

光学相干断层扫描血管造影(OCTA)在视网膜疾病中的应用新进展

韩林峰

芜湖市眼科医院眼科, 安徽 芜湖

收稿日期: 2023年5月25日; 录用日期: 2023年6月15日; 发布日期: 2023年6月30日

摘要

光学相干断层扫描血管造影(OCTA)是一种新型非侵入性快速血管成像造影技术。本文详细综述了该技术在眼科常见病如年龄相关性黄斑变性(AMD), 糖尿病视网膜病变, 视网膜动脉和静脉闭塞等中的应用, 并将其与目前的荧光血管造影(FA)和吲哚青绿血管造影(ICGA)进行了相关比较, 总结了它对视网膜血管疾病的临床应用价值。OCTA能够显示结构和血流的双重信息, 但也有其应用的局限性包括相对较小的视野, 不能显示血管的渗漏, 以及在患者不配合下的图像伪影等。本文将OCTA的特点和不足进行综述, 说明在临床实际工作中OCTA在大力推广的同时需要进行进一步的研究。

关键词

光学相干断层扫描血管造影(OCTA), 荧光素血管造影(FA), 吲哚青绿血管造影(ICGA), 视网膜血管/生理病理, 脉络膜新生血管/诊断

New Progress in Application of Optical Tomography Angiography (OCTA) in Retinal Diseases

Linfeng Han

Wuhu Eye Hospital, Wuhu Anhui

Received: May 25th, 2023; accepted: Jun. 15th, 2023; published: Jun. 30th, 2023

Abstract

Optical Tomography Angiography (OCTA) is a new non-invasive rapid angiography technique. In

this paper, the application of this technique in common ophthalmic diseases such as age-related macular degeneration (AMD), diabetic retinopathy, retinal artery and vein occlusion, etc. is reviewed in detail, and it is compared with the current fluorescence angiography (FA) and indocyanine green angiography (ICGA), and its clinical application value in retinal vascular diseases is summarized. OCTA can display the dual information of structure and blood flow, but it also has its application limitations, including relatively small visual field, inability to display the leakage of blood vessels, and image artifacts when patients do not cooperate. In this paper, the characteristics and shortcomings of OCTA are summarized, which indicates that OCTA needs further research while being vigorously promoted in clinical practice.

Keywords

Optical Coherence Tomography Angiography (OCTA), Fluorescein Angiography (FA), Indocyanine Green Angiography (ICGA), Retinal Vessel/Pathophysiology, Choroidal Neovascularization/Diagnosis

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

光学相干断层扫描血管造影(optical coherence tomography angiography, OCTA)是一种非侵入性的利用运动对比对血管进行成像的全新技术,它利用分频谱振幅去相干血管成像(split-spectrum amplitude-decorrelation angiography, SSADA)算法在数秒钟时间内采集血管内血流信息,并生成分辨率很高的血管造影图像[1]。在拥有传统 OCT 原有的优点基础上, OCTA 能更清晰地观察脉络膜、视网膜各层次血管的形态和其内部血流信号,并能将这些血流信号进行有针对性地量化分析[2] [3]。在与传统的荧光素眼底血管造影(fluorescein angiography, FA)和吲哚菁绿造影(indocyanine green angiography, ICGA)的对比中,因为减少了造影剂的应用,无论是安全性,还是检查速度上,都有了很大的进步[4]。我们通过对 OCTA 的不断研究及实际运用, OCTA 使我们视网膜血管的微循环结构有了更明确的认识,对于某些视网膜血管性疾病的发病机理和病情转归有了更加深入的理解,并对这类疾病的临床随访有了更清晰的纵向比较[5] [6] [7]。同样,不存在十全十美的检查手段, OCTA 有着其使用的局限和不足,如对于检查屈光间质的透明情况要高于传统 OCT,有效检测范围较小,对患者配合度要求较高等[8] [9]。本文将从 OCTA 的基本原理、与传统眼底造影比较、脉络膜视网膜常见病的临床实际应用以及 OCTA 的优、缺点进行综述。

2. OCTA 基础知识

目前临床中最广泛使用的原型 OCTA 系统是 RTVue XR Avanti spectral domain OCT (SD-OCT) (Optovue, Inc, Fremont, CA)的 AngioVue 软件,其使用 SSADA 分光谱幅度去相关算法,该设备在约三秒内以每秒 7 万次 a 扫描获得 304 × 304 的 a 扫描影像,同时该软件也提供 2 × 2 mm, 3 × 3 mm, 6 × 6 mm 和 8 × 8 mm 的血管造影照片,将全层视网膜自动分割为浅、深层视网膜毛细血管丛。浅层视网膜的血管图像包含视网膜神经纤维层(RNFL)和神经节细胞层(GCL)中的血管系统投影。深层视网膜血管图像显示内丛状层(IPL)和内核层(INL)的边界以及 INL 和外网状层(OPL)边界处的血管丛复合体。OCTA 技术是应用分频增幅 SSADA 成像技术在同一检查部位进行多次快速、重复 OCT 扫描,捕捉血管内移动粒子(主要是红细胞)引起的 OCT 扫描时间变化频幅,然后分段这些获得的 OCT 频幅,应用去相关法分析处理这些扫描图

像结果,对脉络膜、视网膜血管系统进行计算机重建[8] [9] [10]。通过 OCTA 血管成像技术我们能够收获清晰的视网膜、脉络膜血管图像, OCTA 通过 b 扫描来记录来自血管内的红细胞的运动,从而构建相同横截面上血流图。通过计算机分析这些多幅图像的差异像素,经图像保留、降噪等处理,信号被分成不同的频谱,从而得到了比较清晰的分层扫描图像。OCTA 中的 C 扫描被称为 En face 功能,是通过冠状位 OCT 对目标进行多次扫描,使 OCTA 能得到同一位置反复横向扫描的对比数据,一定区域内的多次反复扫描将形成三维数据,从而提供视网膜和脉络膜灌注血管的三维可视化图像[11]。林艾迪等[12]对 35 位健康者的 35 只健眼,选用 Triton OCTA 机器进行黄斑区连续扫描,测量中心凹无血管区(fovea avascular zone, FAZ)的面积、周长等数据,并与人工测量结果进行对比,得出 OCTA 在 FAZ 图像自动分割上其准确性要高于人工测算,且测量结果基本与人工测量接近。

3. OCTA 与血管造影

在视网膜血管性疾病的诊断中,FA 或 ICGA 一直都是作为金标准的存在,但这两种方式都是有一定的风险性的侵入性试验,需要在患者静脉内注射相应的造影剂并需进行成像观测长达 10~30 分钟,血管内注射的荧光物质的渗漏、病变本身的出血或介质混浊都可能会掩盖已有的视网膜病变,且检查结果不能反应组织的立体空间定位,因此不能准确对病变的深度和新生血管的大小、面积进行描述,且造影剂的注入及受体的个体差异性有一定的风险,包括罕见的严重过敏性休克。随着检查次数的增加,过敏反应的风险也将随之增加,尤其对于妊娠和患有肾脏疾病患者 ICGA 是禁忌的。对于需要长期随访的患者或不能接受造影的患者, OCTA 这种非侵入性血管技术[13]是种新的选择, OCTA 可在不应用造影剂的情况下获取血管立体信息,只需要 6 秒就可以得到一个三维扫描图像集合,然后,可以将血管照片从内界膜一直快速扫描到脉络膜,以使每个单一血管丛实现可视化并对视网膜、脉络膜毛细血管进行逐层分割。

相对于 FA、ICGA 用于单独观察视网膜、脉络膜血管, OCTA 能更为理想的同时观察视网膜和脉络膜血管系统[14]。已有研究表明[15], OCTA 不仅较 FA 安全,且在视网膜新生血管的识别方面有很好的 consistency。也有研究[16]表明 OCTA 在 nAMD/ 型 CNV 的检查中,比 FA 效果更佳。

4. 常见视网膜疾病的 OCTA 应用

4.1. 干性(非新生血管)AMD

干性年龄相关性黄斑变性(AMD)的特征在于玻璃膜疣的产生,光感受器及视网膜色素上皮(RPE)丧失,最终发展成为地图样萎缩(GA)。脉络膜血流的减少与 AMD 的发生有一定关系,干性 AMD 患者的脉络膜毛细血管的密度会呈现普遍性降低趋势,有时这种现象与玻璃膜疣的发生有关,通过检测发现部分玻璃膜疣下的脉络膜毛细血管信号明显减少。干性 AMD 因其长期的稳定状态,临床研究相对较少, Sacconi 等[17]通过对 20 例 30 眼干性 AMD 进行 OCTA 和眼底自体荧光(FAF)相结合的方法,对 AMD 继发 GA 扩张部位的绒毛膜小皮层(choriocapillaris layer, CC)血流状况进行分析,显示 OCTA 在临床实践中使得 CC 变得可视化,并能进一步明确 CC 累及 GA 缘的情况。OCTA 在体内检测到的 CC 血流损伤可被视为干性 AMD 进展的新标记物来明确 GA 的病情进展。

4.2. 湿性(新生血管)AMD

脉络膜新血管(CNV)的形成是湿性 AMD 的特征性标志。湿性 AMD 多因黄斑下 CNV 引起的渗出、出血及瘢痕形成,最终导致视功能的严重破坏,早期准确发现 CNV 是保护和挽救视力的关键。OCTA 检查不仅能清晰、准确地显示 CNV 的大小、面积、位置以及形态改变,而且能够发现在 FA 中不显影的隐匿性 CNV,使得 CNV 的观察更加清晰、直观且安全[18] [19] [20]。目前临床上 OCTA 常被用来量化湿性

AMD 抗 VEGF 治疗后的疗效,能直观显示 CNV 的动态变化过程。陈开传等[21] 50 例 50 眼湿性 AMD 患者,给予玻璃体腔注射抗 VEGF(雷珠单抗)“3+PRN”治疗方案,得出 OCTA 能准确量化评估湿性 AMD 患者的治疗效果,能自动生成包括表层、深层、外层、脉络膜层四个层次的清晰血管图像,并能进行量化测量视网膜厚度、视网膜血管密度及 FAZ、CNV 面积。杨主敏等[22]利用 OCTA 来评估康柏西普治疗湿性 AMD 的疗效,在对 60 例 68 眼湿性 AMD 的康柏西普治疗并随访 1 个月后,得出康柏西普是治疗湿性 AMD 的有效药物,且 OCTA 在随访、监测治疗眼的黄斑厚度及黄斑中心凹浅层血流密度上有其明显的优势。国外也有大量文献报道[23] [24] [25],证实 OCTA 是评估、随访抗 VEGF 治疗湿性 AMD 临床效果的有效方法。

4.3. 息肉样脉络膜血管病变

息肉样脉络膜血管病变(polypoidal choroidal vasculopathy, PCV)主要表现为脉络膜异常分支血管网(branch vascular network, BVN)和血管网末端的息肉样病变(polyps), ICGA 检查虽然特异性高,但因有创、过敏等问题,限制了其在临床工作中的应用。OCTA 的血管成像能得到清晰、量化的 BVN 血管形态及 RPE 与 Bruch 膜之间的血流信号[26]。但 OCTA 对于 polyps 的检查率相对较低约 42.9%,主要原因 OCTA 可能对体积较小、流速较低的息肉样病灶成像效果较差[27]。对于 OCTA 与 ICGA 的一致性上国内外均有研究,国内学者林国乔等[28]对 50 例 PCV 患者进行 OCTA 及 ICGA 的对比检查,在对 PCV 的检出率比较上, OCTA 约 98%, ICGA 为 96%,两种方法的检查结果基本保持一致,且在病变位置及形态上两种方法相似度也很大。国外学者 fujita 等[29]利用 OCTA 对 PCV 进行特征性研究,比较了用 b-扫描 OCTA 和 ICGA 检测到的 PCV 特征, OCTA 检测到 94.7%的 PCV,与 ICGA 相比,计算单眼息肉样病变的总体准确性为 92.6%, Kappa 值为 0.82,证实在 PCV 的诊断上, ICGA 在一定程度上可以被 OCTA 取代。

4.4. 糖尿病视网膜病变

糖尿病视网膜病变(DR)的眼底表现主要为微血管瘤、出血、渗出、新生血管及无灌注区等,若从非增殖性 DR (NPDR)发展为增殖性 DR (PDR),患者视力将发生不可逆损伤甚至致盲。比较 DR 的 FA 和 OCTA 图像的不同点,在 FA 图像中我们只能发现微血管瘤所显示的高荧光点,而 OCTA 中却能直观地观察到微血管瘤的形态及其与毛细血管闭塞之间的联系,但这与 OCTA 的分辨率和扫描尺寸有一定的关系[30]。Enders 等[31]等研究报道,与 FA 相比较,较大的 OCTA 扫描尺寸和较低的分辨率会降低微血管瘤的检出率,但 OCTA 在 FAZ 的评估上比 FA 有其明显的优势。OCTA 还能用来评估 DR 的危险发病因素,2021 年赵芳等[32],利用 OCTA 测量 60 例 DR 与 60 例糖尿病非 DR 患者的黄斑中心凹厚度(CMT)、视网膜浅层毛细血管丛血流密度(SCP)、视网膜深层毛细血管丛血流密度(DCP)、光感受器层(IS/OS)厚度等数据,得出在引起 DR 发病的众多因素中,SCP、DCP、IS/OS 层厚度可能是其独立危险因素。在 NPDR 及 PDR 早期黄斑区微循环改变的评估中, OCTA 也有其明确的临床价值。Alam 等[33]运用 OCTA 定量描述非增生性糖尿病视网膜病变(NPDR)的临床特征,在他的研究中,一共采集了 160 张 OCTA 图像,包括 60 名 120 张 NPDR 图像及 20 名 40 张正常对照眼底图像,从所有图像中提取了 6 个定量特征:血管弯曲度、血管口径、血管周长指数、血管密度、中心凹无血管带(FAZ)面积和中心凹无血管带轮廓不规则度(FAZ-CI),得出 OCTA 在血管密度的分类中准确性最高,达到 90%以上。郑玲等[4]对 180 例糖尿病患者根据肾功能情况及有无早期黄斑区微循环病变分成 4 组进行研究,得出 OCTA 对于不同肾功能状态下的 2 型糖尿病患者黄斑区微循环的早期病变有临床诊断价值。OCTA 不仅仅能反应黄斑区的血管状态,对于视盘新生血管的形态研究同样有其明显优势,王光鑫等[34],利用 OCTA 观察 16 例 19 眼增殖性糖尿病视网膜病变(PDR)的视盘新生血管的形态,不仅可以清晰显示视网膜表面增殖的血管,也可以显示已经

长入玻璃体腔的新生血管,明确 OCTA 可以作为定量分析 PDR 治疗过程中视盘新生血管形态改变的有效工具。临床上, OCTA 已经被用于定量分析玻璃体内注射抗 VEGF 治疗[35]和激光光凝治疗的效果[36]。因此,在对 DR 患者的诊断、早期筛查及病情评估等方面, OCTA 是一个客观、准确的检测方法。

4.5. 视网膜动脉阻塞

因视网膜动脉阻塞本身的发病率较低,因此其临床相关报道较少。在对视网膜中央动脉阻塞(central retinal artery occlusion, CRAO)的检测中, OCTA 能同时检测外层视网膜血流及脉络膜血流,发现两者均有不同程度的减少,且分布变得不均匀[37]。我国学者李萱等[38]在 2020 年回顾性分析了 32 例 32 眼视网膜动脉阻塞患者的 OCTA 资料,得出阻塞动脉供血区视网膜增厚,反射信号增强,黄斑区拱环有不同程度的破坏,血流密度分布不均匀,并证实 OCTA 在量化诊断视网膜动脉阻塞上有其明确的临床价值。

4.6. 视网膜静脉闭塞

视网膜静脉阻塞(retinal vein occlusion, RVO)发病率仅次于 DR,并有随年龄增长而增加的趋势,RVO 临床上分为视网膜中央静脉阻塞(CRVO)和视网膜分支静脉阻塞(BRVO)两种类型。有文献表明[39], OCTA 可以清晰提供 BRVO 血管变化的相关定量信息,包括无灌注区面积及微血管异常变化。RVO 除了引起视网膜火焰状浅层出血,常因并发黄斑水肿导致患者视力的急剧下降及不可逆丢失,因此黄斑水肿的及时诊治对于 RVO 的患者显得非常重要。范玲玲等[40]对 26 例单眼 RVO 继发黄斑水肿的患者进行 OCTA 定量分析,得出 RVO 组的最佳矫正视力与黄斑水肿的程度和范围呈正相关,得出 OCTA 是定量分析 RVO 继发黄斑水肿患者,黄斑区微循环功能及预估预后视力的重要手段。司昕等[41]对 29 例 BRVO 患者的进行了 1~6 个月的 OCTA 随访,同样得出了 OCTA 能在一定程度上准确描述患者黄斑区血流信号的改变,且这种改变跟患者最终的最佳矫正视力可能存在一定的相关性,这与以前的研究结果保持一致。金昕等[42]采用 OCTA 对 15 例 15 眼 CRVO 及 15 例 15 眼 BRVO 患者进行黄斑血流、厚度、FAZ 面积的监测,得出无论是对于 CRVO 还是 BRVO, OCTA 均是黄斑区血管定量测量的有力工具。随着 OCTA 技术的不断发展,高清 OCTA (DART-OCTA)逐渐进入人们的视野,郑微微等[43]比较了 FA、OCTA、DART-OCTA 三种检查方法在 BRVO 上的应用,得出 DART-OCTA 可能比 OCTA 提供更加清晰的视网膜断层血流图,观察黄斑区时受黄斑出血遮挡的影响最小,是视网膜出血时检查深层血流情况的有效检查手段,但 DART-OCTA 因其可能会遗漏黄斑中心凹旁血流情况,临床上常作为 BRVO 的补充检查方法。

5. 缺点与不足

虽然 OCTA 目前在临床工作中有其明显的优势,但无论是应用范围、操作要求、设备性能等方面都有其许多不足之处。OCTA 主要不足有以下几点: 1) OCTA 的扫描范围相对偏小,不能清晰反应周边视网膜的血管情况。2) OCTA 比 FA 或 ICGA 更容易产生伪影[17],且患者的屈光间质透明度会对 OCTA 的成像质量产生极大的影响。在分析视网膜深层次血管的时候,外层视网膜粗大血管影可能会引起“重影”的伪影。患者在移动或眼球运动过程中,一些非运动红细胞物质也会形成影像而产生运动伪影。3) 对于一些血流较慢的区域,如纤维化的 CNV、微小动脉瘤等,因 OCTA 的 b 扫描检测存在阈值的原因,最小阈值以下的变化将不被记录,易引起这些病灶的遗漏。4) OCTA 无法显示像 FA、ICGA 一样,判断病变视网膜血管的渗漏,且当自动分割误差明显化,此时需要通过耗费长时间的人力来手工操作。5) 不同的 OCTA 设备对于眼底血管的检出可能会出现不同结果[44],扫描区域中更多的 b 扫描次数以及更多的重复 b 扫描可能得到的结果会更加准确,因此更高性能的设备有待进一步的开发。

综上所述, OCTA 是一种易于操作、无创、患者容易接受的视网膜血管显影新技术,在评估常见视网膜血管性疾病(如 AMD,糖尿病视网膜病变,动、静脉闭塞等)上,有其独特的优势。在某些情况下,

OCTA 甚至能发现 FA、ICGA 未能发现的视网膜病灶。因此，OCTA 是值得大力推广的一项三维立体血管成像新技术，且需要进一步研发扫描速度更快、分辨率更高、扫描范围更广的新设备。

基金项目

芜湖市科技局科技项目 2021cg30。

参考文献

- [1] 朱晓红, 赵玥, 姚进. 病理性近视黄斑出血的 OCTA 影像特征[J]. 国际眼科杂志, 2022, 22(4): 673-676.
- [2] 高升, 褚欢欢, 郭建新. OCTA 量化分析 BRVO 黄斑无血流区面积及微血管改变[J]. 医学研究杂志, 2023, 52(4): 148-151.
- [3] 谭心格, 高自清. 基于 OCTA 观察眼底不同分期的 2 型糖尿病患者黄斑区脉络膜及视网膜血流密度变化[J]. 眼科新进展, 2023, 43(3): 230-233.
- [4] 郑玲, 田关源. OCTA 对糖尿病患者不同肾功能状态下早期黄斑区视网膜微循环改变的评估价值[J]. 中国医药科学, 2022, 12(2): 19-23.
- [5] Shiihara, H., Terasaki, H., Sonoda, S., et al. (2018) Objective Evaluation of Size and Shape of Superficial Foveal Avascular Zone in Normal Subjects by Optical Coherence Tomography Angiography. *Scientific Reports*, **8**, Article No. 10143. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28530-7>
- [6] Liu, C.H., Kao, L.Y., Sun, M.H., et al. (2017) Retinal Vessel Density in Optical Coherence Tomography Angiography in Optic Atrophy after Nonarteritic Anterior Ischemic Optic Neuropathy. *Journal of Ophthalmology*, **2017**, Article ID: 9632647. <https://doi.org/10.1155/2017/9632647>
- [7] 郭莹, 杨冬妮, 杨世琳, 等. 光学相干断层扫描血管成像在青光眼小梁切除术后评估中的应用[J]. 中国医刊, 2022, 57(9): 988-991.
- [8] 薛媛媛, 陈晓隆. OCT 和 OCTA 生物学标志物在糖尿病性黄斑水肿中应用的研究进展[J]. 眼科新进展, 2023, 43(1): 76-81.
- [9] 王翠云. 基于 OCT 和 OCTA 对康柏西普治疗糖尿病黄斑水肿疗效的观察分析[D]: [硕士学位论文]. 蚌埠: 蚌埠医学院, 2022.
- [10] Kansal, V., Colleaux, K. and Rawlings, N. (2022) OCTA Changes Following Loading Phase with Intravitreal Aflibercept for DME. *Canadian Journal of Ophthalmology*. <https://doi.org/10.1016/j.jcjo.2022.04.005>
- [11] Spaide, R.F., Klancnik, J.J. and Cooney, M.J. (2015) Retinal Vascular Layers Imaged by Fluorescein Angiography and Optical Coherence Tomography Angiography. *JAMA Ophthalmology*, **133**, 45-50. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2014.3616>
- [12] 林艾迪, 方丹齐, 吴苇杭, 等. Triton 光学相干断层扫描血管成像图像中正常人的中心凹无血管区的自动测量方法[J]. 眼科学报, 2022, 37(1): 1-13.
- [13] 张万虎, 刘轩, 李晶明, 等. OCTA 与 FFA 在鼠脉络膜新生血管模型中应用的比较研究[J]. 眼科新进展, 2021, 41(7): 628-632.
- [14] Zeng, Q., Yao, Y., Li, S., et al. (2022) Comparison of Swept-Source OCTA and Indocyanine Green Angiography in central Serous Chorioretinopathy. *BMC Ophthalmology*, **22**, Article No. 380. <https://doi.org/10.1186/s12886-022-02607-4>
- [15] Cui, Y., Zhu, Y., Wang, J.C., et al. (2021) Comparison of Widefield Swept-Source Optical Coherence Tomography Angiography with Ultra-Widefield Colour Fundus Photography and Fluorescein Angiography for Detection of Lesions in Diabetic Retinopathy. *British Journal of Ophthalmology*, **105**, 577-581. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2020-316245>
- [16] 龚玉静, 武炳慧, 索琰, 等. 脉络膜新生血管的光学相干断层扫描血管成像和荧光素血管造影的特征分析[J]. 实用临床医药杂志, 2019, 23(22): 14-16.
- [17] Sacconi, R., Corbelli, E., Borrelli, E., et al. (2021) Choriocapillaris Flow Impairment Could Predict the Enlargement of Geographic Atrophy Lesion. *British Journal of Ophthalmology*, **105**, 97-102. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2019-315800>
- [18] 任旋. 湿性老年性黄斑变性光相干断层扫描血管成像图像特征研究[J]. 当代医学, 2018, 24(26): 149-151.
- [19] Khatri, A., Pandey, A., Joshi, K., et al. (2022) Redefining Response in Wet AMD to Anti VEGF Therapy Based on Non-OCTA versus OCTA Evaluation. *European Journal of Ophthalmology*, **32**, 2719-2725. <https://doi.org/10.1177/11206721211059349>

- [20] Vali, M., Nazari, B., Sadri, S., *et al.* (2023) CNV-Net: Segmentation, Classification and Activity Score Measurement of Choroidal Neovascularization (CNV) Using Optical Coherence Tomography Angiography (OCTA). *Diagnostics*, **13**, Article 1309. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13071309>
- [21] 陈开传, 盛敏杰, 李敏, 等. OCTA 评估抗 VEGF 治疗老年性黄斑变性患者视网膜血流密度变化[J]. 同济大学学报(医学版), 2021, 42(3): 333-342.
- [22] 杨主敏, 黄星, 刘淑卿, 等. OCTA 评价康柏西普对湿性年龄相关性黄斑变性的治疗效果[J]. 贵州医科大学学报, 2021, 46(5): 596-599, 605.
- [23] Arrigo, A., Romano, F., Aragona, E., *et al.* (2020) Optical Coherence Tomography Angiography Can Categorize Different Subgroups of Choroidal Neovascularization Secondary to Age-Related Macular Degeneration. *Retina*, **40**, 2263-2269. <https://doi.org/10.1097/IAE.0000000000002775>
- [24] Arrigo, A., Aragona, E., Bordato, A., *et al.* (2021) Quantitative Optical Coherence Tomography Angiography Parameter Variations after Treatment of Macular Neovascularization Secondary to Age-Related Macular Degeneration. *Retina*, **41**, 1463-1469. <https://doi.org/10.1097/IAE.0000000000003065>
- [25] Gigon, A., Vadala, M., Bonfiglio, V., *et al.* (2022) Early OCTA Changes of Type 3 Macular Neovascularization Following Brolucizumab Intravitreal Injections. *Medicina*, **58**, Article 1180. <https://doi.org/10.3390/medicina58091180>
- [26] 许厚银, 郎胜坤, 韩国鸽, 等. OCTA 和 ICGA 在息肉样脉络膜血管病变中的应用对比[J]. 国际眼科杂志, 2017, 17(7): 1362-1364.
- [27] Inoue, M., Balaratnasingam, C. and Freund, K.B. (2015) Optical Coherence Tomography Angiography of Polypoidal Choroidal Vasculopathy and Polypoidal Choroidal Neovascularization. *Retina*, **35**, 2265-2274. <https://doi.org/10.1097/IAE.0000000000000777>
- [28] 林国乔, 施志云. 息肉样脉络膜血管病变吲哚菁绿血管造影、光学相干断层扫描血管成像特征对比[J]. 中国现代药物应用, 2018, 12(19): 76-77.
- [29] Fujita, A., Kataoka, K., Takeuchi, J., *et al.* (2020) Diagnostic Characteristics of Polypoidal Choroidal Vasculopathy Based on B-Scan Swept-Source Optical Coherence Tomography Angiography and Its Interrater Agreement Compared with Indocyanine Green Angiography. *Retina*, **40**, 2296-2303. <https://doi.org/10.1097/IAE.0000000000002760>
- [30] Wang, X.N., Cai, X., Li, S.W., *et al.* (2022) Wide-Field Swept-Source OCTA in the Assessment of Retinal Microvasculature in Early-Stage Diabetic Retinopathy. *BMC Ophthalmology*, **22**, Article No. 473. <https://doi.org/10.1186/s12886-022-02724-0>
- [31] Enders, C., Baeuerle, F., Lang, G.E., *et al.* (2020) Comparison between Findings in Optical Coherence Tomography Angiography and in Fluorescein Angiography in Patients with Diabetic Retinopathy. *Ophthalmologica*, **243**, 21-26. <https://doi.org/10.1159/000499114>
- [32] 赵芳, 裴超, 蔡志鹏, 等. 糖尿病视网膜病变患者发病危险因素: 基于 SS-OCTA 检测指标的分析[J]. 眼科新进展, 2021, 41(7): 643-646.
- [33] Alam, M., Zhang, Y., Lim, J.I., *et al.* (2020) Quantitative Optical Coherence Tomography Angiography Features for Objective Classification and Staging of Diabetic Retinopathy. *Retina*, **40**, 322-332. <https://doi.org/10.1097/IAE.0000000000002373>
- [34] 王光鑫, 刘伦, 高健, 等. OCTA 观察增生性糖尿病视网膜病变治疗前后不同形态视盘新生血管的变化[J]. 临床眼科杂志, 2021, 29(5): 391-395.
- [35] 施彦, 林鹏耀, 华闪闪, 等. 基于光学相干断层扫描血管成像评价康柏西普对糖尿病黄斑水肿黄斑区视网膜微循环的影响[J]. 中国现代医生, 2022, 60(9): 67-70.
- [36] 邱奥望, 袁冬青, 朱鸿静, 等. OCTA 评估糖尿病视网膜病变患者全视网膜激光凝后黄斑区血流情况[J]. 国际眼科杂志, 2022, 22(2): 175-181.
- [37] 吴子旭, 郑东萍, 潘陆平, 等. 血管造影光相干断层扫描对急性视网膜中央动脉阻塞外层视网膜和脉络膜血流的观察[J]. 中国药物与临床, 2016, 16(7): 1028-1029.
- [38] 李萱, 郝晓凤, 罗傑, 等. 运用光学相干断层扫描血管成像技术检测视网膜动脉阻塞患者黄斑区视网膜血流密度与视网膜厚度的临床研究[J]. 中华眼科医学杂志(电子版), 2020, 10(5): 269-274.
- [39] Chen, L., Yuan, M., Sun, L., *et al.* (2020) Evaluation of Microvascular Network with Optical Coherence Tomography Angiography (OCTA) in Branch Retinal Vein Occlusion (BRVO). *BMC Ophthalmology*, **20**, Article No. 154. <https://doi.org/10.1186/s12886-020-01405-0>
- [40] 范玲玲, 刘伦, 陈瑶, 等. OCTA 定量分析视网膜静脉阻塞继发黄斑水肿黄斑区微血管及视力相关性[J]. 临床眼科杂志, 2021, 29(3): 212-215.

- [41] 司昕, 高磊, 刘广森, 等. OCTA 观察 BRVO 患者黄斑区微血管的改变及其与预后的关系[J]. 国际眼科杂志, 2021, 21(10): 1769-1772.
- [42] 金昕, 谭薇, 李燕. 量化 OCTA 在视网膜静脉阻塞中的应用[J]. 国际眼科杂志, 2021, 21(4): 711-714.
- [43] 郑微微, 黄胜海, 郑燕, 等. DART-OCTA 对视网膜分支静脉阻塞黄斑区毛细血管灌注的观察研究[J]. 国际眼科杂志, 2022, 22(8): 1391-1395.
- [44] Parrulli, S., Corvi, F., Cozzi, M., *et al.* (2021) Microaneurysms Visualisation Using Five Different Optical Coherence Tomography Angiography Devices Compared to Fluorescein Angiography. *British Journal of Ophthalmology*, **105**, 526-530. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2020-316817>