

人工智能在社区糖尿病视网膜病变诊断及转诊中的应用

董秀清 杜绍林 刘华秀 邹江凤 刘明慧

东莞东华医院眼科, 东莞 523000

通信作者: 杜绍林, Email: challenge134@126.com

【摘要】 **目的** 探索人工智能(AI)在社区糖尿病视网膜病变(DR)诊断和转诊中的应用价值。 **方法** 采用诊断试验研究方法, 纳入 2020 年 1 月 1 日至 2021 年 12 月 31 日就诊于东莞市 3 个社区医院的糖尿病患者 421 例 812 眼, 其中男 267 例, 占 63.42%, 女 154 例, 占 36.58%; 年龄 18~82 岁, 平均(51.72±11.28)岁; 病程 0~30 年, 平均 3.00(1.00, 7.00)年。收集以黄斑为中心的 50°彩色眼底照片, 建立 DR 图片库。所有病例图像分别由 AI DR 诊断系统、经过培训的社区医生组、眼科专家组作出分级诊断: 有无 DR、有无具有转诊意义的糖尿病视网膜病变(RDR)及转诊推荐。以眼科专家组诊断结果为金标准, 分析该 AI 系统诊断 DR 的敏感性、特异度; 分别比较该 AI 系统和社区医生诊断 DR, 尤其是 RDR 的一致性、有效转诊率。 **结果** 所有入组彩色眼底照片中, 无 DR 570 眼, 轻度非增生性糖尿病视网膜病变(NPDR) 23 眼, 中度 NPDR 120 眼, 重度 NPDR 60 眼, 增生性糖尿病视网膜病变(PDR) 39 眼。AI 系统诊断 DR 的敏感性、特异度分别为 87.60% 和 97.89%, 诊断 RDR 的敏感性、特异度分别为 90.41% 和 96.29%。与眼科专家判读结果相比, AI 系统诊断 DR 和 RDR 的 Kappa 系数均为 0.87, 诊断一致性低于经过培训的社区医生组(Kappa 系数分别为 0.93 和 0.98)。在眼科专家建议转诊的病例中, AI 系统有效转诊率为 90.87%(199/219), 略高于社区医生组的 89.50%(196/219), 但差异无统计学意义($P=1.000$)。 **结论** 该 AI 系统诊断 DR, 尤其是 RDR 的敏感性、特异度及一致性均较高。与培训后的社区医生相比, AI 系统能更有效转诊 RDR。

【关键词】 人工智能; 糖尿病视网膜病变; 诊断; 转诊; 敏感性; 特异度

基金项目: 2020 年东莞市社会科技发展(重点)项目(202050715046227)

临床试验注册: 中国临床试验注册中心, ChiCTR2100054663

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20220316-00108

Application of artificial intelligence for community-based diabetic retinopathy detection and referral

Dong Xiuqing, Du Shaolin, Liu Huaxiu, Zou Jiangfeng, Liu Minghui

Department of Ophthalmology, Dongguan Tungwah Hospital, Dongguan 523000, China

Corresponding author: Du Shaolin, Email: challenge134@126.com

[Abstract] **Objective** To evaluate the value of applying an artificial intelligence (AI) system for diabetic retinopathy (DR) detection and referral in community. **Methods** A diagnostic test study was conducted. Four hundred and twenty-one patients (812 eyes) diagnosed with diabetes in three Dongguan community healthcare centers from January 1, 2020 to December 31, 2021 were enrolled. There were 267 males, accounting for 63.42% and 154 females, accounting for 36.58%. The subjects were 18–82 years old, with an average age of (51.72±11.28) years. The disease course of the subjects was 0–30 years, with an average course of 3.00 (1.00, 7.00) years. At least one macula-centered 50-degree fundus image was taken for each eye to build a DR image database. All the images were independently analyzed by an AI-assisted diagnostic system for DR, trained and qualified community physicians and ophthalmologists to make diagnosis including with or without DR, referable diabetic retinopathy (RDR) and referral recommendation or not. With diagnoses from ophthalmologists as the standard, sensitivity and specificity of the AI system in detecting DR and RDR were evaluated. The consistency and effective referral rate of the AI system and community physicians in detecting DR, especially in detecting RDR were evaluated. This study adhered to the Declaration of Helsinki. The study protocol was approved by the Ethics Committee of Dongguan Tungwah Hospital (No. 2019DHLL046). **Results** Of 812 eyes, 242 eyes were diagnosed with DR, including 23 with mild

nonproliferative diabetic retinopathy (NPDR), 120 with moderate NPDR, 60 with severe NPDR and 39 with proliferative diabetic retinopathy (PDR). The other 570 eyes were diagnosed without DR. The sensitivity/specificity of AI system to detect DR and RDR was 87.60%/97.89% and 90.41%/96.29%, respectively. Compared with the ophthalmologists' diagnosis, the Cohen's Kappa statistic of AI system to detect DR/RDR was 0.87/0.87, which was lower than 0.93/0.98 of community physicians. Among the referral-recommended cases by ophthalmologists, the effective referral rate of the AI system was 90.87% (199/219), which was higher than 89.50% (196/219) of community physicians, without statistically significant difference ($P=1.000$). **Conclusions** The AI system shows high sensitivity, specificity and consistency in DR detection, especially in RDR. The AI system is better in recognizing RDR than trained community physicians.

[Key words] Artificial intelligence; Diabetic retinopathy; Diagnosis; Referral; Sensitivity; Specificity

Fund program: Social Science and Technology Development (Key) Project in Dongguan (202050715046227)

Trial registration: Chinese Clinical Trial Registry, ChiCTR2100054663

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20220316-00108

目前,糖尿病患病率日益升高,预计到 2040 年,全球将有 6.42 亿糖尿病患者^[1]。糖尿病视网膜病变(diabetic retinopathy, DR)作为其主要并发症之一,已成为我国工作年龄人群盲和低视力的主要原因^[2-3],给个人、家庭及社会造成巨大的经济负担。DR 引起的严重视力丧失可通过早期诊断、及时干预避免^[4],因此对糖尿病患者进行早期 DR 筛查尤为重要。在我国,分级诊疗模式的实施使大量糖尿病患者被分流至社区医院进行慢性病管理^[5]。由于缺乏专业眼科人才,社区医院无法对其管理的糖尿病患者进行早期诊断及定期 DR 筛查。许多社区医院目前仍依赖传统的远程阅片模式,面临着人工阅片效率低、结果反馈滞后及转诊不及时等问题^[6]。因此,提高社区糖尿病患者彩色眼底照片的判读效率及准确性成为亟需解决的问题。近年来,深度学习算法的快速进展使人工智能(artificial intelligence, AI)检测 DR 的敏感性及其特异度均得到显著提升^[7-8]。但关于 AI 在社区临床应用场景中的实际效能及其与社区医生相比在 DR 诊断及转诊方面的效能差异尚缺乏深入探索。因此,本研究拟通过比较 AI 及社区医生诊断、转诊 DR 的效能,探索 AI 在社区医院中应用于 DR 筛查、诊断和转诊中的可行性及价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用诊断试验研究方法,选择 2020 年 1 月 1 日至 2021 年 12 月 31 日就诊于东莞市寮步社区卫生服务中心、东莞市东城卫生服务中心、东莞横沥医院的糖尿病患者 421 例纳入本研究,其中 30 眼因瞳孔无法扩大、屈光介质混浊等原因影响图像质量予以排除,最终共 812 眼纳入研究。其中男 267 例,占 63.42%,女 154

例,占 36.58%;年龄 18~82 岁,平均(51.72±11.28)岁;病程 0~30 年,平均(4.77±4.77)年。入组患眼均采用单视野眼底照相技术,以黄斑为中心拍摄 50°彩色眼底照片,所摄照片的拍摄位置、清晰度需符合我国基于眼底照相的 DR 人工智能筛查系统应用指南^[9]要求,并将以上眼底彩色照片建立样本图库。纳入标准:(1)由内科或全科医师确诊为 1 型或 2 型糖尿病;(2)年龄≥18 岁;(3)理解并同意研究方案,配合检查者。排除标准:(1)屈光介质混浊影响成像质量者;(2)合并视网膜静脉阻塞、年龄相关性黄斑变性、视神经炎等眼底疾病患者;(3)既往有眼底病治疗史者,包括眼内注药、视网膜激光光凝、玻璃体切割手术等;(4)合并高度近视、青光眼、葡萄膜炎等其他眼病者。本研究方案遵循《赫尔辛基宣言》,经东莞东华医院伦理委员会批准(批文号:2019DHLL046)。研究涉及患者的一般资料及彩色眼底照片均进行了匿名化处理。

1.2 方法

1.2.1 诊断标准 研究对象需符合以下糖尿病诊断标准^[10]:有多饮、多尿、多食和体质量下降的糖尿病典型症状,随机血浆葡萄糖浓度≥11.1 mmol/L;空腹血浆葡萄糖浓度≥7.0 mmol/L;口服葡萄糖耐量试验 2 h 血糖≥11.1 mmol/L。人工及 AI 阅片均根据 DR 国际分期标准^[11]进行结果判读(表 1),分为无糖尿病视网膜病变(no diabetic retinopathy, NDR)、轻度非增生性糖尿病视网膜病变(nonproliferative diabetic retinopathy, NPDR)、中度 NPDR、重度非增生性糖尿病视网膜病变 NPDR 和增生性糖尿病视网膜病变(proliferative diabetic retinopathy, PDR)。其中,有转诊意义的糖尿病视网膜病变(referable diabetic retinopathy, RDR)定义为中度及重度 NPDR、PDR 以及

有临床意义的黄斑水肿 (clinically significant macular edema, CSME)^[12-13]。

际分期一致;AI 系统给出的转诊意见包括定期检查、建议观察、进一步检查和立即治疗 4 个等级,其中进一步检查及立即治疗定义为 AI 建议转诊。

表 1 DR 国际分期及诊断标准^[11]

Table 1 International grading and diagnostic criteria for diabetic retinopathy^[11]

国际分期	眼底表现
NDR	无异常
轻度 NPDR	仅有微动脉瘤
中度 NPDR	微动脉瘤,存在轻于重度 NPDR 的表现
重度 NPDR	存在以下任一改变但无 PDR 表现: (1)任一象限中有多于 20 处视网膜内出血 (2)2 个以上象限有静脉串珠样改变 (3)1 个以上象限有显著的视网膜内微血管异常
PDR	出现以下一种或多种表现: 新生血管形成、玻璃体积血、视网膜前出血

注:DR:糖尿病视网膜病变;NDR:无糖尿病视网膜病变;NPDR:非增生性糖尿病视网膜病变;PDR:增生性糖尿病视网膜病变

Note:DR:diabetic retinopathy;NDR:no diabetic retinopathy;NPDR:non-proliferative diabetic retinopathy;PDR:proliferative diabetic retinopathy

1.2.2 分组阅片 (1)眼科专家组 由 2 名高年资主治医师以上职称眼科专科医师共同阅片,根据以上分期标准进行诊断。当 2 人诊断结果有异则增加第 3 名高于或等同前 2 名医师职称的眼科医师参与阅片诊断,并综合 3 人意见得出最终结果,作为该彩色眼底照片诊断的金标准。眼科专家组诊断为中度 NPDR、重度 NPDR 或 PDR 的彩色眼底照片均为 RDR。(2)社区医生组 提前由眼科专家对社区医生进行 DR 彩色眼底照片阅片及诊断培训,考核通过后由 2 名社区医生共同阅片,根据以上分期标准进行诊断并提出是否建议转诊。当 2 人诊断结果有异则增加第 3 名通过培训考核的社区医师参与阅片诊断,并综合 3 人意见得出最终结果。(3)AI 系统组 采用上海鹰瞳医疗科技有限公司 (Airdoc) 的眼底疾病综合智能诊断软件 (comprehensive artificial intelligence retinal expert, CARE) 自动分析并给出诊断结果及转诊意见。CARE 系统基于单个卷积神经网络 (convolutional neural network, CNN),在 TensorFlow 平台 (版本 1.10.1;Google, Mountain View, CA, USA) 和 Python scikit 学习包 0.22.2 上使用 Inception-ResNet-V2 架构,对 207 228 张眼底照片进行训练构建而成。CARE 系统通过对彩色眼底照片分析,自动识别视网膜出血、渗出及玻璃膜疣的个数、最大面积及总面积和血管参数 (图 1),并根据其算法分析获得 DR 诊断结果。该系统已在国内进行多中心内部验证及外部测试,其敏感性和特异度分别达到 93.8% 和 87.8%。CARE 系统对 DR 的诊断分期与国

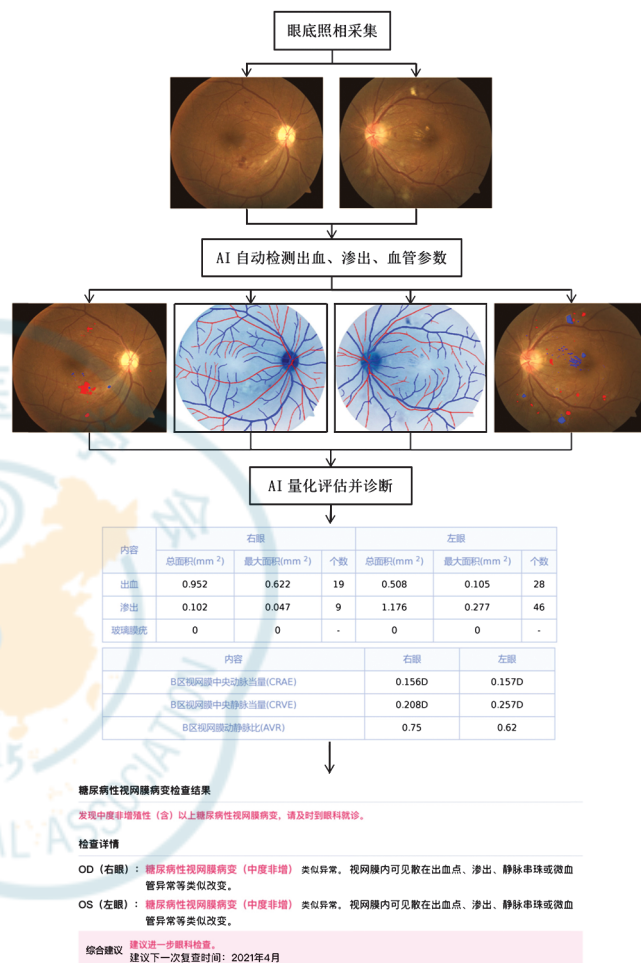


图 1 CARE 系统诊断流程图 AI:人工智能
Figure 1 Diagnosis process of CARE system AI:artificial intelligence

1.3 统计学方法

采用 SPSS 20.0 统计学软件进行统计分析。计量资料数据经 Kolmogorov-Smirnov 检验证实符合正态分布,以 $\bar{x} \pm s$ 表示,计数资料以例数和百分比表示。采用敏感性、特异度、阳性预测值 (positive predictive value, PPV) 和阴性预测值 (negative predictive value, NPV) 评估 AI 系统的诊断效能。采用 Cohen's Kappa 系数分别检验 AI 系统及社区医生组与眼科专家组的诊断一致性。其中, Kappa 系数 > 0.8 表示一致性极强, 0.6 < Kappa 系数 ≤ 0.8 表示一致性较强, 0.4 < Kappa 系数 ≤ 0.6 表示一致性中等, 0.2 < Kappa 系数 ≤ 0.4 表示一致性一般, Kappa 系数 ≤ 0.2 表示一致性较差。AI 系统和社区医生给出相同建议的有效转诊率比较采用 Fisher 精确检验。P < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 眼科专家组判读分期情况

所有彩色眼底照片中,眼科专家组判读分期结果中 NDR 共 570 眼,轻度 NPDR 共 23 眼,中度 NPDR 共 120 眼,重度 NPDR 共 60 眼,PDR 共 39 眼,RDR 共 219 眼。

2.2 AI 系统对 DR 的诊断效能

眼科专家组与 AI 系统对所有彩色眼底照片的诊断结果如表 2,3 所示。与眼科专家组相比,AI 系统诊断有无 DR 的敏感性为 87.60%,特异度为 97.89%,PPV 为 94.64%,NPV 为 94.90%;诊断有无 RDR 的敏感性为 90.41%,特异度为 96.29%,PPV 为 90.00%,NPV 为 96.45%。

表 2 眼科专家组与 AI 系统诊断 DR 结果(眼数)
Table 2 Diagnosis of DR by ophthalmologists and AI system (eyes)

眼科专家诊断	AI 诊断		合计
	DR(+)	DR(-)	
DR(+)	212	30	242
DR(-)	12	558	570
合计	224	588	812

注:AI:人工智能;DR:糖尿病视网膜病变
Note:AI:artificial intelligence;DR:diabetic retinopathy

表 3 眼科专家组与 AI 系统诊断 RDR 结果(眼数)
Table 3 Diagnosis of RDR by ophthalmologists and AI system (eyes)

眼科专家诊断	AI 诊断		合计
	RDR(+)	RDR(-)	
RDR(+)	198	21	219
RDR(-)	22	571	593
合计	220	592	812

注:AI:人工智能;RDR:有转诊意义的糖尿病视网膜病变
Note:AI:artificial intelligence;RDR:referable diabetic retinopathy

2.3 AI 系统和社区医生诊断一致性评价

与眼科专家组相比,AI 系统诊断 DR 及 RDR 的 Kappa 系数分别为 0.87 ($P < 0.001$) 和 0.87 ($P < 0.001$);经过培训及考核的社区医生组对 DR 及 PDR 的诊断结果如表 4,5 所示,其 Kappa 系数分别为 0.93 ($P < 0.001$) 和 0.98 ($P < 0.001$)。AI 系统和培训后的社区医生均与眼科专家组的诊断结果具有极强一致性。

表 4 眼科专家组与社区医生组诊断 DR 结果(眼数)
Table 4 Diagnosis of DR by ophthalmologists and community physicians (eyes)

眼科专家诊断	社区医生诊断		合计
	DR(+)	DR(-)	
RDR(+)	220	22	242
RDR(-)	0	570	570
合计	220	592	812

注:AI:人工智能;DR:糖尿病视网膜病变
Note:AI:artificial intelligence;DR:diabetic retinopathy

表 5 眼科专家组与社区医生组诊断 RDR 结果(眼数)
Table 5 Diagnosis of RDR by ophthalmologists and community physicians (eyes)

眼科专家诊断	社区医生诊断		合计
	RDR(+)	RDR(-)	
RDR(+)	214	5	219
RDR(-)	0	593	593
合计	214	598	812

注:AI:人工智能;RDR:有转诊意义的糖尿病视网膜病变
Note:AI:artificial intelligence;DR:referable diabetic retinopathy

2.4 AI 系统和社区医生转诊有效率比较

在眼科专家建议转诊的 219 眼中,AI 系统给出相同建议的有效转诊率为 90.87% (199/219),高于社区医生组的 89.50% (196/219),差异无统计学意义 ($P = 1.000$)。

3 讨论

研究显示,我国大陆糖尿病人群中 DR 患病率约为 23.0%,其中 NPDR 和 PDR 的患病率分别约为 19.1% 和 2.8%^[14]。2017 年美国糖尿病学会指出通过早期检查、定期随访、及时处理可避免 98% 由 DR 造成的视力丧失^[15]。在我国,87% 的糖尿病患者就诊于县级及以下医疗机构,以社区为中心、社区-疾控中心-医院“三位一体”的管理模式有利于糖尿病慢病管理的持续进行^[16]。然而社区医疗卫生机构中眼科医疗资源相对有限,使社区医疗卫生机构的 DR 早期防治工作存在筛查难度大、诊断准确性及有效转诊率低等问题。在确保较高准确性的前提下提高诊断效率,突破专科人力资源限制,实现大规模、快速的 DR 早期筛查、诊断和转诊,这正是糖尿病患者群体庞大、专科人才匮乏的社区医疗卫生机构所需要实现的。眼底照相机在基层医院的普及及其与远程医疗相结合的模式可在一定程度上缓解上述困境,但因人力成本高、效率低下,无法开展大规模 DR 筛查^[17]。

现代 AI 技术高速发展,已广泛应用于医学检查及治疗,在眼科领域展现出了巨大潜力。自 2018 年首台由美国食品和药品管理局批准用于 DR 检测的 AI 设备 IDx-DR 面世,已有多项研究显示 AI 在 DR 的诊断及病变分级上成效显著^[18-21]。本研究中应用我国首个国家药品监督管理局批准的眼底图像 AI 辅助诊断系统 CARE,结果显示其在诊断 DR 及 RDR 上均体现出良好的性能,与专业眼科医师判读结果相比,诊断一致性极强,与国内多中心真实世界研究结果相似^[22]。该系统在诊断 RDR 上展现出稳定的准确率,与目前国际成熟的 AI 系统性能相仿。Ting 等^[23]以 76 370 张彩色眼底照片为训练集,训练机器自动学习、识别 RDR 的特征并建立 AI 系统,其训练数据集的受试者工作特征曲线下面积 (area under subject operating characteristic curve, AUC) 达到 0.936,灵敏度和特异性分别为 90.5% 和 91.5%;再采用该 AI 系统对 40 752 张彩色眼底照片进行验证诊断,AUC、灵敏度、特异性分别为 0.889、91.8% 和 73.3%。然而该系统对于轻度 NPDR 的识别性能还有待进一步训练。不同于识别 RDR 的智能系统,Gargeya 等^[24]建立了基于 CNN 算法、主要用来区分 NDR 和轻度及以上 NPDR 的 AI 系统,其 AUC 达到了 0.97,灵敏度和特异性分别为 94% 和 98%。Abramoff 等^[25]和 Takahashi 等^[26]的研究则致力于探讨更为详细的 DR-AI 分级。

在实际临床应用场景中,AI 系统的使用价值主要体现在眼科医疗资源相对缺乏的社区医疗卫生机构中,可解决全科医生阅片水平参差不齐、读片时效性低下等问题。现有研究多为比较 AI 与眼科医师诊断 DR 的效能,少有研究比较 AI 与全科医师在诊断 DR 效能上的差异。本研究的创新之处在于验证该 AI 系统的诊断准确率后,进一步比较 AI 系统与社区医生的诊断效能及决策性能。在本研究中,预先对参与读片的社区医生进行规范培训,培训方式结合理论授课及阅片实践。通过培训及考核后,社区医生诊断 DR 和 RDR 的结果与眼科专家具有极强一致性 (Kappa 值分别为 0.93 和 0.98),略高于 CARE 系统 (Kappa 值分别为 0.87 和 0.87)。以上研究结果表明,规范的培训及考核可有效提高社区 DR 诊疗水平,但广泛化、同质化、规范化的培训工作所耗费的人力、时间成本极高,而依靠于互联网、云计算的 AI 诊断系统则节省了繁琐的培训工作。至于 AI 与未经培训的非眼科专业医疗人员在 DR 诊断效能上的高低,国内有研究通过比较 AI 与初级、中级、高级职称的内分泌科医生对 1 000 张糖尿病患者彩色眼底照片的阅片结果,发现与 AI 的诊断符

合率为 94.7%,高于不同职称的内分泌科医生 (初级、中级和高级职称组诊断符合率分别为 94.0%、91.4% 和 93.4%)^[27]。本研究结果显示,在转诊决策性能评估上,CARE 系统对 RDR 患者中 90.87% 病例做出“进一步检查”或“立即治疗”的建议,转诊效率优于培训后社区医生的 89.50%。此外,研究指出在医疗卫生资源相对缺乏的基层医院引入 AI 辅助筛查、诊断,可提高疾病的诊断效率,延缓疾病进展,节省疾病治疗费用^[28]。本研究应用 CARE 系统上传彩色眼底照片后,可在 1 min 内获取诊断报告及转诊建议,其效率远高于人工阅片。国内一项 8 012 例的 DR AI 筛查研究结果显示,从图像上传至分级报告完成,人工分级耗时为 AI 的 97.5 倍^[29]。Johansen 等^[30]采用 ophdiat AI 系统对 3.8 万人进行 DR 筛查和监测,使专业眼科医生节省了 60% 的时间。

综上所述,本研究结果表明 CARE 系统应用于社区 DR 诊治工作中具有良好的诊断和决策性能,且时效性强,可为社区开展大规模、智能化 DR 筛查提供新的策略。本研究也存在一些不足,如基于单视野彩色眼底照片评估范围有限及纳入研究的样本量有限等,今后我们将进一步完善研究设计,扩大样本量,并扩展至基于光相断层扫描及其血管成像的 AI 研究,为地区 DR 防治体系的建立搭建数据平台。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 董秀清:参与设计试验、实施研究、采集数据、分析和解释数据、文章撰写;杜绍林:参与设计试验、分析和解释数据、文章审阅及定稿;刘华秀:参与设计试验、实施研究及起草文章;邹江凤:参与实施研究、采集数据;刘明慧:参与采集数据、分析数据

参考文献

- [1] Ogurtsova K, da Rocha Fernandes JD, Huang Y, et al. IDF Diabetes Atlas: global estimates for the prevalence of diabetes for 2015 and 2040 [J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2017, 128 : 40-50. DOI: 10.1016/j.diabres.2017.03.024.
- [2] Zhang G, Chen H, Chen W, et al. Prevalence and risk factors for diabetic retinopathy in China: a multi-hospital-based cross-sectional study [J]. *Br J Ophthalmol*, 2017, 101 (12) : 1591-1595. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2017-310316.
- [3] 张扬,牛萌,李严,等.医院就诊患者的糖尿病视网膜病变患病情况及相关因素分析[J].*中华医学杂志*,2018,98(6):440-444. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.06.009.
Zhang Y, Niu M, Li Y, et al. Prevalence and risk factors of diabetic retinopathy in hospital patients [J]. *Natl Med J China*, 2018, 98 (6) : 440-444. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.06.009.
- [4] Vujosevic S, Aldington SJ, Silva P, et al. Screening for diabetic retinopathy: new perspectives and challenges [J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2020, 8 (4) : 337-347. DOI: 10.1016/S2213-8587(19)30411-5.
- [5] 中国微循环学会糖尿病与微循环专业委员会,中国医疗保健国际交流促进会基层卫生分会基层糖尿病学部,江苏省基层内分泌特色科室孵化联盟.基层糖尿病微血管病变筛查与防治专家共识(2021年版)[J].*中国医学前沿杂志:电子版*,2021,13(6):

- 16-38. DOI:10.12037/YXQY.2021.06-04.
Chinese Association of Diabetes and Microcirculation; Department of Primary Diabetes Care, Primary Health Branch of China International Exchange and Promotion Association for Medical and Healthcare; Jiangsu Incubation Federation for Specialized Endocrinology Department of Communitie Hospital. Expert consensus statement of screening, prevention and treatment of diabetic microvascular complications in community (2021 edition) [J]. Chin J Frontiers Med Sci (Electronic Version), 2021, 13(6): 16-38. DOI:10.12037/YXQY.2021.06-04.
- [6] Jani PD, Forbes L, Choudhury A, et al. Evaluation of diabetic retinal screening and factors for ophthalmology referral in a telemedicine network [J]. JAMA Ophthalmol, 2017, 135(7): 706-714. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2017.1150.
- [7] Gulshan V, Peng L, Coram M, et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs [J]. JAMA, 2016, 316(22): 2402-2410. DOI: 10.1001/jama.2016.17216.
- [8] Li Z, Keel S, Liu C, et al. An automated grading system for detection of vision-threatening referable diabetic retinopathy on the basis of color fundus photographs [J]. Diabetes Care, 2018, 41(12): 2509-2516. DOI: 10.2337/dc18-0147.
- [9] 中国医药教育协会智能医学专委会智能眼科学组, 国家重点研发计划“眼科多模态成像及人工智能诊疗系统的研发和应用”项目组. 基于眼底照相的糖尿病视网膜病变人工智能筛查系统应用指南 [J]. 中华实验眼科杂志, 2019, 37(8): 593-598. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.08.001.
Intelligent Medicine Special Committee of China Medicine Education Association, National Key Research and Development Program of China “Development and Application of Ophthalmic Multimodal Imaging and Artificial Intelligence Diagnosis and Treatment System” Project Team. Guidelines for artificial intelligent diabetic retinopathy screening system based on fundus photography [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2019, 37(8): 593-598. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.08.001.
- [10] 中华医学会糖尿病学分会. 中国 2 型糖尿病防治指南 (2020 年版) [J]. 中华糖尿病杂志, 2021, 13(4): 315-409. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.20210221-00095.
Chinese Diabetes Society. Guideline for the prevention and treatment of type 2 diabetes mellitus in China (2020 edition) [J]. Chin J Diabetes Mellitus, 2021, 13(4): 315-409. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.20210221-00095.
- [11] Wilkinson CP, Ferris FL 3rd, Klein RE, et al. Proposed international clinical diabetic retinopathy and diabetic macular edema disease severity scales [J]. Ophthalmology, 2003, 110(9): 1677-1682. DOI: 10.1016/S0161-6420(03)00475-5.
- [12] 中华医学会糖尿病学分会视网膜病变学组. 糖尿病视网膜病变防治专家共识 [J]. 中华糖尿病杂志, 2018, 10(4): 241-247. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-5809.2018.04.001.
- [13] Abràmoff MD, Folk JC, Han DP, et al. Automated analysis of retinal images for detection of referable diabetic retinopathy [J]. JAMA Ophthalmol, 2013, 131(3): 351-357. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2013.1743.
- [14] Pan CW, Wang S, Qian DJ, et al. Prevalence, awareness, and risk factors of diabetic retinopathy among adults with known type 2 diabetes mellitus in an urban community in China [J]. Ophthalmic Epidemiol, 2017, 24(3): 188-194. DOI: 10.1080/09286586.2016.1264612.
- [15] Solomon SD, Chew E, Duh EJ, et al. Diabetic retinopathy: a position statement by the American Diabetes Association [J]. Diabetes Care, 2017, 40(3): 412-418. DOI: 10.2337/dc16-2641.
- [16] 谭林, 李玉琴, 杨巧婷, 等. 全科团队服务模式对糖尿病管理的效果研究 [J]. 中华全科医学, 2013, 11(8): 1296-1297.
- [17] Cuadros J, Bresnick G. Can commercially available handheld retinal cameras effectively screen diabetic retinopathy? [J]. J Diabetes Sci Technol, 2017, 11(1): 135-137. DOI: 10.1177/1932296816682033.
- [18] Abràmoff MD, Lavin PT, Birch M, et al. Pivotal trial of an autonomous AI-based diagnostic system for detection of diabetic retinopathy in primary care offices [J/OL]. NPJ Digit Med, 2018, 1: 39 [2022-03-01]. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31304320/. DOI: 10.1038/s41746-018-0040-6.
- [19] Rajalakshmi R, Subashini R, Anjana RM, et al. Automated diabetic retinopathy detection in smartphone-based fundus photography using artificial intelligence [J]. Eye (Lond), 2018, 32(6): 1138-1144. DOI: 10.1038/s41433-018-0064-9.
- [20] Ratanapakorn T, Daengphoonphol A, Eua-Anant N, et al. Digital image processing software for diagnosing diabetic retinopathy from fundus photograph [J]. Clin Ophthalmol, 2019, 13: 641-648. DOI: 10.2147/OPHT.S195617.
- [21] 王娟, 陈淑娟, 董方田, 等. 糖尿病视网膜病变筛查智能检测与人工检测的一致性分析 [J]. 眼科, 2018, 27(4): 254-257. DOI: 10.13281/j.cnki.issn.1004-4469.2018.04.003.
Wang J, Chen SJ, Dong FT, et al. Comparison of computer automated screening system with ophthalmologist for grading of diabetic retinopathy [J]. Ophthalmol CHN, 2018, 27(4): 254-257. DOI: 10.13281/j.cnki.issn.1004-4469.2018.04.003.
- [22] Lin D, Xiong J, Liu C, et al. Application of comprehensive artificial intelligence retinal expert (CARE) system: a national real-world evidence study [J/OL]. Lancet Digit Health, 2021, 3(8): e486-e495 [2022-03-01]. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34325853/. DOI: 10.1016/S2589-7500(21)00086-8.
- [23] Ting D, Cheung CY, 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. DOI: 10.1001/jama.2017.18152.
- [24] Gargeya R, Leng T. Automated identification of diabetic retinopathy using deep learning [J]. Ophthalmology, 2017, 124(7): 962-969. DOI: 10.1016/j.ophtha.2017.02.008.
- [25] Abràmoff MD, Lou Y, Erginay A, et al. Improved automated detection of diabetic retinopathy on a publicly available dataset through integration of deep learning [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2016, 57(13): 5200-5206. DOI: 10.1167/iovs.16-19964.
- [26] Takahashi H, Tampo H, Arai Y, et al. Applying artificial intelligence to disease staging: deep learning for improved staging of diabetic retinopathy [J/OL]. PLoS One, 2017, 12(6): e0179790 [2022-03-01]. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28640840/. DOI: 10.1371/journal.pone.0179790.
- [27] 李萌, 王耿媛, 夏鸿慧, 等. 眼底阅片人工智能系统在糖尿病视网膜病变筛查中的临床价值评价 [J]. 中华实验眼科杂志, 2019, 37(8): 663-668. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.08.015.
Li M, Wang GY, Xia HH, et al. Clinical evaluation of artificial intelligence system based on fundus photograph in diabetic retinopathy screening [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2019, 37(8): 663-668. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.08.015.
- [28] 肖璇, 何运臻, 陈宁江. AI 辅助中国偏远基层社区老年人青光眼前筛查对医疗费用和医保基金的影响: 基于海南省昌江黎族自治县的卫生经济学分析 [J]. 中华实验眼科杂志, 2021, 39(9): 811-820. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.20210912-00507.
Xiao X, He YZ, Chen NJ. Impact of artificial intelligence-assisted community-based screening for senile glaucoma on health expenses and medical insurance expenditures in rural areas: health economic evidence from Changjiang Li autonomous county, Hainan province [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2021, 39(9): 811-820. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.20210912-00507.
- [29] 李治玺, 张健, Fong Nellie, 等. 人工智能初筛分流在大规模糖尿病视网膜病变筛查中的应用 [J]. 中华医学杂志, 2020, 100(48): 3835-3840. DOI: 10.3760/cma.j.issn.20200901-02526.
Li ZX, Zhang J, Fong N, et al. Using artificial intelligence as an initial triage strategy in diabetic retinopathy screening program in China [J]. Natl Med J China, 2020, 100(48): 3835-3840. DOI: 10.3760/cma.j.issn.20200901-02526.
- [30] Johansen MA, Fossen K, Norum J, et al. The potential of digital monochrome images versus colour slides in telescreening for diabetic retinopathy [J]. J Telemed Telecare, 2008, 14(1): 27-31. DOI: 10.1258/jtt.2007.060401.

(收稿日期:2022-03-16 修回日期:2022-10-28)

(本文编辑:刘艳 施晓萌)

