

光学相干断层扫描血管成像在闭角型青光眼中的应用进展

李乐¹, 何霓², 彭晓娟^{2*}

1. 吉首大学医学院, 湖南 吉首 416000

2. 湘西土家族苗族自治州人民医院眼二科, 湖南 吉首 416000

DOI:10.61369/MRP.2025090038

摘要 : 原发性闭角型青光眼是我国常见的青光眼类型, 也是常见不可逆性致盲眼病之一。传统观念认为青光眼的发病机制主要是机械压力学说, 然而目前认为眼部微循环障碍的血管异常也是青光眼视神经发生损伤的主要因素。光学相干断层扫描血管成像 (OCTA) 可以快速、实时、无创地呈现眼部血管结构及血流信号, 可应用于监测青光眼眼底及前节血流变化。本文就光学相干断层扫描血管成像在原发性闭角型青光眼中的应用进行综述, 来分析视盘、黄斑、结膜等结构的血流改变对 PACG 的发病机制、诊断和预后评估的作用。

关键词 : 青光眼; 光学相干断层扫描血管成像; 血管密度; 结构

Application of OCTA in Primary Angle-Closure Glaucoma

Li Le¹, He Ni², Peng Xiaojuan^{2*}

1. School of Medicine, Jishou University, Jishou, Hunan 416000

2. Department of Ophthalmology II, Xiangxi Autonomous Prefecture People's Hospital, Jishou, Hunan 416000

Abstract : Primary angle-closure glaucoma (PACG) is one of the common types of glaucoma in China and also one of the common irreversible causes of blindness. Traditionally, the mechanism of glaucoma has been attributed to mechanical pressure. However, current understanding suggests that vascular abnormalities due to microcirculatory disorders in the eye are also major factors contributing to optic nerve damage in glaucoma. Optical coherence tomography angiography (OCTA) can rapidly, real-time, and non-invasively display the vascular structure and blood flow signals of the eye, making it applicable for monitoring changes in blood flow in the fundus and anterior segment of the eye in glaucoma patients. This paper reviews the application of optical coherence tomography angiography in primary angle-closure glaucoma, and analyzes the role of blood flow changes in structures such as optic disc, macula and conjunctiva in the pathogenesis, diagnosis and prognosis evaluation of PACG.

Keywords : Glaucoma; OCTA; vessel density; structure

青光眼是全球常见不可逆性致盲眼病之一, 其有典型的视神经萎缩和视野缺损^[1,2]。根据眼压升高时房角的状态, 原发性青光眼可分为原发性开角型青光眼 (primary open angle glaucoma, POAG) 和原发性闭角型青光眼 (primary angle - closure glaucoma, PACG)。研究表明从 2020 年至 2050 年, 预测我国 PACG 发病率将从 1.44% 上升到 2.01%^[3]。青光眼如此高的致盲风险和发病率促使眼科医师不断寻找新的检查手段以能早期诊断光眼, 不断寻找新的手术方式以降低青光眼的致盲率。既往对青光眼的检测侧重于视野、视盘视网膜神经纤维层 (Retinal Nerve Fiber Layer, RNFL) 等检查。而光学相干断层扫描血管成像 (optical coherence tomography angiography, OCTA) 是一种新兴的成像技术, 能够快速、非侵入性地呈现眼部血管结构及血流信号, 并进行量化分析。目前已有多个研究将 OCTA 应用于青光眼进行早期诊断及评估青光眼的进展程度并疗效观察。本文就 OCTA 在 PACG 患者中的应用进行综述, 来分析视盘、黄斑、结膜等结构的血流改变对 PACG 的发病机制、诊断和预后评估的作用。

基金项目: 吉首大学校级科研项目 (项目编号: Jdzd24053)。

作者简介: 李乐 (ORCID:0009-0000-2621-0805), 女, 吉首大学 2023 级眼科学在读硕士研究生, 住院医师, 研究方向: 青光眼、视网膜病。E-mail:2238092597@qq.com。

通讯作者简介: 彭晓娟 (ORCID:0009-0003-6696-6748) (1982.08-), 女, 湖南吉首人, 硕士研究生, 主任医师, 硕士研究生导师, 科副主任。研究方向: 青光眼、视网膜病。E-mail:550167974@qq.com

一、PACG的发病机制及检查方法

PACG是我国最常见的青光眼类型^[4]，目前其发病机制尚不明确，主要有机械学说^[5,6]、血管学说^[7]和压力学说^[8,9]等。机械学说在以往被认为是导致 PACG 发生、发展的主要机制，其认为存在浅前房、高褶虹膜及晶体较厚等前节异常结构时，瞳孔阻滞合并或不合并周边虹膜堆积，急性或慢性引起房角关闭，导致眼压增高从而压迫视神经造成相应视觉损害^[10,11]。机械学说无法解释临床上部分患者在眼压维持正常状态下仍出现视野、视神经等逐渐恶化的现象。跨筛板压力学说认为视神经损伤取决于筛板两侧眼内压与颅内压的压力差，而非绝对眼压值。血管学说认为眼部血流灌注压降低、眼微循环障碍导致的缺血性损害在青光眼的进展中起关键作用^[12,13]。

PACG的传统结构检查方法包括房角镜、超声生物显微镜、光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)等。其中 OCT 检查也可用来定量测量 RNFL 厚度和黄斑区神经节细胞-内丛状层复合体(Ganglion Cell-Inner Plexiform Layer Complex, GC-IPL)厚度^[14]。如 Tan^[15]等使用 OCT 测量正常人和青光眼患者的 RNFL，发现 RNFL 的光反射率与 RNFL 厚度的特异性均为 99%，敏感性分别为 77% 和 55%，并且这种反射图还有利于定位 RNFL 的缺陷位置。但 OCT 检查对血管的成像较差^[16]。此时需要有仪器能准确并可重复的测量眼部各结构的血管血流图像，以明确血流因素在 PACG 的发生发展中起着怎样的作用。

二、OCTA的原理与作用

OCTA 的基本成像原理是基于光学相干断层扫描技术，对同一位置进行多次重复扫描，比较相邻扫描的振幅变化，其中红细胞运动产生不规则信号而静态组织产生稳定信号，通过特殊算法将血流信号转换为血管图像，并可区分视网膜及脉络膜各层血管并分层显示。常用的 OCTA 算法有包括：分裂谱振幅去相关算法(split - spectrum amplitude decorrelation algorithm, SSADA)、OCT 血管造影比值分析(OCT angiography ratio analysis, OCTA RA)及光学微血管造影(optical micro - angiography, OMAG)算法等，不同型号的 OCTA 所采用的算法并不一致。安装额外光学适配器后的 OCTA 称之为眼前节 OCTA (anterior segment-OCTA, AS-OCTA)，可用于眼前节血管成像。AS-OCTA 能观察正常人结膜血管，能清晰看到浅层与深层血管的血流变化、血管密度及直径等特征^[17]，也能检查到虹膜新生血管的早期阶段和回退阶段^[18]。

由于 OCTA 技术具备无创、不需要造影剂，且能快速实时分层显示微血管并量化血管密度这一特点，其早期主要用于检测脉络膜新生血管、年龄相关性黄斑变性、糖尿病性视网膜病变及视网膜静脉阻塞等眼底疾病的黄斑区结构有无改变。OCTA 在青光眼中的早期应用源于 Jia Y^[19]等在 2014 年利用 SSADA 算法发现 OCTA 可以重复测量视盘灌注，从而提出 OCTA 可用于评估

青光眼和青光眼进展。其后其团队中的 Liang L^[20]等于 2015 年在 JAMA Ophthalmol 发表文章显示使用 OCTA 检测发现青光眼患者的视盘旁毛细血管血流指数和血管密度均减少，且 OCTA 所测量的结果具有很高的可重复性，以此明确了 OCTA 在青光眼评估中的作用。在临床中，OCTA 的常用参数包括血管密度(vessel density, VD)、中央凹无血管区(foveal avascular zone, FAZ)、灌注密度(perfusion density, PD)、血流指数(flux index, FI)等。其中血管密度是指在一定面积内血管所占的百分比。

三、OCTA在PACG中的应用

(一)在青光眼视盘及视盘旁血流中的应用

视盘是视网膜神经节细胞轴突汇集成视神经穿出眼球的部位。视盘旁的毛细血管在视盘周围分为四层：最浅层为放射状视盘周围毛细血管丛，位于视网膜神经纤维层；浅层毛细血管丛，位于神经节细胞层内；中间毛细血管丛，位于内丛状层和内核层之间；深层毛细血管丛，位于内核层和外丛状层之间。目前有多个研究^[21,22,23]通过 OCTA 对比 PACG 患者和正常人的视盘周围毛细血管密度，发现 PACG 患者的视盘周围血管密度较正常人显著减少，从而推测血流减少可能是导致视神经损伤的重要因素。也有多个研究^[24,25,26,27]发现急性 PACG 发作缓解后两个月时视盘周围血管密度值仍处于较低的水平，而行抗青光眼手术降低眼压后视盘周围血管密度显著增加，从而推测血管密度值可作为观察 PACG 进展的较准确指标。Nishida^[28,29]等的研究表明应用 OCTA 测量视盘周围血管密度时，表现了较高的特异性、敏感性与可重复性，且能诊断青光眼并进行分期。这些研究结果无不显示视盘周围血管密度减少与眼压高有关，且控制眼压对改善视盘区域的血流灌注具有积极作用，也更进一步验证了青光眼发生的血流学说这一病理生理机制，同时也支持了 OCTA 作为青光眼诊断工具的有效性。

为验证 OCTA 检查结果的准确性，很多研究将 OCTA 的微血管数据测量结果与传统青光眼视野检查、RNFL 厚度测量等检查结果进行比较。Yoon^[30]等利用 OCTA 分别测量了小梁切除术后视野恶化组和视野未恶化组的视盘血管密度与黄斑血管密度，发现视野恶化组患者的视盘血管密度降低率显著高于未恶化组，并显示视盘血管密度的降低是唯一与术后视野缺损相关的因素，从而提示视盘血管密度能预测小梁切除术后视功能恢复情况。国内也有学者进行相关研究，如张莉^[31]等的研究发现视盘血管密度与视野 MD 呈正相关，在青光眼神经损伤和视野损害前已有视盘血管密度降低。郭莹^[27]等的研究发现，原发性青光眼患者小梁切除术后视盘血管密度增加，以颞上部最明显，且其与术后眼压下降值相关。以上研究表明，视盘血管密度作为 OCTA 的检测指标之一其不仅可判定青光眼的严重程度，还可评估术后病情是否进展并为之后的治疗方案提供依据。Rao^[32]等使用 OCTA 测量 POAG 与 PACG 患者的视盘周围血管密度，并与相应部位的 RNFL 厚度测量结果进行比较，得出 OCTA 对 POAG 与 PACG 患

者的视盘周围血管密度检测均具有良好的敏感性（达95%），尤其是对视盘颞下方毛细血管密度的检测具有较好的诊断能力，且OCTA对POAG与PACG患者的视盘周围血管密度的诊断能力与相应部位RNFL的测量结果保持一致。Wang^[33]等在对原发性房角关闭疾病(primary angle closure disease PACD)的研究中发现，视盘周围血管密度的减少发生在RNFL的厚度变薄之前，由此推测视盘周围血管密度的检测可作为评估PACD严重性的有用指标。以上研究均表明青光眼病程中伴有视盘血管密度降低，且血管密度降低位置与RNFL厚度变薄的区域分布一致，降低程度与青光眼严重程度显著相关，这也验证了OCTA的检查结果与传统RNFL厚度检查、视野检查结果的一致性，显示了OCTA在PACG中应用的有效性和准确性。

（二）在黄斑区血流中的应用

约30%—50%的视网膜神经节细胞位于黄斑区，故而黄斑区是人眼视觉最敏锐的区域，其各层的结构参数也常常被用来作为青光眼诊断的评估指标。OCTA的分层血流成像优势可以用来监测黄斑区血流的变化情况，其中FAZ的面积与周长、黄斑区血管密度等常常被作为监测指标。Lin^[34]等通过对比38例PACG眼与25例正常眼发现鼻下方黄斑血管密度与5、6、7、8点视盘RNFL厚度呈强相关性，下方黄斑血管密度与6、7点视盘RNFL厚度与也呈强相关性，鼻下区黄斑浅层血管密度的诊断准确性为中度（AUCs值=0.76），FAZ圆度指数对PACG的诊断能力最高，其次是颞上黄斑区的GC-IPL厚度，此研究提示黄斑区血管密度下降程度在各象限并不是均匀下降，而降低的程度与RNFL厚度降低、视野缺损之间均存在着一定的联系；此研究也验证了OCTA在青光眼中的检查结果与传统检查结果的一致性。LIN B^[35,36,37,38]等研究发现青光患者的视盘与黄斑浅层血管密度均显著降低，且血管密度的变化与青光眼结构损伤和功能障碍的严重程度相关，提示黄斑区浅层血流密度能作为临床评估青光眼的高精准指标。陈静^[39]等利用OCTA测量合并白内障的PACG患者行白内障联合房角分离手术前后的黄斑区FAZ面积、周长等参数及黄斑血管密度，发现急性发作眼较临床前期眼的FAZ面积、周长增大，圆度指数减小，黄斑血管密度减低，术后患眼FAZ面积、周长减小，圆度指数增大，黄斑血管密度增加。综上所述，黄斑区的测量可避免视盘血管密度因视盘形状异常或视盘周围萎缩弧而导致的测量误差，黄斑区在OCTA测量中的指标如血管密度、FAZ面积等可作为PACG诊断的判读依据之一。

（三）在结膜血流中的应用

结膜由睫状前动脉和睑弓动脉供血。即便内路房角切开术在青光眼中的应用越来越广泛，小梁切除术仍是目前抗青光眼中最经典的手术方式^[40]。小梁切除术后形成结膜滤过泡以达到引流房水从而降低眼压的目的，而结膜滤过泡的瘢痕形成是小梁切

除术失败的最常见原因。故而滤过泡的评估在小梁切除术后随访中至关重要。既往有研究表明滤过泡瘢痕形成的主要因素在于滤过泡处巩膜瓣与结膜之间有异常血管生成^[41,42]。既往对滤过泡的评估主要采用裂隙灯进行评估，主要包括Kenfeld分级系统（KGS）和Indiana Bleb Bleb分级外观量表（IBAGS）两种分级标准。此两种分级系统主要以滤过泡的高度、形态及表面血管分布情况等作为分级标准。裂隙灯下评估的主要缺陷在于无法对滤过泡的血管化进行定量评估。AS-OCTA的高分辨率能清晰显示滤过泡区域的血管分布，包括微小的毛细血管网，为评估滤过泡功能提供了精确的图像信息。Yin^[43]等的一项前瞻性研究表明应用OCTA观察小梁滤过术后一个月时的滤过泡高度、壁厚度等结构参数可以预测手术后六个月的眼压，通过对滤过泡处各参数的测定有助于预测手术效果，并为早期干预提供了依据，从而提高小梁切除术的成功率。Kido^[44,45,46,47]等使用AS-OCTA测量滤过泡处浅表层，Tenon层和深层中的血管密度和血管直径指数，观察到术前滤过泡区的血管密度与术后的眼压控制效果存在显著相关性，即低血管密度组的患者在术后平均眼压更低；且相较于高血管密度组，低血管密度组在术后接受降眼压治疗的需求更小；系列研究提示OCTA评估的无血管区域与传统滤过泡分级系统（IBAGS和MBGS）中的血管分布密切相关且具有一致性，再次肯定了OCTA评估滤过泡区血管的能力。以上研究都显示OCTA提供了一种快速、无创且可重复的方法来分析 and 量化滤过手术前后的滤过区血管形态变化。期待未来更多的研究对滤过区的血管定量分析并制定相应分级标准，以为滤过手术提供术前预测风险、术后管理的客观依据。

四、总结与展望

随着OCTA技术的迅速发展，它除了广泛应用于眼底疾病的研究，在青光眼的早期诊断、病情进展监测、手术疗效评估方面的应用也越加广泛。但OCTA技术目前还存在成像伪影、各型号采用算法不一致、扫描范围不够大、屈光介质混浊对成像的干扰、对患者固视程度要求高等局限，且目前还没有研究能够确定OCTA的血管密度等指标与真实血流之间的关系，所以OCTA目前尚不能完全代替传统的血管成像。未来希望OCTA技术能以更准确清晰的图像、更大的视野范围、更快时间成像来显示青光眼患者前后节结构的微小变化，也希望有更多的临床试验来验证OCTA技术在青光眼中应用的敏感性、特异性与有效性，以此帮助我们更直观的了解青光眼的血流发病机制，从而从OCTA层面制定青光眼早期诊断及分级的统一标准，并能以此标准设计更精准的治疗策略，为青光眼患者的视神经保护带来更多的希望。

参考文献

- [1] 中华医学会眼科学分会青光眼学组，中国医师协会眼科医师分会青光眼学组. 中国青光眼指南（2020年）[J]. 中华眼科杂志，2020，56(8): 573–586.
- [2] Allison K, Patel D, Alabi O. Epidemiology of Glaucoma: The Past, Present, and Predictions for the Future[J]. Cureus, 2020, 12 (11): e11686.

- [3]Song P, Wang J, Bucan K, et al. National and subnational prevalence and burden of glaucoma in China: A systematic analysis. *J Glob Health*. 2017;7(2):020705.
- [4]SUN Y, CHEN A, ZOU M, et al. Time trends, associations and prevalence of blindness and vision loss due to glaucoma: an analysis of observational data from the Global Burden of Disease Study 2017[J]. *BMJ Open*. 2022, 12(1):e053805.
- [5]Wang Y, Dong X X, Hou X W, et al. Risk Factors for Primary Angle-closure Glaucoma: A Systematic Review and Meta-analysis of 45 Studies[J]. *Optom Vis Sci*, 2023, 100(9): 606–613.
- [6]Leske M C, Heijl A, Hyman L, et al. Predictors of long-term progression in the early manifest glaucoma trial[J]. *Ophthalmology*, 2007, 114(11):1965–72.
- [7]Abegão Pinto L, Willekens K, Van Keer K, et al. Ocular blood flow in glaucoma – the Leuven Eye Study. *Acta Ophthalmol*. 2016;94(6):592–598.
- [8]王宁利, 孙兴怀, 余敏斌, et al. 我国原发性开角型青光眼眼压梯度专家共识和建议 (2017 年) [J]. *中华眼科杂志*, 2017, 53(02):89–91.
- [9]Wang HW, Sun P, Chen Y, et al. Research progress on human genes involved in the pathogenesis of glaucoma (Review). *Mol Med Rep*. 2018;18(1):656–674.
- [10]Stein JD, Khawaja AP, Weizer JS. Glaucoma in Adults—Screening, Diagnosis, and Management: A Review. *JAMA*. 2021;325(2):164–174.
- [11]Nongpiur ME, Ku JY, Aung T. Angle closure glaucoma: a mechanistic review. *Curr Opin Ophthalmol* 2011;22(2):96 – 101
- [12]Charlson ME, de Moraes CG, Link A, et al. Nocturnal systemic hypotension increases the risk of glaucoma progression. *Ophthalmology* 2014;121:2004–12.
- [13]李若诗, 潘英姿. 血管因素与原发性青光眼相关性的研究进展 [J]. *中华眼科杂志*, 2017, 53(10): 791–796.
- [14]邵毅, 杨卫华, 车慧欣, 等. 青光眼常用检查设备规范操作指南 (2023) [J]. *眼科新进展*, 2023, 43(05):337–345.
- [15]Tan O, Liu L, You Q, et al. Focal Loss Analysis of Nerve Fiber Layer Reflectance for Glaucoma Diagnosis[J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2021, 10(6): 9.
- [16]Ang M, Tan ACS, Cheung CMG, et al. Optical coherence tomography angiography: a review of current and future clinical applications. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2018;256(2):237–245.
- [17]Akagi, Tadamichi et al. “Conjunctival and Intrasccleral Vasculatures Assessed Using Anterior Segment Optical Coherence Tomography Angiography in Normal Eyes.” *American journal of ophthalmology* vol. 196 (2018): 1–9.
- [18]Roberts, Philipp K et al. “Anterior Segment Optical Coherence Tomography Angiography for Identification of Iris Vasculature and Staging of Iris Neovascularization: A Pilot Study.” *Current eye research* vol. 42, 8 (2017): 1136–1142.
- [19]Jia Y, et al. Optical coherence tomography angiography of optic disc perfusion in glaucoma. *Ophthalmology*. 2014 Mar 12;121(7):1322 – 1332.
- [20]Liu L, Jia Y, Takusagawa HL, et al. Optical Coherence Tomography Angiography of the Peripapillary Retina in Glaucoma. *JAMA Ophthalmol*. 2015 Sep;133(9):1045–52.
- [21]Miguel A, Silva A, Barbosa-Breda J, et al. OCT-angiography detects longitudinal microvascular changes in glaucoma: a systematic review. *Br J Ophthalmol*. 2022 May;106(5):667–675.
- [22]陈旭豪. 光相干断层扫描血管成像对青光眼视网膜微循环的评估 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2022, 40(4):371–377.
- [23]Shen R, Wang YM, Cheung CY, et al. Comparison of optical coherence tomography angiography metrics in primary angle-closure glaucoma and normal-tension glaucoma. *Sci Rep*. 2021;11(1):23136.
- [24]Hong JW, Sung KR, Shin JW. Optical Coherence Tomography Angiography of the Retinal Circulation Following Trabeculectomy for Glaucoma[J]. *J Glaucoma*, 2023, 32(4): 293 – 300.
- [25]Güngör D, Kayıçoğlu ÖR, Altınışık M, et al. Changes in optic nerve head and macula optical coherence tomography angiography parameters before and after trabeculectomy[J]. *Jpn J Ophthalmol*. 2022 May;66(3):305–313.
- [26]El-Haddad NSEM, Abd Elwahab A, Shalaby S, et al. Comparison between open-angle glaucoma and angle-closure glaucoma regarding the short-term optic disc vessel density changes after trabeculectomy[J]. *Lasers Med Sci*. 2023 Oct 28;38(1):246.
- [27]郭莹, 杨冬妮, 杨世琳, 等. 光学相干断层扫描血管成像在青光眼小梁切除术后评估中的应用 [J]. *中国医刊*, 2022, 57 (09): 988–991.
- [28]Tabl AA, Tabl MA. Correlation between OCT-angiography and photopic negative response in patients with primary open angle glaucoma. *Int Ophthalmol*. 2023 Jun;43(6):1889–1901.
- [29]Nishida T, Moghimi S, Hou H, et al. Long-term reproducibility of optical coherence tomography angiography in healthy and stable glaucomatous eyes. [J]. *Br J Ophthalmol*, 2023, 107(5): 657 – 662.
- [30]YOON J, SUNG K R, SHIN J W. Changes in peripapillary and macular vessel densities and their relationship with visual field progression after trabeculectomy[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(24): 5862.
- [31]张莉, 左晓玲, 王宁利. 青光眼患者视神经形态结构变化与血流密度及血氧代谢改变关系的临床研究. *中华眼科医学杂志 (电子版)*, 2025, 15(02):78–86.
- [32]Rao H L, Srinivasan T, Pradhan Z S, et al. Optical Coherence Tomography Angiography and Visual Field Progression in Primary Angle Closure Glaucoma [J]. *J Glaucoma*, 2021, 30(3): e61–e7.
- [33]Wang X, Chen J, Kong X, et al. Quantification of Retinal Microvascular Density Using Optic Coherence Tomography Angiography in Primary Angle Closure Disease. *Curr Eye Res* 2021;46:1018–24
- [34]Lin Y, Ma D, Wang H, et al. Spatial positional relationship between macular superficial vessel density and ganglion cell – inner plexiform layer thickness in primary angle closure glaucoma[J]. *International ophthalmology*, 2022, 42(1): 103–12.
- [35]Lin B, Zuo C, Gao X, et al. Quantitative measurements of vessel density and blood flow areas primary angle closure diseases: A study of optical coherence tomography angiography[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(14): 4040.
- [36]Lee JY, Shin JW, Song MK, et al. Glaucoma diagnostic capabilities of macular vessel density on optical coherence tomography angiography: superficial versus deep layers[J]. *Br J Ophthalmol*. 2022, 106(9):1252–1257.
- [37]Zhang Y, Zhang S, Wu C, et al. Optical Coherence Tomography Angiography of the Macula in Patients with Primary Angle-Closure Glaucoma. *Ophthalmic Res* 2021;64:440–6.
- [38]Wang D, Xiao H, Lin S, et al. Comparison of the Choroid in Primary Open Angle and Angle Closure Glaucoma Using Optical Coherence Tomography[J]. *J Glaucoma*, 2023, 32(11): e137–e144.
- [39]陈静, 胡利, 王观峰, 等. 合并白内障的原发性急性闭角型青光眼患者手术前后黄斑区微血管的变化: 基于 OCTA 的研究 [J]. *眼科新进展*, 2024, 44(12):967–971.
- [40]Liang YB, Wang NL, Rong SS, et al. Initial Treatment for Primary Angle-Closure Glaucoma in China. *J Glaucoma*. 2015;24(6):469–473.

- [41]Zhang Z, Nie F, Chen X, et al. Upregulated periostin promotes angiogenesis in keloids through activation of the ERK 1/2 and focal adhesion kinase pathways, as well as the upregulated expression of VEGF and angiopoietin1. *Mol Med Rep.* 2015 Feb;11(2):857–64.
- [42]Kim M, Lee C, Payne R, et al. Angiogenesis in glaucoma filtration surgery and neovascular glaucoma: a review. *Surv Ophthalmol.* 2015;60:524 – 535.
- [43]Yin X, Cai Q, Song R, et al. Relationship between filtering bleb vascularization and surgical outcomes after trabeculectomy: an optical coherence tomography angiography study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2018 Dec;256(12):2399–2405.
- [44]Schneider S, Kallab M, Murauer O, et al.Bleb vessel density as a predictive factor for surgical revisions after Preserflo Microshunt implantation. *Acta Ophthalmol.* 2024 Aug;102(5):e797–e804.
- [45]Kido A, Akagi T, Ikeda HO, et al.Longitudinal changes in complete avascular area assessed using anterior segmental optical coherence tomography angiography in filtering trabeculectomy bleb. *Sci Rep.* 2021;11(1):23418.
- [46]Hayek S, Labbé A, Brasnu E, et al.Optical Coherence Tomography Angiography Evaluation of Conjunctival Vessels During Filtering Surgery. *Transl Vis Sci Technol.* 2019;8(4):4.
- [47]Luo M, Zhu Y, Xiao H, et al. Characteristic Assessment of Angiographies at Different Depths with AS-OCTA: Implication for Functions of Post-Trabeculectomy Filtering Bleb. *J Clin Med.* 2022;11(6):1661.