2021