

光学相干断层扫描血管成像在眼科的应用进展

陈慧黎,梅立新,戴巧云,卫承华

引用:陈慧黎,梅立新,戴巧云,等. 光学相干断层扫描血管成像在眼科的应用进展. 国际眼科杂志 2021;21(11):1918-1921

基金项目:2019年度皖南医学院教学质量与教学改革工程项目(No.2019jyxm76);2020年度活性生物大分子研究安徽省重点实验室自主研究课题(No.LAB202008)

作者单位:(241001)中国安徽省芜湖市,皖南医学院弋矶山医院眼科

作者简介:陈慧黎,皖南医学院在读硕士研究生,研究方向:眼视光学、眼底病。

通讯作者:卫承华,毕业于复旦大学,硕士,硕士研究生导师,主任医师,研究方向:眼视光学、眼底病. weichenghua32@126.com

收稿日期:2021-01-14 修回日期:2021-07-27

摘要

光学相干断层扫描血管成像(OCTA)是近年逐渐兴起的一种眼科非侵入式影像学检查方法,它是在光学相干断层扫描(OCT)的基础上逐渐发展起来并逐步应用于临床。OCTA通过扫描血管内流动的红细胞显示出眼底血流密度与眼底组织结构形态,在眼科相关疾病(尤其是眼底病变)的诊治及疗效评估方面具有很高的价值。OCTA具有高分辨率、易操作、快速扫描、三维成像等优势,现已应用于眼科疾病(脉络膜新生血管、糖尿病视网膜病变、角膜和虹膜相关疾病、弱视、青光眼等)的评估和诊断。本文就OCTA技术在眼科疾病中的应用进行综述。

关键词:光学相干断层扫描血管成像;眼部疾病;诊断;评估;应用

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2021.11.17

Application of optical coherence tomography angiography in ophthalmology

Hui-Li Chen, Li-Xin Mei, Qiao-Yun Dai, Cheng-Hua Wei

Foundation items: Teaching Quality and Teaching Reform Project of Wannan Medical College in 2019 (No.2019jyxm76); Independent Research Project of the Key Laboratory of Active Biomacromolecules of Anhui Province in 2020 (No.LAB202008)

Department of Ophthalmology, Yijishan Hospital of Wannan Medical College, Wuhu 241001, Anhui Province, China

Correspondence to: Cheng - Hua Wei. Department of Ophthalmology, Yijishan Hospital of Wannan Medical College, Wuhu 241001, Anhui Province, China. weichenghua32@126.com

Received:2021-01-14 Accepted:2021-07-27

Abstract

• Optical coherence tomography angiography (OCTA) is

a new noninvasive imaging method in ophthalmology. Based on optical coherence tomography (OCT), it has been gradually developed and applied in clinical practice. By scanning the red blood cells, OCTA can display the blood flow density and the structure and morphology of the fundus tissue, which has a high value in the diagnosis, treatment and efficacy of ophthalmological diseases (especially fundus lesions). With the advantages of high resolution, easy operation, rapid scanning and 3D imaging, OCTA has been applied in the evaluation and diagnosis of ophthalmic diseases (such as choroidal neovascularization, diabetic retinopathy, corneal and iris-related diseases, amblyopia, glaucoma etc.). This review is about the application of OCTA in ophthalmic diseases.

• **KEYWORDS:** optical coherence tomography angiography; eye diseases; diagnosis; evaluation; application

Citation: Chen HL, Mei LX, Dai QY, et al. Application of optical coherence tomography angiography in ophthalmology. *Guoji Yanke Zazhi(Int Eye Sci)* 2021;21(11):1918-1921

0 引言

光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)于20世纪90年代首次被Huang等^[1]提出,其又被称为时域OCT(TD-OCT),它是一种无创的眼科检查,在眼科影像学检查中具有革新意义。其原理类似于超声脉冲回波成像,但不是声波,而是使用近红外光产生视网膜的横截面或三维图像^[2]。之后的数十年中OCT技术不断进步发展,为眼科临床医生提供疾病诊断依据。虽然经过改进后,提升了扫描速度和图像分辨,但OCT仍然存在一些缺点,如a扫描数量有限,导致b扫描分辨率较差;b扫描与患者眼底的点对点相关性差;采样密度差等。随着频域OCT(SD-OCT)出现,又被称为傅立叶域OCT,其具有更快的扫描频率及更高的轴向分辨率^[3],与TD-OCT相比,SD-OCT可以提供更为精确的眼底数据。随着科技的不断发展,扫描光源OCT(SS-OCT)应运而生,与SD-OCT相比,SS-OCT穿透组织的能力更强,具有更高的深度分辨率。

光学相干断层扫描血管成像(optical coherence tomography angiography, OCTA)是一种非接触性影像学检查方法,它的基本原理是对视网膜同一位置进行连续的b扫描,探测视网膜血管中红细胞的运动,对眼底血管进行成像。目前OCTA成像技术已经广泛地运用到眼部疾病的诊断中,诊断眼底疾病的影像学检查除OCTA外,还包括眼底血管造影等。眼底血管造影可分为荧光素眼底血管造影(fundus fluorescence angiography, FFA)和吲哚菁绿血管造影(indocyanine green angiography, ICGA),均属有创检查,且需要静脉注射造影剂,部分患者会发生不良反应,

如恶心、呕吐等,甚至死亡^[4]。此外,与 OCTA 相比,眼底血管造影还存在成像不清晰等缺点,无法清晰显示视网膜深层及脉络膜层的血管结构^[5]。与 FFA 和 ICGA 相比,OCTA 既避免了造影剂注射带来的各种不良反应,又可以在短时间内获得高分辨率图像,具有显著优势。

1 OCTA 在眼科临床的应用

1.1 OCTA 在脉络膜新生血管中的应用 脉络膜新生血管(choroidal neovascularization, CNV)是多种眼底疾病中常见的病理改变,可见于年龄相关性黄斑变性、病理性近视、外伤性脉络膜破裂、特发性脉络膜新生血管、中心性渗出性脉络膜视网膜病变等多种眼科疾病^[6]。CNV 可以导致黄斑区出现严重损害,使患者视力出现严重损伤,早期发现和诊断 CNV 对于视力保护至关重要^[7]。随着医疗诊断技术的不断进步,OCTA 广泛应用于临床,可对脉络膜毛细血管形成完整高清的图像,对诊断 CNV 疾病提供了极大帮助。de Carlo 等^[8]认为 OCTA 在诊断 CNV 特异性方面优于 FFA,但由于该研究样本较小,研究结果有待于进一步验证。Palejwala 等^[9]研究发现 OCTA 可以发现非渗出性 CNV 的存在,而 FFA 和 OCT 对非渗出性 CNV 难以识别,证实 OCTA 在诊断 CNV 方面具有特异性,这与 de Carlo 等^[8]研究相一致。刘沛洋等^[10]认为 OCTA 在视网膜脉络膜血管病变诊断方面具有里程碑意义,可以为 CNV 的诊断提供新的依据。OCTA 不仅可以用于脉络膜毛细血管疾病的诊断,也可以用于脉络膜毛细血管疾病治疗效果的评估。李燕等^[11]应用 OCTA 评价玻璃体腔注射康柏西普治疗湿性年龄相关性黄斑变性(wet type age-related macular degeneration, wARMD)的临床疗效认为,玻璃体腔注射康柏西普治疗 wARMD 安全有效,同时利用 OCTA 技术发现玻璃体腔注射康柏西普可使视网膜脉络膜自身血管结构发生改变。因此,OCTA 用于评价康柏西普治疗 wARMD 的临床疗效具有显著优势。

1.2 OCTA 在糖尿病视网膜相关疾病中的应用 随着经济及生活水平的提高,糖尿病患病率逐年递增,糖尿病视网膜病变(diabetic retinopathy, DR)发病率与糖尿病患病率呈正相关,且年轻人患病比例增加。DR 是最常见的视网膜血管病,也是糖尿病的严重并发症之一。DR 早期视力下降不明显,病变累及黄斑后开始出现不同程度的视力减退。DR 的基本眼底表现一般有微血管瘤、硬性渗出、软性渗出、无灌注区、新生血管等,若未进行干预治疗将会严重影响视力。赵姝芝等^[12]研究证实若糖尿病患者早期不能及时有效地控制血糖,即使后期血糖得到有效控制,视力仍会继续受到损害,故而早发现糖尿病,早期控制血糖水平对于延缓 DR 进程至关重要,但临床上往往是患者出现明显视力下降,才会到医院就诊,错过了最佳治疗时机。FFA 被认为是诊断 DR 的金标准,但其为有创检查,会带来一定的风险。随着 OCTA 技术的不断改进,OCTA 能敏锐地发现视网膜血管密度的变化、血流灌注情况和黄斑区毛细血管损害情况^[13]。因此,OCTA 在 DR 的诊断和治疗评估中优势较为明显。Ishibazawa 等^[14]研究发现 OCTA 不仅可以清晰呈现视网膜血管图像,也可以显示 DR 患者眼底微动脉瘤图像,为早期诊断提供有效临床数据。刘青等^[15]应用 OCTA 和 FFA 对比观察增生型糖尿病视网膜病变(proliferating diabetic retinopathy, PDR)的临床特征,结果表明,FFA 与 OCTA 对 PDR 患眼的部分眼底病变的检出具有较高的一致性。La Mantia 等^[16]利用 FFA

检查与 OCTA 技术测量 DR 患者黄斑中心凹无血管区(foveal avascular zone, FAZ)面积,结果表明,FFA 与 OCTA 在检测 FAZ 面积上具有很高的-致性。OCTA 为临床医生诊断 DR 提供了新的观察指标和诊断筛查方法,对评估患者病情、制定治疗方案及调整预后干预措施等均有重要意义。

1.3 OCTA 在角膜相关疾病中的应用 角膜病是我国主要致盲性眼病之一。角膜是主要的屈光介质,角膜若出现病变,患者的生活质量将会受到严重影响。角膜病变的诊断和评估主要依赖于裂隙灯检查,由于 FFA 和 ICGA 技术是侵入性操作^[17],并且会给受检者带来身体上的不良反应,其运用受到限制,因此新的非侵入性成像技术 OCTA 技术在临床中具有广泛的应用前景。OCTA 技术不仅可以有助于角膜病的诊断,还可以在角膜病的相关治疗中起重要作用。闵幼兰等^[18]应用 OCTA 探究苯扎溴铵及西酞普兰对小鼠角膜上皮和角膜全层厚度影响的研究证明,OCTA 可以在不接触角膜及不使用染料的情况下,对角膜厚度及角膜上皮损害程度进行评估,故 OCTA 有助于评估使用含苯扎溴铵或西酞普兰成分的滴眼液对角膜损伤的程度。叶蕾等^[19]应用 OCTA 对先天性上睑下垂患者角膜全层及上皮各区域厚度变化进行分析,结果表明,上睑下垂可导致角膜上皮层及角膜全层厚度变薄这一变化,提示 OCTA 可为治疗及评估角膜厚度相关疾病提供更为准确的角膜厚度数据。唐鹏钧等^[20]利用 OCTA 技术发现猫角膜与人类角膜在角膜全层厚度和角膜上皮厚度及其分布方面具有相似的区域,这为异体角膜移植新供体的选择提供了新思路;同时还发现猫角膜全层厚度和角膜上皮厚度均较人类厚,这在异种角膜移植后的屈光调节中也具有优势。姜楠等^[21]利用 OCTA 技术证明了 PM2.5 能引起小鼠角膜上皮和角膜全层厚度增厚,为 PM2.5 导致的干眼影响角膜上皮厚度提供依据,同时在其预防和治理上也有一定意义。何曼莎等^[22]应用 OCTA 评估对比飞秒激光辅助超声乳化白内障吸除术和传统超声乳化白内障吸除术产生的角膜切口形态,对两种切口的稳定性进行评估,发现飞秒激光辅助超声乳化白内障吸除术角膜切口早期愈合更好,有效减少早期角膜切口异常构筑的发生,这为白内障摘除手术方式提供了新的思考空间,也证实 OCTA 在临床的应用十分有前景。

1.4 OCTA 在虹膜相关疾病中的应用 虹膜组织血管丰富,虹膜新生血管常常继发于其他疾病,如继发性青光眼、糖尿病等疾病,虹膜新生血管侵及房角小梁网结构,引起房角关闭,眼压升高,导致新生血管性青光眼,最终可致视力严重下降且伴有眼睛剧烈疼痛。虹膜血管性疾病病因复杂,早期发现、早期诊断、早期治疗对预防虹膜新生血管至关重要^[23]。OCTA 检查发现虹膜中的异常新生血管、虹膜色素沉着会对血管成像的结果产生干扰,OCTA 能够提供比 FFA 更清晰的虹膜血管图像^[7]。OCTA 在虹膜血管成像方面有很大的临床应用价值。Chien 等^[24]发现 OCTA 技术对虹膜蔓状血管瘤的发生和放射状虹膜呈现的血管影像与 FFA 无显著差异。这为监测虹膜蔓状血管瘤的发展过程提供了新的无创、快捷影像检查方式。D'Aloisio 等^[25]应用眼前节 OCTA(AS-OCTA)观察孔源性视网膜脱离患者巩膜扣带术后虹膜血管的变化,结果显示术后 1mo 虹膜血管网均匀减少,表明 AS-OCTA 可识别早期虹膜灌注变化以达到预测虹膜血管疾病发展的目的。Chien

等^[24]研究显示 OCTA 可以清楚地显示虹膜蔓状血管瘤的环行过程,显示放射状虹膜血管的细微细节及血管瘤与正常虹膜血管的关系,这是裂隙灯检查与 FFA 所不能做到的。病理性虹膜,如虹膜新生血管、血管系统紊乱,仅靠裂隙灯检查很难发现虹膜早期病变,因此,OCTA 可能是一种检测早期改变的有效的、非侵入性的方法。Ayres 等^[26]认为 FFA 很难区分继发于炎症的虹膜血管扩张和虹膜新生血管,而 OCTA 技术通过展示不同的血管解剖模式,有效弥补了这一不足。

1.5 OCTA 在儿童弱视相关疾病中的应用 弱视是较为常见的儿童眼病,弱视患儿视力低下,且没有双眼同视功能,若未能及时发现并予以治疗,弱视将可能给患儿造成不可逆转的视功能障碍,所以对于弱视发生机制的研究至关重要。OCTA 在弱视患者视网膜血流状态的观察上有独特优势。项潇琼等^[27]利用 OCTA 技术对患儿屈光参差性弱视的眼底血流密度进行检测,发现患儿屈光参差性弱视的发病机制与视盘的血流改变可能存在相关性。Doğuzi 等^[28]应用 OCTA 对远视性屈光参差性弱视患儿眼底血流密度进行研究,推测弱视的发生与黄斑中心凹 FAZ 周围的血流密度有关。Kaur 等^[29]利用 OCTA 技术测量弱视儿童视网膜和脉络膜毛细血管密度,发现弱视的发病机制可能与脉络膜毛细血管密度有关。上述研究均表明弱视儿童弱视眼眼底血流密度较对侧眼降低,而 Sobral 等^[30]利用 OCTA 研究弱视儿童脉络膜毛细血管密度的结果表明,弱视儿童弱视眼脉络膜毛细血管密度较对侧眼高。出现这种结果的原因可能为以上研究样本量较少,或研究方法不同所致,也可能是由于 OCTA 机器型号不同所致。OCTA 可以提供眼底血流密度数据,可以更直观地研究儿童弱视发生发展的机制,OCTA 在弱视研究方面有着广阔的应用前景,可以为临床医生治疗弱视提供新思路。

1.6 OCTA 在青光眼中的应用 青光眼是一组以特征性视神经萎缩和视野缺损为共同特征的疾病。青光眼作为全球第二位致盲眼病,严重威胁着人类的视觉健康。部分青光眼患者发病急骤,可在数天内,甚至数小时内视力迅速下降,部分患者则毫无症状,在不知不觉中逐渐失明。因此,青光眼的诊断至关重要。目前视野仍然是诊断青光眼的金标准之一,但是监测时间较长,要求配合度高,老年人较难准确测量。OCTA 是一种具有无创、客观、快捷、适用性广等优势的检查方法,可应用于青光眼的诊断中。仲妍等^[31]探讨 OCTA 在青光眼检测中的价值,研究发现 OCTA 测得的黄斑区血管密度和视网膜厚度与视野平均缺损值均呈线性正相关,OCTA 可以高效地诊断青光眼疾病。此外,OCTA 可用于青光眼的早期检测和病情随访中,评估青光眼的严重程度。Mammo 等^[32]和 Mansoori 等^[33]运用 OCTA 发现青光眼患者眼底血流密度随着青光眼病情的加重而降低。OCTA 技术也可用来评估青光眼术后效果。陶舒雅等^[34]应用 OCTA 观察青光眼患者小梁切除术后视盘血流密度的变化,发现视盘区血流密度及视盘周围血流密度与眼压呈负相关。

2 总结与展望

OCTA 是一种快速的、非侵入性的新型血流成像技术,具有以下优点:(1)OCTA 能够对病变部位进行三维成像,可以对视网膜的血管形态分层观察,准确定位病变部位深度、位置和血流情况;(2)OCTA 在黄斑区拱形结构和视盘微血管的成像分辨率高,可以呈现更为清晰的图像;

(3)OCTA 简单、快速、无创,使得患者更容易接受。但其也有不足和缺点,主要表现为以下几点:(1)OCTA 检查要求患者有固视能力,部分视力不好或固视能力不好的患者很难配合完成检查,即使患者能配合检查,但其成像的图片质量会有所下降,从而影响检查结果的判读;(2)屈光介质混浊程度会对 OCTA 检查产生影响,如晶状体混浊程度较重、角膜斑翳、房水混浊、玻璃体混浊等;(3)观察范围有限,OCTA 只能扫描到视网膜后极部,扫描不到周边视网膜,扫描范围越大,成像效果越差;(4)OCTA 不发生造影剂渗漏,因而其对视网膜血管屏障功能的观察能力不如传统血管造影剂检查^[35-36]。

总体来说,OCTA 可以辅助临床医生更好更快地诊断疾病,也可以为患者的检查带来便利。随着 OCTA 在临床的广泛应用及 OCTA 相关软件和硬件的研发,其有着广阔的临床应用前景。期望在以后的发展中,OCTA 可以有更好的改进和完善,使其不仅可以用于眼科、神经内科等临床科室疾病的诊治,更可以扩展到临床其它多系统疾病的诊断和治疗,在医学领域的应用范围更加广泛。

参考文献

- 1 Huang D, Swanson EA, Lin CP, *et al.* Optical coherence tomography. *Science* 1991; 254(5035): 1178-1181
- 2 Alam S, Zawadzki RJ, Choi S, *et al.* Clinical application of rapid serial Fourier - domain optical coherence tomography for macular imaging. *Ophthalmology* 2006; 113(8): 1425-1431
- 3 蔡鑫鑫, 张世宇, 陈强, 等. 结构保持生成对抗网络的 SD-OCT 图像去噪方法. *计算机辅助设计与图形学学报* 2020; 32(5): 751-758
- 4 刘颖, 杨亚良, 岳献. 光学相干层析血管造影术及其在眼科学中的应用. *激光与光电子学进展* 2020; 57(18): 22-34
- 5 Choi W, Moulton EM, Waheed NK, *et al.* Ultrahigh - speed, swept - source optical coherence tomography angiography in nonexudative age - related macular degeneration with geographic atrophy. *Ophthalmology* 2015; 122(12): 2532-2544
- 6 张丹, 王皎皎. 玻璃体腔内注射雷珠单抗治疗脉络膜新生血管的临床疗效研究. *医学理论与实践* 2020; 33(18): 2979-2982, 2994
- 7 薛亚璇, 程方. 光学相干断层扫描血管成像在眼科临床中的应用. *国际眼科杂志* 2020; 20(4): 651-655
- 8 de Carlo TE, Bonini Filho MA, Chin AT, *et al.* Spectral - domain optical coherence tomography angiography of choroidal neovascularization. *Ophthalmology* 2015; 122(6): 1228-1238
- 9 Palejwala NV, Jia YL, Gao SS, *et al.* Detection of nonexudative choroidal neovascularization in age - related macular degeneration with optical coherence tomography angiography. *Retina* 2015; 35(11): 2204-2211
- 10 刘沛洋, 南炜瑾, 王路璐, 等. 脉络膜新生血管诊断方法的研究进展. *眼科新进展* 2019; 39(6): 592-596
- 11 李燕, 汪亮, 徐晓晨. OCTA 评价康柏西普治疗湿性年龄相关性黄斑变性的疗效. *国际眼科杂志* 2018; 18(7): 1305-1309
- 12 赵姝芝, 李涛, 郑冰清, 等. 糖尿病视网膜病变相关“代谢记忆”的研究进展. *中华眼底病杂志* 2013; 1:103-106
- 13 Lei JQ, Durbin MK, Shi Y, *et al.* Repeatability and reproducibility of superficial macular retinal vessel density measurements using optical coherence tomography angiography en face images. *JAMA Ophthalmol* 2017; 135(10): 1092-1098
- 14 Ishibazawa A, Nagaoka T, Takahashi A, *et al.* Optical coherence tomography angiography in diabetic retinopathy: a prospective pilot study. *Am J Ophthalmol* 2015; 160(1): 35-44
- 15 刘青, 艾明. 光学相干断层扫描血管成像(OCTA)和荧光素血管造影(FFA)对比观察增生型糖尿病视网膜病变(PDR). *眼科新进展* 2017; 37(1): 52-55
- 16 La Mantia A, Kurt RA, Meior S, *et al.* Comparing fundus fluorescein

- angiography and swept-source optical coherence tomography angiography in the evaluation of diabetic macular perfusion. *Retina Phila Pa* 2019; 39(5): 926-937
- 17 Kirwan RP, Zheng YL, Tey A, *et al.* Quantifying changes in corneal neovascularization using fluorescein and indocyanine green angiography. *Am J Ophthalmol* 2012; 154(5): 850-858
- 18 闵幼兰, 袁晴, 马明洋, 等. 苯扎溴铵和西酞普兰对小鼠角膜上皮和角膜全层厚度的影响. *眼科新进展* 2018; 38(2): 101-105
- 19 叶蕾, 刘启, 康红花, 等. 光学相干断层扫描血管造影技术分析先天性上睑下垂角膜上皮厚度. *中国老年学杂志* 2019; 39(9): 2152-2156
- 20 唐鹏钧, 刘启, 康红花, 等. 光学相干断层扫描血管造影(OCTA)在异种角膜移植供体选择中的应用研究. *眼科新进展* 2018; 38(1): 18-22
- 21 姜楠, 刘启, 韩云, 等. 利用光学相干断层扫描血管造影分析PM2.5对小鼠角膜上皮和角膜全层厚度的影响. *中国现代医学杂志* 2018; 28(12): 24-31
- 22 何曼莎, 武哲明, 陈韵, 等. 飞秒激光辅助超声乳化白内障吸除术角膜切口的形态学改变. *国际眼科杂志* 2019; 19(6): 1039-1043
- 23 邹雪香. 光相干断层扫描血管成像在眼前节疾病中的应用. *中华实验眼科杂志* 2018; 36(5): 398-400
- 24 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
- 25 D'Aloisio R, Viggiano P, Borrelli E, *et al.* Changes in Iris perfusion following scleral buckle surgery for rhegmatogenous retinal detachment: an anterior segment optical coherence tomography angiography (AS-OCTA) study. *J Clin Med* 2020; 9(4): 1231
- 26 Ayres M, Smallwood R, Brooks AM, *et al.* Anterior segment optical coherence tomography angiography. *J Vis Commun Med* 2019; 42(4): 153-157
- 27 项潇琼, 罗丽颖, 唐敏, 等. 光学相干断层扫描血管成像在屈光参差性弱视儿童中的应用. *上海交通大学学报(医学版)* 2019; 39(1): 79-83
- 28 Doğuizi S, Yılmazoğlu M, Kızıltoprak H, *et al.* Quantitative analysis of retinal microcirculation in children with hyperopic anisometropic amblyopia: an optical coherence tomography angiography study. *J Aapos* 2019; 23(4): 201.e1-201.e5
- 29 Kaur S, Singh SR, Katoch D, *et al.* Optical coherence tomography angiography in amblyopia. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina* 2019; 50(11): e294-e299
- 30 Sobral I, Rodrigues TM, Soares M, *et al.* OCT angiography findings in children with amblyopia. *J Am Assoc Pediatr Ophthalmol Strabismus* 2018; 22(4): 286-289
- 31 仲妍, 车慧欣. 光学相干断层扫描血管成像(OCTA)在原发性青光患者中的检测价值. *眼科新进展* 2018; 38(4): 352-356
- 32 Mammo Z, Heisler M, Balaratnasingam C, *et al.* Quantitative optical coherence tomography angiography of radial peripapillary capillaries in Glaucoma, Glaucoma suspect, and normal eyes. *Am J Ophthalmol* 2016; 170: 41-49
- 33 Mansoori T, Sivaswamy J, Gamalapati JS, *et al.* Measurement of radial peripapillary capillary density in the normal human retina using optical coherence tomography angiography. *J Glaucoma* 2017; 26(3): 241-246
- 34 陶舒雅, 曹国凡. 青光眼患者小梁切除术后视盘及其周围血流密度的变化. *眼科新进展* 2019; 39(5): 437-439, 443
- 35 Gao SS, Liu G, Huang D, *et al.* Optimization of the split-spectrum amplitude-decorrelation angiography algorithm on a spectral optical coherence tomography system. *Opt Lett* 2015; 40(10): 2305-2308
- 36 Tokayer J, Jia Y, Dhalla AH, *et al.* Blood flow velocity quantification using split-spectrum amplitude-decorrelation angiography with optical coherence tomography. *Biomed Opt Express* 2013; 4(10): 1909-1924