

颈动脉狭窄与眼底缺血性疾病的研究进展

魏善欣^{1,2}, 张正威¹

引用:魏善欣,张正威. 颈动脉狭窄与眼底缺血性疾病的研究进展. 国际眼科杂志, 2026,26(6):1012-1016.

基金项目:无锡市“双百”中青年医疗卫生拔尖人才培养计划(No.BJ2023037);中国健康促进基金会科研发展公益项目(No.2025-ZCXY-0455)

作者单位:¹(214002)中国江苏省无锡市第二人民医院 江南大学附属中心医院;²(214122)中国江苏省无锡市,江南大学无锡医学院

作者简介:魏善欣,在读硕士研究生,住院医师,研究方向:眼底病。

通讯作者:张正威,男,博士,副主任医师,硕士研究生导师,研究方向:人工智能及多模影像在眼底病中的研究与应用. zwzhang2452@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2025-11-13 修回日期:2026-04-23

摘要

颈动脉狭窄(CAS)可显著影响眼部血流动力学,导致视网膜、脉络膜及视神经等多部位缺血性损害。通过颈动脉超声、磁共振血管造影等多模影像技术,可准确评估CAS程度。中重度CAS与眼缺血综合征、视网膜动静脉阻塞、视网膜结构改变(如缺血性血管周围病变、神经纤维层变薄、视网膜下玻璃状沉积)、缺血性视神经病变及脉络膜血流改变等密切相关。颈动脉内膜剥脱术和支架成形术可改善眼部灌注,缓解缺血症状,但术后需警惕视网膜动脉栓塞等并发症。文章就CAS与眼底缺血性疾病的研究进展进行综述。

关键词:颈动脉狭窄;视网膜动静脉阻塞;颈动脉内膜剥脱术;眼底缺血性疾病

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2026.6.14

Advances in carotid artery stenosis and ocular ischemic diseases

Wei Shanxin^{1,2}, Zhang Zhengwei¹

Foundation items: Top Talent Support Program for “Double Hundred” Young and Middle-aged People of Wuxi Health Committee (No.BJ2023037); the Scientific Research and Development Public Welfare Program of the China Health Promotion Foundation (No.2025-ZCXY-0455).

¹Wuxi No.2 People’s Hospital; Jiangnan University Medical Center, Wuxi 214002, Jiangsu Province, China; ²Jiangnan University Wuxi School of Medicine, Wuxi 214122, Jiangsu Province, China

Correspondence to: Zhang Zhengwei. Wuxi No. 2 People’s Hospital; Jiangnan University Medical Center, Wuxi 214002, Jiangsu Province, China. zwzhang2452@jiangnan.edu.cn

Received:2025-11-13 Accepted:2026-04-23

Abstract

• Carotid artery stenosis (CAS) can significantly impair ocular hemodynamics, resulting in ischemic injury involving the retina, choroid, and optic nerve. The severity of CAS can be accurately evaluated using multimodal imaging techniques, including carotid ultrasonography and magnetic resonance angiography. Moderate to severe CAS is closely associated with ocular ischemic syndrome, retinal arterial and venous occlusions, retinal structural alterations (such as retinal ischemic perivascular lesions, thinning of the retinal nerve fiber layer, and subretinal drusenoid deposits), ischemic optic neuropathy, and changes in choroidal blood flow. Carotid endarterectomy and carotid artery stenting may improve ocular perfusion and alleviate ischemic manifestations; however, postoperative complications such as retinal artery embolism require careful monitoring. This review summarizes recent advances in the understanding of the relationship between CAS and ocular ischemic diseases.

• KEYWORDS: carotid artery stenosis; retinal artery occlusion; carotid endarterectomy; ocular ischemic diseases

Citation: Wei SX, Zhang ZW. Advances in carotid artery stenosis and ocular ischemic diseases. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2026,26(6):1012-1016.

0 引言

颈动脉主要包括颈内动脉和颈外动脉两大分支,任何节段出现不稳定斑块,或斑块形成管腔狭窄可以直接造成靶器官血供不足,导致脑血管事件及眼缺血性病变的发生。颈动脉狭窄(carotid artery stenosis, CAS)被定义为由斑块堆积引起的颈动脉狭窄或阻塞,是缺血性中风的主要病因之一,其发病率随人口老龄化逐年上升^[1]。眼动脉是颈内动脉的分支,视网膜中央动脉从眼动脉分出,成为供应视网膜的终末血管。因此CAS不仅威胁脑血管健康,还会引发多种眼部疾病,比如眼缺血综合征、视网膜动脉阻塞、视网膜静脉阻塞、脉络膜缺血、视神经病变等,表现为视力急剧下降、视野缺损等症状^[2-5]。近年来,随着影像学技术如颈动脉超声(carotid duplex ultrasound, CDU)、磁共振血管造影(magnetic resonance angiography, MRA)等的发展,为CAS的诊断和评估提供了有力支持,而颈动脉内膜剥脱术、颈动脉支架置入术等治疗手段也为改善眼部血流、预防视力损害带来希望^[6-7]。然而,CAS与眼部疾病之间的复杂关系仍有诸多未解之谜,如个体差异、不同眼部疾病的发病机制等。本文将聚焦于CAS与眼部疾病的关系,及其发生与眼部结构的改变以及诊断与治疗进展做一综述,以期临床实践提供参考,改善患者预后。

1 CAS 评估方法与分级

准确评估 CAS 的程度对于预防和治疗相关疾病至关重要。临床上常用的 CAS 检查手段包括:彩色多普勒超声(color doppler flow imaging, CDFI)、MRA、CT 血管造影(CT angiography, CTA)、数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)等^[8]。我们可以分别通过颈动脉超声以及 CTA 或 DSA 初步评估及进一步确认 CAS 的程度^[6-8]。曹敏等^[6]依据管腔狭窄率=(血管管径-血管最狭窄处管径/血管管径)×100% 来评估 CAS 程度,1%-49%定义为轻度狭窄、50%-69%定义为中度狭窄、70%-99%定义为重度狭窄,具有临床意义的 CAS 定义为超过 50%的狭窄,即中重度的狭窄。CDFI 可以诊断 CAS,并可使用北美症状性颈动脉内膜切除术试验狭窄分类进行 CAS 分级。狭窄率(%)=[1-(狭窄段最小直径÷远端正常颈内动脉直径)]×100,低度狭窄为 0%-40%,中度狭窄为 50%-60%,重度狭窄为超过 70%,这也是血流动力学相关的狭窄^[9]。中国卒中血管超声检查标准将内膜中层厚度定义为内膜上缘和外膜之间的垂直距离,颈动脉内膜中层厚度≥1.0 mm 表明动脉壁增厚,≥1.5 mm 或大于周围正常颈动脉内膜中层厚度值 50%以上,且具有凸向管腔的局部结构变化,可定义为颈动脉斑块^[10]。容易破裂的不稳定斑块被定义为易损斑块^[4],视网膜中央静脉管径增大与颈动脉粥样硬化斑块易损性呈正相关,CAS 导致眼部供血不足,而后引起视网膜缺氧,最后导致静脉代偿性扩张^[11]。

2 CAS 对眼部血供的影响

颈内动脉是眼动脉的主要供血来源,而眼动脉负责供应视网膜、脉络膜等眼部组织的血液^[4,12-14]。因此,颈内动脉血流动力学变化对整个视网膜的血液循环状态有重要影响^[6]。CAS 通过降低眼动脉及其分支的灌注压力,削弱眼部血流储备和自动调节能力,进而导致不同组织层次对缺血和低灌注产生差异化反应。由于视网膜、脉络膜及视神经在解剖结构、血供来源及代谢需求方面存在显著差异,CAS 相关的眼部灌注下降可在不同层次表现出特征性的结构与功能改变。急性血流中断通常以视网膜动脉阻塞等临床事件形式出现,而长期的灌注不足则更多表现为视网膜和脉络膜的渐进性结构重塑及神经功能损害。视网膜和脉络膜血管变化可能是 CAS 的早期信号,OCT 和 OCTA 技术可用于早期检测颈内动脉狭窄对眼部供血的影响^[8,12-13,15]。

2.1 眼缺血综合征 眼缺血综合征(ocular ischemic syndrome, OIS)是颈内动脉严重狭窄或闭塞导致眼灌注不足和一系列短暂或永久性的眼缺血症状,例如一过性黑矇、视力丧失、眼眶疼痛,甚至继发于新生血管青光眼的不可逆性失明^[4-5]。大约三分之一的颈内动脉严重狭窄或闭塞患者会出现无症状的视网膜血管系统改变,当颈总动脉或颈内动脉狭窄达到 70%时,便能观察到眼部灌注异常。Hou 等^[4]对无症状的重度颈内动脉狭窄或闭塞病患者(狭窄≥70%)进行了回顾性研究,发现 OIS 在这些患者中的发生率为 11.7%。研究表明,同侧颈内动脉严重狭窄且侧支血流不足的患者更容易发生眼缺血综合征。OIS 多为亚临床型,但通过眼底检查和 FFA 可早期发现。同侧颈内动脉狭窄程度与 OIS 发生风险明显相关,即狭窄程

度越高,OIS 发生率越高,且颈内动脉血流速度明显降低者也更易发生 OIS,对侧颈内动脉闭塞或重度狭窄也更容易导致 OIS。总体而言,OIS 的发生是多因素共同作用的结果,未来研究需进一步明确早期识别指标及干预时机,以指导临床治疗决策并改善预后。

2.2 视网膜的血流改变及血管阻塞

2.2.1 视网膜血流改变 CAS 患者常出现视网膜微血管密度降低,这与视网膜微循环灌注不足密切相关,近期 Meta 分析进一步证实其黄斑区及视盘周围血管密度均显著下降^[16]。分形维数描述的是图形的不规则度和复杂度,结构越复杂、越紊乱的物体其分形维数值越高。视网膜血管分形维数是描述视网膜整体血管网络的密度和复杂性的数值,较高的分形维数表示血管网络更密集^[17]。Fang 等^[10]将 715 例参与者分为了 313 例 CAS 患者(CAS 组:91 例有斑块,222 例无斑块)和 402 例无 CAS 对照者,结果发现 CAS 患者的小动脉分形维数、静脉分形维数、全视网膜分形维数、血管密度以及黄斑中央凹血管密度和距黄斑中央凹 5 mm 血管密度均有所下降。上述结果提示,CAS 可导致视网膜微血管结构复杂性下降及灌注减少。值得注意的是,黄斑区对缺血更为敏感,其血管密度下降可能更早反映微循环异常,从而为 CAS 筛查提供潜在影像学指标。

2.2.2 视网膜血管阻塞 视网膜动脉阻塞(retinal artery occlusion, RAO)和视网膜静脉阻塞(retinal vein occlusion, RVO)与颈动脉异常均存在密切相关性^[3,18]。RAO 的发病机制其一是血栓形成,其二是栓子栓塞。RAO 主要由颈动脉斑块脱落形成栓子,经眼动脉进入视网膜中央动脉,造成急性栓塞,所以斑块、狭窄之类的结构异常更为重要^[3]。绝大部分视网膜栓子是胆固醇栓子,又称 Hollenhorst 斑,这是来源于动脉粥样硬化斑块的半液态物质^[19]。既往研究显示,重度 CAS 是发生 Hollenhorst 斑独立的危险因素^[7]。有症状的 RAO 是一种眼科急症,患者通常出现突发、无痛的单眼视力丧失,视力预后可能较差^[20]。大多数视网膜中央动脉阻塞(central retinal artery occlusion, CRAO)患者存在心血管风险因素,且 78%的患者在全面检查后发现新的风险因素,如患眼同侧发现 CAS,且 40%的 CRAO 患者存在需要治疗的高危 CAS。因此,建议所有 CRAO 患者都应进行全面的检查,以尽早识别和治疗心血管风险因素,降低未来血管事件的风险^[21]。此外,颈动脉内膜中层厚度增加也是视网膜分支动脉阻塞患者视力预后差的风险因素之一^[22]。相较于 RAO 的急性栓塞机制,RVO 的发病机制更为复杂,目前认为主要是血流动力学改变(如静脉回流受阻)、血管壁退行性变及可能的栓子栓塞^[3]。RVO 是常见的视网膜血管阻塞性疾病,通常表现为单眼视力下降、视物模糊甚至中心视力丧失,患者还可能出现视物畸形等症状。慢性 RVO 可伴随黄斑水肿的发展,这是导致视力损害的主要因素之一。CAS 可能通过影响眼部血流动力学间接参与 RVO 发生,但现有研究多为观察性关联,二者直接因果关系尚不明确^[3,18]。Yang 等^[23]研究中发现,合并颈动脉疾病的 RVO 患者对抗 VEGF 治疗的效果显著低于无颈动脉疾病者,提示慢性血流异常及微循环损害可能削弱视网膜血管的代偿和自动调节能力,从而影响治疗效果。

2.3 视网膜结构改变

2.3.1 视网膜缺血性血管周围病变 视网膜缺血性血管周围病变(retinal ischemic perivasculature lesion, RIPL)是指由于缺血和/或缺氧导致视网膜深层的局灶性萎缩,表现为内核层变薄,外丛状层和外核层的代偿性前移凸起^[24]。在临床检查中,RIPL并不表现为典型的视力症状,而是通过OCT影像学观察到的微结构改变,其存在被认为是既往视网膜缺血性梗死的解剖标志。有研究发现RIPL与CAS患者的CAS程度以及脑梗死的风险有关^[25]。因此,RIPL代表了可用于检测视网膜缺血的成像指标。与对侧眼相比,RIPL在CAS患者同侧眼的发生率更高,且数量和分布范围更广。RIPL的存在、数量和分布范围均与CAS程度呈正相关。然而,在慢性颈动脉闭塞患者中,RIPL的发生率略有下降,这可能与颈动脉血流已经形成代偿有关,这提示了其形成机制不仅取决于CAS程度,还与血流动力学状态密切相关。且与不存在RIPL的眼相比,出现RIPL眼的浅表血管复合体密度更低,但视网膜深层血管复合体血流密度和黄斑中心凹无血管区面积均无显著差异^[25],其具体机制仍有待进一步研究。

2.3.2 视网膜神经纤维层厚度 视网膜神经纤维层(retinal nerve fiber layer, RNFL)厚度可作为评估CAS患者眼部灌注状态的敏感结构指标。Hou等^[13]对419只颈内动脉狭窄眼和398只健康对照眼的研究发现,颈内动脉狭窄患者的RNFL厚度、神经节细胞复合体平均厚度以及脉络膜厚度减少,同时视盘周围毛细血管的血管密度降低,这可能提示视网膜缺血和神经细胞损伤。Wang等^[26]的研究也发现了无症状的CAS中平均RNFL厚度较正常对照组显著变薄,但是仅平均厚度显著变薄,各象限单独分析未显示明显差异,可能与样本量不足有关。因此,对于无眼部疾病的患者,如果发现RNFL厚度异常变薄,可能需要进行颈动脉检查以检测无症状的CAS。同时,CAS程度联合视网膜神经血管单元的结构与功能变化,可提升对缺血性脑卒中的预测能力^[27]。视网膜神经血管单元由视网膜感光细胞、双极细胞、神经节细胞及其轴突组成的神经元部分,与浅层、深层和视盘周围毛细血管丛构成的微血管网络,以及星形胶质细胞终足、毛细血管周细胞、基底膜和小胶质细胞共同构成,通过OCTA和视网膜电图可对上述神经与血管结构及功能进行一体化评估。与健康对照组的个体相比,缺血性脑卒中患者组同侧颈内动脉狭窄的发生率更高,严重程度更高,颈内动脉狭窄程度每增加一级,缺血性脑卒中风险上升约1.721倍^[27]。

2.3.3 视网膜下玻璃膜疣状沉积物 视网膜下玻璃膜疣状沉积物(subretinal drusenoid deposits, SDD)也称为网状假性玻璃膜疣,在SD-OCT图像中表现为位于视网膜色素上皮之上的高反射沉淀物。既往研究认为,SDD主要累及外层视网膜结构,与光感受器-视网膜色素上皮复合体的代谢稳态密切相关。Mordechaev等^[28]报道,颈内动脉狭窄患者同侧眼中SDD的发生率显著升高,并伴随脉络膜厚度减小。这一结论支持了颈内动脉狭窄可能通过降低脉络膜灌注,进而影响外层视网膜(尤其是外网状层及视杆细胞)的能量供应和代谢平衡,最终导致SDD的形成的机制。中度及以上ICA狭窄者中,出现SDD阳性率高达66.7%,提示其对慢性低灌注状态具有较高敏感性^[28]。然

而,目前相关研究多为横断面观察,其因果关系及具体发生机制尚未完全明确。上述结果支持SDD作为慢性眼部及全身血管灌注障碍的潜在生物标志物,但其具体机制仍需进一步研究加以证实。

2.4 缺血性视神经病变 缺血性视神经病变(ischemic optic neuropathy, ION)的临床特征是突然、无痛、单眼视力丧失,常伴有相对性传入性瞳孔障碍和典型视野缺损,根据缺血性损伤的位置,ION可分为两种类型:前部ION累及视神经前部,由睫状后动脉循环供血,后部ION累及视神经的其余部分,由软脑膜毛细血管丛供血。CAS患者可能会出现缺血性视神经病变^[2]。在纳入的16例ION患者中,10例为后部ION,5例为前部ION,1例为混合型,平均年龄为48.4岁,多数伴有不同程度的CAS,其中部分病例报告了50%以上的狭窄或完全闭塞^[2]。其机制主要为夹层导致颈动脉真腔受压变窄,进而降低眼动脉及后睫状动脉的灌注压,引发视神经缺血。

2.5 脉络膜血流改变 脉络膜是眼球壁的中层,富含血管,为视网膜外层提供营养和氧气。颈动脉严重狭窄或阻塞时,脉络膜血流减少,导致脉络膜缺血缺氧,进而引发脉络膜病变。CAS程度与同侧眼脉络膜厚度呈负相关^[12],多项研究均证实CAS患者狭窄侧眼的黄斑中心凹脉络膜厚度较无CAS的健康对照组偏薄^[29-31]。Kang等^[30]通过增强深度成像的OCT对伴有症状性CAS的眼缺血综合征患者进行评估,发现狭窄侧眼的黄斑中心凹下脉络膜厚度显著变薄,平均为 $189.4 \pm 57.1 \mu\text{m}$,明显低于对侧眼的 $225.2 \pm 62.3 \mu\text{m}$ 和健康对照组的 $243.5 \pm 44.8 \mu\text{m}$ 。该结果说明了脉络膜厚度变化可反映眼部灌注状态,且有研究表明视网膜脉络膜早期结构异常可在临床症状出现前即被检测到,提示其在早期筛查中的潜在价值^[32]。

3 CAS治疗后的影响

3.1 有利影响

3.1.1 颈动脉内膜剥脱术 颈动脉内膜剥脱术可以有效地改善CAS致眼缺血性疾病的眼部血流动力学指标,一定程度上缓解眼缺血性疾病的症状,增加眼部组织的血液供应^[9,28,33-35]。Zhang等^[34]前瞻性纳入60例单侧症状性颈内动脉狭窄($\geq 70\%$)患者,于术前及术后7d采用扫频源OCTA进行脉络膜成像,分析颈动脉内膜切除术术后1wk内的脉络膜厚度,手术侧眼的平均中心凹下脉络膜厚度由术前 $223 \mu\text{m}$ 显著增加至术后第4d的 $246 \mu\text{m}$,提示血流灌注立即改善,该增厚在术后3-4d达到峰值,并在长期随访($\geq 3 \text{ mo}$)仍维持在 $235 \mu\text{m}$,显著高于基线,表明提升作用持续存在。Krytkowska等^[36]也同样验证了颈动脉内膜剥脱术能迅速、持续地使因慢性低灌注而变薄的脉络膜显著增厚、体积增大,3mo内达到对侧眼水平,直接量化证明了该手术对眼脉络膜灌注的立即且持久的有利影响。大量数据均表明CAS通过降低眼灌注使脉络膜变薄、血管稀疏,而血运重建后脉络膜厚度和血流密度迅速恢复,证实其改变具有可逆性^[31]。

3.1.2 颈动脉支架成形术 颈动脉剥脱术存在术后愈合较慢、术中出血量大等不足,而支架成形术具有恢复快、创伤小、术后照顾方便等优点,在多种心脑血管疾病的治疗中均有应用^[37]。姚晓喜等^[38]对比了重度CAS患者颈动脉支架成形术术前,术后1wk,3mo的视网膜血管密度变

化,结果显示深层血管复合物术后密度增加了 2.3 mm^2 (+12.7%),但浅层血管复合物及视盘周围放射状毛细血管变化不明显。颈动脉支架成形术组患者的眼部血流参数及最佳矫正视力在治疗后1 wk均显著优于药物对照组,也说明了颈动脉支架成形术能有效改善眼部血液供应^[39]。然而,目前相关研究多为短期随访结果,其长期疗效及不同患者亚群间的差异仍需进一步探讨。

3.1.3 药物治疗 过氧化物酶体增殖物激活受体 α 激动剂被认为是治疗眼缺血的有前途的药物,非诺贝特是一种众所周知的过氧化物酶体增殖物激活受体 α 激动剂, Lee等^[40]研究发现非诺贝特对小鼠颈总动脉闭塞诱导的眼缺血模型中视网膜功能障碍起到了保护作用,为非诺贝特在治疗视网膜缺血性疾病中的潜在应用提供了实验依据。

3.2 不利影响 尽管颈动脉内膜剥脱术及颈动脉支架成形术可改善脑-眼循环灌注,但亦可能引发一系列并发症,如术后高灌注综合征、脑出血及心肌梗死等,这些因素均可能对眼部血流及视功能产生不良影响。杨立宁等^[41]报道了1例66岁男性患者在颈动脉支架置入术后发生多发性视网膜动脉阻塞的情况,对于颈动脉支架置入术后相关视网膜动脉阻塞,早发现、及时有效的治疗是挽救视力、提高患者生活质量的关键。介入手术医师应关注眼科血管性疾病相关知识,术前评估患者视网膜血管状态,术后常规进行眼科会诊,筛查视网膜动脉阻塞,加强术后随访,关注抗凝效果及血管健康状态。

4 小结与展望

CAS与眼部疾病之间存在密切联系,其对眼部血流和视功能的影响均不容忽视。CAS患者常合并多种全身性疾病,例如高血压、糖尿病、高脂血症、心力衰竭、冠状动脉疾病、慢性肾病和中风等^[42]。在本综述中,我们全面探讨了CAS对眼部血供的影响以及治疗后影响,尤其是其对视网膜、脉络膜和视神经等组织层次的改变。与Hou等^[4]的研究相比,我们的工作进一步明确了急性(如RAO)与慢性(RIPL、脉络膜变薄等)眼缺血性改变的区分。本研究的创新性在于,不仅探讨了CAS与OIS的关系,还结合最新影像学技术,如OCT和OCTA,进一步分析了不同类型眼缺血的早期检测方法,以及不同层次眼部结构对CAS相关灌注不足的反应。此外,我们强调了急性与慢性改变的区别,并且详细讨论了脉络膜灌注下降如何导致视网膜结构的变化,这一点是Hou等^[4]未深入探讨的。在治疗方面,颈动脉内膜剥脱术、颈动脉支架成形术等治疗方法可改善眼部血流,降低眼部疾病的发生率,但同时也需注意其并发症的防治及长期随访管理。颈动脉干预对一过性视力丧失及早期眼缺血症状具有较好改善作用,但对已发生不可逆视力损害的患者疗效有限,提示干预时机对预后具有重要影响^[43]。未来的研究应进一步探讨全身危险因素、CAS与眼部疾病之间的病理生理机制,寻找更有效的预防和治疗方法,以改善患者的预后。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:魏善欣论文选题与修改,初稿撰写;张正威选题指导,论文修改及审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

- [1] Ismail A, Ravipati S, Gonzalez-Hernandez D, et al. Carotid artery stenosis: a look into the diagnostic and management strategies, and related complications. *Cureus*, 2023,15(5): e38794.
- [2] Ripa M, Shah NA, Schipa C, et al. The relationship between ischemic optic neuropathy and internal carotid artery dissection: a systematic review. *J Clin Med*, 2024,13(9):2486.
- [3] 郑文丽, 罗云霞, 曹阳, 等. 颈动脉结构及其血流动力学改变所致视网膜动脉阻塞与视网膜静脉阻塞差异分析. *临床眼科杂志*, 2019,27(1):8-12.
- [4] Hou YL, Tang SM, Meng ZY, et al. Incidence of ocular ischemic syndrome in patients with asymptomatic severe internal carotid artery stenosis. *Int Ophthalmol*, 2025,45(1):161.
- [5] Lee D, Tomita Y, Yang L, et al. Ocular Ischemic Syndrome and Its Related Experimental Models. *Int J Mol Sci*, 2022, 23(9): 5249.
- [6] 曹敏, 吴江浩. 颈动脉彩色多普勒血流信息对眼底血管阻塞疾病的诊治指导作用. *黑龙江医药*, 2021,34(1):192-194.
- [7] 梁铨英, 吕洋辉. 视网膜 Hollenhorst 斑与高危颈动脉狭窄特征关系的研究. *全科医学临床与教育*, 2024,22(10):907-910.
- [8] 张子靖, 马翔. 颈动脉系统影像学检查在眼缺血综合征中的临床应用. *眼科学报*, 2018,33(2):113-117.
- [9] Zhou SW, Zhang Y, Noam N, et al. The impact of carotid endarterectomy on choriocapillaris perfusion. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2023,64(15):42.
- [10] Fang XX, Yang F, Huang W, et al. Comparative analysis of retinal microvascular parameters in healthy individuals with or without carotid artery stenosis or plaque. *Eur J Ophthalmol*, 2025, 35(3): 1044-1053.
- [11] 张晓洁, 洪楠, 李瑞, 等. 基于头颈部CTA探索视网膜血管评估颈动脉粥样硬化斑块易损性的研究. *临床和实验医学杂志*, 2018, 17(19):2021-2025.
- [12] 陈功, 沈玺. OCT与OCTA在颈动脉狭窄导致的慢性眼缺血性疾病中的应用. *上海交通大学学报(医学版)*, 2021, 41(8): 1109-1113.
- [13] Hou XY, Jie CH, Liu ZQ, et al. Changes in the retina and choroid in patients with internal carotid artery stenosis: a systematic review and meta-analysis. *Front Neurosci*, 2024,18:1368957.
- [14] Cankurtaran V, Ergshev K, Arifoglu HB, et al. Retinal vasculature changes in patients with internal carotid artery stenosis. *Int Ophthalmol*, 2024,44(1):415.
- [15] Li XY, Zhu SY, Zhou SJ, et al. Optical coherence tomography angiography as a noninvasive assessment of cerebral microcirculatory disorders caused by carotid artery stenosis. *Dis Markers*, 2021, 2021:2662031.
- [16] Ji KB, Yang Y, Xing YQ, et al. Metrics of retinal vasculature detected on OCTA in carotid artery stenosis: a systematic review and meta-analysis. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2024, 50:104390.
- [17] 刘梦珂, 张正威. 视网膜微血管分形分析在眼科疾病中的研究进展. *国际眼科杂志*, 2025,25(8):1274-1279.
- [18] 陈伽俐, 窦晓燕, 杨浩江, 等. 视网膜静脉阻塞与颈动脉血液流变学的相关性. *中华眼外伤职业眼病杂志*, 2018,40(8):634-637.
- [19] 黄厚斌. 视网膜栓子. *眼科*, 2025,34(2):88-99.
- [20] Chen CL, Singh G, Madike R, et al. Central retinal artery occlusion: a stroke of the eye. *Eye*, 2024,38(12):2319-2326.
- [21] Callizo J, Feltgen N, Pantenburg S, et al. Cardiovascular risk factors in central retinal artery occlusion: results of a prospective and standardized medical examination. *Ophthalmology*, 2015, 122(9): 1881-1888.
- [22] Yasuda M, Sato H, Hashimoto K, et al. Carotid artery intima-

media thickness, HDL cholesterol levels, and gender associated with poor visual acuity in patients with branch retinal artery occlusion. *PLoS One*, 2020,15(10):e0240977.

[23] Yang TT, Lu YM, Zeng F, et al. Prognosis and factors related to anti-VEGF therapy in patients with retinal vein occlusion and concomitant carotid artery disease. *Sci Rep*, 2024,14(1):24634.

[24] Long CP, Chan AX, Bakhom CY, et al. Prevalence of subclinical retinal ischemia in patients with cardiovascular disease - a hypothesis driven study. *Eclinical Medicine*, 2021,33:100775.

[25] Wang H, Cao L, Kwapong WR, et al. Retinal ischemic perivascular lesions are associated with increased carotid artery stenotic degree. *Retina*, 2025,45(4):748-755.

[26] Wang DD, Li Y, Zhou Y, et al. Asymptomatic carotid artery stenosis and retinal nerve fiber layer thickness. A community-based, observational study. *PLoS One*, 2017,12(5):e0177277.

[27] Chen ZF, Liao SX, Chen GZ, et al. The combination of retinal neurovascular unit changes with carotid artery stenosis enhances the prediction of ischemic stroke. *Trans Vis Sci Tech*, 2025,14(3):14.

[28] Mordechaev E, Jo JJ, Mordechaev S, et al. Internal carotid artery stenosis and ipsilateral subretinal drusenoid deposits. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2024,65(2):37.

[29] Li S, Lang XQ, Wang W, et al. Choroidal vascular changes in internal carotid artery stenosis: a retrospective cohort study in Chinese population. *BMC Ophthalmol*, 2019,19(1):215.

[30] Kang HM, Choi JH, Koh HJ, et al. Significant changes of the choroid in patients with ocular ischemic syndrome and symptomatic carotid artery stenosis. *PLoS One*, 2019,14(10):e0224210.

[31] Akca Bayar S, Kayaarası Öztürker Z, Pınarcı EY, et al. Structural analysis of the retina and choroid before and after carotid artery surgery. *Curr Eye Res*, 2020,45(4):496-503.

[32] Monferrer-Adsuara C, Remolí-Sargues L, Navarro-Palop C, et al. Swept-source optical coherence tomography early findings in patients with carotid artery disease. *Eur J Ophthalmol*, 2025,35(1):324-334.

[33] Jiang LG, Liu MT, Yu MT, et al. Application of the full-width-

at-half-maximum image segmentation method to analyse retinal vascular changes in patients with internal carotid artery stenosis. *Front Cell Dev Biol*, 2024,12:1467374.

[34] Zhang Y, Zhou SW, Noam N, et al. Influence of carotid endarterectomy on choroidal perfusion: the INFLATE study. *Ophthalmol Retina*, 2024,8(1):62-71.

[35] Berni A, Zhang Y, Wenting SZ, et al. Long-term impact of carotid endarterectomy on choroidal and choriocapillaris perfusion: the INFLATE study. *Ophthalmol Sci*, 2025,5(2):100651.

[36] Krytkowska E, Masiuk M, Kawa MP, et al. Impact of carotid endarterectomy on choroidal thickness and volume in enhanced depth optical coherence tomography imaging. *J Ophthalmol*, 2020,2020:8326207.

[37] Myrcha P, Gloviczki P. Carotid artery stenting in patients with chronic internal carotid artery occlusion. *Int Angiol*, 2021,40(4):297-305.

[38] 姚晓喜, 彭婧利, 刘茹, 等. 重度颈动脉狭窄支架成形术前后视网膜血管密度观察. *临床眼科杂志*, 2023,31(2):101-104.

[39] 李肖春, 高颖, 鲍翔, 等. 颈动脉支架成形术对缺血性眼病患者眼部血流动力学改变的临床观察. *中华眼底病杂志*, 2018,34(3):258-262.

[40] Lee D, Tomita Y, Miwa Y, et al. Fenofibrate protects against retinal dysfunction in a murine model of common carotid artery occlusion-induced ocular ischemia. *Pharmaceuticals (Basel)*, 2021,14(3):223.

[41] 杨立宁, 杨颖, 刘玲, 等. 颈动脉支架置入术后发生多发性视网膜动脉阻塞1例. *中国眼耳鼻喉科杂志*, 2023,23(4):320-322.

[42] Lin WY, Wang JJ, Chen CY, et al. The relationship between carotid artery stenosis and the development of open-angle glaucoma: a long-term cohort study in Taiwan. *Ophthalmic Epidemiol*, 2025,32(2):213-221.

[43] Al Ibraheem B, Tallarita T, Mansukhani SA, et al. Neuro-ophthalmic outcomes after carotid intervention for ocular symptoms. *J Vasc Surg*, 2025,81(3):643-649.