

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

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

通信作者:袁进, Email: yuanjincornea@126.com

【摘要】 基于医疗大数据的人工智能(AI)辅助诊断技术近年来日趋成熟,基于彩色眼底照相的AI辅助诊断系统在糖尿病视网膜病变(DR)的筛查中展现了良好的灵敏度和特异度。为了建立AI辅助DR筛查的统一标准,推动AI诊断系统的临床实践应用,提升我国基于AI技术的DR诊疗水平,中国医药教育协会智能医学专委会智能眼科学组起草并通过了《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》,对基于彩色眼底照相的AI辅助DR诊断平台的硬件参数、设备配置、数据采集及标准、数据库建立、AI算法要求、AI筛查报告内容格式、临床AI筛查随访方案制定了相关规范和建议。

【关键词】 人工智能;糖尿病视网膜病变;筛查;眼底照相

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0112400、2017YFC0112405)

指南注册: 国际实践指南注册平台, IPGRP-2019CN038

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.08.001

Guidelines for artificial intelligent diabetic retinopathy screening system based on fundus photography

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

Corresponding author: Yuan Jin, Email: yuanjincornea@126.com

【Abstract】 Artificial intelligence (AI) aided diagnosis technology based on medical big data has matured in recent years. AI-aided diagnosis system based on color fundus photographs has shown favorable sensitivity and specificity in the screening of diabetic retinopathy (DR). In order to establish a unified standard for AI-assisted DR screening, promote the clinical practice of AI diagnostic system, and improve the level of DR diagnosis and treatment based on AI technology in China, the Artificial Intelligent Ophthalmology Group under the Intelligent Medicine Special Committee of China Medicine Education Association drafted and adopted the “Artificial Intelligent Diabetic Retinopathy Screening System Based on Fundus Photography Guideline”. Specifications and recommendations of AI-assisted DR diagnosis platform based on fundus photographs were formulated on system hardware parameters, equipment configuration, data collection and standards, database establishment, AI algorithm requirements, content and format of AI screening report, and AI screening follow-up plan.

【Key words】 Artificial intelligence; Diabetic retinopathy; Screening; Fundus photography

Fund program: National Key R&D Program of China (2017YFC0112400、2017YFC0112405)

Guidelines register: International Practice Guideline Registry Platform, IPGRP-2019CN038

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.08.001

1 人工智能糖尿病视网膜病变筛查系统研发和应用的目的是意义

糖尿病是影响人类健康和生活质量的常见慢性疾病,国际糖尿病联盟(International Diabetes Federation, IDF)的研究报告显示,世界范围内有4.25亿成年人患有各种类型糖尿病。中国糖尿病患者人数约有1.1亿,其中20~79岁未诊断的人数约为6100万,未诊断

率高达53.6%^[1]。73.2%的糖尿病患者在其生存过程中会出现各种组织损伤^[2],糖尿病视网膜病变(diabetic retinopathy, DR)是常见的并发症之一。中国糖尿病患者中DR患病率为18.45%^[3],微血管瘤、视网膜毛细血管出血和渗出、视网膜水肿、新生血管生成及纤维增生、牵拉性视网膜脱离是DR的主要病理改变,DR是成年人致盲的首要原因^[4]。

眼底筛查对DR可做到早期发现、定性评估和分

析、及时干预,对于保留患者视功能、提高患者生活质量、降低 DR 医疗负担具有重要意义。国际糖尿病防治促进项目(Better Diabetes Care International, BDCI)、标准化代谢性疾病管理中心(Metabolic Management Center, MMC)、DR 防控中心、中国微循环学会、全国防盲技术指导组及健康快车等国际和区域、地方单位积极主导开展了一系列 DR 筛查及防治项目(表 1),但中国 DR 主动筛查率仍不足 20%^[5]。

表 1 中国 DR 筛查情况

作者	地区	筛查方法	有效样本量 (人)	糖尿病患者 (例)	DR 患病率 (%)
Jin 等 ^[6]	广东省阳西县	免扩瞳眼底照相	5 825	562	8.19*
Zhang 等 ^[7]	多中心研究	扩瞳眼底照相	15 078	15 078	27.9
McGuire 等 ^[8]	北京,汕头	-	849	849	35.2
Lu 等 ^[9]	上海	免扩瞳眼底照相	2 533	2 533	27.7

注:DR:糖尿病视网膜病变;*:此研究为 50 岁以上农村人口 DR 患病率;-:未交代

DR 筛查率不高一方面与患者文化程度、疾病认知等因素有关,另一方面与我国眼科医疗资源分布不均有关,尤其是基层医疗机构缺乏专业的眼底病专科医生来承担筛查工作。目前,国内已有多家依托于地区的高水平眼科医疗机构的眼科读片中心,依靠计算机网络及云端传输为 DR 远程诊疗提供技术支持。然而,由于目前读片中心阅片医生工作量大而难以做到大范围覆盖,工作强度大也导致阅片结果反馈不及时和漏诊率、误诊率升高^[10]。

人工智能(Artificial Intelligence, AI)是指由人类创造的用于模拟、延伸和扩展人类思维特征的方法和技术系统。近年来随着卷积神经网络、对抗神经网络、支持向量机等 AI 算法的不断完善,基于医疗大数据的 AI 辅助诊疗决策技术日趋成熟,尤其是医学影像识别技术可通过对既得的海量影像学资料进行学习,在短期内获得对图像的自动诊断分析能力,判断过程和结果比普通医生更客观、更准确性和高效。斯坦福大学联合研究团队于 2017 年在 Nature 上发布了针对皮肤癌的 AI 算法,准确率可达 91% 以上^[11]。对于 DR 的筛查,多种 AI 算法也显示出高准确率,灵敏度和特异度均可达 90% 以上(表 2)^[12-15],美国卫生监管机构食

表 2 代表性 DR 诊断算法研究

作者	数据库	样本量	灵敏度	特异度	AUC	算法模型
Gulshan 等 ^[12]	EyePACS-1	9 963	90.3%/97.5%*	98.1%/93.4%*	0.991	a deep convolutional neural network
	Messidor-2	1 748	87%/96.1%*	98.5%/93.9%*	0.990	
Gargeya 等 ^[13]	MESSIDOR 2 E-Ophtha	75 137	94%	98.0%	0.970	A fully data-driven artificial intelligence
Hemant 等 ^[14]	Lotus Eye Care Hospital	540	99%	99.0%	-	Modified Hopfield Neural Network (MHNN)
Li 等 ^[15]	online dataset	71 043	97%	91.4%	0.989	convolutional neural network

注:DR:糖尿病视网膜病变;AUC:曲线下面积;*:作者在统计时分别使用了 2 个不同的风险阈值作为评判标准;-:数据缺失

品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)已于 2018 年 4 月批准了世界上第一款人工智能医疗设备 IDx-DR 用于检测 DR, AI 诊断系统的出现不仅缓解了眼科医生和阅片医生的工作压力,也在一定程度上弥补了眼科医疗资源分布不均的不足,给医学诊疗模式的变革带来重大影响。

但是目前 AI 筛查系统由于数据来源、算法学习模型、临床准确性评价标准等方面存在多样性,尚未建立统一标准,限制了 AI 诊断系统在临床实践中的广泛应用^[16-17],本指南旨在就基于 AI 的 DR 诊断筛查平台及临床应用中涉及的硬件设备要求、数据采集规范、数据库建立标准、算法评价、AI 临床应用要求及流程等方面为 AI 系统使用机构提供参考性意见,以期规范 AI 诊断系统在 DR 早期筛查和辅助诊断中的科学应用,推动我国 DR 诊疗水平的整体性提升。

2 AI 筛查系统算法构建和准确性要求

2.1 训练集来源

训练集的彩色眼底照片来自不少于 2 家医疗机构。训练图片数据集的来源可包含网上公开数据集(如学术论文公开数据集、各种比赛竞赛数据集等),但必须符合 2.2 的训练集标注办法,不符合的必须按照 2.2 的训练集标注办法重新标注;训练集数据的获取须经相关单位的伦理审查委员会批准。

2.2 训练集标注

训练集由不少于 3 名数据标注员“背靠背”标注,采用多数同意规则,对于同一图片。标注员须具备眼科专业中级以上职称,并需要取得相应资质评估方可参与标注。单视野图片中,对于每张彩色眼底照片,标注医生需要按 DR 的临床诊断标准,对整张彩色眼底照片是否具有 DR 阳性体征进行判定。双视野图片中,标注医生需要对单眼的 2 张彩色眼底照片进行综合判断。若判为具有阳性体征,医生须在彩色眼底照

片中至少给出 1 处 DR 阳性体征的边框中心坐标,作为转诊的判断依据;医生标注时只针对单侧彩色眼底照片,不针对同一患者的双侧彩色眼底照片。

2.3 训练集数量

按我国 DR 临床诊疗指南(2014 年)判定的 I 期及以上级别 DR,单视野每级不少于 1 000 张图像,双视野每级不少于 1 000 对黄斑/视盘中心图像;此外,训练集还需包含不少于 500 张/对不合并 DR 的其他眼底疾病图像以及 500 张/对不可判读低质量彩色眼底照片。

若最终 AI 筛查系统部署不指定适用机型,则训练集彩色眼底照片需要来自至少 5 种以上不同品牌的眼底相机,每种品牌相机 DR 每级不少于 200 张/对;建议每级别彩色眼底照片数量按性别比例应均衡;建议每级别年龄分布时 65 岁以上不超过 80%;95% 以上彩色眼底照片来源于黄种人。

2.4 标准测试集

标准测试集需符合国家或行业组织标准。标准测试集单视野库包含 5 000 张彩色眼底照片,I 期及以上级别 DR 合计不少于 2 500 张图像;标准测试集双视野库包含 5 000 对彩色眼底照片,I 期及以上级别 DR 合计不少于 2 500 对图像;测试集中无 DR 彩色眼底照片中不包含不合并 DR 的其他眼底疾病图像 500 张/对;在测试集上根据 AI 筛查系统是否指定适用机型来验证测试。

2.5 算法模型指标

算法模型的指标以单眼图像衡量。若算法适配为单视野,则使用单视野库,每张图为 1 例;若算法适配为双视野,则使用双视野库,每侧眼底的 1 对图像为 1 例。

在标准测试集中按 DR 分期分层随机抽取 2 000 张/对图像;对于此 2 000 张/对图像,算法须提供符合临床标准描述的转诊意见(阴性/阳性),以及 1 个 0~1 的预测值以构造受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC 曲线)。

双视野测试时,标准测试集可提供与双视野原图相应的配准和拼接信息供参考。相关指标计算方式如下:

$$\text{灵敏度} = \frac{\text{真阳性样例个数}}{\text{真阳性样例个数} + \text{假阴性样例个数}}$$

$$\text{特异度} = \frac{\text{真阴性样例个数}}{\text{假阳性样例个数} + \text{真阴性样例个数}}$$

ROC 曲线及曲线下面积(area under the curve, AUC):在 0~1 以 0.01 为间隔取阈值,与预测值相比较,得到与每个阈值对应的(灵敏度、特异度)数对,并以 1-特异度为横轴,灵敏度为纵轴制作 ROC 曲线,之后计算 AUC 值。

可重复性:(1)同病例多次拍照可重复性 额外

选取不少于 100 例病例(一侧眼计作 1 个病例),在其限定的 1 种或多种机型上(注:不限定机型产品则由临床试验承担单位和检验机构指定机型)随机拍摄不少于 3 次,以这几组结果的 Fleiss' kappa 作为可重复性度量。(2)同病例单次拍照算法可重复性 对于抽取的 2 000 张标准测试集中的图像进行 9 组随机基本变换(小于原图边长 5% 的裁剪、左右翻转、小于 15° 旋转),在此 9 组图像集上分别给出算法的转诊意见。加上未变换的第 1 组结果,以这 10 组结果的 Fleiss' kappa 作为可重复性度量。

小样本数据或零数据 AI 算法需经过国家认可标准数据库验证或临床多中心研究验证后达到算法模型指标后方可考虑落地应用。

3 AI 系统的临床应用标准

3.1 AI 筛查系统的类型

离线版 AI 系统可安装在计算机端及移动电子设备上,不依赖于网络而实现对输入的彩色眼底照片进行 DR 的智能筛查辅助诊断,并生成报告。对硬件和网络要求较低,且不依赖网络传输,反馈速度快,但无法通过云端进行远程读片确认,故需在具有相应诊疗资质的眼科医生指导下使用。离线版本为应用单位必备版本。离线版 AI 系统在输入彩色眼底照片至输出筛查结果的时间应控制在 1 min 以内。

在线版 AI 系统适用于有一定网络使用条件的单位,通过实时将彩色眼底照片上传至云端,在云端进行智能筛查辅助诊断,并将报告反馈供下载确认。在线版本对硬件设备和网络传输速度等方面要求较高,同时可经过远程阅片中心实时核查,具有更强的时效性和操控性。在线版 AI 系统应在彩色眼底照片上传 5 min 内得到反馈的筛查结果。

3.2 彩色眼底图像采集硬件要求

本 AI 筛查标准建议使用半自动或全自动免扩瞳平面彩色眼底相机。各项指标参数应遵循如下要求:(1)视野范围 使用单视野时水平方向大于 50°,垂直方向大于 50°;使用双视野时每个视野水平方向不小于 45°,垂直方向不小于 45°;(2)解析度 视野范围内最小解析度不小于 30 lp/mm;(3)患者屈光不正补偿的调焦范围 不小于 ±15 D;(4)固视点 眼底相机的内置固视点至少可以调节至 3 个位置,分别对应以视盘为视野中心、以黄斑中心为视野中心、以视盘和黄斑连线的中点为视野中心的位置;(5)可拍摄的最小瞳孔半径 不大于 3.3 mm;(6)图像存储 支持无损压缩的 TIFF 格式或无损压缩的 PNG 格式,支持压缩 JPG 格式。

3.3 图像采集标准

国际 DR 分级标准中以 45°眼底照相机拍摄“DR 早期治疗研究组”(Early Treatment of Diabetic Retiopathy Study, ETDRS)制定的 7 张图的彩色眼底照片或检眼镜检查对 DR 进行诊断和分级,但此拍摄方法工作量大,对拍摄技术要求高,且图像数据量大,储存和分析难度大,不适用于大规模筛查。目前 DR 筛查彩色眼底照片拍摄多采用后极部单视野或双视野拍摄法^[18]。

3.3.1 拍摄位置 (1)单视野拍摄法 以黄斑和视盘连线的中点为拍摄视野的中心,成像至少涵盖 60°视网膜区域。(2)双视野拍摄法 视野 1 以黄斑中心凹为拍摄视野的中心,成像至少涵盖 45°视网膜区域;视野 2 以视盘为拍摄视野的中心,成像至少涵盖 45°视网膜区域(图 1)。

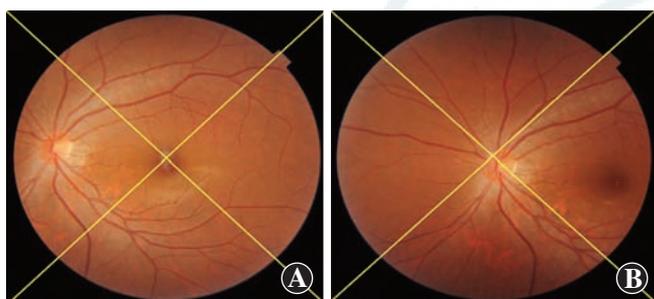


图 1 双视野拍照法 A:视野 1 以黄斑中心凹为拍摄视野的中心
B:视野 2 以视盘为拍摄视野的中心

3.3.2 图片质量要求 每个受检眼拍摄至少 1 组可供 AI 系统分析和医师阅片的图像并保存,图像需达到以下质量要求:(1)除纤维增生膜、视网膜前出血、玻璃体积血等 DR 相关体征外,图中 90% 的血管可以辨认;(2)主要眼底结构位置正确,使用单视野图像筛查时,图像视野范围水平与垂直方向均不小于 50°,黄斑中心凹距离图的边缘超过 2 个视盘直径,视盘距离图的边缘超过 2 个视盘直径;使用双视野图像时,每个视野水平与垂直方向均不小于 45°,黄斑区图像要求黄斑中心凹距离图像中心 < 1.5 个视盘直径,视盘区图像要求视盘中心距离图像中心 < 1.5 个视盘直径;视盘与黄斑中心连线和水平线的夹角不大于 24°;(3)成像范围内无影响判读的暗影和/或高亮反光区域;(4)曝光适

度,无过曝光、欠曝光;(5)无镜头污渍、眼睑和/或睫毛等遮挡影,无运动伪影;(6)无其他图像错误,如图像中没有患者、未拍摄非眼底范围的彩色眼底照片等。

图像未达到以上质量要求时,需进行如下调整:(1)主要眼底结构位置不正确 调整受试者坐姿,调节固视点,确认患者有无斜视或其他眼部异常情况,然后重新拍摄图像;(2)过曝光、欠曝光、对焦错误 调节眼底相机曝光与对焦设定,然后重新拍摄图像;如果观察到图像过暗,应确认患者瞳孔大小,并相应缩短患眼暴露在明亮灯光下的时间,降低检查室亮度;(3)眼睑、睫毛遮挡 提示患者在拍照过程中睁大眼睛,必要时协助患者提高眼睑,并重新拍摄图像;(4)虹膜反光 提示患者紧盯固视点,不要移开视线,重新拍摄图像;(5)镜头污渍 检查并清理镜头,然后重新拍摄图像;(6)瞳孔过小 进行眼压测量,在保证安全时扩瞳后拍摄图像。

3.3.3 筛查报告要求 供受试者阅读的筛查报告需包含以下信息:(1)受试者基本信息 姓名、性别、年龄、ID 号、受检眼别;(2)图像采集设备信息 设备型号、图像采集日期、成像范围、图像储存格式;(3)AI 系统信息 算法版本号、算法适用机型、图像分析日期;(4)对于图像质量及可信度的评估;(5)筛查结果 左右眼分别给出诊断,并给出疾病或健康的概率,彩色眼底照片基本描述,包括但不限于微血管瘤、硬性渗出、软性渗出、新生血管、增生膜等体征的描述以及生物学测量。(6)权责说明。

3.4 DR 的 AI 筛查方案

针对糖尿病高危人群以及 DR 患者建立不同的 AI 随访方案。建议 AI 系统使用单位依托于区域性阅片中心建立 AI 系统筛查结果核查确认机制,筛查结果在具有相应资质的阅片医师确认前仅供参考,经医师确认后具有医学效力。根据患者彩色眼底照片质量情况和 AI 系统辅助诊断结果,结合患者视力情况,针对不同医疗资源水平的医疗机构进行转诊指导。

对于临床确诊的糖尿病患者建议参照我国 DR 临床诊疗指南(2014 年)^[19]中糖尿病患者筛查方案(表 3),对于伴有视力变化且 AI 筛查有阳性体征的患者

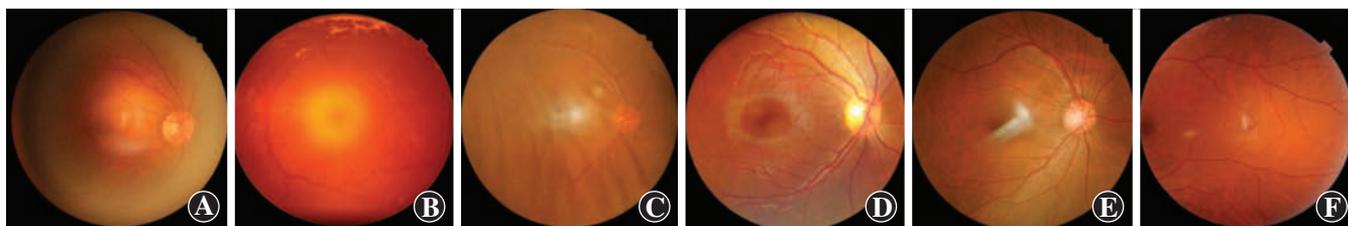


图 2 常见成像质量较差的图像 A:进光量不足,周边曝光暗 B:中央曝光过强 C:下方睫毛遮挡 D:眼球运动导致对焦不准 E:镜头反光 F:成像位置偏移

筛查方案见表 4。

表 3 不同类型糖尿病患者接受眼科检查首诊和随诊时间建议

类型	首次眼底检查时间	随诊时间
1 型糖尿病	青春期前或青春期发病, 可在 12 岁开始筛查, 青春期后发病患者一旦诊断即进行筛查	每年 1 次或根据医生建议
2 型糖尿病	确诊时	每年 1 次或根据医生建议
妊娠糖尿病	妊娠前或妊娠初 3 个月	无 DR 及轻度、中度 NPDR: * 每 3 ~ 12 个月 1 次; 重度 NPDR: 每 1 ~ 3 个月 1 次

注: DR: 糖尿病视网膜病变; NPDR: 非增生期糖尿病视网膜病变

表 4 DR 智能筛查结果的转诊和随诊建议

视力标准	筛查结果	随诊
矫正视力 \geq 0.6 (或 4.8)	无明显的视网膜病变, 风险性低, 可信度高*	1 年随访 1 次, 如有病情变化可增加随访次数
矫正视力 $<$ 0.6 (或 4.8) 或视力突然下降	轻中度视网膜病变 (I 期和 II 期), 风险性中至高, 可信度中至高	保持眼科随访, 3 个月随访 1 次或由眼科医生确定随访间隔
矫正视力 $<$ 0.6 (或 4.8) 或视力突然下降	严重的视网膜病变 (III 期和 IV 期), 风险性中至高, 可信度中至高	眼科治疗并保持密切的眼科随访, 如无诊疗条件, 尽快转诊眼底病专科医师

注: DR: 糖尿病视网膜病变; * 可信度根据图像成像质量进行综合评估, 分为可信度高、中、低 3 个等级, 当图像可信度为低级时应寻找其原因, 排除仪器设备和人为干扰因素后重新拍摄图像, 若此时仍不能清晰成像应转眼科医生处就诊

医生对于所有进行筛查的糖尿病患者结合 AI 结果进行健康宣教, 包括但不限于以下内容: (1) 向患者详细解释说明 AI 分析结果的内容和意义, 需说明 AI 辅助诊断不等同于专业医师诊断。(2) 根据患者眼部主诉和全身情况结合 AI 分析结果指导患者进一步获取医疗健康相关资源, 包括但不限于定期随访、眼科专科就诊、有威胁视力的高风险因素时尽快至眼科就诊等。(3) 告知患者控制全身情况 (血糖、血压、血脂等) 的重要性。告知患者即使视力良好, 无明显 DR, 也应定期随访眼底情况。

3.5 数据储存

医疗数据是对患者疾病病情的详细描述和诊疗活动的真实记录, 数据储存的标准性、规范性和安全性对于医疗数据的保存、患者病情随访、数据溯源等具有重要意义。数据的存储应当满足规划的高效性、管理的科学性、查询的便捷性。具体应至少包括以下内容: (1) AI 系统应与医疗机构 HIS PACS 系统对接, 关联患者病情资料。(2) PNG 格式或压缩 JPG 格式储存。(3) AI 系统分析记录及分析结果报告应一并保存。

(4) 离线版 AI 系统应将数据在数据存储设备上定期进行备份并定期更新, 在线版 AI 系统可将数据在数据存储设备上定期进行备份并定期更新。

3.6 数据安全

医疗数据涉及患者隐私、科研信息和医疗单位内部信息, 具有其特殊性和敏感性。在使用相关医疗数据时, 尤其通过互联网传输数据时, 应当注意确保数据信息安全、保障各方相关权益。参照我国《网络安全法》、《人口健康信息管理办法》及 HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act) 法案等有关法律及规范要求, 应当包括但不限于以下措施: (1) 不同级别的医生和相关工作人员使用账号和密码登录并使用系统, 享有信息浏览、编辑和/或数据管理等权限。(2) 单位和个人应当在授权范围内利用和发布相关信息。(3) 数据存储单位应配备网络安全防护措施。(4) 经网络传输的数据须进行加密处理。(5) 对于不影响疾病诊断的受试者敏感信息, 如联系电话、家庭住址等, 非必要时应进行脱敏处理或模糊显示。(6) 落地应用单位应建立数据管理系统, 明确责任人, 并制定数据泄露的应急预案。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

形成指南意见的专家组成员:

执笔专家:

袁进	中山大学中山眼科中心 (智能眼科学组组长)
雷博	河南省人民医院 河南省眼科研究所
张明	四川大学华西医院
许言午	百度在线网络技术 (北京) 有限公司
任海萍	中国食品药品检定研究院医疗器械检定所光机电室
杨卫华	潮州市第一人民医院 湖州师范学院医学人工智能重点实验室
陈新建	苏州比格威医疗科技有限公司
魏雁涛	中山大学中山眼科中心
肖鹏	中山大学中山眼科中心
唐晓颖	南方科技大学
夏鸿慧	肇庆市高要区人民医院

专家组成员:

叶娟	浙江大学医学院附属第二医院 (智能眼科学组副组长)
赵地	中国科学院计算技术研究所 (智能眼科学组副组长)
李若溪	沈阳市第四人民医院 (智能眼科学组副组长)
毕燕龙	上海同济大学附属同济医院
陈伟宾	广东爱唯视医疗科技有限公司
陈蔚	温州医科大学附属眼视光医院
陈羽中	北京郁金香伙伴科技有限公司
傅永艳	辽宁省人民医院

高平 合肥奕云信息科技有限公司
 韩伟 浙江大学医学院附属第一医院
 郝凌云 金陵科技学院材料工程学院
 贺志强 北京邮电大学
 洪佳旭 复旦大学附属耳鼻喉科医院
 黄锦海 温州医科大学附属眼视光中心
 柯碧莲 上海市第一人民医院
 李慧琦 北京理工大学信息与电子学院
 梁庆丰 首都医科大学附属北京同仁医院 北京市眼科研究所
 林浩添 中山大学中山眼科中心
 刘江 中科院宁波工业技术研究院慈溪生物医学工程研究所
 刘磊 中国医科大学附属第一医院
 庞杰 苏州六六视觉科技股份有限公司
 彭亚军 海军军医大学附属长海医院
 齐虹 北京大学第三医院眼科
 邵毅 南昌大学第一附属医院眼科
 宋红欣 首都医科大学附属北京同仁医院
 苏兆安 浙江大学医学院附属第二医院
 王冰 百度在线网络技术(北京)有限公司
 王丽强 解放军总医院
 王良银 中国眼科网
 王岩 内蒙古医科大学附属医院
 吴茂念 湖州师范学院信息工程学院
 徐玲 辽宁何氏医学院视光系 沈阳何氏眼科医院
 姚立 北京触角科技有限公司
 余轮 福州大学数字媒体研究院-医工所
 袁建树 宁波市眼科医院
 张光华 山西智能大数据产业技术创新研究院
 张贵森 内蒙古朝聚眼科医院
 张红言 首都医科大学附属北京同仁医院
 张宏 哈尔滨医科大学眼科医学院
 张铭志 汕头大学·香港中文大学联合汕头国际眼科中心
 张秀兰 中山大学中山眼科中心

参考文献

- [1] International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas 8th Edition [EB/OL]. (2017-12-01) [2019-03-20]. <http://www.diabetesatlas.org>.
- [2] 中华医学会糖尿病学分会糖尿病慢性并发症调查组. 全国住院糖尿病患者慢性并发症及其相关危险因素 10 年回顾性调查分析 [J]. 中国糖尿病杂志, 2003, 11(4): 232-237.
Investigation Group for Chronic Diabetic Complications, Chinese Diabetes Society, Chinese Medical Association. Chronic diabetic complications and related macro-vascular diseases of in-patients with diabetes in mainland of China—A national retrospective analysis in recent 10 years [J]. Chin J Diabetes, 2003, 11(4): 232-237.
- [3] 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/OL]. J Glob Health, 2018, 8(1): 010803 [2019-04-20]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5997368/>. DOI: 10.7189/jogh.08.010803.
- [4] Ejaz S, Chekarova I, Ejaz A, et al. Importance of pericytes and mechanisms of pericyte loss during diabetes retinopathy [J]. Diabetes Obes Metab, 2008, 10(1): 53-63. DOI: 10.1111/j.1463-1326.2007.00795.x.
- [5] 卢黎蓉, 张龄洁, 邱朝霞. 糖尿病性视网膜病变的就诊现状及影响因素分析 [J]. 中国实用眼科杂志, 2011, 29(11): 1170-1172. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-4443.2011.11.019.
Lu LR, Zhang LJ, Qiu ZX. Current situation for patients with diabetic retinopathy of visiting hospital and analysis on influencing factors [J]. Chin J Pract Ophthalmol, 2011, 29(11): 1170-1172. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-4443.2011.11.019.
- [6] Jin G, Xiao W, Ding X, et al. Prevalence of and risk factors for diabetic retinopathy in a rural Chinese population; The Yangxi Eye Study [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2018, 59(12): 5067-5073. DOI: 10.1167/iov.18-24280.
- [7] 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.
- [8] McGuire HC, Ji L, Kissimova-Skarbek K, et al. Type 1 diabetes mellitus care and education in China: the 3C study of coverage, cost, and care in Beijing and Shantou [J]. Diabetes Res Clin Pract, 2017, 129: 32-42. DOI: 10.1016/j.diabres.2017.02.027.
- [9] Lu J, Hou X, Zhang L, et al. Association between body mass index and diabetic retinopathy in Chinese patients with type 2 diabetes [J]. Acta Diabetol, 2015, 52(4): 701-708. DOI: 10.1007/s00592-014-0711-y.
- [10] 苏炳男, 李建军, 徐亮, 等. 远程眼科阅片服务中基层医院上传图片的质量评估分析 [J]. 眼科, 2015, 24(4): 230-233.
- [11] Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks [J]. Nature, 2017, 542(7639): 115-118. DOI: 10.1038/nature21056.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Hemanth DJ, Anitha J, Son LH, et al. Diabetic retinopathy diagnosis from retinal images using modified hopfield neural network [J/OL]. J Med Syst, 2018, 42(12): 247 [2019-04-22]. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10916-018-1111-6>. DOI: 10.1007/s10916-018-1111-6.
- [15] 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.
- [16] 林浩添, 吴晓航. 加快基于眼科图像数据库的眼病人工智能辅助诊断平台建设 [J]. 中华实验眼科杂志, 2018, 36(8): 577-580. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2018.08.001.
Lin HT, Wu XH. Accelerating the construction of artificial intelligence diagnostic platform based on ophthalmic imaging database [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2018, 36(8): 577-580. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2018.08.001.
- [17] 张秀兰, 李飞. 人工智能和青光眼: 机遇与挑战 [J]. 中华实验眼科杂志, 2018, 36(4): 245-247. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2018.04.002.
Zhang XL, Li F. Artificial intelligence and glaucoma: opportunities and challenges [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2018, 36(4): 245-247. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2018.04.002.
- [18] Govinda A, de Verteuil R. Systematic review of the diagnostic accuracy of the single, two and three field digital retinal photography for screening diabetic retinopathy [J]. JBI Libr Syst Rev, 2011, 9(16): 491-537.
- [19] 中华医学会眼科学会眼底病学组. 我国糖尿病视网膜病变临床诊疗指南(2014年) [J]. 中华眼科杂志, 2014, 50(11): 851-865. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2014.11.014.

(收稿日期: 2019-05-26)

(本文编辑: 尹卫靖 刘艳)