

人工智能应用于青光眼诊疗中的研究进展

张彬¹, 汪建涛^{2*}

¹暨南大学第二临床医学院 广东深圳

²深圳市眼科医院 广东深圳

【摘要】在当今数字化时代,人工智能(AI)在全球各领域中快速发展,成为各行业引领着改革与创新的重要力量。AI推动了AI眼科的发展,为眼疾诊疗提供了新模式。青光眼是一种常见的不可逆致盲性眼病,其早期诊断与治疗能够在一定程度上阻止疾病发生发展,改善患者预后,降低全球致盲率。本文从AI方向着手,综述了其在青光眼诊疗环节中的相关研究与应用展开讨论,旨在为青光眼的AI诊疗提供新思路。

【关键词】人工智能(AI);青光眼;诊疗

【收稿日期】2024年4月12日

【出刊日期】2024年5月15日

【DOI】10.12208/j.ijcr.20240176

Progress in the application of artificial intelligence to the diagnosis and treatment of glaucoma

Bin Zhang¹, Jiantao Wang^{2*}

¹The Second Clinical College of Jinan University, Shenzhen, Guangdong

²Shenzhen Eye Hospital, Shenzhen, Guangdong

【Abstract】In today's digital era, artificial intelligence (AI) has developed rapidly in various fields around the world, becoming an important force leading reform and innovation in various industries. AI has promoted the development of AI ophthalmology and provided a new model for the diagnosis and treatment of eye diseases. Glaucoma is a common irreversible blinding eye disease. Its early diagnosis and treatment can prevent the development of the disease to a certain extent, improve the prognosis of patients, and reduce the global blinding rate. Starting from the direction of AI, this paper reviews its related research and application in the diagnosis and treatment of glaucoma, aiming to provide new ideas for the diagnosis and treatment of glaucoma by AI.

【Keywords】Artificial intelligence (AI); Glaucoma; Diagnosis and treatment

AI一词,最早是由John McCarthy在1956年的Dartmouth会议上提出^[1],是一门致力于模拟人类思考和决策逻辑,延伸人类智能的多学科交叉科学。人工智能在医学领域的应用主要包括机器学习(ML)和深度学习(DL),而深度学习作为机器学习的重要分支,在机器学习的基础上进一步发展,泛化能力更强,能够处理更为复杂的数据集。DL的优势在于它能够从原始数据中自动学习特征,从而消除了手动特征工程的必要性。DL主要基于人工神经网络(ANNs),这是一种受人脑功能启发的计算模式。像人脑一样,它是由许多计算细胞或“神经元”组成的,每个细胞可执行逻辑操作,并相互联接相互连接以做出决断^[2]。DL技术主要分为卷积神经网络(CNNs)、循环神经网络(RNNs)、

生成对抗网络(GANs)、长短期记忆(LSTM)模型和混合模型^[3]。青光眼作为全球第二大致盲性眼病,可导致视功能损害和视神经缺损。2020年全球青光眼患病人数已超过7600万,预计至2040年这一数字将超过1.1亿^[4]。我国由于人口基数庞大和社会老龄化加剧,青光眼患者人数远远高于世界其他地区。临床上,由于青光眼的发生发展极具隐匿性,部分患者在就诊时已经处于青光眼晚期。因此青光眼的早期筛查、诊断及监测治疗工作显得尤为重要。青光眼的诊断的主要依据包括眼压、视神经改变、视野、房角开放情况、角膜生物力学特性等要素,涉及到的影像检查手段包括:眼底彩照、光学相干断层扫描(OCT)、前房角超声生物显微镜(UBM)、眼前节光学相干断层扫描(AS-OCT)

*通讯作者:汪建涛

以及视野等。本文旨在探讨目前 AI 在青光眼诊疗相关方向的研究与应用, 对其临床前景进行展望。

1 AI 在眼科领域的发展

近年来, 以深度学习为首的人工智能(AI)理论和 技术迅猛发展, 由于其在图像处理及数据分析上具有 优势, 使得人工智能在医疗领域得到了快速发展。由于 眼科很大程度上依赖于图像结果, 眼科成为人工智能 在医疗领域应用中发展最快的领域之一, 而且单个眼 病的诊断往往需要综合多项检查才能确定, 数据量大、 种类多等特点都表明眼科非常适合结合人工智能技 术。目前, 在眼科学领域, 尤其是在糖尿病视网膜病 变(DR)、年龄相关性黄斑变性(AMD)、青光眼等方 面, 人工智能辅助下的医学影像分析均取得了不错的 成果。Ting 等运用深度学习对多种族糖尿病患者的视 网膜图像进行智能分析^[5]。Burlina 等^[6]运用彩色眼底照 相训练人工智能模型, 可实现从非 AMD 和早期 AMD 眼底图片中识别中晚期 AMD, 且与金标准无明显 差别。

2 AI 在青光眼诊疗方面的研究进展

2.1 眼底彩照

眼底照相能够用来观察视盘形态及杯盘比(C/D), 2015 年首次运用眼底图像中 C/D 数据进行 AI 模型训 练, 随后涌现出大量研究者利用 DL 模型去检测青光 眼性视神经病变(GON)。Diaz 等^[7]采用五种不同利用 图像网络训练的深度学习模型, 使用眼底图像让其自 主进行青光眼评估, 验证它们在自动筛查青光眼系统 中的性能。

但其采用全微调的迁移学习方法非常耗时, 需要 进一步优化, 于是 Li 等^[3]应用了分层微调方法去有效 地解决这个问题并增强了预测能力, 其基于 ResNet101 的深度学习方法与彩色眼底照片相结合, 以自动可靠 地检测 GON, 最后以高准确度、灵敏度、特异性和 AUC 从眼底图像中识别 GON, 实现了与具有丰富临床经验 的人类专家相当或超过的性能。Medeiros 等^[8]认为对于 DL 算法而言, 靠近视盘的 RNFL 区域是用于预测青光 眼的重要部位。基于 CNN 诊断青光眼在不同环境和不同 图像质量的眼底图像中的应用验证了其检测 GON 的高灵敏度、特异性和普遍性。结合目前临床上眼底彩 照检查的普及性和以上研究结果看出, 利用 AI 算法判 读眼底彩照对青光眼早期筛查和诊断具有较高的实用 性。

2.2 OCT

光学相干断层扫描(OCT)广泛用于青光眼的诊断

和监测, 青光眼是一种进行性视神经病变, 其特征是视 网膜神经纤维层(RNFL)变薄和不可逆的视力丧失。通 过 OCT 扫描获取的视乳头周围 RNFL 厚度是临床医 生常规用于诊断和监测青光眼的评估手段。考虑成像 质量会影响临床结果的判读, Shi 等^[9]基于深度学习对 视网膜神经纤维层厚度图伪影进行校正, 提升了青光 眼进展分析的准确性。Kim 等^[10]试图利用 OCT 的视 网膜神经纤维层厚度和视野对青光眼进行分析诊断, 并 比较了四种机器学习模型间的差异, 随后发现随机森 林模性能最佳。

前房角(ACA)的精准评估对于青光眼分型和诊 断而言非常重要。目前, 裂隙灯前房角镜检查是评估前 房角的金标准, 但其重复性差, 且学习曲线长。AS-OCT 检查采用不可见光得到眼前节清晰的横截面图像, 并 对眼前节和房角进行非接触性、定性/定量的评估和测 量^[11]。Xu 等^[12]基于自动化 OCT 对 ACA 评估可以帮助 社区筛查原发性闭角型青光眼, 减轻手动进行房角镜 检查的负担, 有助于提高患者随访过程中的依从性和 临床效率。Li 等^[13]也是对收集的 AS-OCT 图像进行 DL 训练, 结果表明 DL 训练集在对房角形态识别上可获 得高水平诊断效能。

2.3 UBM

UBM 检查是一种接触性影像学检查方法, 利用高 频超声对眼前节组织结构进行检查, 具有较好的重复 性。但因其属于接触性检查, 存在感染的风险, 而且结 膜炎、角膜炎以及内眼术后的患者均不宜进行检查, 且 检查时间长, 对操作者的要求较高, 在临床上不太常作 为筛查。王文赛等利用深度学习对所采集的 UBM 图像 进行前房角开放状态的识别, 辅助青光眼疾病诊断, 同 时还对不同网络模型的迁移学习结果进行比较^[14]。Yu 等^[15]通过收集 UBM 图像, 对房角隐窝的顶点进行定 位, 通过灰度特征分析自动识别出房角开闭状态, 将 ACA 分为房角开放、房角狭窄及房角关闭, 可用于识 别前房角形态及青光眼的诊断分型。

2.4 视野检查

临床上, 常用的自动视野计包括 Humphrey 视野计 和 Octopus 视野计^[16]。视野结果被广泛用作判断患者 是否有典型青光眼损害的金标准^[17]。视野检查中视野 缺损的进展反映了青光眼进展的控制情况, 对于青光 眼的进展分析尤为关键。Li 等^[17]利用深度卷积神经网络对青光眼视野和非青光眼视野进行区分, 与人类眼 科医生和传统规则相比, 发现基于 CNN 的算法具备更 高的准确性, 表明基于 CNN 的算法在青光眼诊断方面

优于人类, 在未来可以帮助医生对青光眼进行筛查和诊断。Dixit 等^[18]的研究表明相比传统青光眼进展算法, 他们研发的卷积 LSTM 网络能够较好预测青光眼患者的视野进展。Asaoka 等^[19]使用深度学习分类器将视野前青光眼和正常人的视野结果所区分, 但他们认为未来利用 AI 进行青光眼患者的视野进展预测关键在于能否构建多任务学习模型。

青光眼诊疗的各个环节都极具挑战性, 就诊医生的个人经验直接决定了就诊疗效。若就诊医生经验不足, 诊断上可能导致青光眼的漏诊和诊断偏差, 治疗上可能导致青光眼的治疗不足或者过度治疗, 从而导致病情进一步发展。近期, Li 等^[20]学者们开展了一项利用深度学习系统 (DLS) 协助初级眼科医生对 13 种主要眼底疾病方面进行诊断, 同时评估其诊断性能。结果表明 DLS 组与试验组有较好的一致性。DLS 为眼底疾病的自动检测提供了新方法的同时也帮助初级眼科医生提升了诊断的准确性, 降低了漏诊风险。这一研究不仅达到了临床应用的目的, 也实现了对初级眼科医生的教学目的。

3 存在的困难和挑战

众所周知, 我国人口数量庞大, 青光眼发病机制复杂、疾病种类繁多, 如何运用人工智能对其展开综合的精准分析, 从而进行诊断和进一步治疗是我们今后研究的重点环节。目前大多数研究都是基于 AI 对单一眼科影像学检查展开, 而青光眼作为一种需要多项检查进行全面评估的复杂性眼病, 如何构造青光眼多模态诊疗模型将会是今后眼科医生和工程师们合力研究时应聚焦的难点重点。临床上, 部分青光眼病人常常合并其他眼部疾病, 如白内障、视网膜疾病、角膜病等。这种情况下会影响图像的采集质量和分析结果, 这就需要今后计算机工程师们和眼科医生去合力进一步研究。建立出包括青光眼在内的 AI 综合眼疾分析模型是值得关注的。如今数字化的信息时代, 如何保障病人信息安全也是我们需要去重点关注的环节, 影像学数据具备一定生物识别价值, 如何确保信息安全问题, 避免隐私泄露等都需要谨慎对待。从目前诸多研究来看, 对于人工智能在临床应用的可接受模式, 专家们的看法尚未达成一致, 还需要更多地努力和探索去求同存异, 达成共识。

4 未来展望

随着 5G 时代的来临, 全球各级医疗机构之间的临床数据逐步实现信息共享化, AI 的进一步发展需要各国、各地区的数据共享, 构建更为大型、公开的数据

库, 覆盖更多疾病类型和人种, 以不断提升 AI 算法的准确率。AI 眼科模式已是当代眼科医疗的发展趋势, 其发展潜力是不可否认的, 相信未来 AI 可为更多患者提供青光眼的早期筛查、诊断机会, 帮助临床医生精准监测青光眼进展, 成为眼科学发展的重要里程碑。

参考文献

- [1] Andresen SL. John McCarthy: father of AI[J]. IEEE Intell Syst. 2002;17(5):84-85.
- [2] O'Mahony N, Campbell S, Carvalho A, et al. Deep learning vs. traditional computer vision[J]. 2020,943:128-144.
- [3] Li M, Jiang Y, Zhang Y, et al. Medical image analysis using deep learning algorithms[J]. Front Public Health. 2023;11:1273253.
- [4] Tham YC, Li X, Wong TY, et al. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040[J]. Ophthalmology. 2014;121(11):2081-2090.
- [5] Ting DSW, Cheung CYL, Lim G, et al. Development and validation of a deep learning system for diabetic retinopathy and related eye diseases using retinal images from multiethnic populations with diabetes[J]. JAMA. 2017;318(22):2211-2223.
- [6] Burlina PM, Joshi N, Pekala M, et al. Automated grading of age-related macular degeneration from color fundus images using deep convolutional neural networks[J]. JAMA Ophthalmol. 2017;135(11):1170.
- [7] Diaz-Pinto A, Morales S, Naranjo V, et al. CNNs for automatic glaucoma assessment using fundus images: an extensive validation[J]. Biomed Eng Online. 2019;18(1):29.
- [8] Medeiros FA, Jammal AA, Thompson AC. From machine to machine: an OCT-trained deep learning algorithm for objective quantification of glaucomatous damage in fundus photographs[J]. Ophthalmology. 2019;126(4):513-521.
- [9] Shi M, Sun JA, Lokhande A, et al. Artifact correction in retinal nerve fiber layer thickness maps using deep learning and its clinical utility in glaucoma[J]. Transl Vis Sci Technol. 2023;12(11):12.
- [10] Kim SJ, Cho KJ, Oh S. Development of machine learning models for diagnosis of glaucoma[J]. PLoS One. 2017;

- 12(5): e0177726.
- [11] Riva I, Micheletti E, Oddone F, et al. Anterior chamber angle assessment techniques: a review[J]. *J Clin Med*. 2020 Nov 25;9(12):3814.
- [12] Xu BY, Chiang M, Chaudhary S, et al. Deep learning classifiers for automated detection of gonioscopic angle closure based on anterior segment OCT images[J]. *Am J Ophthalmol*. 2019;208:273-280.
- [13] Li W, Chen Q, Jiang C, et al. Automatic anterior chamber angle classification using deep learning system and anterior segment optical coherence tomography images[J]. *Transl Vis Sci Technol*. 2021;10(6):19.
- [14] 王文赛, 邢恩铭, 秦鲁宁等. 基于深度学习的前房角开闭状态自动识别[J]. *北京生物医学工程*, 2021, 40(3): 221-226.
- [15] Yu J, Li W, Chen Q, et al. Automatic classification of anterior chamber angle based on ultrasound biomicroscopy images[J]. *Ophthalmic Res*. 2021;64(5):732-739.
- [16] Camp AS, Weinreb RN. Will perimetry be performed to monitor glaucoma in 2025?[J]. *Ophthalmology*. 2017; 124(12): S71-S75.
- [17] Li F, Wang Z, Qu G, et al. Automatic differentiation of glaucoma visual field from non-glaucoma visual field using deep convolutional neural network[J]. *BMC Med Imaging*. 2018;18(1):35.
- [18] Dixit A, Yohannan J, Boland MV. Assessing glaucoma progression using machine learning trained on longitudinal visual field and clinical data[J]. *Ophthalmology*. 2021; 128(7):1016-1026.
- [19] Asaoka R, Murata H. Prediction of visual field progression in glaucoma: existing methods and artificial intelligence[J]. *Jpn J Ophthalmol*. 2023;67(5):546-559.
- [20] Li B, Chen H, Yu W, et al. The performance of a deep learning system in assisting junior ophthalmologists in diagnosing 13 major fundus diseases: a prospective multi-center clinical trial[J]. *npj Digit. Med*. 2024,8.
- 版权声明:** ©2024 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**OPEN ACCESS**