

• 综 述 •

# OCT/OCTA 在系统性红斑狼疮病变视网膜、脉络膜血管系统中的应用研究进展

何 欣,王 茜<sup>△</sup>,李颜宏

(重庆医科大学附属第二医院眼科,重庆 400010)

**[摘要]** 系统性红斑狼疮(SLE)是一种自身免疫性疾病,常伴眼部病变,尤其是视网膜病变,可能导致视力损害,严重影响患者生活质量。近年来,光学相干断层扫描(OCT)和光学相干断层血管成像(OCTA)技术在 SLE 视网膜病变研究中得到了广泛应用,能非侵入性地观察视网膜和脉络膜的结构及血流动力学参数,为早期诊断和监测提供了新手段。OCT 具有高分辨率的断层成像能力,可捕捉微小结构变化;OCTA 则无需染色剂,精准评估视网膜血流状况。该文综述了 OCT/OCTA 在 SLE 视网膜病变中的研究进展,重点探讨了其在早期检测和药物疗效监测中的应用前景,旨在为临床实践提供更精准的诊断工具 and 治疗方法。

**[关键词]** 光学相干断层扫描; 光学相干断层血管成像; 系统性红斑狼疮; 视网膜; 脉络膜; 综述

**DOI:**10.3969/j.issn.1009-5519.2025.09.037

**中图法分类号:**R593.24+1;R774.1

**文章编号:**1009-5519(2025)09-2195-04

**文献标识码:**A

## Progress in the application of OCT/OCTA in the retinal and choroidal vascular systems of systemic lupus erythematosus

HE Xin, WANG Qian<sup>△</sup>, LI Yanhong

(Department of Ophthalmology, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China)

**[Abstract]** Systemic lupus erythematosus (SLE) is an autoimmune disease often accompanied by ocular lesions, particularly retinal lesions, which can lead to vision impairment and significantly impact patients' quality of life. In recent years, optical coherence tomography (OCT) and optical coherence tomography angiography (OCTA) technologies have been widely applied in the study of SLE-related retinal lesions, enabling non-invasive observation of retinal and choroidal structure and hemodynamic parameters, thereby providing new tools for early diagnosis and monitoring. OCT possesses high-resolution cross-sectional imaging capabilities, capable of capturing subtle structural changes; OCTA, without the need for contrast agents, accurately assesses retinal blood flow status. This article reviewed the research progress of OCT/OCTA in SLE retinal lesions, focusing on their application prospects in early detection and drug efficacy monitoring, aiming to provide more precise diagnostic tools and treatment methods for clinical practice.

**[Key words]** Optical coherence tomography; Optical coherence tomography angiography; Systemic lupus erythematosus; Retina; Choroid; Review

系统性红斑狼疮(SLE)是一种全身性自身免疫性疾病,其特征是多系统、多器官炎症及自身抗体的产生。SLE 常引发多种眼部病变,包括结膜炎、虹膜炎、角膜病变、视网膜病变等,其中视网膜病变是导致患者视力丧失的重要原因。近年来,光学相干断层扫描(OCT)、光学相干断层血管成像(OCTA)的发展为 SLE 视网膜病变的早期检测和用药监测提供了新的可能性。

SLE 视网膜病变涉及多种病理变化,包括视网膜血管炎、血管闭塞、渗出性病变、视网膜神经上皮层萎缩等,这些变化可能导致视力逐步下降,甚至完全失

明。因此,早期诊治至关重要。SLE 引起的视网膜病变主要源于自身免疫反应诱发的炎症和血管损伤。异常免疫反应会导致大量自身抗体和免疫复合物在视网膜血管壁沉积,从而引发局部炎症反应。这种炎症进一步导致血管通透性增加、血管阻塞和组织缺血。长期的炎症和缺血状态会损伤视网膜神经上皮细胞,最终引起视网膜结构和功能的不可逆性损害。SLE 视网膜病变的临床表现多样。早期症状可能仅限于轻微的视力下降或视野缺损,而病变进展后可能导致显著的视力损害或失明。常见表现包括视网膜血管炎、棉絮斑、视网膜出血、硬性渗出、视网膜脱离

<sup>△</sup> 通信作者, E-mail: cqophwq@hospital.cqmu.edu.cn.

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1129.R.20250630.1143.010\(2025-06-30\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1129.R.20250630.1143.010(2025-06-30))

等。这些病变在无症状期即可发生。因此,定期眼底检查对早期发现病变至关重要。

目前,SLE 视网膜病变的诊断主要依赖眼底检查和成像技术,如眼底荧光血管造影和 OCT。在治疗方面,控制全身性炎症是基础,同时,结合针对眼部病变的局部治疗,如激光光凝、抗血管内皮生长因子治疗、皮质类固醇治疗等,然而疗效因患者个体差异而异,且可能伴随不良反应。因此,如何精确监测药物疗效与病变进展仍是当前面临的重要挑战<sup>[1-5]</sup>。现将 OCT/OCTA 在 SLE 视网膜病变中的研究进展综述如下。

1 OCT/OCTA 技术原理

OCT 是一种通过测量光的干涉实现高分辨率断层成像的技术,其利用光的干涉性质和光学反射技术可生成高分辨率的眼底断层图像。OCT 技术可实时获取眼部组织的横断面图像,显示组织的结构和形态。在 SLE 视网膜病变的研究中 OCT 技术可提供视网膜层厚度、囊样水肿、渗出和视网膜内层缺损等参数的定量分析。

OCTA 是一种基于 OCT 技术的非侵入性眼底血管成像技术,其利用血液流动产生的光信号变化实现血管的成像。OCTA 技术可实现对眼底血管的三维成像,包括视网膜血管和脉络膜血管。在 SLE 视网膜病变的研究中 OCTA 技术可提供视网膜和脉络膜血流动力学参数的定量分析,如血管密度、血流速度和血流容量等<sup>[6-8]</sup>。

2 OCT/OCTA 在 SLE 视网膜病变中的应用

OCT 技术在 SLE 视网膜病变的诊断和监测中具有重要作用。通过 OCT 图像的观察和分析可发现 SLE 患者视网膜层厚度增加、囊样水肿、渗出、视网膜内层缺损等特征<sup>[8-9]</sup>。这些特征可帮助医生判断患者病变程度和进展,并进行治疗方案的制定和调整。OCTA 技术在 SLE 视网膜病变的研究中也取得了一些进展。通过 OCTA 图像的分析,可观察到 SLE 患者视网膜和脉络膜血管密度减少、血流速度下降、血流容量减少等现象。这些血管参数的改变可反映病变对视网膜和脉络膜血流的影响,有助于医生评估患者病变严重程度和预后<sup>[10-11]</sup>。

3 OCT/OCTA 在 SLE 视网膜病变中的研究进展

3.1 OCT/OCTA 在 SLE 视网膜病变早期诊断中的应用 近年来,有学者对 OCT/OCTA 在 SLE 视网膜病变早期诊断中的应用进行了深入研究<sup>[12]</sup>。其通过比较 SLE 患者和健康者的 OCT/OCTA 参数发现,视网膜层厚度、血管密度、血流速度等指标在早期诊断中具有较高的灵敏度和特异度。OCT 检测到退行性变薄、不完全玻璃体后脱离、视网膜前膜的迹象,为 SLE 视网膜病变的早期诊断提供了新的思路和方法。有研究使用配备 Angiovue 的频域 OCT 成像技术(SD-OCT)探究了 SLE 患者黄斑区内层视网膜微血

管及微结构的变化,结果显示,尚未临床诊断的 SLE 患者中浅层视网膜微血管密度已出现普遍性降低,且视网膜内层厚度局部出现变薄<sup>[13-15]</sup>。SLE 患者浅层毛细血管丛的平均视网膜毛细血管骨架化密度值与血肌酐、尿素水平均呈显著正相关,与补体 C3、狼疮抗凝物水平均呈显著负相关;神经节细胞内丛层厚度与血肌酐、尿素水平均呈显著正相关;且视网膜神经纤维层厚度与抗核抗体、抗双链 DNA 水平均呈显著正相关。有学者通过回顾性病例研究深入分析了 SLE 患者与健康者在黄斑区视网膜结构上的差异,结果显示,SLE 患者黄斑中心凹厚度、黄斑容积、黄斑平均厚度,以及黄斑区内环区域的 4 个象限和外环区域鼻侧象限的视网膜厚度均显著低于健康者<sup>[16-17]</sup>。表明 SLE 可能对患者的视网膜结构造成影响,导致黄斑区视网膜变薄,与 SLE 的全身性免疫介导炎症过程可能有关,进一步强调了定期眼科检查在 SLE 患者视功能保护中的重要作用。通过早期检测视网膜结构的变化,及时干预有助于减少视功能损害的风险,从而提升患者的生活质量。其为理解 SLE 相关的视网膜病变及其临床管理提供了重要依据。OCT 检查可能对 SLE 患者的早期诊断和病情变化监测具有一定的参考价值。OCT 有助于评估 SLE 患者视网膜微血管和微结构变化,可能会为 SLE 患者的早期诊断和进展监控提供有效的定量方法。AN 等<sup>[18]</sup>对新诊断的无眼部症状的 SLE 患者(包括 36 例活动性 SLE 患者和 41 例非活动性 SLE 患者)和 72 例年龄、性别匹配的健康者进行了横断面研究,同时,收集相关实验室免疫学资料,结果显示,视周围视网膜神经纤维层厚度、周围血管密度损伤存在于新诊断的、无眼部症状 SLE 患者中,再次强调和印证了眼底病变可在无症状期间发生,早期眼底检测提供了可评估的定性指标<sup>[10,17]</sup>。

3.2 OCT/OCTA 在 SLE 视网膜病变监测中的应用 除早期诊断外,OCT/OCTA 技术在 SLE 视网膜病变的监测中也具有重要价值<sup>[19]</sup>。通过定期进行 OCT/OCTA 检查,可观察和评估病变进展和疗效<sup>[20]</sup>。有研究表明,视网膜层厚度、血管密度、血流速度等参数变化与病变活动性和严重程度密切相关<sup>[21]</sup>。因此,OCT/OCTA 技术可作为监测 SLE 患者视网膜病变的重要工具。但 PELEGRIN 等<sup>[22]</sup>通过单中心横断面研究发现,SD-OCT、OCTA 检查结果与疾病活动性无关,SLE 患者的结构和中央凹周围血管性黄斑改变与疾病持续时间有关。疾病损害程度较高的患者黄斑结构参数受损相关研究结果一致,即 OCTA 检查显示 SLE 患者深毛细血管丛的中心凹无血管灌注区增大和中央凹旁血管密度下降,此外,在 SLE 患者中检测到深毛细血管丛的中央凹旁血管密度与疾病活动指数呈负相关<sup>[18,22-25]</sup>。FOUAD 等<sup>[26]</sup>长期对确诊为 SLE 患者进行了眼底检查、OCT、眼底荧光血管造影的跟踪随访,结果显示,疾病活动性与 OCT 检

测到的改变之间没有显著相关性。OCT 变化与羟氯喹使用时间超过 5 年显著相关 ( $P = 0.032$ ), 表明 OCT 在检测使用羟氯喹引起的变化方面更灵敏<sup>[26-27]</sup>。GUO 等<sup>[28]</sup>对健康者、无眼部疾病的 SLE 患者、有视网膜病变的 SLE 患者进行了前瞻性横断面研究, 其使用 SS-OCT/OCTA 测量浅表血管密度、深血管密度、乳头周围视网膜血管密度、脉络膜厚度和脉络膜血管分布, 同时分析了各参数的相关性<sup>[22, 28-30]</sup>。石文卿<sup>[31]</sup>通过 OCTA 技术对 12 例 SLE 患者 (24 只眼)、12 例健康对照者 (24 只眼) 进行详细研究, 扫描了每只眼睛的黄斑视网膜浅层、深层视网膜毛细血管丛的血管参数, 包括深层视网膜微血管密度、大血管密度、总血管密度等, 结果显示, OCTA 能为 SLE 患者的结膜微血管、视网膜微血管密度提供无创的定量评估手段, 具有作为早期检测视网膜循环变化的潜力<sup>[31-33]</sup>。这一发现与包露露等<sup>[13]</sup>研究结果相一致, 后者进行的研究同样表明, OCTA 技术能灵敏地检测 SLE 患者黄斑区视网膜微血管形态的早期变化, 进一步支持了 OCTA 技术在 SLE 相关眼部病变研究中的重要应用价值。OCTA 技术在评估微血管中的应用可能对亚临床变化有用。SLE 患者视网膜微血管密度下降, SLE 程度越严重。视网膜循环紊乱与 SLE 疾病活动性、病程、脉络膜血管指数、抗双链 DNA 抗体阳性有关, 有视网膜病变迹象的 SLE 患者可能会影响脉络膜血管参数增加。有研究通过使用 OCT 技术监测对比服用羟氯喹治疗 SLE 患者的内层黄斑区视网膜厚度的变化发现, OCT 技术能观察到羟氯喹对视网膜的早期损伤<sup>[33-34]</sup>。SLE 患者无明显眼底及视力损伤时, 视网膜血管相关参数指标即发生了显著改变。同时, OCTA 技术还能通过评估视网膜微血管变化而有助于检测羟氯喹引起的视网膜毒性<sup>[35-36]</sup>。

#### 4 小 结

OCT、OCTA 在揭示 SLE 引起的视网膜和脉络膜病变中具有重要的技术优势。这些技术不仅能对视网膜、脉络膜的微观结构进行高分辨率的成像, 还可实现对血流动力学参数的量化分析, 为临床医生提供了一个无创、快速且有效的诊断工具。这些技术的应用为 SLE 患者视网膜病变的早期发现、病程监测及疗效评估提供了可靠的科学依据。

然而, 目前的研究仍存在显著的不足之处, 如大部分研究的样本量偏小, 导致统计结果的稳健性和推广性受限。同时, 由于研究设计和操作方法的差异, 数据之间缺乏可比性。在脉络膜血流密度的分析中技术特性可能引入系统性误差, 尤其是 OCTA, 其基于对血流中移动粒子 (主要为红细胞) 产生的信号变化进行成像, 当移动粒子的速度超过设备的检测范围时, 可能导致血流信号的遗漏或错误检测, 从而影响量化结果的精确性。此外, 在实际操作中患者的配合度对图像质量具有重要影响。视力下降或玻璃体混

浊可能导致患者无法有效固视, 这种情况易引发图像中的伪影, 从而降低结果的可信度。同时, 不同型号的设备及成像参数的差异也可能对数据的标准化和结果的重复性构成挑战。

为更好地推动 OCT、OCTA 技术在 SLE 视网膜病变中的应用, 未来的研究需着力于以下方面: (1) 扩大研究样本规模, 结合多中心协作研究提高结果的统计学意义; (2) 优化研究设计, 统一成像标准和数据处理流程, 确保结果的可靠性和可比性; (3) 加强技术与临床的深度融合, 通过实时动态监测和个性化的影像分析支持疾病分型、治疗决策、患者预后评估等。未来随着技术的持续创新和标准化进程的推进, OCT、OCTA 在揭示 SLE 患者相关视网膜和脉络膜病变机制中的价值将会更加突出, 并在临床实践中发挥更大的潜力。

#### 参考文献

- [1] 韩林峰. 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[J]. 眼科学, 2023, 12(2): 77-84.
- [2] 王涛, 李宁. 光学相干断层扫描血管成像 (OCTA) 在眼科临床的应用进展[J]. 实用防盲技术, 2018, 13(3): 134-138.
- [3] 王曦, 黄潇颖, 周言, 等. 扫频源光学相干断层扫描血管成像在眼科临床中的应用进展[J]. 国际眼科杂志, 2024, 24(2): 255-259.
- [4] 李巍. 光学相干断层扫描血管造影 (OCTA) 在眼科临床的应用[J]. 自我保健, 2021(10): 71.
- [5] 陆华文, 杨俊. 光学相干断层扫描血管成像在常见眼底病诊断中的应用进展[J]. 精准医学杂志, 2024, 39(1): 202401021.
- [6] 马小茜, 魏爽, 汪茜, 等. 光学相干断层扫描及血管造影在认知损害诊断中的应用及其影响因素分析[J]. 2023, 31(5): 485-494.
- [7] 叶麟滨, 袁晴, 邵毅. 光学相干断层扫描血管造影在青光眼中的应用[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2019, 21(7): 557-560.
- [8] 王声蕊, 赵全良. OCT 和 OCTA 在各种眼底疾病中的应用[J]. 临床医学进展, 2024, 14(7): 1057-1065.
- [9] FEKRAZAD S, HASSANZADEH G, SALEHI M A, et al. Optical coherence tomography angiography measurements in systemic lupus erythematosus: a systematic review and meta-analysis[J]. Surv Ophthalmol, 2024, 69(5): 743-755.
- [10] GARCIA-SOLER E, MARTINEZ-RUBIO C, DE SMET M D, et al. Systemic lupus erythematosus purtscher like retinopathy: optical coherence tomography angiography assessment implications[J]. Eur J Ophthalmol, 2024, 34(1): NP75-NP79.
- [11] WANG X M, XIE H, YI Y, et al. Clinical research of lupus retinopathy: quantitative analysis of retinal vessels by optical coherence tomography angiography in patients with systemic lupus erythematosus[J]. Diagnostics (Ba-

sel), 2023, 13(20): 3222.

[12] CHEN L L, MENG L H, SUN L, et al. Scleral changes in systemic lupus erythematosus patients using swept source optical coherence tomography[J]. *Front Immunol*, 2023, 14: 1278893.

[13] 包露露, 王红, 吴宇霏, 等. 系统性红斑狼疮患者黄斑区视网膜微血管变化特征[J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2020, 22(1): 44-50.

[14] 周慧颖, 叶俊杰, 王淑然. 系统性红斑狼疮眼底病变的特征[J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2015, 17(5): 270-274.

[15] ARRIGO A, ROMANO F, PARODI M B, et al. Reduced vessel density in deep capillary plexus correlates with retinal layer thickness in choroideremia[J]. *Br J Ophthalmol*, 2021, 105(5): 687-693.

[16] 陈荣涛. 运用 OCT 分析系统性红斑狼疮患者黄斑区视网膜厚度改变的相关研究[D]. 汕头: 汕头大学, 2021.

[17] LI H D, YU S L, LI P Y, et al. Microvasculature alterations of peripapillary retina and macula in systemic lupus erythematosus patients without ocular involvement by optical coherence tomography angiography[J]. *Retina*, 2024, 44(3): 515-526.

[18] AN Q, GAO J, LIU L, et al. Analysis of foveal microvascular abnormalities in patients with systemic lupus erythematosus using optical coherence tomography angiography[J]. *Ocul Immunol Inflamm*, 2021, 29(7/8): 1392-1397.

[19] MIMIER-JANCZAK M K, KACZMAREK D, PROC K, et al. Subclinical retinopathy in systemic lupus erythematosus patients-optical coherence tomography study[J]. *Reumatologia*, 2023, 61(3): 161-168.

[20] LIN S Q, MASOOD A, LI T Y, et al. Deep learning-enabled automatic screening of SLE diseases and LR using OCT images[J]. *Vis Comput*, 2023, 39(8): 3259-3269.

[21] ERMURAT S, KOYUNCU K. Evaluation of subclinical retinal microvascular changes in systemic lupus erythematosus patients using optical coherence tomography angiography and its relationship with disease activity[J]. *Lupus*, 2022, 31(5): 541-554.

[22] PELEGRÍN L, MORATÓ M, ARAUJO O, et al. Preclinical ocular changes in systemic lupus erythematosus patients by optical coherence tomography[J]. *Rheumatology (Oxford)*, 2023, 62(7): 2475-2482.

[23] ÇOMÇALI S, TOPÇU YILMAZ P, ÇAVDARLI C, et al. Macula and optic disc vessel density analyses in systemic lupus erythematosus with optical coherence tomography angiography[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2023, 102(43): e35835.

[24] 安琪. 运用光学相干断层扫描血管成像技术定量分析系统性红斑狼疮患者眼底微循环改变的相关研究[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2020.

[25] 毕萌, 樊芳, 夏会卡, 等. 扫频源 OCTA 对系统性红斑狼疮患者黄斑区脉络膜厚度及微循环改变的评估[J]. *中华实验眼科杂志*, 2023, 41(11): 1084-1090.

[26] FOUAD S A, ESMAT MAHMOUD ALI S M, REZK ALNAGGAR A R L, et al. Structural retinal assessment using optical coherence tomography and fundus fluorescein angiography in systemic lupus erythematosus patients[J]. *J Clin Rheumatol*, 2021, 27(1): 34-39.

[27] 程杰, 熊飞, 郝晓林, 等. SLE 伴视网膜病变的临床特征分析[J]. *国际眼科杂志*, 2018, 18(5): 941-944.

[28] GUO T T, JIN Y H, ZHOU M, et al. Quantitative evaluation of retinal and choroidal vascularity in systemic lupus erythematosus by SS-OCT/OCTA[J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2023, 261(12): 3385-3393.

[29] MIHAILOVIC N, LECLAIRE M D, ETER N, et al. Altered microvascular density in patients with systemic lupus erythematosus treated with hydroxychloroquine-an optical coherence tomography angiography study[J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2020, 258(10): 2263-2269.

[30] ARFEEN S A, BAHGAT N, ADEL N, et al. Assessment of superficial and deep retinal vessel density in systemic lupus erythematosus patients using optical coherence tomography angiography[J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2020, 258(6): 1261-1268.

[31] 石文卿. 活动期系统性红斑狼疮患者的眼表及视网膜微血管改变及其临床意义[D]. 南昌: 南昌大学医学部, 2021.

[32] 何星宇. 系统性红斑狼疮黄斑区血流密度的临床分析[D]. 重庆: 重庆医科大学, 2022.

[33] 吴苏名, 王贺, 陈基黎, 等. 应用 OCTA 检测羟氯喹对系统性红斑狼疮患者黄斑区视网膜微血管形态的影响[J]. *眼科新进展*, 2020, 40(9): 871-874.

[34] RU L, XU J P, LIN Z J, et al. Analysis of choroidal thickness in juvenile systemic lupus erythematosus and its correlation with laboratory tests[J]. *BMC Ophthalmol*, 2023, 23(1): 148.

[35] 王宇, 田梅. 系统性红斑狼疮伴视网膜脊髓谱系疾病服用羟氯喹发生黄斑病变一例[J]. *海南医学*, 2020, 31(1): 132-134.

[36] 胡赛静, 毛崇溶. 应用 OCT 观察羟氯喹对视网膜的早期影响[J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2015, 17(3): 181-183.