

# OCTA 在糖尿病视网膜病变中的临床应用现状

秦程, 刘晓辉

引用: 秦程, 刘晓辉. OCTA 在糖尿病视网膜病变中的临床应用现状. 国际眼科杂志 2020;20(7):1175-1178

基金项目: 广西卫健委自筹经费科研课题 (No.Z20190526)  
作者单位: (541199) 中国广西壮族自治区桂林市, 桂林医学院第二附属医院眼科  
作者简介: 秦程, 毕业于桂林医学院, 本科, 副主任医师, 副教授, 眼科主任, 研究方向: 眼底病。  
通讯作者: 秦程. 13977306440@163.com  
收稿日期: 2019-09-19 修回日期: 2020-06-02

## 摘要

糖尿病视网膜病变是糖尿病引起的微血管病变中最常见的疾病, 晚期对视力危害极大, 如不及时治疗, 可致盲。糖尿病视网膜病变以往诊治、随访主要依据荧光素眼底血管造影, 因其操作有创、容易发生过敏不良反应等副作用在临床应用中有一定的局限性。近年兴起的光学相干断层扫描血管成像无创、快速、眼底血管成像分辨率高, 它不仅可分层显示视网膜脉络膜血管网信息, 而且能定量分析黄斑区血流变化情况, 并且首次实现在活体上对视盘、黄斑区的血流分析达到组织解剖水平, 应用前景广阔, 越来越受眼科医生的青睐。本文就 OCTA 在糖尿病视网膜病变中的临床应用现状进行简要综述。

**关键词:** 糖尿病视网膜病变; 光学相干断层扫描血管成像; 应用; 现状

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2020.7.13

## Clinical application of OCTA in diabetic retinopathy

Cheng Qin, Xiao-Hui Liu

**Foundation item:** Guangxi Health Commission Self-funded Research Project (No.Z20190526)

Department of Ophthalmology, the Second Affiliated Hospital of Guilin Medical College, Guilin 541199, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

**Correspondence to:** Cheng Qin. Department of Ophthalmology, the Second Affiliated Hospital of Guilin Medical College, Guilin 541199, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China. 13977306440@163.com

Received:2019-09-19 Accepted:2020-06-02

## Abstract

• Diabetic retinopathy is the most common disease of microvascular diseases caused by diabetes. It is harmful to vision in the late stage. If not treated in time, it can cause blindness. The diagnosis, treatment and follow-up of diabetic retinopathy were mainly based on fundus

fluorescein angiography. There are some limitations in the clinical application because of the side effects of its operation, such as invasive, allergic and adverse reactions. Recently, optical coherence tomography has become more and more popular among ophthalmologists for its noninvasive, rapid and high resolution fundus angiography. It cannot only display the choroidal vascular network information in layers, but also quantitatively analyze the changes of blood flow in the macular region. For the first time, the blood flow analysis of optic disc and macular area *in vivo* has reached the level of tissue anatomy. It has wide application prospect and is more and more favored by ophthalmologists. In this paper, the clinical application of octa in diabetic retinopathy was reviewed.

• **KEYWORDS:** diabetic retinopathy; optical coherence tomography angiography; application; status quo

**Citation:** Qin C, Liu XH. Clinical application of OCTA in diabetic retinopathy. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2020;20(7):1175-1178

## 0 引言

糖尿病是由机体内胰岛素分泌缺陷和或生物作用受损引起的以长期慢性高血糖为特征的代谢性疾病<sup>[1]</sup>。长期慢性高血糖会对患者全身微血管造成不良影响, 在眼部对视网膜的微血管影响最明显。糖尿病视网膜病变 (diabetic retinopathy, DR) 是糖尿病引起的微血管病变中最常见的疾病, 也是我国 40 岁以下人群最常见的致盲眼病<sup>[2-3]</sup>。糖尿病视网膜病变常见的病理改变是微血管瘤和棉绒斑<sup>[4]</sup>, 微血管瘤是 DR 严重程度分级评估指标之一。DR 早期的另一个重要特征是视网膜毛细血管会出现无灌注区, 随着 DR 病情加重视网膜缺血缺氧也会加重, 无灌注区面积也会逐渐增大, 进一步发展则会出现新生血管, 进展为增殖型糖尿病视网膜病变 (proliferative diabetic retinopathy, PDR)。玻璃体积血、牵拉性视网膜脱离、新生血管性青光眼等是 PDR 的主要临床表现, 对视力危害极大, 如不及时治疗有失明、眼球萎缩的风险。因此, 对于非增殖型糖尿病视网膜病变 (non-proliferative diabetic retinopathy, NPDR) 无论是检查还是治疗都至关重要。以往诊断 DR 的金标准是荧光素眼底血管造影 (fundus fluorescein angiography, FFA), 但是因其操作有创、容易发生不良反应等副作用, 在临床应用中有一定的局限性。OCTA 是近年来发展最快速的眼底血管成像技术, 优点是微创无副作用、快速清晰成像, 它不仅可分层显示视网膜脉络膜血管网信息, 而且能定量分析黄斑区血流变化情况<sup>[5-8]</sup>, 还能为视网膜、黄斑区及视盘提供高分辨、分层分析的三维图像, 并且首次实现在活体上对视盘、黄斑区的血流分析达到组织解剖水平。目前 OCTA 较多应用于观察 DR 患者的视网膜微血管瘤、视

网膜毛细血管无灌注、视网膜毛细血管密度、黄斑中心凹无血管区面积、新生血管等方面。OCTA 为监测糖尿病眼底血管网及血流变化情况提供了早期的客观判断的依据,可在一定程度上为 DR 患者是否需要激光治疗提供参考,也可定量跟踪激光治疗的疗效,在临床应用中发挥着举足轻重的作用。本文就 OCTA 在 DR 的临床应用现状进行简要综述。

### 1 OCTA 基本工作原理及优缺点

OCTA 也称为 SSAD-OCT,基本工作原理主要利用分频增幅去相干血管成像技术(split-spectrum amplitude decorrelation angiography algorithm)对同一部位进行重复快速扫描探测运动粒子的运动(主要是红细胞的运动),分析处理扫描的全部信息(包括反射信号及其变化情况),同时兼顾强度与方向,视网膜血流中运动的红细胞反映了反射信号的变化情况,除血流外其他组织是保持静止的<sup>[9]</sup>。此外,在一定范围内,OCTA 反射信号与血流速度呈线性关系,信号越高代表血流速度越快<sup>[10]</sup>。影响血流成像质量的因素有血液流动、眼球运动和组织的布朗运动等,但是经过处理后的 OCT 信号增强了血流的信号,SSADA 通过创新也减少了因眼球轴向运动和运动产生的噪点,提高了 OCTA 的成像质量。

OCTA 作为最新快速发展的血管造影技术,与 FFA 比较有优点也有缺点。其优点有:(1)OCTA 无需静脉注射造影剂,检查方便快捷;(2)OCTA 能在视网膜毛细血管层面上清晰成像(尤其是对黄斑区及视盘微循环)<sup>[11]</sup>,因此眼底血管成像分辨率高;(3)OCTA 通过对视网膜血管的三维成像、分层成像,以及通过体绘制 OCTA 得到血管的三维模型,可以准确定位血管位置和深度,也可以分别提取到视网膜浅层、视网膜深层、外层视网膜、脉络膜毛细血管层、深部脉络膜的血管图像;(4)通过量化血管参数,如视网膜血管丛血流速度<sup>[10]</sup>和病灶面积<sup>[6]</sup>,可以利用 OCTA 客观分析和观察视网膜血管异常情况。OCTA 的缺点有:(1)OCTA 扫描范围相对较小,主要用于眼底后极部视网膜的观察;(2)OCTA 易受运动伪影影响,出现分割误差,所以需要患者固视和配合良好;(3)OCTA 不能观察评估视网膜血管渗漏情况,无法提供血-视网膜屏障完整性信息<sup>[6]</sup>;(4)OCTA 存在投射伪影,对脉络膜循环横截面血管成像的准确性有影响,因为浅层血管的伪影可以投射到深层或高反射层面。

### 2 正常人视网膜脉络膜微血管结构 OCTA 分析

在 OCTA 中,正常眼底血管成像分为内层视网膜(分为浅层毛细血管层和深层毛细血管层)、外层视网膜及脉络膜血管丛,内层视网膜血管网位于神经节细胞层,外层视网膜血管网位于内核层<sup>[12]</sup>,已有学者通过 OCTA 观察进一步证实了视网膜有浅层和深层两套相对独立的血管网,并且二者之间有垂直血管相互沟通<sup>[13]</sup>。玻璃体及外层视网膜为无血管区,脉络膜循环位于 Bruch 膜之下,OCTA 的 en-face 扫描中不同血管床用不同颜色标记,因此可单独观察分析视网膜循环和脉络膜循环<sup>[14]</sup>。正常情况下脉络膜毛细血管血流均匀致密,但是当视网膜色素上皮层(retinal pigment epithelium, RPE)发生病变时,大血管中无相干干涉现象,致使脉络膜毛细血管层的血流信号强弱不均,脉络膜深层的大血管血流信号会减弱甚至消失,因此部分甚至整个脉络膜的大血管在 en face OCTA 以及结构 OCTA 上显示为暗区<sup>[15]</sup>。

### 3 OCTA 在 DR 中临床应用

近年来,OCTA 已成为一种新的分析和评价视网膜脉络膜疾病的无创性检测工具,在临床实践中得到越来越广泛的应用。目前,OCTA 在 DR 中的应用主要集中在通过分析视网膜微血管瘤、黄斑区微循环、视网膜新生血管等评估糖尿病视网膜病变程度及其治疗疗效,而视网膜微循环方面研究主要集中在视网膜毛细血管无灌注、视网膜毛细血管血流密度、黄斑中心凹无血管区等方面,通过这些研究,不仅可以阐明 DR 的多种临床特征,而且也可以在一定程度上指导糖尿病视网膜病变的治疗,为 DR 患者是否需要激光治疗提供参考,也可定量跟踪激光治疗的疗效,还可定量评估抗 VEGF 治疗效果,在临床应用中具有重要作用。

**3.1 视网膜微血管瘤** 微血管瘤是 DR 早期的微血管改变,其形成的重要原因是早期周细胞的丢失和内皮细胞的增殖<sup>[4]</sup>,组织病理学证实微血管瘤是局部毛细血管扩张形成的,形态为囊状、梭形、局部膨胀形,在 OCTA 上的表现与组织病理学类似。Matsunaga 等<sup>[5]</sup>运用 OCTA 和 FFA 检查 DR 患者,发现视网膜微血管瘤(microaneurysms, MA)或仅见于 FFA,或仅见于 OCTA,或两者中都存在。2015 年 Ishibazawa 等<sup>[16]</sup>研究发现 OCTA 不仅能显示视网膜浅层及深层毛细血管,也能清楚显示 DR 的微血管瘤,这些微血管瘤起源于表层和/或深层毛细血管丛,局部扩张为囊状或梭状。目前,OCTA 已经用于定量跟踪玻璃体腔内注射抗新生血管因子<sup>[17]</sup>和激光光凝的效果。有学者通过研究发现抗血管内皮生长因子类药物<sup>[18]</sup>,如雷珠单抗玻璃体腔注射可以逆转 NPDR 的微血管瘤。Lee 等<sup>[19]</sup>利用 OCTA 观察发现 DR 患者接受抗 VEGF 治疗后微血管瘤数量比治疗前减少。近期有研究报道高反射 MA 更容易引起糖尿病性黄斑水肿(diabetic macular edema, DME)的发生,MA 数量越多,疾病的进展风险越高、速度越快<sup>[20]</sup>,这一发现具有重要临床意义,充分说明临床上早期诊治 MA 的重要性。利用 OCTA 观察 DR 患者 MA 特征,可以更好地评估患者视力预后以及疗效。

**3.2 黄斑区微循环** DR 患者因缺血缺氧可出现视网膜毛细血管闭塞进而形成无灌注区,且随着 DR 病变程度加重无灌注区面积也会逐渐增大,视网膜大面积无灌注区可导致视网膜微循环障碍和视功能障碍。OCTA 能清晰地显示 DR 黄斑区视网膜微循环的改变情况,主要表现为不同程度的浅层和深层毛细血管变形、破坏甚至消失,无灌注区的形成,黄斑中心凹无血管区面积(foveal avascular zone, FAZ)扩大等。李慧等<sup>[21]</sup>按照实验分组利用 OCTA 检测黄斑区血流密度(macular vascular density, MVD)、FAZ,发现正常对照组、无 DR 组和 DR 组 MVD 依次减少,FAZ 面积则依次增大。Hwang 等<sup>[22]</sup>研究报道,OCTA 检查可以定量评价 DR 患者黄斑区微循环的变化,结果显示,与正常对照组比较,DR 患者的黄斑旁中心凹和中心凹周围的血管密度依次减少,无血管区总面积和中心凹无血管区分别扩大。郑丹等<sup>[23]</sup>利用 OCTA 研究发现糖尿病患者早期黄斑区视网膜微循环障碍,且随着病情的进展而改变。姚牧笛等<sup>[24]</sup>发现黄斑区血管密度及 FAZ 面积、周长、FD-300 与糖尿病视网膜病变的病情发展密切相关。Kim 等<sup>[25]</sup>通过 OCTA 测量 DR 患者与对照组 MVD 值比较发现,DR 患者表层视网膜和深层视网膜 MVD 均减少,且随着病情加重,MVD 减少更加明显,说明 MVD 的量化可评



估黄斑区毛细血管的损失程度, OCTA 可定量评估 DR 患者黄斑区视网膜微循环的变化情况。Hasegawa 等<sup>[4]</sup>发现 OCTA 能够有效地分辨出黄斑囊样水肿和微动脉瘤, 黄斑囊样水肿在 OCTA 上显示为不沿毛细血管分布、边界光滑的无血流区, 而微动脉瘤则主要存在于深层, 不伴随水肿发生。

视网膜疾病与脉络膜血液循环密切相关, 因外层视网膜的血液供应来源于脉络膜毛细血管层<sup>[26]</sup>。Dodo 等<sup>[27]</sup>研究发现 DR 患者中内层脉络膜血流无灌注面积较无 DR 患者大, 并且 DR 患者血液中 VEGF 的表达也增加。我国学者研究发现<sup>[28]</sup>, DR 患者脉络膜毛细血管层黄斑区血流密度较正常人降低, 脉络膜血液循环的下降与 DME 关系密切。也有国内学者研究发现<sup>[23]</sup>对于糖尿病患者即使早期未发生 DR, 脉络膜毛细血管层黄斑区血流密度也会降低, 说明糖尿病可导致脉络膜血液循环受损, 脉络膜缺血缺氧又加重了外层视网膜的缺血, 进而导致黄斑血流密度下降、无灌注区面积扩大<sup>[29-31]</sup>。

综上所述, OCTA 可以定量评估视网膜脉络膜黄斑区血流变化及黄斑缺血情况, 为监测早期糖尿病患者黄斑区的微循环改变提供客观依据, 同时也可应用量化 OCTA 检查作为一种无创监测手段监测 DR 发展过程, 在一定程度上为 DR 患者是否需要激光治疗给予提示, 以及评估激光治疗疗效提供参考, 也为更进一步研究糖尿病脉络膜病变提供有用依据。

**3.3 视网膜新生血管** 正常生理情况下, 血液中各种血管生成促进因子和血管生成抑制因子的表达处于平衡状态, 病理情况下, 这种平衡被破坏, 视网膜缺血缺氧就会导致新生血管的形成<sup>[32]</sup>。DR 患眼视网膜新生血管在 OCTA 图像上表现为浅层和深层不规则异常血管网状结构<sup>[33]</sup>, 多数视网膜新生血管与毛细血管无灌注区及视网膜内微血管异常临近。2016 年 De Carlo 等<sup>[34]</sup>利用 OCTA 观察 PDR 新生血管发现: 在后极部有新生血管形成的 13 眼中, 有 11 眼视网膜新生血管与视网膜毛细血管无灌注区毗邻, 6 眼与视网膜内微血管异常临近。已有学者<sup>[14]</sup>研究发现 OCTA 可清晰显示 DR 患者早期视网膜新生血管的形态及轮廓, 且能对新生血管血流面积及视网膜无灌注区进行量化分析, 通过对新生血管在视网膜内界膜 (optic nerve head, ONH) 的面积和血流指数的测量, 进一步定量评估视网膜新生血管的活性及其发展程度。Choi 等研究发现 SS-OCTA 可以很好地用于 DR 的随访观察, 因其可以识别视网膜新生血管的形态, 甚至是新生血管的形成起源<sup>[35]</sup>。Savastano 等<sup>[36]</sup>发现 OCTA 可以更好地发现视盘新生血管 (neovascularization of the optic disc, NVD), 更清晰地显示 NVD 的形态、位置、数量和大小, 并将其可视化。OCTA 能清晰显示视网膜新生血管内血流信号的变化, 能准确描述视网膜新生血管的特征, 目前比较广泛应用于玻璃体腔注射抗 VEGF 药物治疗新生血管的疗效评估。利用 OCTA 追踪观察 DR 新生血管的形成, 为今后研究 DR 病因学提供了新的途径。

#### 4 展望

OCTA 是近年来飞速发展的一项新型无创、快速便捷的检查工具, 可定量检测视网膜脉络膜血管形态和血流改变情况, 在眼科领域广泛应用于临床。OCTA 较多应用于观察糖尿病患者视网膜黄斑区血流变化情况, 也应用于视网膜静脉阻塞合并黄斑水肿抗 VEGF 治疗的疗效观察、视

网膜脱离复位前后黄斑区血流变化、开角型青光眼视盘血流变化情况, 应用前景非常广。多项研究表明, OCTA 在观察 DR 患者黄斑区微循环改变中具有图像清晰、鉴别准确、获得数据丰富等突出优势, 并且有利于提高 NPDR 检出率和及早治疗, FAZ 面积、黄斑区血流密度、血管密度等作为观察病变的敏感指标可定量分析。但是因为 OCTA 成像范围相对较小、不能动态显示血管渗漏、容易产生伪影等缺点, 在 DR 的临床应用中不能完全取代 FFA, 只能是部分取代 FFA 或是对 FFA 检查的补充。DR 的评价是基于全视网膜的, 需要对整个眼底全方位全面的观察分析。目前有些商业化 OCTA 扫描范围可以扩大到 6mm×6mm, 通过不同部位扫描然后组合图片可以增加观察范围, 甚至一些配合固视好的患者通过转动眼球可以扫描到血管弓以外的部分视网膜图像, 但是对于周边视网膜血管异常仍无法观察<sup>[37]</sup>, 这是目前 OCTA 在 DR 临床应用中无法逾越的鸿沟。因此, 需要我们在临床工作中, 对 DR 患者制定个性化诊疗方案, 根据具体病情选择合适的检查设备、制定合理的治疗方案。未来需要 OCTA 技术的不断创新进步, 期待在不久的将来 OCTA 会给眼科疾病的诊治和随访带来巨大的变革。

#### 参考文献

- 1 王健, 陈松, 何广辉, 等. 无明显糖尿病视网膜病变的 2 型糖尿病患者黄斑区微血管改变的光学相干断层扫描血管成像观察. *中华眼底病杂志* 2017;33(1):15-18
- 2 许欢, 孔祥梅. 原发性开角型青光眼黄斑区视网膜微循环和结构损伤的研究. *中华眼科杂志* 2017;53(2):98-103
- 3 Park HS, Yun HM, Jung IM, *et al.* Role of laser Doppler for the evaluation of pedal microcirculatory function in diabetic neuropathy patients. *Microcirculation* 2016;23(1):44-52
- 4 Hasegawa N, Nozaki M, Takase N, *et al.* New insights into microaneurysms in the deep capillary plexus detected by optical coherence tomography angiography in diabetic macular edema. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2016;57(9):OCT348-OCT355
- 5 Matsunaga DR, Jack JY, Dekoo LO, *et al.* Optical coherence tomography angiography of diabetic retinopathy in human subjects. *Ophthalmol Surg Lasers Imaging Retina* 2015;46(8):796-805
- 6 Spaide RF, Klancnik JM, Cooney MJ. Retinal vascular layers in macular telangiectasia type 2 imaged by optical coherence tomographic angiography. *JAMA Ophthalmol* 2015;133(1):66-73
- 7 Jia Y, Bailey ST, Wilson DJ, *et al.* Quantitative optical coherence tomography angiography of choroidal neovascularization in age-related macular degeneration. *Ophthalmology* 2014;121(7):1435-1444
- 8 Couturier A, Mané V, Bonnin S, *et al.* Capillary plexus anomalies in diabetic retinopathy on optical coherence tomography angiography. *Retina* 2015;35(11):2384-2391
- 9 Sambhav K, Grove R, Chalank V. The application of optical coherence tomography angiography in retinal diseases. *Surv Ophthalmol* 2017;62(6):838-866
- 10 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
- 11 Jia Y, Tan O, Tokayer J, *et al.* Split-spectrum amplitude-decorrelation angiography with optical coherence tomography. *Opt Express* 2012;20(4):4710-4725
- 12 Song SJ, Wong TY. Current concepts in diabetic retinopathy. *Diabetes Metab J* 2014;38(6):416-425
- 13 Savastano MC, Lumbroso B, Rispoli M. *In vivo* characterization of retinal vascularization morphology using optical coherence tomography angiography. *Retina* 2015;35(11):2196-2203

14 Jia Y, Bailey ST, Hwang TS, *et al.* Quantitative optical coherence tomography of vascular abnormalities in the living human eye. *Proc Natl Sci USA* 2015;112(18):2395-2402

15 王敏,徐格致,孙兴怀,等.OCT血管成像和 en faceOCT 图谱.上海:复旦大学出版社 2015

16 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

17 Chen Q, Yu XB, Sun Z, *et al.* The application of OCTA in assessment of anti - VEGF therapy for idiopathic choroidal neovascularization. *J Ophthalmol* 2016(2):5608250

18 Leicht SF, Kernt M, Neubauer A, *et al.* Microaneurysm turnover in diabetic retinopathy assessed by automated retmarker DR image analysis-potential role as biomarker of response toranibizumab treatment. *Ophthalmologica* 2014;231(4):198-203

19 Lee J, Moon BG, Cho AR, *et al.* Optical coherence tomographyangiography of DME and its association with anti - VEGF treatment response. *Ophthalmology* 2016;123(11):2368-2375

20 Parravvano M, De Geronimo D, Scarinci F, *et al.* Progression of diabetic microaneurysms according to the internal reflectivity on structural OCT and visibility on OCT angiography. *Am J Ophthalmol* 2019;198:8-16

21 李慧,陈沁,喻晓兵,等.糖尿病视网膜病变黄斑区血流密度和黄斑中心凹无血管区面积的变化. *中华糖尿病杂志* 2017;9:435-439

22 Hwang TS, Gao SS, Liu L, *et al.* Automated quantification of capillary nonperfusion using optical coherence tomography angiography in diabeticretinopathy. *JAMA Ophthalmol* 2016;134(4):367-373

23 郑丹,庞东渤.应用光学相干断层扫描血管成像(OCTA)评估糖尿病患者早期黄斑区视网膜微循环. *眼科新进展* 2018;38(6):548-552

24 姚牧笛,唐水晶,赵玥,等.糖尿病视网膜病变的黄斑区量化OCTA特征及其临床意义. *南京医科大学学报* 2019;39(2):267-271

25 Kim AY, Chu Z, Shahidzadeh A, *et al.* Quantifying microvascular density and morphology in diabetic retinopathy using spectral-domain optical coherence tomography angiography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2016;57(9):OCT362-OCT370

26 Spaide RF, Fujimoto JC, Waheed NK. Image artifacts in optical

coherence tomography angiography. *Retina* 2015;35(11):2163-2180

27 Dodo Y, Suzuma K, Ishihara K, *et al.* Clinical relevance of reduced decorrelation signals in the diabetic inner choroid on optical coherence tomography angiography. *Sci Rep* 2017;7(1):5227

28 向湘,马红婕,唐仕波. OCTA 在 DR 患者黄斑血流密度观察中的应用. *国际眼科杂志* 2017;17(7):1344-1347

29 Dimitrova G, Chihara E, Takahashi H, *et al.* Quantitative retinal optical coherence tomography angiography in patients with diabetes without diabetic retinopathy. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2017;58(1):190-196

30 Hua R, Liu L, Wang X, *et al.* Imaging evidence of diabetic choroidopathy *in vivo*: angiographic pathoanatomy and choroidal-enhanced depth imaging. *PLoS One* 2013;8(12):e83494

31 Melancia D, Vicente A, Cunha JP, *et al.* Diabetic choroidopathy: a review of the current literature. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2016;254(8):1453-1461

32 唐仕波,万婷,丁小燕.加强视网膜新生血管发生发展机制研究,为预防和治疗视网膜新生血管性疾病奠定基础. *中华眼底病杂志* 2010;26(3):199-202

33 Savastano MC, Federici M, Falsini B, *et al.* Detecting papillary neovascularization in proliferative diabetic retinopathy using opticalcoherence tomography angiography. *Acta Ophthalmol* 2016;30:353-357

34 De Carlo TE, Bonini Filho MA, Baurnal CR, *et al.* Evaluation of preretinal neovascularization in proliferative diabetic retinopathy usingoptical coherence tomography angiography. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina* 2016;47(2):115-119

35 Pan J, Chen D, Yang X, *et al.* Characteristics of Neovascularization in Early Stages of Proliferative Diabetic Retinopathy by Optical Coherence Tomography Angiography. *Am J Ophthalmol* 2018;192:146-156

36 Savastano MC, Federici M, Falsini B, *et al.* Detecting papillary neovascularization in proliferative diabetic retinopathy using optical coherence tomography angiography. *Acta Ophthalmol* 2018;96(3):321-323

37 王敏.利用光学相干断层扫描血管成像技术优势,提升视网膜脉络膜血管疾病认知水平. *中华眼底病杂志* 2016;32(4):353-356