

视网膜静脉阻塞的光学相干断层扫描血管成像应用

孙佳¹ 综述 杨冬妮² 审校

¹承德医学院,承德 067000; ²秦皇岛市第一医院眼科,秦皇岛 066000

通信作者:杨冬妮,Email:yangdongniqhd@sina.com

【摘要】 视网膜静脉阻塞(RVO)是临床上常见的引起无痛性视力下降的视网膜血管性疾病,目前荧光素眼底血管造影(FFA)是其诊断的金标准。但 FFA 为有创检查,可重复性差,不具备分辨和描绘深层毛细血管的能力。光学相干断层扫描血管成像(OCTA)具有无创、安全、简便、高效及较高轴向分辨率等特点,成为目前 RVO 诊断及疗效评价的有力工具。OCTA 还可以快速分层分析 RVO 患者微血管图像,定性定量评估双眼黄斑及视盘区各层毛细血管的形态结构及灌注状态。本文对 OCTA 在 RVO 患者中的应用做一全面综述,包括检测患眼和对侧健眼的黄斑及视盘区视网膜结构及血流变化、评估视力预后和抗血管内皮生长因子治疗效果、探究黄斑水肿复发机制、局限性以及发展前景,有助于医生更加全面地了解 RVO 疾病特征,为准确地指导疾病治疗、预测患者预后视力奠定重要基础。

【关键词】 视网膜静脉阻塞; 光学相干断层扫描血管成像; 图像特征; 综述

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20200918-00655

Application of optical coherence tomography angiography in retinal vein occlusion

Sun Jia¹, Yang Dongni²

¹Chengde Medical College, Chengde 067000, China; ²Department of Ophthalmology, the First Hospital of Qinhuangdao, Qinhuangdao 066000, China

Corresponding author: Yang Dongni, Email: yangdongniqhd@sina.com

[Abstract] Retinal vein occlusion (RVO) is a common retinal vascular disease that causes painless visual impairment in clinical practice. Currently, fluorescein fundus angiography (FFA) is the gold standard for its diagnosis. However, FFA is an invasive examination, which has poor reproducibility and lacks the ability to distinguish and depict deep capillaries. Optical coherence tomography angiography (OCTA) has the characteristics of the non-invasive, safe, simple, efficient, and high axial resolution, making it a powerful tool for the diagnosis and efficacy evaluation of RVO. OCTA not only rapidly analyzes microvascular images of RVO patients, but also evaluates the morphologic structure and perfusion status of capillaries qualitatively and quantitatively in each layer in the macular and optic disc area of both eyes. The article comprehensively reviewed the application of OCTA in RVO patients, including the detection of changes in retinal structure and blood flow in the macula and optic disc area of the affected eye and healthy contralateral eye, the evaluation of visual prognosis and the effect of anti-vascular endothelial growth factor treatment, the investigation of the recurrence mechanism of macular edema, and the limitations and development prospects. The article aimed to help ophthalmologists have a more comprehensive understanding of the characteristics of RVO disease and lay an important foundation for accurately and effectively guiding disease treatment and predicting patients' prognosis vision.

[Key words] Retinal vein occlusion; Optical coherence tomography angiography; Image features; Review

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20200918-00655

视网膜静脉阻塞(retinal vein occlusion, RVO)是一种常见的视网膜血管性疾病,表现为视网膜静脉迂曲扩张、火焰状出血、黄斑水肿、硬性渗出等。荧光素眼底血管造影(fluorescein fundus angiography, FFA)是目前诊断 RVO 的金标准,在检测 RVO 分型、视网膜灌注及血管渗漏等方面具有不可替代的重要作用。但 FFA 为有创检查,可重复性差,不具备分辨和描绘深

层毛细血管的能力,且部分患者在注射造影剂后可能发生恶心、呕吐、荨麻疹等症状^[1],甚至可能发生严重的过敏反应,导致 FFA 的临床应用受到了一定的限制。而光学相干断层扫描血管成像(optical coherence tomography angiography, OCTA)操作简便、可重复性强,无需注射任何染料便可观察评估各层微血管的形态结构及灌注状态,成为目前 RVO 诊断及疗效评价的

有力工具。深入分析 RVO 患者不同类型、不同部位、不同阶段的 OCTA 图像特征,可为患者预后视力预测、抗血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)治疗效果及黄斑水肿复发情况探究发挥重要作用。随着与人工智能的紧密结合, OCTA 的应用范围越来越广泛,为临床中 RVO 疾病诊断及治疗效果评估带来方便。本文就 RVO 患者的 OCTA 图像特征进行综述。

1 RVO 眼黄斑区的 OCTA 图像特征

1.1 浅层毛细血管

RVO 患者血管壁通透性增强, FFA 检查中易发生造影剂渗漏, 导致荧光遮蔽, 无法观察浅层毛细血管的形态及血流特征。而 OCTA 无需造影剂, 并具有较高分辨率, 可以更加清晰、准确地识别浅层毛细血管。Coscas 等^[2]对视网膜分支静脉阻塞(branch retinal vein occlusion, BRVO) 54 眼均行 OCTA 和 FFA 检查, 结果显示 OCTA 对黄斑囊样水肿的检出率为 76% (40/54), 而 FFA 的检出率仅为 68% (34/54); OCTA 对中心凹毛细血管拱环断裂的检出率为 92% (48/54), 而 FFA 的检出率仅为 72% (39/54)。这说明 OCTA 在检测黄斑囊样水肿和中心凹毛细血管拱环断裂方面较 FFA 更具优势。Werner 等^[3]对 47 例 RVO 患者进行 OCTA 和 FFA 检查发现, OCTA 与 FFA 在测定浅层中心凹无血管区(foveal avascular zone, FAZ) 面积方面具有很好的一致性。许多研究者将 RVO 患者 OCTA 和 FFA 图像进行对比, 发现两者在检测微动脉瘤和毛细血管扩张方面能力相当, 但 OCTA 可以检测出更多的毛细血管迂曲扩张、无灌注区及侧支血管等, 在评估视网膜缺血方面较 FFA 更胜一筹^[2,4-5]。因此, OCTA 能够定性定量评估 RVO 患者浅层毛细血管, 可替代 FFA 实现在无创条件下观察黄斑区浅层毛细血管。

1.2 深层毛细血管

FFA 图像的本质是患者注射造影剂之后的眼底照片, 只能观察到黄斑区各层微血管叠加在一起的灌注状态, 而 OCTA 可以通过不同层面相干光的不同反射强度获取各层面的微血管图像, 详细反映视网膜深层及脉络膜层灌注状态的变化。OCTA 可量化评估 RVO 患者深层毛细血管的变化, 为判断 RVO 患者预后提供了依据。Costanzo 等^[6]通过量化分析 RVO 患眼和对侧健眼黄斑区视网膜浅层、深层及脉络膜层毛细血管密度发现, 患眼各层毛细血管密度均较对侧健眼低, 其中以深层毛细血管密度降低最为明显。另有研究发现, RVO 患眼深层毛细血管发生 FAZ 扩大、无灌注区增大、毛细血管迂曲扩张和破裂的情况均较浅层毛细血管更为多见^[2,7]。Kim 等^[8]得出 BRVO 患者深层毛细血管受缺血影响的程度是浅层的 1.77~1.84 倍。Coscas 等^[2]提出一种假设, 即浅层毛细血管与视网膜小动脉相连, 可获得较高灌注压和较好氧供, 而深层毛细血管与通向小静脉相连, 易受缺血缺氧影响。由以上结论得出, 当发生 RVO 时, 深层毛细血管静水压会更快地升高, 引起较为严重的缺血缺氧, 血管灌注显著减少。

1.3 侧支血管

因 OCTA 具有无创、可重复性强的特点, 可用于观察侧支血管逐渐形成过程, 有利于对侧支血管的形成条件及机制的进行更深入的研究, 为黄斑水肿的形成机制、治疗方法提供新的思路。Wada 等^[9]采用 OCTA 纵向观察激光诱导的 RVO 动物模型, 发现侧支血管是由小静脉逐渐扩张形成, 而非由新生血管形成。侧支血管可将阻塞区静脉血引流到非阻塞区, 有利于消退黄斑水肿, 降低黄斑中心凹厚度^[10]。Freund 等^[11]研究了 101 例 RVO 患者侧支血管的 OCTA 图像, 发现除黄斑中心凹附近外, 几乎所有侧支血管均由深层毛细血管复合体引流。

2 RVO 眼视盘区的 OCTA 图像特征

除了黄斑区具有研究价值外, 视盘区也是评估 RVO 疾病进展和治疗效果的重要部位。OCTA 有助于量化了解视盘周围放射状毛细血管, 探讨其与预后视力之间的相关性, 从而全方面了解疾病的发病机制及疾病转归。Kang 等^[12]发现 BRVO 患眼的视盘周围脉络膜厚度显著降低, 提示可能与视盘周围脉络膜缺氧有关。Chen 等^[13]研究以视盘为中心的 4.5×4.5 mm OCTA 扫描图像发现, BRVO 患者视盘周围和视盘内毛细血管密度均降低。Nagasato 等^[14]发现, 视网膜中央静脉阻塞患者治疗前 OCTA 检测的视盘区血流速度可作为评估预后视力及视网膜敏感度的潜在可靠参数。

3 单眼 RVO 患者对侧健眼的 OCTA 图像特征

OCTA 显示单眼 RVO 患者对侧健眼黄斑区也出现了脉络膜变薄、FAZ 扩大及毛细血管密度降低^[12-13]。Shin 等^[15]的研究表明, 单眼 RVO 患者对侧健眼的平均神经纤维层厚度和神经节细胞内丛状层厚度变薄, 黄斑内环、外环及全区的视盘周围毛细血管密度和灌注密度显著降低。Maltsev 等^[16]观察单眼 RVO 患者双眼 OCTA 图像发现, 对侧健眼内核层变薄伴外丛状层抬高的发生率明显高于正常人。从目前研究结果来看, 当发生单眼 RVO 时, 对侧健眼的微血管也会发生缺血性改变, 虽然视力还未受到损伤, 但这可能是发生 RVO 的诱因或前期状态。目前的研究均缺乏长期 OCTA 随诊观察对侧健眼这种缺血性改变对微血管形态结构、灌注状态及视力的影响。

4 OCTA 评估预后视力情况

4.1 黄斑水肿

黄斑水肿是导致 RVO 患者视力下降、视物变形的主要原因, 以黄斑区积液为特征。Shi 等^[17]比较 RVO 合并黄斑水肿患者 OCTA 参数, 发现最佳矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA)与中心凹视网膜高度、视网膜下液面积之间呈正相关性, 而与囊样水肿面积、高反射病灶数之间无相关性。Mejia 等^[18]报道了 RVO 患者抗 VEGF 治疗后的最终视力与基线时中心凹视网膜高度密切相关, 这与 Shi 等^[17]的结论一致。因此, RVO 患者黄斑中心凹水肿情况对于视觉预后效果至关重要, 而 OCTA 可精确检测黄斑水肿形态学特征变化, 加强对黄斑水肿的认识。

4.2 视网膜结构完整性

视网膜结构的完整性是视觉信号突触传递的解剖学基础, RVO 患者合并严重的黄斑水肿可使感光细胞丢失, 破坏外界膜的完整性, 导致光感受器功能障碍, 视力下降^[19]。OCTA 需扫描 512 张 B-scan 图像, 可详细分析图像之间视网膜层间结构的细微变化, 对于观察 RVO 疾病具有极大的优势。Babiuch 等^[20]和 Balaratnasingam 等^[21]研究发现, 视网膜内层组织紊乱的 RVO 患者 ETDRS 评分显著降低, 由此推测基线时的视网膜内层组织紊乱程度可作为一种评估预后视力的生物学标志。Ogasawara 等^[22]通过对比分析 BRVO 眼与对侧健眼的 OCTA 图像, 发现患眼外界膜、椭圆体带和嵌合体带的平均厚度均明显小于对侧健眼, 其中外界膜和椭圆体带的完整性与 BCVA 存在显著相关性。Kogo 等^[23]回顾了 BRVO 患者黄斑水肿消退后的 OCTA 图像和微视野检查情况, 发现中心凹椭圆体带缺损长度会对视觉功能中心的固定产生影响, 而功能中心的固定与 BCVA 息息相关。Kogo 等^[23]还发现 BRVO 眼的功能中心多向上移位至光感受器未受损且灌注良好的视网膜区域。

4.3 视网膜灌注状态

黄斑区灌注为视网膜神经节细胞及其轴突提供血供, OCTA 图像能提供精确的黄斑区灌注状态信息, 对判断 RVO 患者预后视力具有重要价值^[24]。Rachima 等^[25]通过 OCTA 检测视网膜血流灌注密度发现, 轻中度血流灌注密度降低引起的视网膜出血水肿患者经抗 VEGF 治疗后视网膜敏感度有所提高, 而重度血流灌注密度降低易导致神经节细胞死亡, 使得抗 VEGF 治疗后患者视网膜敏感度不提高。Kang 等^[26]发现 OCTA 检测 RVO 患者黄斑中心凹浅层及深层毛细血管密度越高、FAZ 面积越小, 则预后 BCVA 就越好, 尤其是深层毛细血管密度。究其原因, 一方面, 深层毛细血管对传递视觉信号的突触连接起到营养支持作用, 其低灌注可能导致突触连接营养供应不足, 影响突触传递, 造成视力下降^[27]; 另一方面, 深层毛细血管密度降低会加重黄斑水肿, 造成光感受器的不可逆损伤^[28]。综合以上多项研究结果, OCTA 测定的视网膜灌注密度可用于预测 RVO 患者的预后视功能。

5 OCTA 评估抗 VEGF 治疗效果

这些年来, 使用 OCTA 评价 RVO 患者抗 VEGF 治疗效果成为许多研究者们关注的焦点。Sellam 等^[29]通过 OCTA 随访观察 28 例抗 VEGF 治疗前后 RVO 患者, 发现治疗后的黄斑囊样水肿程度明显减轻, 中心凹毛细血管拱环断裂明显恢复。Suzuki 等^[30]对比分析抗 VEGF 治疗前后 6 个月 RVO 患者 OCTA 图像发现, 治疗后 6 个月视网膜深层毛细血管密度增加, 侧支血管形成, 无灌注区减少, 视网膜灌注得到部分改善。而 Costanzo 等^[6]却发现 RVO 患者经抗 VEGF 治疗后视网膜和脉络膜的血管密度没有发生明显改变, 但黄斑中心凹视网膜厚度和脉络膜厚度显著降低, 推测 RVO 患者中心凹下脉络膜增厚可能是由脉络膜血管渗出导致, 而不是因为血管扩张或密度增加。以上研究结果表明抗 VEGF 药物消退黄斑水肿的效果明显, 但其是否增加毛细血管密度, 改善灌注状态还有待商榷。

6 OCTA 评估黄斑水肿复发

RVO 合并黄斑水肿容易复发, 需要多次反复进行玻璃体腔注射药物, 许多研究者应用 OCTA 观察黄斑水肿复发的影响因素。Choi 等^[31]发现 OCTA 检测 RVO 患者中心凹和凹旁的无灌注区与黄斑水肿复发密切相关。Yeung 等^[32]提出了一个新的 OCTA 生物学标志物“深浅层血流比”, 用来反映深、浅层毛细血管的相对损伤程度, 并发现缺血或闭塞引起的深层毛细血管复合体损伤破裂, 影响了视网膜流体动力学, 从而导致黄斑水肿复发。Hasegawa 等^[33]则发现黄斑水肿复发患者毛细血管密度降低程度低于消退组, 即毛细血管损伤越小, 水肿复发的几率越大。由此推测首次注射抗 VEGF 药物 1 个月后的黄斑区毛细血管密度降低程度可能与注射频率呈负相关。目前, 应用 OCTA 探究 RVO 患者黄斑水肿复发机制和预测因素的研究有限, 需要进一步深入研究。

7 OCTA 的局限性

OCTA 作为一种新型无创性眼科检查方法, 大大提高了我们对视网膜和脉络膜疾病的认识, 但 OCTA 在使用中也存在一些问题, 例如, 检测过程中患者眼球固定不充分可引起图像拉伸变形^[34]; 成像易受各层视网膜血管投影伪影及屈光介质混浊的影响^[24]; 合并黄斑水肿会引起视网膜结构紊乱, 影响分析软件准确区分各层微血管, 可能造成分层错误^[2]; 检测流速过快或过慢的血管时, 灵敏度降低; 检查范围局限, 明显小于 FFA, 等等。这些问题均可导致图像处理和数据提取的误差, 影响医生在临床及科研领域的诊断与治疗, 有待进一步改善。

8 OCTA 的发展前景

广角 OCTA 可以大致判断 RVO 患者缺血受累的范围和无灌注区的位置, 同时可使用 3×3 扫描模式对黄斑区的微循环血流形态进行细节观察^[35]。Shiraki 等^[36]发现 12×12 mm 广角 OCTA 扫描可以识别周边部位的无灌注区, 有助于更深入地了解周边视网膜的灌注状态。Nagasato 等^[37]建立深度学习和支持向量模型对 BRVO 眼 OCTA 图像进行分析, 发现其对无灌注区的检测在准确性、敏感性、特异性及所需时间等方面均优于人工测量。Diaz 等^[38]研究发现, 通过人工智能可自动提取并量化 OCTA 图像中 FAZ 区域和血管密度, 并能准确评估患者视力损失程度。OCTA 联合人工智或将成为一个新的探索领域。

在未来的发展中, OCTA 在 RVO 中的应用范围必将越来越广泛, 与人工智能的结合也将越来越紧密, 关注点可能集中于更快的扫描速度减少检查时长; 更大的扫描面积关注周边视网膜情况; 更清晰的图像质量、更连续的血流检测、更精确的图像处理算法、更合理的定性测量方法尽可能准确反映疾病特征, 从而更有效的指导 RVO 治疗和预测预后。

9 总结

综上所述, OCTA 可敏锐识别视网膜各层结构的变化, 精确

测量视网膜各层毛细血管密度,清晰观察脉络膜异常血管,因此已经广泛应用于视网膜血管性疾病的诊断、治疗以及预后评估。使用 OCTA 观察 RVO 患者典型的病理性改变,可以清晰地检测到黄斑区各层毛细血管均发生不同程度的结构破坏、血流灌注降低,视盘周围放射状毛细血管损伤,而且发现对侧健眼视盘及视网膜、脉络膜血流也会受到缺血性改变的影响。另外 OCTA 还可用于观察评估 RVO 患者影响视力预后的相关因素,评价抗 VEGF 治疗效果、探讨黄斑水肿复发机制等方面,对于全面评估患者眼部综合情况具有十分重要的作用。目前,关于 RVO 患者 OCTA 图像的精确判读、量化分析还不是特别的准确和全面,还缺乏对视盘区及对侧健眼血流以及眼部组织结构变化的研究。相信随着 OCTA 技术的不断发展,我们对视盘、视网膜以及脉络膜微血管解剖及功能的了解必将更加深入,可以进一步加深对 RVO 等视网膜血管性疾病的认知,使患者获得较好的预后视力。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Spaide RF, Klancnik JM Jr, Cooney MJ. Retinal vascular layers imaged by fluorescein angiography and optical coherence tomography angiography[J]. *JAMA Ophthalmol*, 2015, 133(1): 45-50. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2014.3616.
- [2] Coscas F, Glacet-Bernard A, Miere A, et al. Optical coherence tomography angiography in retinal vein occlusion: evaluation of superficial and deep capillary plexa[J]. *Am J Ophthalmol*, 2016, 161: 160-171. DOI: 10.1016/j.ajo.2015.10.008.
- [3] Werner JU, Böhm F, Lang GE, et al. Comparison of foveal avascular zone between optical coherence tomography angiography and fluorescein angiography in patients with retinal vein occlusion[J/OL]. *PLoS One*, 2019, 14(6): e0217849 [2022-05-16]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31163058>. DOI: 10.1371/journal.pone.0217849.
- [4] Suzuki N, Hirano Y, Yoshida M, et al. Microvascular abnormalities on optical coherence tomography angiography in macular edema associated with branch retinal vein occlusion[J]. *Am J Ophthalmol*, 2016, 161: 126-132. DOI: 10.1016/j.ajo.2015.09.038.
- [5] Chung CY, Tang H, Li SH, et al. Differential microvascular assessment of retinal vein occlusion with coherence tomography angiography and fluorescein angiography: a blinded comparative study[J]. *Int Ophthalmol*, 2018, 38(3): 1119-1128. DOI: 10.1007/s10792-017-0570-y.
- [6] Costanzo E, Parravano M, Gilardi M, et al. Microvascular retinal and choroidal changes in retinal vein occlusion analyzed by two different optical coherence tomography angiography devices[J]. *Ophthalmologica*, 2019, 242(1): 8-15. DOI: 10.1159/000496195.
- [7] 王林妮, 于荣国, 杨锦, 等. 视网膜分支静脉阻塞患眼浅层与深层毛细血管层黄斑区微血管形态改变的差异[J]. *中华眼底病杂志*, 2018, 34(1): 13-16. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1015.2018.01.004.
Wang LN, Yu RG, Yang J, et al. The difference of macular microvascular features in superficial and deep vascular plexi in patients with branch retinal vein occlusion[J]. *Chin J Ocul Fundus Dis*, 2018, 34(1): 13-16. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1015.2018.01.004.
- [8] Kim JT, Chun YS, Lee JK, et al. Comparison of vessel density reduction in the deep and superficial capillary plexuses in branch retinal vein occlusion[J]. *Ophthalmologica*, 2020, 243(1): 66-74. DOI: 10.1159/000502385.
- [9] Wada T, Song Y, Oomae T, et al. Longitudinal changes in retinal blood flow in a feline retinal vein occlusion model as measured by doppler optical coherence tomography and optical coherence tomography angiography[J/OL]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020, 61(2): 34 [2022-05-22]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32084269>. DOI: 10.1167/iovs.61.2.34.
- [10] Suzuki N, Hirano Y, Tomiyasu T, et al. Collateral vessels on optical coherence tomography angiography in eyes with branch retinal vein occlusion[J]. *Br J Ophthalmol*, 2019, 103(10): 1373-1379. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2018-313322.
- [11] Freund KB, Sarraf D, Leong B, et al. Association of optical coherence tomography angiography of collaterals in retinal vein occlusion with major venous outflow through the deep vascular complex[J]. *JAMA Ophthalmol*, 2018, 136(11): 1262-1270. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2018.3586.
- [12] Kang HM, Choi JH, Koh HJ, et al. Significant reduction of peripapillary choroidal thickness in patients with unilateral branch retinal vein occlusion[J]. *Retina*, 2018, 38(1): 72-78. DOI: 10.1097/IAE.0000000000001495.
- [13] 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/OL]. *BMC Ophthalmol*, 2020, 20(1): 154 [2022-05-26]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32306978>. DOI: 10.1186/s12886-020-01405-0.
- [14] Nagasato D, Mitamura Y, Semba K, et al. Correlation between optic nerve head circulation and visual function before and after anti-VEGF therapy for central retinal vein occlusion: prospective, interventional case series[J/OL]. *BMC Ophthalmol*, 2016, 16: 36 [2022-05-26]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27044276>. DOI: 10.1186/s12886-016-0211-7.
- [15] Shin YI, Nam KY, Lee SE, et al. Changes in peripapillary microvasculature and retinal thickness in the fellow eyes of patients with unilateral retinal vein occlusion: an OCTA study[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2019, 60(2): 823-829. DOI: 10.1167/iovs.18-26288.
- [16] Maltsev DS, Kulikov AN, Burnasheva MA, et al. Prevalence of resolved paracentral acute middle maculopathy lesions in fellow eyes of patients with unilateral retinal vein occlusion[J/OL]. *Acta Ophthalmol*, 2020, 98(1): e22-e28 [2022-05-26]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31347293>. DOI: 10.1111/aos.14196.
- [17] Shi K, Sun X, Zhang J. Optical coherence tomography angiography characteristics serve as retinal vein occlusion therapeutic biomarkers for dexamethasone intravitreal implant[J/OL]. *Dis Markers*, 2021, 2021: 3510036 [2022-05-26]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/34691285>. DOI: 10.1155/2021/3510036.
- [18] Mejía ME, Ríos HA, Rosenstiehl S, et al. Optical coherence tomography angiography as predictor of visual outcomes in retinal vein occlusion treated with antiangiogenic therapy [J]. *European journal of ophthalmology*, 2023, 33(1): 434-440. DOI: 10.1177/11206721221099487.
- [19] Fujihara-Mino A, Mitamura Y, Inamoto N, et al. Optical coherence tomography parameters predictive of visual outcome after anti-VEGF therapy for retinal vein occlusion [J]. *Clin Ophthalmol*, 2016, 10: 1305-1313. DOI: 10.2147/OPHT.S110793.
- [20] Babiuch AS, Han M, Conti FF, et al. Association of disorganization of retinal inner layers with visual acuity response to anti-vascular endothelial growth factor therapy for macular edema secondary to retinal vein occlusion [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2019, 137(1): 38-46. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2018.4484.
- [21] Balaratnasingam C, Inoue M, Ahn S, et al. Visual acuity is correlated with the area of the foveal avascular zone in diabetic retinopathy and retinal vein occlusion [J]. *Ophthalmology*, 2016, 123(11): 2352-2367. DOI: 10.1016/j.ophtha.2016.07.008.
- [22] Ogasawara Y, Iwase T, Yamamoto K, et al. Relationship between abnormalities of photoreceptor microstructures and microvascular structures determined by optical coherence tomography angiography in eyes with branch retinal vein occlusion [J]. *Retina*, 2020, 40(2): 350-358. DOI: 10.1097/IAE.0000000000002379.
- [23] Kogo T, Muraoka Y, Ooto S, et al. Fixation status after resolution of macular edema associated with branch retinal vein occlusion [J]. *Retina*, 2019, 39(10): 1896-1905. DOI: 10.1097/IAE.0000000000002250.
- [24] 王敏, 周瑶. 正确认识 OCT 血管成像技术的临床应用价值[J]. *中华实验眼科杂志*, 2016, 34(12): 1057-1060. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2016.12.001.
Wang M, Zhou Y. Correctly understanding the clinical value of optical coherence tomography angiography [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2016,



- 34 (12) : 1057 - 1060. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2016. 12. 001.
- [25] Rachima S, Hirabayashi K, Imai A, et al. Prediction of post-treatment retinal sensitivity by baseline retinal perfusion density measurements in eyes with branch retinal vein occlusion[J/OL]. Sci Rep, 2020, 10(1) : 9614 [2022-06-02]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32541783>. DOI: 10. 1038/s41598-020-66708-0.
- [26] Kang JW, Yoo R, Jo YH, et al. Correlation of microvascular structures on optical coherence tomography angiography with visual acuity in retinal vein occlusion[J]. Retina, 2017, 37(9) : 1700-1709. DOI: 10. 1097/IAE. 0000000000001403.
- [27] Wakabayashi T, Sato T, Hara-Ueno C, et al. Retinal microvasculature and visual acuity in eyes with branch retinal vein occlusion: imaging analysis by optical coherence tomography angiography [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2017, 58(4) : 2087-2094. DOI: 10. 1167/iovs. 16-21208.
- [28] Winegarner A, Wakabayashi T, Hara-Ueno C, et al. Retinal microvasculature and visual acuity after intravitreal aflibercept in eyes with central retinal vein occlusion: an optical coherence tomography angiography study [J]. Retina, 2018, 38(10) : 2067-2072. DOI: 10. 1097/IAE. 0000000000001828.
- [29] Sellam A, Glacet-Bernard A, Coscas F, et al. Qualitative and quantitative follow-up using optical coherence tomography angiography of retinal vein occlusion treated with anti-VEGF: optical coherence tomography angiography follow-up of retinal vein occlusion [J]. Retina, 2017, 37(6) : 1176-1184. DOI: 10. 1097/IAE. 0000000000001334.
- [30] Suzuki N, Hirano Y, Tomiyasu T, et al. Retinal hemodynamics seen on optical coherence tomography angiography before and after treatment of retinal vein occlusion [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2016, 57(13) : 5681-5687. DOI: 10. 1167/iovs-16-20648.
- [31] Choi KE, Yun C, Cha J, et al. OCT angiography features associated with macular edema recurrence after intravitreal bevacizumab treatment in branch retinal vein occlusion [J/OL]. Sci Rep, 2019, 9(1) : 14153 [2022-06-06]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31578437>. DOI: 10. 1038/s41598-019-50637-8.
- [32] Yeung L, Wu WC, Chuang LH, et al. Novel optical coherence tomography angiography biomarker in branch retinal vein occlusion macular edema [J]. Retina, 2019, 39(10) : 1906-1916. DOI: 10. 1097/IAE. 0000000000002264.
- [33] Hasegawa T, Takahashi Y, Maruko I, et al. Macular vessel reduction as predictor for recurrence of macular oedema requiring repeat intravitreal ranibizumab injection in eyes with branch retinal vein occlusion [J]. Br J Ophthalmol, 2019, 103(10) : 1367-1372. DOI: 10. 1136/bjophthalmol-2018-312769.
- [34] Nicolai M, Franceschi A, Turris S, et al. Papillary vessel density changes after intravitreal anti-VEGF injections in hypertensive patients with central retinal vein occlusion: an angio-OCT study [J/OL]. J Clin Med, 2019, 8(10) : 1636 [2022-05-26]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31590449>. DOI: 10. 3390/jcm8101636.
- [35] 魏文斌, 曾司彦. 重视光相干断层扫描血流成像的临床应用及其图像的判读 [J]. 中华实验眼科杂志, 2017, 35(10) : 865-870. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2017. 10. 001.
- Wei WB, Zeng SY. Paying attention to the clinical application and image interpretation in optical coherence tomography angiography [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2017, 35(10) : 865-870. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2017. 10. 001.
- [36] Shiraki A, Sakimoto S, Tsuboi K, et al. Evaluation of retinal nonperfusion in branch retinal vein occlusion using wide-field optical coherence tomography angiography [J/OL]. Acta Ophthalmol, 2019, 97(6) : e913-e918 [2022-06-12]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30900381>. DOI: 10. 1111/aos. 14087.
- [37] Nagasato D, Tabuchi H, Masumoto H, et al. Automated detection of a nonperfusion area caused by retinal vein occlusion in optical coherence tomography angiography images using deep learning [J/OL]. PLoS One, 2019, 14(11) : e0223965 [2022-06-12]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31697697>. DOI: 10. 1371/journal.pone. 0223965.
- [38] Diaz M, Dtez-Sotelo M, Gómez-Ulla F, et al. Automatic visual acuity estimation by means of computational vascularity biomarkers using OCT angiographies [J/OL]. Sensors (Basel), 2019, 19(21) : 4732 [2022-06-12]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31683559>. DOI: 10. 3390/s19214732.

(收稿日期:2022-11-22 修回日期:2023-06-16)

(本文编辑:张宇 骆世平)

读者·作者·编者

本刊对中英文摘要的要求

论著或综述文稿正文请撰写中英文摘要。原创性论著文稿要求为结构性摘要,包括目的(Objective)、方法(Methods)、结果(Results)和结论(Conclusions)4个要素,摘要应能够回答以下问题:(1)为什么进行这项研究。(2)主要用什么方法进行研究。(3)获得什么主要结果。(4)通过研究得出什么结论等。其中目的部分为本课题对上述提出问题设立的目标。方法部分应提供研究对象、样本量、分组情况、各组的干预情况、与研究相适应的观察或检测指标,获得结局指标的手段和设备等。临床研究请说明是前瞻性研究、回顾性研究还是观察性研究。结果部分请客观描述研究的主要发现,包括主要的形态学检查表现、相关的关键性或主要的量化资料以及相应的统计学比较结果,须写明统计学量值及其概率值。结论部分请提出与本研究论据直接相关的、必然的推论,避免得出过度推测性、评价性和扩大化的结论。摘要请用第三人称客观表述,不列图表,不引用文献,不加评论和解释。英文摘要应与中文摘要内容相对应,但为了对外交流的需要,可以略详细。英文摘要应包括论文文题(正体)及全部作者姓名(汉语拼音,姓在前,首字母大写,名在后,首字母大写,双字连写。如:Yin Xiaohui)、标准化的单位名称、城市名称(汉语拼音)、邮政编码及国家名称(全部为斜体)。并请在另起一行处提供通信作者姓名的汉语拼音和Email地址,如 *Corresponding author: Yin Xiaohui, Email: xiaohui@126.com*。专家述评或综述类文稿请撰写指示性中英文摘要,摘要内容应包含研究涉及的概念、研究的目的、综述资料的来源、复习的文献量、研究的新发现或应用领域、综合的结果和结论及其意义等必要的信息。

研究论文为前瞻性研究者应在中英文摘要结束处提供临床试验注册号,以“临床试验注册(Trial registration)”为标题,提供注册机构名称和注册号。前瞻性临床研究的论著摘要应注明遵循 CONSORT 声明(Consolidated Standards of Reporting Trials)(<http://www.consort-standart.org/home>)。

(本刊编辑部)