

文章编号 1006-8147(2023)06-0681-05

综述

## OCTA 检测视网膜静脉阻塞微血管异常的研究进展

王子荀 综述,马翔,秦秀虹 审校

(大连医科大学附属第一医院眼科,大连 116011)

**摘要** 作为仅次于糖尿病性视网膜病变的第二大视网膜血管疾病,视网膜静脉阻塞(RVO)是导致不同年龄阶段人群视力严重下降甚至致盲的常见原因。其主要的并发症为视网膜浅层出血、黄斑囊样水肿、视网膜缺血、新生血管的产生等。光学相干断层扫描血管造影(OCTA)是一种基于 OCT 的新型成像技术,它可以使眼内功能性血管病理可视化,增加以分层血管的血流信号为观察视角。本文就 RVO 微血管病理机制并结合近年来 OCTA 在 RVO 微血管与视敏度相关性、RVO 微血管中视盘相关血管、黄斑囊样水肿与血管关系、微血管层面相关缺血指标以及 RVO 疗效预测的最新进展进行综述。

**关键词** 视网膜静脉阻塞;光学相干断层扫描血管造影;黄斑水肿;缺血

**中图分类号** R774.1

**文献标志码** A

视网膜静脉阻塞(retinal vein occlusion, RVO)是仅次于糖尿病视网膜病变的第二大视网膜血管疾病,是导致不同年龄阶段人群视力严重下降和相关发病率的常见原因<sup>[1]</sup>。RVO 根据眼底血管阻塞的位置及病灶范围大小可分为视网膜中央静脉闭塞(central retinal vein occlusion, CRVO)和视网膜分支静脉闭塞(branch retinal vein occlusion, BRVO);根据眼底荧光素血管造影(Fundus fluorescein angiography, FFA)上血管阻塞引起的视网膜毛细血管无灌注区域的大小,分为缺血性 RVO 和非缺血性 RVO。RVO 常见并发症包括黄斑水肿(macula edema, ME)、黄斑缺血、新生血管生成、玻璃体积血等。FFA 是诊断 RVO 及判定是否缺血的金标准,但传统 FFA 观察视网膜不同层次微血管病变具有部分局限性,不少患者存在造影剂过敏的情况,且该项检查在已确诊 RVO 患者并接受相关眼科治疗后随访时疗效观测中较为不便,因而会影响 RVO 的治疗策略及干预时机<sup>[1]</sup>。光学相干断层扫描血管造影(optical coherence tomograph angiography, OCTA)是一种基于 OCT 基础上着眼于微血管血流信号的新型成像技术,它可以使眼内功能性血管的病理血流信号可视化。OCTA 的原理是利用运动粒子(如红细胞)引起的 OCT 信号的变化作为血流成像的对比进而观察微血管层面的病理变化<sup>[2]</sup>。随着技术的革新,大量研究者通过 OCTA 技术与 RVO 微血管结构变化及病理过程与临床表现的相关性,以及 OCTA 相关参数与治疗预后的预测指标。本文就

RVO 微血管病理机制并结合近年来 OCTA 在 RVO 微血管与视敏度相关性、RVO 微血管中视盘相关血管、黄斑囊样水肿与血管关系、微血管层面相关缺血指标以及 RVO 疗效预测的最新临床进展综述。

### 1 RVO 与微血管的相关病理机制

RVO 作为视网膜常见血管疾病,其血管相关发病机制较为复杂。动脉硬化作为 RVO 发生的重要原因,通过内皮细胞损伤和血栓形成导致静脉闭塞,而血栓形成则是由 Virchow's 三联征的三个重要因素引起:即内皮损伤、高凝和异常血流。其中受累静脉中内皮细胞的损伤可能引起视网膜微血管的慢性炎症,导致炎症介质上调破坏血-视网膜屏障使 ME 发生并持续存在。此外,阻塞后的血管压力增加可能导致液体穿过血管壁渗漏到邻近的视网膜组织。另外一种学说即动脉功能不全,指动脉硬化导致管壁功能异常,向视网膜输送氧气不足,从而引起视网膜缺氧,进而产生血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF),而 VEGF 在 RVO 中各种微血管异常的发生中起着重要作用。VEGF 通过增加紧密连接蛋白的磷酸化使血管通透性增加,因此 VEGF 是血-视网膜屏障破裂导致血管渗漏和 ME 产生的重要原因。

就 RVO 血栓形成的危险因素而言,维持血管内皮细胞及微循环稳态,在稳定微循环中起重要作用。血管内皮细胞的生理功能主要为控制血小板释放及调控血液凝血和纤溶过程,同时视网膜血管内皮细胞之间形成紧密连接,起着血-视网膜内屏障作用,维持着视网膜内环境的稳定。相反,视网膜血管内皮损伤导致血-视网膜内屏障破坏血管通透性增加,导致病理性视网膜水肿进而影响视网膜功能。

基金项目 国家自然科学基金(2017YFA0105301)

作者简介 王子荀(1996-),男,硕士,研究方向:眼底病;通信作者:秦秀虹, E-mail: iris201113@163.com。

此外内皮细胞产生 NO 和前列腺素  $I_2$  ( $PGI_2$ ) 因子, 不仅能引起血管舒张, 还能通过相互作用抑制血小板聚集, 维持微血管循环稳定。而静脉交叉处解剖压迫导致静脉血的瘀滞会损伤相应位置的视网膜血管内皮细胞, 使 NO 和  $PGI_2$  分泌减少, 组织因子分泌增多, 导致高凝, 加速血栓的形成。RVO 的异常血流导致视网膜血流量减少从而使视网膜缺血、缺氧, 也会诱导 VEGF 的产生及表达。此外, 血流还与血管壁上的切应力有关, 异常血流使得血管壁上切应力的减少导致炎症细胞因子和细胞黏附分子的减少, 增加了白细胞黏附和血栓形成的可能性。

## 2 OCTA 在观测 RVO 微血管层面的应用

RVO 的临床病理体征包括静脉血管迂曲扩张、缺血-再灌注损伤、棉絮斑、ME 等。运用 OCTA 可清晰分层观察到 ME、毛细血管扩张、血流密度变化、视网膜毛细血管无灌注区 (no perfusion area, NP)、中央凹无血管区 (fovea avascular area, FAZ) 的破坏及侧支血管的形成和小凹周围毛细血管丛的结构完整性等情况, 同时定量分析黄斑和视盘区域不同血管层中血管密度的变化也是 OCTA 优于其他检查的优势之一。

**2.1 RVO 视盘周围 OCTA 的表现** 视盘周围放射状毛细血管网 (radial peripapillary capillary, RPC), 为来源于视网膜中央动脉主干或分支, 在神经纤维层中围绕视盘呈放射状分布, 其特点是管径细、走行较长、吻合支少, 只有少部分走行短的毛细血管相互之间有吻合, 也可与其下面的毛细血管网交通。

研究表明, OCTA 检测 RVO 患者的 RPC 血管密度明显降低, 可以作为评估 BRVO 中视乳头灌注状态的有效参数, 该研究还证实 OCTA 在 BRVO 未受影响的眼检出视网膜浅层、FAZ 区和乳头周围血管异常的敏感性较其他检查的优越性, 即在单眼发病的 RVO 患者中, 健眼 RPC 也可能存在异常。这为预测健眼 RVO 发病及异常血流提供全新思路。此外, OCTA 检测单侧 BRVO 患者的健眼在视网膜浅层、FAZ 周围区域和乳头周围区域均有血管异常, 表明 OCTA 相较 FFA 可检出早期 RVO 患者对侧健眼的微血管异常, 为该类患者对侧眼发病预测提供血流相关异常信号<sup>[3]</sup>。

最近研究揭示 OCTA 检测微血管异常与对应神经纤维的相关性<sup>[4]</sup>。Mansoori 等<sup>[5]</sup>通过 OCTA 辅助发现较厚的 RNFL 具有更密集的 RPC, 因此得出 RPC 可能负责营养 RNFL 的功能, 并建立起 RVO 与 RPC 及神经纤维厚度的相关关系: RVO 患者 RPC 降低可能是导致视网膜神经纤维营养缺失继

而萎缩变薄最终使视觉功能下降。

## 2.2 RVO 视网膜 OCTA 的表现

**2.2.1 ME 的 OCTA 表现** 视网膜中央黄斑区是视功能最敏感的部位。虽然 FFA 黄斑区花瓣样强荧光及频域 OCT 测得的中央视网膜厚度值可以定性及定量评估显示 RVO 患者 ME 水平, 但是 OCTA 在黄斑水肿微血管机制的阐明及早期 ME 监测起到重要补充作用。有研究使用 OCTA 联合微视野计对 BRVO 患者黄斑 3 mm×3 mm 范围视网膜血管密度 (vascular density, VD) 定量分析中得出结论: RVO 患者眼的深部旁中央凹和浅表 VD 显著低于对侧眼, VD 降低区域与 ME 区域具有较高的对应性<sup>[6]</sup>。RVO 患者可在 OCTA 上观察到 FAZ 面积增大, ME 对拱环周围毛细血管的机械牵拉使其结构破坏, 因此 VD、CRT 及 FAZ 面积成为检测 RVO 中 ME 的敏感指标。同时, Fageme 等<sup>[7]</sup>发现 OCTA 检测出的孤立病理性血管是 BRVO 中持续性黄斑水肿的重要指标, 而视网膜浅层血管丛 (superficial capillary plexus, SCP) 和视网膜深层血管丛 (deep capillary plexus, DCP) 之间毛细血管缺失的间隙可能是预测黄斑水肿患者预后的有效标志物<sup>[8]</sup>。Yeung 等<sup>[9]</sup>发现深浅血流量比值 (deep-superficial flow ratio, DSFR) 可以代表深毛细血管丛对浅毛细血管丛的相对损伤, 视网膜分支静脉阻塞眼伴难治性黄斑水肿的 DSFR 降低, 这侧面支持了 DCP 损伤可能在损害视网膜的流体动力学中发挥关键作用, 从而导致 ME 的理论。最近 Nishigori 等<sup>[10]</sup>发现 OCTA 新指标即血流可变扫描时间 (variable interscan time, VISTA), 可以检测到使用标准扫描时间无法检测到的黄斑灌注变化, 并可能与预测黄斑水肿的复发有相关关系。该团队还发现用 OCTA 监测旁中心凹血管直径指数, 认为旁中心凹血管直径指数特别是颞侧区是 BRVO 是否发生 ME 的重要指标, 这提示了旁中心凹及叠加成像在 OCTA 运用于 RVO 患者 ME 观测及预测中的重要作用。Fan 等<sup>[11]</sup>则发现 OCTA 可以显示 RVO 患者对侧健眼早期 DCP 及 SCP 的损伤, 这种损伤同时也涉及到脉络膜血管。这与前述 OCTA 对于视盘周围微血管的健眼发病预测互为补充, 逐渐构建微血管层面对于 RVO 的发病预测的重要意义。但最近也有结果<sup>[12]</sup>表明在伴有严重黄斑水肿的 CRVO 病例中, 视盘 VD 可能比黄斑 VD 更准确全面反映 RVO 患者的血流信号。

**2.2.2 RVO 缺血的 OCTA 表现** RVO 的缺血诊断金标准目前仍为 FFA 图像存在大于 5 个视盘直径的 NP 区, 但由于部分患者造影剂过敏, 且传统



FFA缺血范围的界定存在偏差。OCTA可定性及定量研究RVO患者缺血相关微血流指标。视网膜血管疾病中的视网膜NP由缺血引起,在OCTA中可检测到RVO边缘伴有微血管的异常信号,此功能可与FFA晚期渗漏相对应,而对于早期微血管异常渗漏不明显的患者OCTA可显示出早期检测微血流异常的高敏感性优势。由于NP常始于局灶性视网膜毛细血管阻塞,早期OCT无明显异常,而OCTA对于早期NP的显示有良好检出作用,因此较OCT早期检出更敏感<sup>[1]</sup>。

在RVO缺血相关性研究中,视网膜在DCP水平最容易检出血流异常<sup>[13]</sup>。曾有研究在BRVO、CRVO眼中定量评估OCTA和FFA中观察到的NP之间的关系,通过在计算NP区域的大小以及FFA和OCTA图像之间的重叠比,观察到OCTA的SCP层和DCP层的NP形态有所不同,但OCTA相比FFA更精准的观测不同分层血流信号异常与NP关系,同时也得出NP面积的大小在SCP层和DCP层并无显著性差异<sup>[14]</sup>。说明SCP层中NP区域的大小也可以代表视网膜缺血的严重程度,且DCP敏感性更强。

定量评估视网膜毛细血管密度和FAZ是视网膜血管疾病中黄斑缺血的潜在生物标志物。FAZ与视网膜缺血存在相关关系,Werner等<sup>[15]</sup>研究显示,OCTA与FFA在评估视网膜无灌注和FAZ方面无明显差异,但OCTA作为无创性检查,其优势便得以体现。Nobrt等<sup>[16]</sup>通过OCTA量化了FAZ的面积以评估RVO缺血程度,结果显示RVO患者的患眼和对侧眼均易发生视网膜深层毛细血管丛缺血,且对应的FAZ区扩大,但也有报道显示FAZ没有明显的改变。当然,FAZ的破坏与SCP及DCP也有相关性,且FAZ的破坏在DCP中比在SCP中更常见。此外,利用OCTA观测小凹周围毛细血管网的破坏程度对于FFA未测得的外周缺血和DCP中的NP区域的检出具有优势,且可以认为临床早期缺血的判定指标。

最近,一项纳入50例CRVO患者的临床研究<sup>[17]</sup>,将其根据FFA分为缺血性RVO与非缺血性RVO,发现缺血性RVO在浅层血管密度、深层血管密度、浅层及深层副中心凹VD、FAZ面积及周长、FAZ无血管指数均有差异,而其中深层血管密度及深层副中心凹VD具有突出及敏感性。以上不难看出,OCTA中FAZ的定性及定量分析在评估RVO缺血性质及是否行视网膜激光光凝的判断中具有重要意义,但其敏感程度目前低于DCP,机制仍待进一步研究论证。

Jung等<sup>[18]</sup>通过将CRVO患者根据是否缺血在OCTA影像上进行四象限划分,发现与非缺血性RVO组及正常对照组比较,缺血性RVO在OCTA上的微血管指标具有明显的象限不对称性,这也为研究其它缺血性视网膜疾病提供新的研究角度。Adhi等<sup>[19]</sup>曾对缺血性RVO患者16眼进行OCTA检测,发现侧支循环血管的有效建立可有助于缓解RVO视网膜缺血症状,为再灌注与缺血提供可靠的影像证据。

### 3 OCTA在RVO视敏度中的最新应用

视敏度是反映视功能及视觉质量的重要指标。OCTA可检测到RVO患者的FAZ增大、中央凹旁毛细血管无灌注增加和中央凹VD降低。其中FAZ的浅表面积和旁中央凹VD被证实与RVO患者的视敏度相关。在一项涉及OCTA联合显微视野检查测量副中央凹区NPA的研究结果表明,该项指标与VA和黄斑敏感性相关性最为显著,甚至超过椭圆区(EZ)连续性的相关关系<sup>[1]</sup>。此外,FAZ最大直径、DCP中的中心凹血管密度(foveal vascular density, FVD)和DCP血管灌注也与最佳视敏度相关<sup>[20]</sup>。尽管先前研究没有发现DCP、SCP血管灌注、视敏度和微周指数的内在关联,但Manabe等<sup>[21]</sup>报道了SCP和DCP中血管无灌注区域的视网膜敏感性降低,其中SCP中血管无灌注与视敏度的相关性更强。

### 4 OCTA在RVO治疗的评估

4.1 抗VEGF治疗后OCTA参数的临床意义 近年来随着抗VEGF和类固醇植入治疗的普及,OCTA帮助发现其对毛细血管扩张和小凹周围血管破裂的稳定和修复作用,但有研究表明,SCP和DCP的血管密度及FAZ面积在治疗后短期内保持不变甚至降低<sup>[22]</sup>。在接受抗VEGF注射较少的眼睛中,FAZ扩大的程度较大。在抗VEGF治疗后,SCP和DCP的NPA面积均有所减少,而DCP的减少更大。在接受更多次抗VEGF治疗的RVO患者中更为明显。这可能与血管白细胞瘀滞出现暂时的再灌注现象的停止有关。RVO眼的血管灌注面积小,且在频繁接受抗VEGF注射的眼睛有所改善,DCP有更大的改善。而单次抗VEGF注射后,血管密度没有明显变化<sup>[23]</sup>。这些均说明了RVO抗VEGF可能有疗效叠加作用,定期、规律的随诊及OCTA监测对于治疗疗效的确切程度高度相关。

此外,也逐步发现了一些全新的OCTA参数用于观测抗VEGF治疗后的疗效。Tang等<sup>[24]</sup>运用OCTA结果表明,抗VEGF治疗可显著改善BRVO中的无毛细血管区(periarterial capillary-free zone, paCFZ),

paCFZ 与视网膜神经元营养供给有关,这为视网膜供氧及功能预测提供了有力证据。

随着 OCTA 技术的不断更新,基于 FAZ 周边的一些参数,例如 FAZ 周长、无密度指数和 FAZ 周围 300  $\mu\text{m}$  宽环内的血管密度的量化及监测也证实了抗 VEGF 治疗 12 个月对 RVO 患者预后更好<sup>[25]</sup>。

**4.2 OCTA 参数对预后的预测作用** RVO 患者的视觉预后与血管灌注及 FAZ 面积有关,DCP 灌注不足可能会影响视力预后。Andrew 等<sup>[26]</sup>研究发现在大多数 RVO 患者的抗 VEGF 治疗后,平均 VD 和 FAZ 面积维持了至少 12 个月,因而初始时较高的 VD 和较小的 FAZ 对患者预后的影响较大。Huang 等<sup>[27]</sup>发现在病变眼中,BRVO 病灶区及外围的 NP 区血管和 SCP 以及 DCP 密度与最终的 BCVA 高度相关。Lee 等<sup>[28]</sup>提出视网膜微血管弯曲特征可作为评价 RVO 患者视觉预后的新的微血管标志物,如分支数、平均分支长度、平均欧氏长度和血管弯曲度等。

RVO 患者黄斑 DCP 及 SCP 血管密度降低与抗 VEGF 治疗后的 ME 复发有关,在 DCP 中 NPA 区域中存在孤立血管与持续的水肿相关性最好。此外,OCTA 中侧支血管中微动脉瘤的存在也是视网膜水肿的独立预测因素。Hasegawa 等<sup>[29]</sup>也发现了 VD 的改变与 ME 的复发和抗 VEGF 注射的次数密切相关。由此,结合光学相干断层扫描显示的视网膜内层紊乱等指标,将极大提高临床预测 RVO 患者复发 ME 预测的精准度。

最近研究表明,视网膜 VD 与视网膜厚度密切相关,提示在发病过程中开始时的 VD 可能预测视网膜最终厚度<sup>[30]</sup>。同时,量化 BRVO 眼的视网膜 NP 区域可作为评估新生血管等并发症风险发生的有效参考<sup>[14]</sup>。

OCTA 是一种相对较新的成像视网膜血流信号的无创成像方法。但是,其在 RVO 研究中依然存在局限性:首先,传统 OCTA 的扫描范围有限,虽然最近扫描源性 OCTA 可以在 OCTA 基础上扩大眼底监测范围,但其结果是静态的,不能观察血管的动态情况,也不能准确地显示血管渗漏和血管通透性的变化<sup>[31]</sup>;其次,OCTA 成像是基于检测血流动时信号,无血细胞流动的区域,如视网膜水肿或视网膜无灌注区,显示为弱信号,容易干扰临床判断。同时,伪影导致视网膜浅表血管模式在更深的层次上被复制,从而干扰了一些视网膜神经丛的清晰可视化和血管病理成像的准确性,最近,投影分辨 OCTA 的应用一定程度上规避了一些伪影对于诊断疾病的误区,但仍未完全解决。随着人工智能的发展,将

先进的基于人工智能的深度学习方法应用于 OCTA 参数,可以提高检测数据的准确性,降低人工测量数据的误差。相信 OCTA 技术的不断创新,可以在提高图像质量、获得广角视野检查区域的同时进行视网膜的动态血流监测,为 RVO 患者的诊断、治疗和随访带来更大的益处。

#### 参考文献:

- [1] 李泽锋,周希媛,刘丹宁,等.视网膜中央静脉阻塞黄斑区微血管结构特征性改变[J].中华实验眼科杂志,2022,40(7):664-669.
- [2] AN W, HAN J. Research progress of UWFFA and OCTA in retinal vein occlusion: a review[J]. Eur J Ophthalmology, 2021, 31(6): 2850-2855.
- [3] CHEN L, YUAN M, SUN L, et al. Evaluation of microvascular network with optical coherence tomography angiography (OCTA) in branch retinal vein occlusion (BRVO)[J]. BMC Ophthalmol, 2020, 20(1): 154-156.
- [4] BRAR M, SHARMA M, GREWAL SPS, et al. Quantification of retinal microvasculature and neurodegeneration changes in branch retinal vein occlusion after resolution of cystoid macular edema on optical coherence tomography angiography[J]. Indian J Ophthalmol, 2019, 67(11): 1864-1869.
- [5] MANSOORI T, SIVASWAMY J, GAMALAPATI J S, et al. Topography and correlation of radial peripapillary capillary density network with retinal nerve fibre layer thickness[J]. International Ophthalmol, 2018, 38(3): 967-974.
- [6] 肖亚星,李秀娟,崔璨,等.OCTA 联合微视野计在视网膜静脉阻塞黄斑水肿中的应用[J].国际眼科杂志,2022,22(2):287-292.
- [7] FAGEMENT P G, HYKIN J W, BAINBRIDGE S, et al. The relationship between retinal vessel oxygenation and spatial distribution of retinal nonperfusion in retinal vascular diseases [J]. Invest Ophthalmol, 2019, 60(6): 2083-2087.
- [8] TSUBOI K, ISHIDA Y, KAMEI M. Gap in capillary perfusion on optical coherence tomography angiography associated with persistent macular edema in branch retinal vein occlusion[J]. Invest Ophthalmol, 2017, 58(4): 2038-2043.
- [9] YEUNG L, WU W C, CHUANG L H, et al. Novel optical coherence tomography angiography biomarker in branch retinal vein occlusion macular edema[J]. Retina, 2019, 39(10): 1906-1916.
- [10] NISHIGORI N, MURAOKA Y, ISHIKURA M, et al. Macular blood flow changes in branch retinal vein occlusion examined by optical coherence tomography angiography variable interscan time analysis[J]. Retina, 2022, 28(9): 1976-1979.
- [11] FAN L, ZHU Y, LIAO R. Evaluation of macular microvasculature and foveal avascular zone in patients with retinal vein occlusion using optical coherence tomography angiography[J]. Int Ophthalmol, 2022, 42(1): 211-218.
- [12] YOUSIF H, RASHAD M, ABDEL DAYEM H K, et al. Evaluation of optic disc and macular vascularity changes in CRVO using optical coherence tomography angiography[J]. Retina, 2023, 33(2): 2004-2007.
- [13] COHEN S Y, MIERE A, NGHIEM S, et al. Clinical applications of optical coherence tomography angiography: what we have learnt in the first 3 years[J]. Eur J Ophthalmol, 2018, 28(5): 491-502.

- [14] LIU L, XIA F, HUA R. Retinal nonperfusion in optical coherence tomography angiography[J]. Photodiagnosis Photodyn Ther, 2021, 33: 127–129.
- [15] WERNER J U, BOHM F, LANG G E, et al. Comparison of foveal avascular zone between optical coherence tomography angiography and fluorescein angiography in patients with retinal vein occlusion[J]. PLoS One, 2019, 14(6): 217–219.
- [16] NOBRE CARDOSO J, KEANE P A, SIM D A, et al. Systematic evaluation of optical coherence tomography angiography in retinal vein occlusion[J]. Am J Ophthalmol, 2016, 163(6): 93–107.
- [17] AN W, ZHAO Q, YU R, HAN J. The role of optical coherence tomography angiography in distinguishing ischemic versus non-ischemic central retinal vein occlusion[J]. BMC Ophthalmol, 2022, 22(1): 413.
- [18] JUNG J J, CHAN X, LIM S Y, et al. Quadrant asymmetry in optical coherence tomography angiography metrics in ischemic versus non-ischemic central retinal vein occlusion eyes[J]. Transl Vis Sci Technol, 2023, 12(3): 30.
- [19] ADHI M, FILHO M A, LOUZADA R N, et al. Retinal capillary network and foveal avascular zone in eyes with vein occlusion and fellow eyes analyzed with optical coherence tomography angiography[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2016, 57(9): 494–496.
- [20] KANG J W, YOO R, JO Y H, et al. Correlation of microvascular structures on optical coherence tomography angiography with visual acuity in retinal vein occlusion[J]. Retina, 2017, 37: 1700–1709.
- [21] OUEDERNI M, KHALIFA MBH, SASSI H, et al. Quantitative analysis of microvascular network with optical coherence tomography angiography and its correlation with visual acuity in retinal vein occlusion[J]. Curr Ophthalmol, 2022, 33(4): 453–460.
- [22] GHASEMI FALAVARJANI K, IAFE N A, HUBSCHMAN J P, et al. Optical coherence tomography angiography analysis of the foveal avascular zone and macular vessel density after anti-vegf therapy in eyes with diabetic macular edema and retinal vein occlusion[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2017, 58(1): 30–34.
- [23] KOGO T, MURAOKA Y, UJI A, et al. Angiographic risk factors for recurrence of macular edema associated with branch retinal vein occlusion[J]. Retina, 2021, 41(6): 1219–1226.
- [24] TANG W, LIU W, GUO J, et al. Wide-field swept-source oct angiography of the periarterial capillary-free zone before and after anti-vegf therapy for branch retinal vein occlusion[J]. Eye Vis, 2022, 9(1): 25.
- [25] DENG Y, CAI X, ZHANG S, et al. Quantitative analysis of retinal microvascular changes after conbercept therapy in branch retinal vein occlusion using optical coherence tomography angiography[J]. Ophthalmologica, 2019, 242(2): 69–80.
- [26] WINEGARNER A, WAKABAYASHI T, FUKUSHIMA Y, et al. Changes in retinal microvasculature and visual acuity after anti-vascular endothelial growth factor therapy in retinal vein occlusion[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2018, 59(7): 2708–2716.
- [27] HUANG Y T, WANG I, LIN C J, et al. Comparison of choroidal thickness, foveal avascular zone, and macular capillary density in macular edema secondary to branch retinal vein occlusion treated with ranibizumab or aflibercept—a prospective study[J]. Medicina, 2022, 58(4): 540–543.
- [28] LEE H, KIM M A, KIM H C, et al. Characterization of microvascular tortuosity in retinal vein occlusion utilizing optical coherence tomography angiography[J]. Sci Rep, 2020, 10: 17788.
- [29] HASEGAWA T, MURAKAWA S, MARUKO I, et al. Correlation between reduction in macular vessel density and frequency of intravitreal ranibizumab for macular oedema in eyes with branch retinal vein occlusion[J]. Br J Ophthalmol, 2019, 103: 72–77.
- [30] LI Z, GU X, SONG S, et al. Structural and visual changes in branch retinal vein occlusion patients with retinal atrophy[J]. J Ophthalmol, 2022, 454: 67–69.
- [31] CHENG B T, MISHRA S, BRYAN J M, et al. Retinal vessel density and treatment intensity among adults with retinal vein occlusion: a swept-source optical coherence tomography angiography study[J]. J Clin Med, 2022, 11(10): 2892.

(2023-04-17 收稿)

欢迎投稿

欢迎订阅