·文献综述·

真彩超广角眼底成像在视网膜疾病中的应用研究现状

潘韵琪[1],唐琼燕[1,2]

引用:潘韵琪,唐琼燕. 真彩超广角眼底成像在视网膜疾病中的应用研究现状. 国际眼科杂志, 2026,26(12):2136-2140.

作者单位:[1](510000)中国广东省广州市,暨南大学附属爱尔眼科医院;[2](410000)中国湖南省长沙市,长沙爱尔眼科医院
作者简介:潘韵琪,在读硕士研究生,研究方向:白内障。
通讯作者:唐琼燕,博士,主任医师,硕士研究生导师,研究方向:白内障. tangqiongyan@aierchina.com
收稿日期:2026-04-30 修回日期:2026-10-13

摘要
视网膜病变的识别对于视网膜疾病的治疗以及延缓其发展至关重要。超广角眼底成像技术的出现实现了人们对视网膜的更全面观察。文章对以宽线眼底成像技术为核心的真彩超广角成像系统的技术特点以及其在糖尿病视网膜疾病、年龄相关性黄斑变性、周边视网膜变性及视网膜裂孔、眼内肿瘤及其他视网膜疾病中的应用研究现状进行综述,讨论了该系统与多模态成像以及人工智能辅助诊断相结合的应用前景,并指出了目前面临的争议和挑战。
关键词:超广角;真彩;眼底成像技术;视网膜疾病
DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2026.12.11

Research status of the application of true-color ultra-wide-field fundus imaging in retinal diseases

Pan Yunqi[1], Tang Qiongyan[1,2]

[1]Aier Eye Hospital, Jinan University, Guangzhou 510000, Guangdong Province, China; [2]Changsha Aier Eye Hospital, Changsha 410000, Hunan Province, China
Correspondence to: Tang Qiongyan. Aier Eye Hospital, Jinan University, Guangzhou 510000, Guangdong Province, China; Changsha Aier Eye Hospital, Changsha 410000, Hunan Province, China. tangqiongyan@aierchina.com
Received:2026-04-30 Accepted:2026-10-13

Abstract
• Accurate diagnosis of retinal diseases is critical for guiding treatment and slowing disease progression. The advent of ultra-wide-field fundus imaging enables comprehensive visualization of the retina. This review summarizes the technical characteristics of true-color ultra-wide-field fundus imaging based on broad-line fundus imaging technology, as well as the research status of the applications in diabetic retinopathy, age-related macular degeneration, peripheral retinal degeneration and retinal breaks, intraocular tumors, and other retinal diseases. We further discuss the potential integration of this technology with multimodal imaging and artificial intelligence-assisted diagnosis, and highlight the existing controversies and challenges.
• KEYWORDS: ultra-wide-field; true-color; fundus imaging technology; retinal diseases

Citation: Pan YQ, Tang QY. Research status of the application of true-color ultra-wide-field fundus imaging in retinal diseases. Guoji Yanke Zazhi(Int Eye Sci), 2026,26(12):2136-2140.

0 引言

视网膜疾病诊断的传统痛点在于视网膜的可视化受限,传统彩色眼底照相(color fundus photography,CFP)高度依赖散瞳,且单次拍摄仅可获取 45°范围的成像[1],无法覆盖周边视网膜区域,容易漏诊周边视网膜病变,进而可能延误疾病处理;近年来超广角眼底成像技术(ultra-widefield,UWF)的出现显著拓展了视野,实现了对视网膜更全面地观察。目前临床应用的 UWF 系统主要包括两种类型,一种是以共聚焦激光扫描检眼镜(confocalscanning laser ophthalmoscope,cSLO)为基础的 UWF 系统(以 Optos 为代表),其使用了椭圆镜面,利用波长分别为 633 nm 的红激光和 532 nm 的绿激光进行成像,单次影像可获得 200°的视野,其伪彩成像在出血、脂质渗出以及色素性病变的色彩辨识方面存在一定的局限性[2],且伴有图像边缘畸变、穿透力不足及亮度不均等现象[3-5];另一种是以宽线眼底成像技术(broad-line fundus imaging,BLFI)为基础的真彩 UWF 系统(以 CLARUS 为代表),其单次影像可获得 133°视野的真彩图像,可以减少伪影的干扰。鉴于既往 UWF 相关的综述多数聚焦于 cSLO UWF 系统[6-7],而真彩 UWF 系统的相关研究较为分散,尚缺乏系统性的总结,因此本文就真彩 UWF 系统的成像技术原理以及其在各类视网膜疾病中的临床应用研究现状进行综述,以期为临床实践与未来研究方向提供参考与启示。

1 真彩超广角技术特点

真彩 UWF 系统以宽线眼底成像技术作为核心技术,将部分共聚焦扫描激光检眼镜与传统眼底摄影原理相结合[8];系统地采用宽矩形光束对视网膜进行自下而上的线性扫描,通过三路宽谱发光二极管依次照明视网膜[2],分别覆盖蓝色(435-500 nm)、绿色(500-585 nm)和红色(585-640 nm)波段,并且配备红外光源(785 nm)。在图像合成过程中,红外光源将会对视网膜位置进行实时地监控与校正,以确保无数条窄光带扫描图像的精准叠加,同时降低视网膜反光与闪光伪影的干扰[9],最终合成接近眼底自然色彩的真彩图像。其部分共聚焦光学设计可以阻挡焦平面外的散射光,横向分辨率为 7.3 μm,可减少睫毛伪影的干扰,并使得该系统在屈光介质混浊的患眼中能获得质量较高的图像[2,10]。在成像范围方面,单次拍摄可获

得133°视野,鼻、颞侧两张拼接图像可拓展至200°×133°,6张图像全景拼接后可覆盖267°的超广角视野[8,11]。此外,新一代系统增加了眼底荧光素血管造影(fundus fluorescein angiography, FFA)与吲哚菁绿血管造影(indocyanine green angiography,ICGA)功能,并且支持FFA与ICGA的同步采集及视频记录。

2 真彩超广角在视网膜疾病中的临床应用

2.1 糖尿病视网膜病变 糖尿病视网膜病变(diabetic retinopathy,DR)是全球劳动年龄人群视力损害的主要原因之一[12],早期发现病变对于尽早采取干预措施以减缓疾病的进展具有重要的临床意义。早期糖尿病视网膜病变治疗研究(early treatment diabetic retinopathy study, ETDRS)中采用的标准7视野眼底成像是DR诊断和分级的经典方法和参考标准[13-14],由于其依赖散瞳、操作繁琐且成像视野有限,因而对DR的评估存在局限[15-17]。而cSLO UWF虽然扩大了成像范围,但其伪彩成像的特性可能会影响临床医生对微动脉瘤、视网膜内微血管异常(intraretinal microvascular abnormality,IRMA)以及视网膜出血等关键体征的准确辨识和DR分级[18]。

在真彩UWF系统与ETDRS参考标准的一致性方面,多项研究显示其对DR严重程度的评估与ETDRS标准7视野具有良好的一致性[19-21]。其中Santos等[19]纳入了160眼对比了标准35°的7视场彩色眼底摄影与200°真彩UWF,发现两者严重程度几乎完全一致(κ>0.80),并且真彩UWF图像对出血及IRMA具有更强的可视化能力,使得36%眼的DR严重程度分级较标准7视野上调,这提示真彩UWF在检出周边病变上灵敏度较高,可辅助早期筛查及初级分级。

在真彩UWF与cSLO UWF的直接比较方面,多项研究显示两者在DR严重程度评估方面总体一致[18,22-23]。有研究[24-25]表明,与cSLO UWF、双视野或五视野45°眼底成像相比,真彩UWF在早期DR严重程度评估中均具有更优异的综合表现。有研究[22]进一步指出,中央视网膜区的cSLO UWF漏诊情况高于真彩UWF,8个病变中有6个具有统计学意义(P<0.05);而在中外周视网膜区,cSLO UWF对微动脉瘤、硬性渗出和玻璃体出血的识别显著高于真彩UWF(P<0.0001);在外周视网膜区,cSLO UWF系统几乎对所有DR病变的检出率均显著高于真彩UWF(P<0.0001);说明真彩UWF系统在中央区视网膜病变的识别方面优于cSLO UWF,而cSLO UWF在外周及远周边视网膜病变的检出方面更具优势,这与Hirano等[18]观点相同。

Scanlon等[26]在大规模DR筛查项目中发现,真彩UWF对视网膜病变的敏感性和特异性均高于cSLO UWF,其中对可转诊DR的敏感度分别为86.0%和77.6%,特异度分别为92.8%和95.4%;其分析认为cSLO UWF敏感度相对偏低的主要原因在于对黄斑病变的分级不足,以及微动脉瘤、出血、IRMA和新生血管的颜色差异与成像伪影对判读的干扰;而真彩UWF还原真实色彩和中央区高分辨率成像,可更好地识别上述病变。另一项研究[22]也指出cSLO UWF的漏诊率(59.6%)高于真彩UWF,尤其是棉绒斑等白色病变,提示伪彩成像对低对比度病变的识别存在局限。然而亦有研究者指出尽管cSLO UWF为伪彩成像,但其红、绿色激光扫描功能可在一定程度上弥补其在微动脉瘤及出血识别方面的不足,分清病灶层次,提升其临床诊断效能[23]。因此临床中可能需结合患者具体情况合理选择成像方式,必要时可考虑两种设备的优势互补。

2.2 年龄相关性黄斑变性 年龄相关性黄斑变性(age-related macular degeneration,ARMD)是导致老年人群不可逆性视力丧失的常见年龄相关性视网膜疾病[27-28],早期识别对于延缓疾病进展、挽救患者视力至关重要[29]。Maruyama-Inoue等[10]开展的一项纳入109眼的对比研究系统评估了真彩UWF、cSLO UWF及传统眼底彩色照相在新生血管性ARMD诊断中的效能,发现真彩UWF对新生血管性ARMD的检出敏感度最佳(94.4%),优于cSLO UWF(81.1%)及传统眼底彩照(87.8%),特异度与传统眼底彩照相当(89.5%),低于cSLO UWF(94.7%),并且在有晶状体眼中的假阳性及假阴性比例最小,提示真彩UWF不易受白内障影响,该研究认为真彩UWF可能是早期发现新生血管性ARMD的有用的筛查工具,有利于及时转诊和治疗。在一项比较散瞳下4张图像拼接的真彩UWF与眼底镜检查对视网膜疾病识别和分类的大型研究中[30],两种方法在诊断769例ARMD患者的一致性分别为0.9977和0.9986,证明UWF技术可能是检眼镜的一种替代方法,可在临床和远程医疗中运用。

2.3 周边视网膜变性及视网膜裂孔 及时发现与处理视网膜裂孔是预防视网膜脱离发生的关键。目前双目间接检眼镜联合巩膜顶压仍是诊断视网膜裂孔的参考标准[31-32],但该检查对操作者技术要求高且患者配合度有限,在临床实践中存在一定局限。cSLO UWF虽能记录周边视网膜,但伪彩成像及周边部畸变常导致细小裂孔与视网膜变性区难以区分,增加了判读难度[33]。

在真彩UWF与间接检眼镜的对比研究中,多项结果提示两者之间具有较高的一致性。郭家箭等[34]在散瞳条件下的研究显示,两种检查方法对孔源性视网膜脱离的检出率一致性系数为0.842,存在着显著的一致性,但对不同类型的视网膜裂孔的检出数量存在差异,即真彩UWF可能会遗漏较周边的视网膜裂孔,尤其是小圆孔及沙眼孔,而间接检眼镜联合巩膜外顶压可观察到极周边病变,尽管患者配合不佳时亦可出现漏诊情况。类似地,Xu等[35]在屈光手术术前眼底筛查中也发现,尽管真彩UWF在周边视网膜变性和裂孔的识别方面具有高特异度(99.77%和100%),但其五方位成像拼图对极周边的视网膜微小裂孔识别的敏感度仍稍低于裂隙灯非接触式+120 D透镜检查,两种方法在检测外周视网膜网状变性和视网膜裂孔的一致性分别为中度一致(κ=0.42)和重度一致(κ=0.67)。真彩UWF在周边视网膜变性及视网膜裂孔的筛查中具有潜在的应用价值,尽管尚不能完全替代间接检眼镜检查,但可作为临床检出及评估的辅助手段。

在与cSLO UWF的对比中,Kumar等[11]发现cSLO UWF和真彩UWF在检出视网膜裂孔的总体敏感性分别为80.2%和74.1%,两者在检出需治疗的周边裂孔能力相似;进一步的亚组分析提示[36],在颞侧周边存在裂孔、裂孔合并白内障或高度近视的患眼中,真彩UWF具有更高的诊断性能,尽管差异没有统计学意义。然而不同的是,亦有研究[37]表明真彩UWF对上、下侧象限裂孔的检出敏感度高于颞、鼻侧象限;并且cSLO UWF系统可通过软件算法对畸变进行校正,但在评估病变实际大小时可能存在放大效应,从而影响对裂孔检出和范围的真实判断。

2.4 眼内肿瘤 病灶的色彩特征是眼内肿瘤的鉴别诊断

的重要依据,如脉络膜黑色素瘤多呈棕色、灰色或黑色,脉络膜血管瘤多呈橘红色[38]。cSLO UWF 虽可有效记录周边脉络膜病灶的位置与范围,但其伪彩成像无法还原真实色彩,可能影响对病灶真实色素特征的判读,甚至导致漏诊[39-40]。对此,Barbosa 等[41]评估了真彩 UWF 在脉络膜痣中的应用价值,发现红色通道的长波长可更有效地穿透视网膜与脉络膜组织,清晰呈现脉络膜痣的边界轮廓与内部结构,利于病变特征的评估。在一项大规模研究中[30],散瞳下的 4 张图像拼接的真彩 UWF 与眼底镜检查对其中 1 426 例视网膜及脉络膜肿瘤的检出高度一致,不同阅片者的一致性分别为 0.9991 和 0.9994,强调真彩 UWF 与检眼镜的可互换性,鼓励在临床和远程医疗中使用,并结合深度学习算法有效提高筛查效率。

2.5 其他视网膜疾病 随着真彩 UWF 的逐渐推广,亦有学者将其应用于其他视网膜疾病的研究。Ballios 等[42]首次应用真彩 UWF 获取了小口氏病的“水尾-中村现象”图像,其真彩成像还原了视网膜的金黄色金属样反光,与光适应后恢复的正常眼底形成对比。真彩 UWF 在记录对光敏感的瞬态视网膜色彩改变方面具有优势,可为罕见视网膜疾病的影像学观察及临床特征分析提供新的技术手段。在针对早产儿视网膜病变(retinopathy of prematurity, ROP)应用价值的首次探讨[43]中发现,与 cSLO UWF 相比,真彩 UWF 有助于更准确地诊断和分级 ROP 的严重程度;尽管如此,真彩 UWF 多张拼接图像在婴儿中难以实现,而 cSLO UWF 虽单张可获取更大视野图像,但也受其眼睑和睫毛伪影的影响,其痛点在婴儿中表现更为突出。目前尚没有一种成像方式专门用于新生儿视网膜成像的管理与决策,间接检眼镜仍然是标准的检查方法。

3 人工智能和多模态影像融合

随着人工智能的蓬勃发展,其在视网膜疾病中的筛查与诊疗迅速发展。Mao 等[44]基于真彩 UWF 和传统眼底彩照构建了像素级注释 DR 数据集 TJDR,其中包含 561 张图像并标记了微血管瘤、硬性渗出、软性渗出及出血四种常见病变,为 DR 识别和分类技术的发展奠定了基础。基于 173 例复发性视网膜脱离患者的 554 张真彩 UWF 构建的 ResNet-50 模型和 Inception-ResNet-V2 模型[45],在复发性视网膜脱离检测中的特征曲线下面积(area under curve, AUC)为 0.929 和 0.930,平均准确率为 84.4%和 85.6%,灵敏度为 94.3%和 83.6%,特异性为 78.2%和 88.6%,性能接近甚至优于初级眼科医生,略逊于高级眼科医生。此外增强 UWF 眼底图像的高级算法 UWF-Net[46]可提供更好的图像质量并保留特征细节,进而缩短诊断时间及提高诊断准确率,但模型所运用的数据集均为中国汉族人口,存在不同民族和种族群体的适用性问题,仍需进一步研究以实现不同群体的全面覆盖。目前基于真彩 UWF 图像的人工智能对视网膜疾病的相关研究和在临床中的应用仍相对较少,具有广泛的研究及应用潜力。

真彩 UWF 与其他影像技术的联合应用的多模态影像融合逐渐成为发展趋势。其中在真彩 UWF 联合光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)检查以评估 DR 分级的研究中显示出了与裂隙灯检查良好的一致性[5]。郭小东等[47]也肯定了真彩 UWF 在 DR 筛查中的临床应用价值,其研究指出真彩 UWF 联合 OCT 法与 FFA 法对 DR 的分类具有很强的一致性($\kappa=1.000$, $P<0.001$),同时其检查方便快捷,可为进一步诊疗与病患规范化管理提供有效指导,适合用于 DR 大规模筛查。Stino 等[48]则将其与广角光学相干断层扫描血管造影(widefield-optical coherence tomography angiography, WF-OCTA)联合运用,指出真彩图像上的视网膜内微血管异常及周边部病变与 OCTA 显示的视网膜无灌注区在地形分布上呈现高度正相关,这提示真彩 UWF 与 WF-OCTA 联合的非侵入性多模态成像策略可在无需注射造影剂的条件下有效评估中周部视网膜血管状态。未来将步入医疗体系与人工智能结合的时代,以真彩 UWF 联合其他影像技术构建的多模态成像体系并联合人工智能,可能是优化诊疗流程、降低视网膜疾病漏诊率及促进远程医疗发展的可行方向。

4 争议与挑战

虽然真彩 UWF 在视网膜疾病研究中已取得一定进展,但在成像视野方面,“真彩”与“广角”能否兼顾的问题仍存在着争议。Chen 等[8]比较了单张 cSLO UWF 和两张真彩 UWF 拼接图像的大小,结果显示 cSLO UWF 图像上描绘的相对像素比(510.4 *vs* 355.6)和视网膜面积(765.6 mm^2 *vs* 566.5 mm^2,比例为 1.35∶1)均明显更大,类似的结论亦见于其他研究[25,49],尽管真彩 UWF 通过两张图像拼接可以实现 200°的视场,与 cSLO UWF 的大小相似,但 cSLO UWF 始终要比真彩 UWF 捕获更多的面积,真彩 UWF 需要更多额外的拼接才能覆盖极周边的视网膜[23],进而增加了检查时间并提高了患者配合要求。此外不同系统在各象限的成像表现上亦存在差异,真彩 UWF 在鼻下象限显示的血管分支更多,可更好地观察鼻下区域,而 cSLO UWF 则在颞上象限显示的血管分支更多,可更好地观察颞侧区域[50-51],这可能与真彩 UWF 的镜头与眼部距离相对较远、患者鼻梁遮挡及焦点略微靠近黄斑中心凹的鼻侧等因素相关[11,51]。因此在极周边病变评估中,真彩 UWF 可能仍需要结合 cSLO UWF 或间接检眼镜作为额外补充。值得注意的是,有报道显示[52]ICL 植入术后相同角度下真彩 UWF 与 cSLO UWF 的成像范围均有所扩大,其中真彩 UWF 的可视范围更为广泛,然而该研究仅分析了两者 133°的视野图像,其他视野仍有待揭示。此外,在检查用时上,Fantaguzzi 等[2]比较了真彩 UWF 与 cSLO UWF 的成像时间,结果为 cSLO UWF 的用时较为节省,这与 Chen 等[8]结论相同,尽管结果均无统计学意义。究其原因可能为 cSLO UWF 仅取单张拍摄图像,而真彩 UWF 则采用了多张拍摄的拼接模式,增加了拍摄次数;其次真彩 UWF 应用于临床的时间相对较短,技术人员在操作技能和速度上仍有一定的上升空间。

尽管真彩 UWF 在视网膜疾病的诊疗价值已得到了初步展现,但目前现有的研究数量有限,虽然大多数研究报告了其与 cSLO UWF 或间接检眼镜之间的差异,但检测不同视网膜疾病的能力仍然非常接近,因此其确切的临床意义仍需要更多的研究加以评估和验证,临床医生如何合理有效地利用真彩 UWF 以提高视网膜疾病的诊治水平尚有待思考和探索;其次,现有研究仅局限于眼底成像,而真彩 UWF 在血管造影等方面的相关研究尚处于研究空白,未来有待开展更多研究以探索其对 DR、视网膜静脉阻塞、葡萄膜炎等累及眼底周边部的血管性疾病的诊断、分期、治疗以及随访中的价值;此外真彩 UWF 设备较高的购置成本与维护费用,在一定程度上制约了其在基层医疗机构的推广和应用,亦是未来需要关注的问题。

综上所述,真彩 UWF 在 DR 的诊断及分级、新生血管性 ARMD 的筛查、周边视网膜变性及视网膜裂孔的检出和眼内肿瘤的色彩鉴别等方面已初步展现出一定的临床应用价值。与 cSLO UWF 相比,真彩 UWF 在鼻下区域的病变识别及色彩辨识方面可能更具优势,而 cSLO UWF 在颞侧和极周边区域病变识别上仍保持优势,两者在临床应用中具有一定的互补性。未来,随着真彩超广角成像技术与人工智能的不断融合,以及与其他影像技术构建的多模态影像技术的协同应用,真彩超广角成像技术在视网膜疾病的诊疗中应用前景广阔,有可能推动视网膜疾病的临床诊治及科研水平的进一步发展。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。
作者贡献声明:潘韵琪论文选题与修改,初稿撰写,文献检索;唐琼燕选题指导,论文修改及审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

[1] Bernardes R, Serranho P, Lobo C. Digital ocular fundus imaging: a review. Ophthalmologica, 2011,226(4):161-181.
[2] Fantaguzzi F, Servillo A, Sacconi R, et al. Comparison of peripheral extension, acquisition time, and image chromaticity of Optos, Clarus, and EIDON systems. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2023, 261(5):1289-1297.
[3] Oishi A, Hidaka J, Yoshimura N. Quantification of the image obtained with a wide-field scanning ophthalmoscope. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2014,55(4):2424.
[4] Inoue M, Yanagawa A, Yamane S, et al. Wide-field fundus imaging using the Optos Optomap and a disposable eyelid speculum. JAMA Ophthalmol, 2013,131(2):226.
[5] Lim WS, Grimaldi G, Nicholson L, et al. Widefield imaging with Clarus fundus camera vs slit lamp fundus examination in assessing patients referred from the National Health Service diabetic retinopathy screening programme. Eye (Lond), 2021,35(1):299-306.
[6] 邓轩, 张静琳. 超广角眼底成像技术的发展及应用. 眼科学报, 2022,37(7):585-594.
[7] 卢炳兴, 陈倩茵, 张静琳. 人工智能在视网膜脱离诊治和预后中的研究进展. 国际眼科杂志, 2025,25(3):434-439.
[8] Chen A, Dang S, Chung MM, et al. Quantitative comparison of fundus images by 2 ultra-widefield fundus cameras. Ophthalmol Retina, 2021,5(5):450-457.
[9] Ho A, Feng LS, Rozema JJ, et al. Retinal shadows of multisegment lenses in fundus imaging. Ophthalmic Physiol Opt, 2025, 45(5): 1098-1103.
[10] Maruyama-Inoue M, Kitajima Y, Mohamed S, et al. Sensitivity and specificity of high-resolution wide field fundus imaging for detecting neovascular age-related macular degeneration. PLoS One, 2020, 15(8):e0238072.
[11] Kumar J, Kohli P, Babu N, et al. Comparison of two ultra-widefield imaging for detecting peripheral retinal breaks requiring treatment. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2021, 259(6): 1427-1434.
[12] Teo ZL, Tham YC, Yu M, et al. Global prevalence of diabetic retinopathy and projection of burden through 2045: systematic review and meta-analysis. Ophthalmology, 2021,128(11):1580-1591.
[13] Solomon SD, Goldberg MF. ETDRS grading of diabetic retinopathy: still the gold standard? Ophthalmic Res, 2019, 62(4): 190-195.
[14] Patz A, Smith RE. The ETDRS and diabetes 2000. Ophthalmology, 1991,98(5):739-740.
[15] Cherian J, Giridhar A, Sivaprasad S, et al. Predominant peripheral lesions in patients with diabetic retinopathy and its association with systemic comorbidities. Indian J Ophthalmol, 2022,70(8):3021-3025.
[16] Shimizu K, Kobayashi Y, Muraoka K. Midperipheral fundus involvement in diabetic retinopathy. Ophthalmology, 1981, 88(7): 601-612.
[17] Wessel MM, Aaker GD, Parlitsis G, et al. Ultra-wide-field angiography improves the detection and classification of diabetic retinopathy. Retina, 2012,32(4):785-791.
[18] Hirano T, Imai A, Kasamatsu H, et al. Assessment of diabetic retinopathy using two ultra-wide-field fundus imaging systems, the Clarus® and Optos™ systems. BMC Ophthalmol, 2018,18(1):332.
[19] Santos AR, Ghate S, Lopes M, et al. ETDRS grading with CLARUS ultra-widefield images shows agreement with 7-fields colour fundus photography. BMC Ophthalmol, 2024,24(1):387.
[20] 李盈龙, 彭小宁, 王光鑫, 等. 超广角眼底成像在糖尿病视网膜病变筛查中的应用. 安徽医学, 2023,44(2):166-169.
[21] Duncan N,Barrett N, Schildroth K, et al. Comparison of standard 7-field, clarus, and optos ultrawidefield imaging systems for diabetic retinopathy (COCO study). Ophthalmol Sci, 2024,4(3):100427.
[22] Khan R, Raman S, Karamcheti SKM, et al. Comparison of two ultra-widefield cameras with high image resolution and wider view for identifying diabetic retinopathy lesions. Transl Vis Sci Technol, 2021, 10(12):9.
[23] Sun YY, Chen XJ, Song ZM, et al. Utilizing fundus images captured by two ultra-wide field imaging systems to measure diagnostic indicators and assess the grade of diabetic retinopathy. BMC Ophthalmol, 2025,25(1):72.
[24] 肖元元, 但汉东, 肖天雷, 等. 免散瞳双视野45°眼底成像系统与两种免散瞳超广角眼底成像系统在糖尿病视网膜病变快速筛查中的对比评估. 中华眼底病杂志, 2022,38(8):681-687.
[25] Xiao YY, Dan HD, Du XF, et al. Assessment of early diabetic retinopathy severity using ultra-widefield Clarus versus conventional five-field and ultra-widefield Optos fundus imaging. Sci Rep, 2023, 13(1):17131.
[26] Scanlon PH, Gruszka-Goh M, Javed U, et al. The Scanning Confocal Ophthalmoscopy for Diabetic eye screening (CONCORDIA) study paper 1. Eye (Lond), 2024,38(18):3539-3546.
[27] Age-Related Eye Disease Study Research Group. Potential public health impact of age-related eye disease study results. Arch Ophthalmol, 2003, 121(11): 1621-1624.
[28] Mitchell P, Liew G, Gopinath B, et al. Age-related macular degeneration. Lancet, 2018,392(10153):1147-1159.
[29] Ying GS, Maguire MG, Pan W, et al. Baseline predictors for five-year visual acuity outcomes in the comparison of AMD treatment trials. Ophthalmol Retina, 2018,2(6):525-530.
[30] Midena E, Marchione G, di Giorgio S, et al. Ultra-wide-field fundus photography compared to ophthalmoscopy in diagnosing and classifying major retinal diseases. Sci Rep, 2022,12(1):19287.
[31] Natkunarajah M, Goldsmith C, Goble R. Diagnostic effectiveness of noncontact slitlamp examination in the identification of retinal tears. Eye (Lond), 2003,17(5):607-609.
[32] 魏文斌. 熟练掌握双目间接检眼镜检查法是眼科医师的基本功. 眼科, 2002,11(3):133-135.
[33] Purbrick RMJ, Izadi S, Gupta A, et al. Comparison of Optomap ultrawide-field imaging versus slit-lamp biomicroscopy for assessment of diabetic retinopathy in a real-life clinic. Clin Ophthalmol, 2014, 8: 1413-1417.
[34] 郭家箭, 杨根兰, 唐鹏钧. 超广角眼底照相在孔源性视网膜脱离术前检查的临床应用研究. 中国现代医生, 2023,61(12):74-76.
[35] Xu FC, Hu XJ, Wang YZ, et al. The specificity rates of clarus

500™ ultra-wide-field retinal imaging for detecting peripheral retinal lesions in medium-to-high myopia eyes. Ophthalmic Res, 2025,68(1):352-359.
[36] Guo Y, Yan H, Guo CJ, et al. Comparative analysis of two retinal fractures with ultrabroad-angle fundus photography systems. Biomed Rep, 2024,20(2):34.
[37] Karatepe Hashas AS, Popovic Z, Abu-Ishkheidem E, et al. A new diagnostic method for retinal breaks in patients with posterior vitreous detachment: Ultra-wide-field imaging with the Zeiss Clarus 700. Acta Ophthalmol, 2023,101(6):627-635.
[38] Schalenbourg A, Zografos L. Pitfalls in colour photography of choroidal tumours. Eye (Lond), 2013,27(2):224-229.
[39] Callaway NF, Mruthyunjaya P. Widefield imaging of retinal and choroidal tumors. Int J Retina Vitreous, 2019,5(1):49.
[40] Paul Brett J, Lake A, Downes S. Colour imaging in the monitoring and documentation of choroidal naevi. Are Optomap colour images adequate for this purpose? J Vis Commun Med, 2016,39(1-2):10-17.
[41] Barbosa GCS, Marback EF, Novais EA, et al. Choroidal nevus through a broader vision: Retinal imaging acquisition captured with Broad Line Fundus Imaging technology. Eur J Ophthalmol, 2024, 34(6):2020-2024.
[42] Ballios BG, Weisbrod D, Kohly R, et al. Wide-field true-colour imaging and clinical characterization of a novel GRK1 mutation in Oguchi disease. Doc Ophthalmol, 2020,141(2):181-185.
[43] Belenje A, Reddy RU, Optom B, et al. Non-contact widefield neonatal retinal imaging for retinopathy of prematurity using the Clarus 700 high resolution true colour reflectance imaging. Eye (Lond), 2023, 37(9):1904-1909.
[44] Mao J, Ma X, Bi Y, et al. TJDR: a high-quality diabetic retinopathy pixel-level annotationdataset. arXiv preprint, 2023.
[45] Zhou WD, Dong L, Zhang K, et al. Deep learning for automatic detection of recurrent retinal detachment after surgery using ultra-widefield fundus images: a single-center study. Adv Intell Syst, 2022, 4(9):2200067.
[46] Wei QL, Gu ZY, Tan WM, et al. Development and Validation of an Automatic Ultrawide-Field Fundus Imaging Enhancement System for Facilitating Clinical Diagnosis: A Cross-Sectional Multicenter Study. Engineering, 2024,41(10):179-188.
[47] 郭小东, 钟林辉, 赖春果, 等. 免散瞳真彩超广角眼底成像联合光学相干断层扫描在 DR 临床筛查中的应用评价. 眼科学, 2024(4):91-98.
[48] Stino H, Huber KL, Niederleithner M, et al. Association of diabetic lesions and retinal nonperfusion using widefield multimodal imaging. Ophthalmol Retina, 2023,7(12):1042-1050.
[49] Conti TF, Ohlhausen M, Hom GL, et al. Comparison of widefield imaging between confocal laser scanning ophthalmoscopy and broad line fundus imaging in routine clinical practice. Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina, 2020,51(2):89-94.
[50] Stino H, Riessland S, Sedova A, et al. Comparison of two ultra-widefield color-fundus imaging devices for visualization of retinal periphery and microvascular lesionsin patients with early diabetic retinopathy. Sci Rep, 2022,12(1):17449.
[51] Matsui Y, Ichio A, Sugawara A, et al. Comparisons of effective fields of two ultra-widefield ophthalmoscopes, optos 200Tx and clarus 500. Biomed Res Int, 2019,2019:7436293.
[52] Han XS, Xu YJ, Chen Z, et al. Comparison of clarus and optomap ultra-widefield imaging systems before and after EVO-ICL implantation in high myopia. Ophthalmic Res, 2023,66(1):1376-1382.