

AS-OCTA 测量参数在眼前段疾病诊疗中的应用

蔡书欣^{1,2}, 李海波^{1,2}

引用:蔡书欣,李海波. AS-OCTA 测量参数在眼前段疾病诊疗中的应用. 国际眼科杂志, 2025,25(4):589-593.

基金项目:福建省卫健委中青年骨干人才培养项目(No. 2021GGB039);福建省自然科学基金计划项目(No. 2023J011582);厦门市自然科学基金项目(No.3502Z202374103)

作者单位:¹(361005)中国福建省厦门市,厦门大学附属厦门眼科中心 福建省眼表与角膜病重点实验室 厦门市眼表与角膜疾病重点实验室 厦门市眼部疾病重点实验室 厦门市眼部疾病临床医学研究中心 厦门大学附属厦门眼科中心转化医学研究所;
²(361000)中国福建省厦门市,厦门大学

作者简介:蔡书欣,在读硕士研究生,研究方向:眼外伤。

通讯作者:李海波,博士,副主任医师,硕士研究生导师,研究方向:晶状体、玻璃体、视网膜、眼外伤. hyberlee@163.com

收稿日期:2024-06-19 修回日期:2025-02-20

摘要

眼前节光学相干断层扫描血管造影(AS-OCTA)作为一种新兴的眼前节成像技术,近年来已在结膜、巩膜、角膜、虹膜等组织的血管成像中得到应用。文章重点研究AS-OCTA在提供眼前节血管形态信息及血管密度定量测量方面的能力,包括血管密度、血管直径和分支情况等关键参数。相较于传统的血管成像技术(荧光素血管造影、吲哚菁绿血管造影),AS-OCTA以其高分辨率和信息丰富度,展现出在眼科诊断和治疗中的巨大潜力,预示着其将成为未来眼科临床实践中不可或缺的工具。文章旨在探讨AS-OCTA在眼前段疾病诊断和治疗中的应用价值,以及其在提高临床决策准确性方面的重要性。

关键词:眼前节光学相干断层扫描血管造影(AS-OCTA);眼前段;荧光素血管造影;吲哚菁绿血管造影

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2025.4.12

Application of anterior segment optical coherence tomography angiography parameters in the diagnosis and treatment of anterior segment diseases

Cai Shuxin^{1,2}, Li Haibo^{1,2}

Foundation items: Young and Middle-aged Backbone Personnel Training Project of Fujian Provincial Health Commission (No. 2021GGB039); Natural Science Foundation of Fujian Province (No. 2023J011582); Natural Science Foundation of Xiamen City (No. 3502Z202374103)

¹Xiamen Eye Center of Xiamen University; Fujian Key Laboratory of Corneal & Ocular Surface Diseases; Xiamen Key Laboratory of Corneal & Ocular Surface Diseases; Xiamen Key Laboratory of Ophthalmology; Xiamen Clinical Research Center for Eye Diseases;

Translational Medicine Institute of Xiamen Eye Center of Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, China; ²Xiamen University, Xiamen 361000, Fujian Province, China

Correspondence to: Li Haibo. Xiamen Eye Center of Xiamen University; Fujian Key Laboratory of Corneal & Ocular Surface Diseases; Xiamen Key Laboratory of Corneal & Ocular Surface Diseases; Xiamen Key Laboratory of Ophthalmology; Xiamen Clinical Research Center for Eye Diseases; Translational Medicine Institute of Xiamen Eye Center of Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, China; Xiamen University, Xiamen 361000, Fujian Province, China. hyberlee@163.com

Received:2024-06-19 Accepted:2025-02-20

Abstract

• Anterior segment optical coherence tomography angiography (AS - OCTA), as an emerging imaging technology for the anterior segment of the eye, has been increasingly applied in vascular imaging of the conjunctiva, sclera, cornea, and iris in recent years. This article focuses on the capability of AS-OCTA in providing morphological information of the anterior segment vasculature and quantitative measurements of vascular density, including key parameters such as vessel density, vessel diameter, and branching patterns. Compared to traditional imaging techniques (fluorescein angiography and indocyanine green angiography), AS - OCTA demonstrates significant potential in ophthalmic diagnosis and treatment due to its high resolution and richness of information, suggesting that it will become an indispensable tool in the future ophthalmic clinical practice. The purpose of this study is to explore the application value of AS - OCTA in the diagnosis and treatment of anterior segment diseases, as well as its importance in enhancing the accuracy of clinical decision-making.

• KEYWORDS: anterior segment optical coherence tomography angiography(AS-OCTA); anterior segment; fluorescein angiography; indocyanine green angiography

Citation:Cai SX, Li HB. Application of anterior segment optical coherence tomography angiography parameters in the diagnosis and treatment of anterior segment diseases. Guoji Yanke Zazhi(Int Eye Sci), 2025,25(4):589-593.

0 引言

近年来,光学相干断层扫描血管造影(optical coherence tomography angiography, OCTA)作为光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)的重要进展,已成为眼科成像领域的研究热点。OCTA利用光学干涉技术,测量光反射的变化来实现血管成像。与传统的血管

成像技术[荧光素血管造影(fluorescein angiography, FA)和吲哚菁绿血管造影(indocyanine green angiography, ICGA)]相比,OCTA无需造影剂或荧光染料,具有无创、快速、高分辨率、非接触式、可量化血管参数等优点。现OCTA主要应用于眼后段成像^[1-2],其在眼前节的应用却鲜有探索。

当前眼前节光学相干断层扫描血管造影(anterior segment optical coherence tomography angiography, AS-OCTA)临床运用较少,其临床应用价值与传统成像技术相比,还需进一步深入研究。AS-OCTA在眼前段疾病中早期诊断、疗效评估、手术规划以及预后判断等方面显示出巨大的潜力。尽管传统血管造影是很多眼前段疾病诊断的金标准,但AS-OCTA有望成为更理想的替代方法之一。本文综述了AS-OCTA的技术优势、成像发展以及在多种眼部疾病中的应用,并探讨了其局限性以及未来发展方向。

1 AS-OCTA对比传统技术的特点

AS-OCTA是新兴的眼前节成像技术,与传统的活体超声生物显微镜(ultrasound biomicroscopy, UBM)、FA和ICGA有着显著的区别和联系。

与UBM相比,AS-OCTA在分辨率和操作便捷性方面具有明显的优势。AS-OCTA的轴向分辨率为 $18\pm 2\ \mu\text{m}$,优于UBM的 $50\pm 2\ \mu\text{m}$;AS-OCTA是一种非接触式成像技术,无需表面麻醉,患者在直立位下完成检查,而UBM是一种接触式检查,患者在仰卧位实施检查,通常在检查前运用表面麻醉药物,探头悬浮在角膜表面,可能引起患者不适^[3],且在角膜、巩膜存在创口或者感染征象时禁止实施。此外,UBM成像易受虹膜色素沉着、角膜折射率和曲率影响,而AS-OCTA能更清晰地成像睫状体、晶状体、悬韧带或色素虹膜后方的囊肿等结构^[4]。总的来说AS-OCTA能提供高分辨率的眼部血管影像,而UBM更适用于眼部结构的超声成像。

与FA、ICGA相比,AS-OCTA在于成像原理和应用范围存在差异。FA与ICGA通过静脉注射荧光素来评估虹膜、视网膜和脉络膜的血流情况。而AS-OCTA是一种无需造影剂的成像技术,专注于眼前节的血管结构和血流动力学。AS-OCTA能提供比虹膜荧光素血管造影(iris fluorescein angiography, IFA)更详细的虹膜血管图像,尤其是在深部和色素沉着较多的区域^[5]。尽管AS-OCTA可能受到眼球运动和注视不充分的影响,且在检测血管渗漏方面能力有限^[5],但其在早期监测虹膜血管状况方面展现出潜在优势。

此外,AS-OCTA还能客观量化角膜血管化,作为一种无创替代方法,它能评估角膜血管形成的严重程度和活性,有助于在角膜移植前确定风险等级^[6],增进对角膜微循环的理解。

2 AS-OCTA测量参数在眼前段各类疾病的运用

AS-OCTA测量的参数包括血管密度、血流速度、血管直径、分支情况等。这些参数使医生能够评估眼部血管病变,监测病程进展并指导治疗决策。

2.1 结膜与巩膜疾病 结膜微循环是一个由睫状前动脉和睑弓动脉供血的非均质网状系统,紧邻角膜缘,其变化对眼部疾病的筛查与诊断具有重要意义^[7]。由于结膜的半透明性质,AS-OCTA能进行无创观察,且其在显示结膜和巩膜血管密度方面优于传统裂隙灯检查^[8]。Akagi等^[9]研究表明OCTA能清晰地可视化健康受试者结膜和

巩膜血管,并量化不同深度的血管特征,其深层图像与ICGA图像相似,为评估眼表血流变化提供了有价值的工具。Rafizadeh等^[10]通过AS-OCTA分析了甲状腺眼病患者眼眶减压术后眼表血管改变,这对于评估手术效果、监测疾病活动性及指导治疗决策具有重要价值。

2.1.1 结膜炎与巩膜炎 既往研究使用AS-OCTA对患者40例60眼进行眼部发红程度评估,依据5级结膜红斑评分表分组,并与23例35眼的裂隙灯照相结果用10级结膜红斑评分表进行比较,证实AS-OCTA测量的血管密度是评估眼部发红的可靠参数^[9]。眼部发红与炎症严重程度相关,准确评估有助于监测疾病进展和治疗。此外,Hau等^[11]通过AS-OCTA测量血管密度指数,并用AS-OCT测量巩膜厚度(结膜上皮、结膜/睑结膜复合体和睑结膜/巩膜复合体)评估睑结膜炎和巩膜炎患者,研究发现结膜炎、巩膜炎和正常对照组(招募医院急诊科中无眼部或系统性疾病的人员,且年龄与患者组匹配)之间存在差异,巩膜炎患者的血管密度和组织厚度高于结膜炎患者,表明这些参数能有效区分结膜炎和巩膜炎,AS-OCTA有望成为评估药物治疗结膜炎、巩膜炎疗效的方法之一。

2.1.2 结膜色素痣 结膜黑色素病变的良、恶性鉴别具有一定挑战,现有成像技术难以准确区分。FA现为主要研究手段之一,但其操作繁琐且在结膜黑色素病变中应用较少。Brouwer等^[12]对25例未经治疗的结膜病变患者[5例黑色素瘤,13例色素痣,7例原发性获得性黑色素沉着症(primary acquired melanosis, PAM)]进行AS-OCTA检查,研究发现结膜黑色素瘤和痣表现出相似的血管扭曲模式,而PAM的血管结构与正常结膜相近。尽管AS-OCTA能无创成像血管结构,目前还无法区分良、恶性,但随着研究的进一步深入,其在结膜黑色素病变的血管成像研究中显示出潜力,未来有可能为鉴别病变性质提供新视角。

2.1.3 结膜肿瘤 AS-OCTA能够提供血管变化的定量分析^[13]。异常丰富的血流不仅是炎症的指征,也是恶性肿瘤的标志之一,Binotti等^[14]用AS-OCTA对比9例恶性病变与22例良性病变患者的结膜血管特征,发现恶性病变区域的血管深度和直径显著大于良性病变,这些参数可能成为区分眼表良恶性病变的关键生物标志物,尤其在上皮和色素性病变中。

2.1.4 翼状胬肉 AS-OCTA可以评估翼状胬肉切除术后结膜自体移植的愈合过程。研究发现28例术后早期移植区域存在水肿,随着时间的推移移植植物开始再血管化^[15-16]。因此,AS-OCTA可帮助医生在术后早期评估移植植物的健康状况,指导裸露巩膜表面的处理以及探索移植植物血管再生模式与翼状胬肉复发之间的关系。

2.1.5 青光眼术后结膜滤过泡 小梁切除术是常用的抗青光眼滤过手术之一,手术成功关键在于维持滤过泡功能及促进结缔组织增生、重塑和血管生成,AS-OCTA在青光眼术后结膜滤过泡疗效评估方面表现出独特优势。Luo等^[17]使用AS-OCTA对46例原发性开角型青光眼患者术后6mo的滤过泡进行血管密度(vessel density, VD)和血管直径指数(vessel diameter index, VDI)进行测量,发现血管直径指数和血管密度可能成为术后评估的重要指标。眼内压(intraocular pressure, IOP) $\leq 21\ \text{mmHg}$ 时,VDI与IOP正相关;IOP $> 21\ \text{mmHg}$ 时,VD与IOP增加正相关。Okamoto等^[18]发现通过AS-OCTA发现小梁网术后深层血管VD显著降低。

2.1.6 结膜血管密度 AS-OCTA 在角膜健康评估及结膜血管变化监测中具有重要价值。巩膜接触镜用于临床矫正不规则散光和减轻眼表损伤引起的不适。Schneider 等^[19]使用 AS-OCTA 测量 Preserflo Microshunt 植入术后滤泡血管密度 (bleb vessel density, BVD), 研究发现早期术后 BVD 能有效预测手术的成功率, 有助于及时调整治疗策略。因此, AS-OCTA 为青光眼术后的疗效评价提供了新视角。Jesus 等^[20]使用 AS-OCTA 测量配戴巩膜接触镜者的结膜血管密度, 发现圆锥角膜患者配戴后结膜血管密度降低, 提示可能局部缺氧, 为结膜血管状况的长期监测提供了工具。Eguchi 等^[21]研究白内障手术中巩膜烧灼对结膜及巩膜血管密度的影响, 通过 AS-OCTA 发现非烧灼组在术后 21 d 巩膜切口血管密度显著增加, 而烧灼组在术后 90 d 巩膜血管密度也未能恢复术前血管密度, 且结膜血管密度也比术前减少, 强调了手术中尽可能避免巩膜切口烧灼, 保护眼部血管系统。

2.2 角膜疾病

2.2.1 角膜新生血管 Stanzel 等^[22]研究表明 AS-OCTA 在监测角膜新生血管比 ICGA 和裂隙灯照相更敏感, 尤其在探测小血管、评估血管深度及生长情况方面表现优异。Binotti 等^[23]使用 AS-OCTA 对角膜新生血管严重程度进行定量分析, 发现其深度和体积随病变严重程度增加而增长, 而面积和后界限的变化与特定严重程度阶段相关。Kiritoshi 等^[24]证实 AS-OCTA 在评估角膜缘干细胞缺乏症患者角膜新生血管的优势, 能客观评估新生血管深度, 并区分其来源, 强调了其在角膜移植成功率评估中的重要性。Donner 等^[25]首次将交联技术治疗角膜新生血管, 并创新性地使用 AS-OCTA 进行监测, 为该病治疗提供了新视角。

2.2.2 角膜肿瘤 Liu 等^[26]研究揭示了 AS-OCTA 在可视化和量化眼表鳞状上皮肿瘤 (ocular surface squamous neoplasia, OSSN) 患者角膜和结膜 OSSN 中的血管模式, 包括肿瘤下方组织 (200 μm) 及相邻组织。AS-OCTA 能够展示肿瘤横截面的高反射上皮与亚上皮组织中的血流。研究发现肿瘤内部血管密度最高, 其次是亚上皮组织和肿瘤下方组织。AS-OCTA 还能揭示裂隙灯下无法观察到的角膜肿瘤中的血管密度。结膜肿瘤的血管密度最高, 其次是结膜 OSSN 相邻的亚上皮组织和肿瘤下方组织。这些发现为 OCTA 在 OSSN 血管成像的临床应用和未来研究提供了基础, 尤其是在诊断、分类、治疗指导和疗效等方面。Theotoka 等^[27]研究进一步证实了 AS-OCTA 在评估 OSSN 血管模式和治疗效果方面的潜力, 他们对 10 例经临床和高分辨率 OCT 确诊的 OSSN 患者进行了 AS-OCTA 图像分析, 结果显示治疗后肿瘤面积、体积、深度和密度显著减小, 且肿瘤周围血管密度最终趋于正常, 该研究为监测 OSSN 血管变化和评估局部药物治疗效果提供了新视角。

2.2.3 角膜上皮干细胞缺乏症 随着技术发展, AS-OCTA 不仅能够评估角膜缺血程度, 还能预测角膜上皮干细胞缺乏症 (limbal stem cell deficiency, LSCD) 的风险及手术干预的必要性。在急性眼部烧伤中, 通过 AS-OCTA 对角膜缺血程度的评估, 可以识别 LSCD 的进展发生概率, 并进行早期干预^[28]。Binotti 等^[29]研究显示, AS-OCTA 作为一种非侵入性成像技术, 避免了荧光素泄漏等问题, 能够定量测量从角膜缘到角膜上延伸的最远血管距离 (corneal

vascular extension, CoVE) 以及最表浅处角膜血管的上缘至最深处角膜血管的下缘之间的距离 (corneal vascular thickness, CoVT) 等参数, 并且在 LSCD I 期就能检测到这些变化, 客观评估 LSCD 的严重程度。AS-OCTA 对于 LSCD 的诊断、分期和监测具有重要作用。

2.3 虹膜疾病 眼科医生传统上依赖 ICGA、FA 等有创检查来评估眼前节血流, 但这些方法存在造影剂相关全身不良反应。AS-OCTA 提供了一种无创替代方案, 能够客观、定量监测虹膜血管灌注, 并提供比 ICGA、FA 更详细的图像, 但其图像质量易受眼球固定不充分进而产生运动伪影的影响^[5]。

2.3.1 虹膜色素痣 虹膜色素痣是临床上常见的虹膜病变之一, 有时难以与黑色素瘤鉴别, IFA 存在时间长、侵入性强、血管网络显示不清晰等局限性, Allegrini 等^[30]首次比较 AS-OCTA 与 IFA 在虹膜肿瘤血管系统评估中的应用, 发现 OCTA 无需荧光素即可清晰观察虹膜痣的血管结构, 有助于判断色素性虹膜肿瘤的良好恶性。Skalet 等^[31]研究进一步通过 AS-OCTA 成像对比正常志愿者与虹膜黑色素瘤或良性病变 (包括雀斑、痣和虹膜色素上皮囊肿) 患者的虹膜血管, 发现虹膜黑色素瘤的瘤内血管扭曲、紊乱且血管密度显著高于虹膜色素痣和正常虹膜。

2.3.2 虹膜肿瘤 Chien 等^[32]研究显示 AS-OCTA 能够显示虹膜血管瘤直径较大、血流强烈的血管环状结构, 覆盖在直径较小的放射状虹膜血管上, 背景为低信号的虹膜基质, 为诊断和治疗虹膜血管瘤提供了参考。Williams 等^[33]研究发现 AS-OCTA 在虹膜微血管瘤病变研究中具有较短的采集时间、无需注射染料及三维可视化等优点。AS-OCTA 图像能够显示未扩张的虹膜血管在瞳孔边缘形成紧密缠绕的血管丛, 有助于区分微血管瘤病变和虹膜新生血管。此外, Egulior Álvarez 等^[34]也报道了 4 例虹膜血管异常, 包括虹膜动静脉畸形和虹膜微血管瘤, 该研究利用多模式成像技术, 通过运用 IFA、AS-OCT 和 AS-OCTA 等技术, 使医生能够更准确地诊断虹膜血管瘤, 并与房角或虹膜新生血管、黑色素瘤和其他虹膜血管肿瘤的进行鉴别。

2.3.3 虹膜新生血管 虹膜新生血管 (neovascularization of the iris, NVI) 是一种严重的继发性疾病, 早期诊断对于预防新生血管型青光眼和视力丧失至关重要^[35]。如今 AS-OCTA 技术在可视化方面较传统 IFA 方法更敏感。在早期阶段, AS-OCTA 能对 NVI 进行分期, 并与临床已有的分期相匹配^[36]。AS-OCTA 不仅有助于 NVI 的早期诊断, 还能评估治疗效果。临床上通常采用抗血管内皮生长因子 (vascular endothelial growth factor, VEGF) 和全视网膜光凝对 NVI 进行治疗, Shiozaki 等^[37]通过 AS-OCTA 监测发现抗 VEGF 药物治疗后, NVI 完全消退, 血管密度降低, 血管腔隙增加。同时, Akagi 等^[38]研究也显示, 全视网膜光凝治疗 1 mo 后, NVI 基本消失, 患者眼压恢复正常, 而深层的血管几乎不受影响。这些结果均表明 AS-OCTA 是评估 NVI 治疗效果的有力工具。

2.4 睫状体肿瘤 UBM 和 AS-OCT 能够评估睫状体厚度、睫状体长度和睫状肌厚度等参数, UBM 因其成像优势仍是首选成像方式, 而 AS-OCT 在深层结构成像及动态变化捕捉方面存在局限^[39]。Nagarkatti-Gude 等^[40]报道了 1 例 51 岁男性 Fuchs 腺瘤患者, 该肿瘤穿透虹膜根部。术前 AS-OCTA 显示病变区域血管结构异常, 表现

为非径向扭曲的血管,与正常虹膜血管有明显差异。由于睫状体的穿透性差,目前AS-OCTA尚无法有效成像睫状体肿瘤内部血管。

3 AS-OCTA 局限性与未来方向

AS-OCTA作为一种新兴的眼前节血管成像技术,尽管具备安全、无创、高效等优势,但仍存在局限性。与血管造影相比,AS-OCTA无法区分血管流向且无法检测血管渗漏^[9,22,41]。此外,图像质量问题如条纹伪影和低对比度^[42-44],常因眼部微颤动和光照条件不佳而影响判断,这些问题部分源于现有前节检测设备在自动对焦、眼球跟踪和运动校正方面的不足^[45]。因此,具有自动对焦、眼球跟踪和运动校正功能的集成软件可能是一个重要的解决方案。同时,需要开发一个能够减少阴影和运动伪影的图像处理算法以获得高质量的图像^[46]。Cao等^[47]提出的条纹去除网络和感知结构在合成和真实的OCTA数据集上显示出良好的图像增强效果,改善了图像质量和血管分割性能。然而,内置的自动分割和深度分析系统主要适用于眼后段,对眼前段的适用性有限,需要开发专门的算法以实现更准确的分析^[41]。尽管存在局限性,AS-OCTA在临床应用中仍具有巨大潜力,随着人工智能和设备的发展,AS-OCTA系统可以通过自动化分析和算法提供更准确、快速的图像分割和血管参数提取^[48],这将提高临床诊断率和以及使用的便利性。未来,AS-OCTA的发展将聚焦于技术改进、稳定性提升和临床应用拓展,开发自动化分析工具,增强其在临床实践中的应用价值和影响力。

4 小结

随着技术的进步,AS-OCTA在眼前段疾病的鉴别诊断、术前规划、疗效评估和随访跟踪等方面展现出巨大潜力。AS-OCTA现已被用于监测结膜、巩膜、角膜、虹膜的病理状况,包括眼部炎症、前段肿瘤血管、角膜移植排斥反应、角膜缘干细胞缺乏和NVI等。此外,AS-OCTA还有助于治疗管理,指导如血管病变或瘢痕的角膜移植手术规划。尽管眼前段成像存在挑战,硬件和软件的持续改进有望解决这些问题。

综上所述,AS-OCTA在眼前段疾病的早期诊断、个体化治疗、手术指导和疗效评估中发挥着重要作用,为眼科医生提供了更全面、准确的眼前段组织血管信息,未来有望成为临床实践中的重要工具。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:蔡书欣初稿撰写,文献检索,数据分析;李海波选题指导,论文修改。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

[1] 周梦兰,徐正东,兰长骏,等.飞秒激光辅助与传统超声乳化术后黄斑和视盘区神经纤维层厚度及血管密度变化.国际眼科杂志,2024,24(9):1461-1465.
[2] 曾少杰,谢怀林,张响鸣. OCTA 评估黄斑中心凹无血管区参数对早期糖尿病视网膜病变的诊断价值.国际眼科杂志,2024,24(9):1471-1475.
[3] Ang M, Baskaran M, Werkmeister RM, et al. Anterior segment optical coherence tomography. *Prog Retin Eye Res*, 2018,66:132-156.
[4] Pavlin CJ, Harasiewicz K, Sherar MD, et al. Clinical use of ultrasound biomicroscopy. *Ophthalmology*, 1991,98(3):287-295.
[5] Zett C, Stina DMR, Kato RT, et al. Comparison of anterior segment optical coherence tomography angiography and fluorescein angiography for

iris vasculature analysis. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2018,256(4):683-691.
[6] Ong HS, Tey KY, Ke MY, et al. A pilot study investigating anterior segment optical coherence tomography angiography as a non-invasive tool in evaluating corneal vascularisation. *Sci Rep*, 2021,11(1):1212.
[7] Sun Z, Li Y, Liu R, et al. Progress of bulbar conjunctival microcirculation alterations in the diagnosis of ocular diseases. *Dis Markers*, 2022,2022:4046809.
[8] Aicher NT, Nagahori K, Inoue M, et al. Vascular density of the anterior segment of the eye determined by optical coherence tomography angiography and slit-lamp photography. *Ophthalmic Res*, 2020,63(6):572-579.
[9] Akagi T, Uji A, Huang AS, et al. Conjunctival and intrascleral vasculatures assessed using anterior segment optical coherence tomography angiography in normal eyes. *Am J Ophthalmol*, 2018,196:1-9.
[10] Rafizadeh SM, Heidari M, Aghajani A, et al. Superficial ocular vascular changes after orbital decompression in patients with thyroid ophthalmopathy measured by anterior segment OCT angiography; an observational study. *Sci Rep*, 2024,14(1):14572.
[11] Hau SC, Devarajan K, Ang M. Anterior segment optical coherence tomography angiography and optical coherence tomography in the evaluation of episcleritis and scleritis. *Ocul Immunol Inflamm*, 2021,29(2):362-369.
[12] Brouwer NJ, Marinkovic M, Bleeker JC, et al. Anterior segment OCTA of melanocytic lesions of the conjunctiva and iris. *Am J Ophthalmol*, 2021,222:137-147.
[13] Binotti WW, Nosé RM, Pondelis NJ, et al. Novel application of conjunctival anterior segment optical coherence tomography angiography to assess ocular redness. *Cornea*, 2023,42(12):1520-1527.
[14] Binotti WW, Mills H, Nosé RM, et al. Anterior segment optical coherence tomography angiography in the assessment of ocular surface lesions. *Ocul Surf*, 2021,22:86-93.
[15] Keshet Y, Polat A, Gal-Or O, et al. Limbal-conjunctival autograft healing process-early postoperative OCT angiography study. *Eye*, 2022,36(11):2151-2156.
[16] Masoumi A, Esfandiari A, Khalili A, et al. Assessment of conjunctival autograft reperfusion after pterygium surgery by optical coherence tomography angiography (OCT-a). *Microvasc Res*, 2025,157:104734.
[17] Luo M, Zhu YT, Xiao H, et al. Characteristic assessment of angiographies at different depths with AS-OCTA: implication for functions of post-trabeculectomy filtering bleb. *J Clin Med*, 2022,11(6):1661.
[18] Okamoto Y, Akagi T, Kameda T, et al. Prediction of trabecular meshwork-targeted micro-invasive glaucoma surgery outcomes using anterior segment OCT angiography. *Sci Rep*, 2021,11(1):17850.
[19] Schneider S, Kallab M, Murauer O, et al. Bleb vessel density as a predictive factor for surgical revisions after Preserflo Microshunt implantation. *Acta Ophthalmol*, 2024,102(5):e797-e804.
[20] Jesus J, Dias L, Almeida I, et al. Analysis of conjunctival vascular density in scleral contact lens wearers using optical coherence tomography angiography. *Cont Lens Anterior Eye*, 2022,45(1):101403.
[21] Eguchi S, Amari T, Oniyangi Y, et al. Impact of scleral cautery on limbal vasculature after cataract surgery assessed using optical coherence tomography angiography. *Sci Rep*, 2024,14(1):22530.
[22] Stanzel TP, Devarajan K, Lwin NC, et al. Comparison of optical coherence tomography angiography to indocyanine green angiography and slit lamp photography for corneal vascularization in an animal model. *Sci Rep*, 2018,8:11493.
[23] Binotti WW, Koseoglu ND, Nosé RM, et al. Novel parameters to assess the severity of corneal neovascularization using anterior segment

optical coherence tomography angiography. *Am J Ophthalmol*, 2021,222; 206–217.

[24] Kiritoshi S, Oie Y, Nampei K, et al. Anterior segment optical coherence tomography angiography in patients following cultivated oral mucosal epithelial transplantation. *Am J Ophthalmol*, 2019, 208; 242–250.

[25] Donner R, Schmidinger G, Klimek M, et al. Monitoring the effectiveness of high – fluence peripheral crosslinking for corneal neovascularization with anterior segment optical coherence tomography angiography. *J Clin Med*, 2024,13(13):3804.

[26] Liu ZP, Karp CL, Galor A, et al. Role of optical coherence tomography angiography in the characterization of vascular network patterns of ocular surface squamous neoplasia. *Ocul Surf*, 2020,18(4): 926–935.

[27] Theotoka D, Liu Z, Wall S, et al. Optical coherence tomography angiography in the evaluation of vascular patterns of ocular surface squamous neoplasia during topical medical treatment. *Ocul Surf*, 2022, 25;8–18.

[28] Kate A, Basu S. Role of anterior segment – optical coherence tomography angiography in acute ocular burns. *Diagnostics (Basel)*, 2022,12(3):607.

[29] Binotti WW, Nosé RM, Koseoglu ND, et al. The utility of anterior segment optical coherence tomography angiography for the assessment of limbal stem cell deficiency. *Ocul Surf*, 2021,19:94–103.

[30] Allegrini D, Montesano G, Pece A. Optical coherence tomography angiography of iris nevus: a case report. *Case Rep Ophthalmol*, 2016,7(3):172–178.

[31] Skalet AH, Li Y, Lu CD, et al. Optical coherence tomography angiography characteristics of iris melanocytic tumors. *Ophthalmology*, 2017,124(2):197–204.

[32] Chien JL, Sioufi K, Ferenczy S, et al. Optical coherence tomography angiography features of iris racemose hemangioma in 4 cases. *JAMA Ophthalmol*, 2017,135(10):1106–1110.

[33] Williams BK Jr, di Nicola M, Ferenczy S, et al. Iris microhemangiomas: clinical, fluorescein angiography, and optical coherence tomography angiography features in 14 consecutive patients. *Am J Ophthalmol*, 2018,196:18–25.

[34] Eguilior Álvarez R, Marticorena-Álvarez P. Multimodal imaging in iris vascular tumors: a case series. *Cureus*, 2022,14(11):e31741.

[35] Hayreh SS. Neovascular glaucoma. *Prog Retin Eye Res*, 2007,26(5):470–485.

[36] Roberts PK, Goldstein DA, Fawzi AA. Anterior segment optical coherence tomography angiography for identification of iris vasculature

and staging of iris neovascularization: a pilot study. *Curr Eye Res*, 2017, 42(8):1136–1142.

[37] Shiozaki D, Sakimoto S, Shiraki A, et al. Observation of treated iris neovascularization by swept-source-based en-face anterior-segment optical coherence tomography angiography. *Sci Rep*, 2019,9(1):10262.

[38] Akagi T, Fujimoto M, Ikeda HO. Anterior segment optical coherence tomography angiography of iris neovascularization after intravitreal ranibizumab and panretinal photocoagulation. *JAMA Ophthalmol*, 2020,138(2):e190318.

[39] Lincke JB, Keller S, Amaral J, et al. Ciliary body length revisited by anterior segment optical coherence tomography: implications for safe access to the pars Plana for intravitreal injections. *Graefes Arch Exp Ophthalmol*, 2021,259(6):1435–1441.

[40] Nagarkatti-Gude N, Li Y, Huang D, et al. Optical coherence tomography angiography of a pigmented Fuchs' adenoma (age-related hyperplasia of the nonpigmented ciliary body epithelium) masquerading as a ciliary body melanoma. *Am J Ophthalmol Case Rep*, 2018, 9: 72–74.

[41] Chan SY, Pan CT, Feng Y. Localization of corneal neovascularization using optical coherence tomography angiography. *Cornea*, 2019,38(7):888–895.

[42] Ferrara D. Image artifacts in optical coherence tomography angiography. *Clin Exp Ophthalmol*, 2016,44(5):367–368.

[43] Zang P, Liu G, Zhang M, et al. Automated motion correction using parallel-strip registration for wide-field en face OCT angiogram. *Biomed Opt Express*, 2016,7(7):2823–2836.

[44] Wu X, Gao D, Borroni D, et al. Cooperative low-rank models for removing stripe noise from OCTA images. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2020,24(12):3480–3490.

[45] Ang M, Cai Y, Shahipasand S, et al. En face optical coherence tomography angiography for corneal neovascularisation. *Br J Ophthalmol*, 2016,100(5):616–621.

[46] Brunner M, Romano V, Steger B, et al. Imaging of corneal neovascularization: optical coherence tomography angiography and fluorescence angiography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2018, 59(3): 1263–1269.

[47] Cao J, Xu Z, Xu M, et al. A two-stage framework for optical coherence tomography angiography image quality improvement. *Front Med (Lausanne)*, 2023,10:1061357.

[48] Ang M, Tan ACS, Cheung CMG, et al. Optical coherence tomography angiography: a review of current and future clinical applications. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2018, 256(2): 237–245.