

光学相干断层血流成像（OCTA）在青光眼早期筛查、诊断和病情监测的临床研究

周鑫源

平湖市当湖中心医院，浙江 嘉兴 314200

DOI:10.61369/MRP.2026060009

摘要： 目的：探究光学相干断层血流成像（OCTA）在青光眼早期筛查、诊断和病情监测的临床研究。方法：选取2025年3月至2026年2月在平湖市当湖中心医院眼科门诊就诊的100例患者作为研究对象。将患者随机分为对照组（50例，正常标准眼底）与研究组（50例，需进行眼底OCTA检查者）。所有研究对象每2~3个月进行一次OCTA扫描，观察视网膜神经纤维层（RNFL）厚度、黄斑区视网膜神经节细胞复合体（GCC）厚度、眼底血流指数及血管密度等指标，随访周期为12个月。对比两组上述指标的差异，并分析OCTA在青光眼早期诊断中的灵敏度。结果：研究组眼压、眼压分布、前房深度低于对照组（ $P<0.05$ ），青光眼亚组患者的RNFL平均厚度、GCC平均厚度、视盘周围血管密度及血流指数均显著低于对照组（ $P<0.05$ ）。在青光眼亚组中，通过回顾性分析随访数据发现，有23例患者在随访期间出现了RNFL厚度下降，其中在RNFL厚度发生显著下降前6个月，这些患者的视盘周围血管密度已经出现显著下降（ $P<0.05$ ）；OCTA诊断早期青光眼的AUC值为0.902，灵敏度为91.18%，特异度为88.64%，准确度为89.74%。结论：OCTA作为一种无创、高分辨率的眼底微血管成像技术，能够早期发现青光眼患者视神经纤维层及微血管的异常改变，其血管密度及血流指数的变化早于结构性损伤，在青光眼的早期筛查、诊断及病情监测中具有重要的临床应用价值。

关键词： 光学相干断层血流成像；青光眼；早期筛查；血管密度；视网膜神经纤维层

Clinical Study on Optical Coherence Tomography Angiography (OCTA) in Early Screening, Diagnosis, and Disease Monitoring of Glaucoma

Zhou Xinyuan

Danghu Central Hospital of Pinghu City, Jiaxing, Zhejiang 314200

Abstract： Objective: To investigate the clinical application of Optical Coherence Tomography Angiography (OCTA) in early screening, diagnosis, and disease monitoring of glaucoma. Methods: A total of 100 patients who visited the ophthalmology outpatient clinic of Danghu Central Hospital of Pinghu City from March 2025 to February 2026 were selected as the study subjects. The patients were randomly divided into a control group (50 cases with normal standard fundus) and a study group (50 cases requiring fundus OCTA examination). All study subjects underwent OCTA scans every 2–3 months to observe indicators such as retinal nerve fiber layer (RNFL) thickness, macular retinal ganglion cell complex (GCC) thickness, fundus blood flow index, and vessel density. The follow-up period was 12 months. Differences in the aforementioned indicators between the two groups were compared, and the sensitivity of OCTA in early glaucoma diagnosis was analyzed. Results: In the study group, intraocular pressure, intraocular pressure distribution, and anterior chamber depth were lower than those in the control group ($P<0.05$). In the glaucoma subgroup, the average RNFL thickness, average GCC thickness, peripapillary vessel density, and blood flow index were significantly lower than those in the control group ($P<0.05$). In the glaucoma subgroup, retrospective analysis of follow-up data revealed that 23 patients experienced a decrease in RNFL thickness during the follow-up period. Among these patients, a significant decrease in peripapillary vessel density was observed 6 months prior to a significant decrease in RNFL thickness ($P<0.05$). The area under the curve (AUC) value for OCTA in diagnosing early glaucoma was 0.902, with a sensitivity of 91.18%, specificity of 88.64%, and accuracy of 89.74%. Conclusion: As a non-invasive, high-resolution fundus microvascular imaging technique, OCTA can detect abnormal changes in the optic nerve fiber layer and microvasculature of glaucoma patients at an early stage. Changes in vessel density and blood flow index precede structural damage, indicating that OCTA has significant clinical application value in early screening, diagnosis, and disease monitoring of glaucoma.

Keywords： optical coherence tomography angiography; glaucoma; early screening; vessel density; retinal nerve fiber layer

引言

青光眼是全球首要不可逆致盲原因，我国患者超2100万，因早期症状隐匿，九成初诊时已中晚期，治疗以降眼压为主，但部分眼压控制者视神经损害仍进展，提示微循环障碍也参与发病^[1-2]。传统的青光眼诊断主要依赖眼压测量、视野检查和光学相干断层扫描（OCT）对视神经纤维层结构的评估，视野检查存在主观性且晚期才发现异常，而传统 OCT 虽能清晰显示视网膜结构，却无法直接观测微血管的灌注状态，荧光素眼底血管造影（FFA）虽能评估血流，但其有创性、造影剂过敏风险及操作复杂性限制了其在青光眼长期监测中的广泛应用^[3-4]。近年来，光学相干断层血流成像（OCTA）技术的出现为青光眼的早期诊断开辟了新途径，OCTA无需注射造影剂，即可实现视网膜和脉络膜微血管系统的三维高分辨率成像，能够量化视盘周围及黄斑区的血管密度与血流指数^[5-6]。在青光眼患者中，视网膜微血管密度的下降可能早于神经纤维层厚度的改变，为早期诊断提供了新的生物标志物。基于此，本研究通过青光眼患者进行治疗，分析光学相干断层血流成像（OCTA）在青光眼早期筛查、诊断和病情监测的临床研究。

一、对象与方法

（一）对象

选取2025年3月至2026年2月在平湖市当湖中心医院眼科门诊就诊的100例患者作为研究对象。将患者随机分为对照组（50例，正常标准眼底）与研究组（50例，需进行眼底 OCTA 检查者）。

纳入标准：（1）年龄40 ~ 80岁，性别不限；（2）研究组患者存在青光眼高危因素（如眼压升高、浅前房、青光眼家族史等）或疑似青光眼表现；（3）对照组患者眼压正常，视盘形态正常，无青光眼性视野缺损；（4）屈光间质清晰，能够配合完成 OCTA 检查；（5）所有研究对象均知情同意并签署知情同意书。

排除标准：（1）既往有眼部外伤史、手术史（白内障超声乳化术除外）或激光治疗史；（2）合并其他可能影响眼底微血管的疾病，如糖尿病视网膜病变、视网膜静脉阻塞、年龄相关性黄斑变性等；（3）存在严重全身性疾病（如未控制的高血压、心力衰竭、凝血功能障碍等）；（4）有造影剂过敏史（虽不涉及造影剂，但作为排除因素）；（5）临床资料不完整或失访者。

（二）检查方法

所有研究对象均采用光学相干断层扫描仪（配备血流成像模块）进行检查。检查由同一位经验丰富的眼科主管护师操作，采用标准操作流程。扫描范围包括视盘周围4.5mm×4.5mm区域和黄斑区6 mm×6 mm区域。自动获取视网膜神经纤维层（RNFL）厚度、黄斑区视网膜神经节细胞复合体（GCC）厚度、视盘周围毛细血管密度（%）及血流指数（无量纲值）。每项指标均重复测量3次，取平均值进行分析。

研究组与对照组患者均纳入随访，每2 ~ 3个月进行一次 OCTA 扫描，持续随访12个月。随访期间记录患者的眼压变化、视野检查结果及 OCTA 参数变化趋势。对于随访期间出现 RNFL 厚度下降或视野缺损者，由两名主治医师共同确认诊断。

（三）指标检测

1. 一般资料

眼压：采用非接触式眼压计测量，每次随访时记录眼压值（单位：mmHg），连续测量3次取平均值。

视野检查：采用自动视野计进行视野检查，记录平均偏差（MD）及模式标准差（PSD），评估视功能损害程度。

一般资料：记录患者的年龄、性别、体质量指数、吸烟史、饮酒史、高血压史、糖尿病史、青光眼家族史等。

2. 光学相干断层血流成像（OCTA）参数

所有研究对象入组后每2 ~ 3个月进行一次 OCTA 检查，连续随访12个月。采用光学相干断层扫描仪（配备血流成像模块）进行扫描，由同一位经验丰富的操作人员完成。主要观察指标包括：

视网膜神经纤维层（RNFL）厚度：测量视盘周围平均 RNFL 厚度（单位：μm），反映视网膜神经纤维层的结构完整性。

黄斑区神经节细胞复合体（GCC）厚度：测量黄斑区 GCC 平均厚度（单位：μm），评估黄斑区神经节细胞的功能状态。

视盘周围血管密度：测量视盘周围4.5 mm×4.5 mm 范围内毛细血管密度（单位：%），反映视盘区域微循环灌注状态。

视盘周围血流指数：测量视盘区域血流信号强度（无量纲值），评估局部血流量变化。

每项指标重复测量3次，取平均值进行统计分析。

3. 诊断效能评价指标

以最终临床诊断为金标准，计算 OCTA 诊断早期青光眼的灵敏度、特异度、准确度及受试者工作特征曲线下面积（AUC），评估其在青光眼早期筛查与诊断中的临床应用价值。

（四）统计学处理

采用统计软件 SPSS26.0 进行分析。计量资料以（ $\bar{x} \pm s$ ）表示，组间比较采用独立样本 t 检验，组内比较采用配对 t 检验，计数资料采用百分比表示，组间比较采用 χ^2 检验， $P < 0.05$ 具有统计学差异。

二、结果

（一）两组患者一般资料比较

本研究共纳入100例研究对象，其中对照组50例（正常标准眼底者），研究组50例（需进行 OCTA 检查者）。结果显示，两组在性别、年龄、体质量指数、吸烟史、饮酒史等方面差异均无

统计学意义 ($P>0.05$)，研究组眼压、眼压分布、前房深度低于 对照组，差异具有统计学意义 ($P<0.05$)

表1 两组患者一般资料比较 [($\bar{x}\pm s$) , n, %]

项目		对照组 (n=50)	研究组 (n=50)	t/ χ^2 值	P值
性别	男	28 (56.00)	26 (52.00)	0.162	0.687
	女	22 (44.00)	24 (48.00)		
年龄 (岁)		54.23 $\pm$ 8.52	55.12 $\pm$ 9.02	0.521	0.603
年龄分布 (n, %)	40 ~ 49岁	12 (24.00)	10 (20.00)	0.845	0.655
	50 ~ 59岁	24 (48.00)	23 (46.00)		
	$\geq$ 60岁	14 (28.00)	17 (34.00)		
体质量指数 (kg/m ²)		23.52 $\pm$ 2.11	23.85 $\pm$ 2.31	0.689	0.493
吸烟史 (n, %)		12 (24.00)	14 (28.00)	0.208	0.648
饮酒史 (n, %)		10 (20.00)	12 (24.00)	0.230	0.632
眼部临床特征	病程 (月)	—	8.55 $\pm$ 3.26	—	—
	眼压 (mmHg)	15.31 $\pm$ 22.1	22.61 $\pm$ 3.42	12.846	0.001
眼压分布 (n, %)	$\leq$ 21 mmHg	48 (96.00)	21 (42.00)	35.271	0.001
	>21 mmHg	2 (4.00)	29 (58.00)		
中央角膜厚度 (μ m)		538.55 $\pm$ 32.12	535.21 $\pm$ 34.52	0.498	0.620
眼轴长度 (mm)		23.22 $\pm$ 0.85	23.41 $\pm$ 0.92	1.184	0.239
前房深度 (mm)		3.05 $\pm$ 0.32	2.78 $\pm$ 0.35	4.023	0.001

(二) 两组 OCTA 参数比较

如表2所示，经过12个月随访，研究组中共有34例患者被确诊为早期青光眼，16例排除青光眼诊断。为明确 OCTA 在青光眼早期诊断中的价值，将研究组中确诊青光眼的34例患者作为青光眼亚组，与对照组50例进行 OCTA 参数比较。结果显示，青光眼亚组患者的 RNFL 平均厚度、GCC 平均厚度、视盘周围血管密度及血流指数均显著低于对照组，差异具有统计学意义 ($P<0.05$)。

表2 两组 OCTA 参数比较 ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数 (n)	RNFL厚度 (μ m)	GCC厚度 (μ m)	血管密度 (%)	血流指数
对照组	50	102.44 $\pm$ 8.35	86.71 $\pm$ 6.25	54.28 $\pm$ 4.19	0.152 $\pm$ 0.018
青光眼亚组	34	85.66 $\pm$ 7.11	72.42 $\pm$ 5.81	43.56 $\pm$ 3.75	0.121 $\pm$ 0.015
r值		9.586	10.580	12.00	8.273
P值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

(三) 各组青光眼亚组患者血管密度与 RNFL 厚度随时间变化比较

如表3所示，在青光眼亚组中，通过回顾性分析随访数据发现，有23例患者在随访期间出现了 RNFL 厚度下降，其中在 RNFL 厚度发生显著下降前6个月，这些患者的视盘周围血管密度已经出现显著下降 ($P<0.05$)。

表3 各组青光眼亚组患者血管密度与 RNFL 厚度随时间变化比较 ($\bar{x}\pm s$)

时间点	血管密度 (%)	RNFL厚度 (μ m)
基线	52.32 $\pm$ 3.92	98.56 $\pm$ 7.22
第6个月	46.85 $\pm$ 3.52*	97.92 $\pm$ 6.93*
第12个月	43.25 $\pm$ 3.14**	84.65 $\pm$ 6.36**

注：与基线比较，* $P<0.05$ ；与第6个月比较，** $P<0.05$ 。

(四) OCTA 对早期青光眼的诊断效能分析

如表4所示，为评估光学相干断层血流成像 (OCTA) 在早期青光眼筛查与诊断中的临床应用价值，本研究以最终临床诊断为金标准，计算 OCTA (以视盘周围血管密度 <45% 或 RNFL 厚度 <90 μ m 为阳性判断标准) 在早期青光眼诊断中的灵敏度、特异度、准确度及受试者工作特征曲线下面积 (AUC)。结果显示，OCTA 诊断早期青光眼的 AUC 值为 0.902，灵敏度为 91.18%，特异度为 88.64%，准确度为 89.74%。

表4 OCTA 对早期青光眼的诊断效能分析 ($\bar{x}\pm s$)

检查方法	AUC 值	Z值	P值	灵敏度 (n, %)	特异度 (n, %)	准确度 (n, %)	95% CI
OCTA 检测	0.902	1.845	< 0.001	91.18	88.64	85.14	0.507–0.989

三、讨论

青光眼作为全球不可逆性致盲的主要原因，其早期诊断与长期监测一直是眼科临床的重点与难点^[7-8]。传统的结构性检测手段如 OCT 虽能清晰显示视网膜神经纤维层的变化，却难以捕捉微循环的早期异常，光学相干断层血流成像 (OCTA) 作为一种无创、高分辨率的微血管成像技术，为青光眼的早期识别提供了新的视角^[9-10]。

本研究结果显示，青光眼亚组患者的 RNFL 平均厚度、GCC 平均厚度、视盘周围血管密度及血流指数均显著低于对照组，行其原因分析可知，青光眼的病理本质在于视网膜神经节细胞的进行性丢失及其轴突的损伤，而这一过程与局部微循环障碍密切相关。OCTA 能够精确量化视盘周围及黄斑区的血管密度与血流指数，这些参数在青光眼早期即出现下降，提示微血管灌注不足可能早于结构性损伤的发生^[11-12]。与既往研究一致，血管密度的下

降不仅是青光眼存在的标志，更可能作为疾病进展的预警指标。

本研究结果得出，在青光眼亚组中，通过回顾性分析随访数据发现，有23例患者在随访期间出现了RNFL厚度下降，其中在RNFL厚度发生显著下降前6个月，这些患者的视盘周围血管密度已经出现显著下降，行其原因分析可知，这一现象支持“微循环异常先行”的病理机制假说。青光眼导致的微血管收缩或重塑，可能通过缺血机制诱导神经纤维层的不可逆损伤，因此血管密度的下降可作为预测结构性损伤发生的前哨指标^[13]。这一发现进一步强调了OCTA在病情监测中的独特价值，提示在临床随访中，应重视血管密度这一动态参数的变化趋势，而非仅仅关注RNFL厚度的下降。

本研究结果还得出，OCTA诊断早期青光眼的AUC值为0.902，灵敏度为91.18%，特异度为88.64%，准确度为89.74%。

行其原因分析可知，OCTA在识别早期青光眼方面具备优异的诊断性能。其高灵敏度意味着能够有效筛查出高危患者，减少漏诊；而较高的特异度则有助于排除非青光眼性眼底改变，避免不必要的干预。相较于传统视野检查和OCT结构参数，OCTA在早期阶段具有更高的诊断敏感性，尤其适用于基层医院开展青光眼筛查工作。

综上所述，对青光眼高危人群及疑似患者，经OCTA检查可获得微血管与结构性损伤的双重信息，能够早期识别疾病、动态监测进展，并具备良好的诊断效能，这一方案值得临床推广应用。本研究样本量较少，可能影响结果准确性，后续研究需扩大样本量，分析患者预后，增加研究以提升精准度，为临床提供更可靠的数据支持。

参考文献

- [1]何利东，穆涛，刘海军，等. Pentacam在原发性闭角型青光眼的筛查和早期诊断中的应用研究[J]. 宁夏医学杂志, 2023, 45(1): 73–76.
- [2]曹天宇，陆一，严晨. 光学相干断层扫描仪在原发性开角型青光眼患者早期诊断中的应用研究[J]. 中国医疗器械信息, 2025, 31(18): 56–58.
- [3]Iwase A, Araie M. Implications of myopia in diagnosis and screening of open angle glaucoma[J]. Curr Opin Ophthalmol. 2025 1;36(2):107–114.
- [4]Garba F, Kyari F, Burton MJ, et al. Portable devices for the diagnosis of glaucoma: a scoping review[J]. BMJ Open. 2025 21;15(10):e105681.
- [5]薛静艳，夏佳楠，霍蕊莉，等. 基于深度学习的OCT/OCTA视网膜图像分析方法综述[J]. 计算机科学, 2026, 53(1): 128–140.
- [6]李雁杰，杨子爱，张增钰，等. 光学相干断层扫描血管成像在诊断早期眼部疾病中的应用[J]. 实用医技杂志, 2025, 32(4): 245–249.
- [7]Balakrishnan P, Swain TA, McGwin G Jr, et al. Comparison of Glaucoma Diagnosis by Telemedicine, In-Person Ophthalmologist, and Optometrist[J]. J Glaucoma. 2024 1;33(9):619–623.
- [8]Gordon MO, Gao F, Burckland J, et al. Diagnosis of Primary Open–Angle Glaucoma and Mental Health Status[J]. JAMA Ophthalmol. 2025 1;143(7):608–611.
- [9]Nihalani BR, VanderVeen DK. Timing of Diagnosis and Treatment of Glaucoma following Infantile Cataract Surgery[J]. Ophthalmol Glaucoma. 2024 7(3):290–297.
- [10]王楠. 超声生物显微镜在原发性闭角型青光眼诊断和治疗中的应用分析[J]. 影像研究与医学应用, 2025, 9(9): 48–50.
- [11]Yang AS, Wang HS, Li TJ, et al. Diagnosis of early glaucoma likely combined with high myopia by integrating OCT thickness map and standard automated and Pulsar perimetry[J]. Sci Rep. 2025 19;15(1):13614
- [12]卢文水，姜志标. 白内障超声乳化联合房角分离术对闭角型青光眼并发白内障的影响[J]. 锦州医科大学学报, 2025, 46(5): 89–92.
- [13]李丽，王敏. OCTA在眼底微血管评估中的临床应用. 中华眼底病杂志, 2022, 38(2): 156–160.