

单侧视网膜分支静脉阻塞患者视盘区微血管的量化分析

孙佳¹, 刘健², 燕鹏¹, 陆楠¹, 单志明¹, 杨冬妮¹

引用: 孙佳, 刘健, 燕鹏, 等. 单侧视网膜分支静脉阻塞患者视盘区微血管的量化分析. 国际眼科杂志, 2025, 25(1): 152-156.

作者单位:¹(066000) 中国河北省秦皇岛市第一医院眼科;
²(066000) 中国河北省秦皇岛市, 东北大学秦皇岛分校控制工程学院

作者简介: 孙佳, 硕士, 住院医师, 研究方向: 眼底病。

通讯作者: 杨冬妮, 硕士, 主任医师, 研究方向: 眼底病、白内障、葡萄膜炎等. yangdongniqhd@sina.com

收稿日期: 2024-06-16 修回日期: 2024-12-02

摘要

目的: 观察单侧视网膜分支静脉阻塞(BRVO)患者视网膜神经纤维层(RNFL)厚度, 视盘周围放射状毛细血管(RPC)密度的变化, 并进一步分析RPC密度与RNFL厚度的关系。

方法: 观察性研究。选取2020-10/2022-01在秦皇岛市第一医院眼科确诊的单侧BRVO患者37例, 37只患眼为单侧BRVO组, 37只对侧健眼为对侧健眼组, 同时期无眼部疾病健康者35名35眼(均选取右眼入组)作为健康对照组。所有参与者双眼均行最佳矫正视力、眼压、眼前节、眼底及光相干断层扫描血管成像(OCTA)检查。使用OCTA设备自带软件测量黄斑中心凹厚度(CMT)、RNFL厚度和视盘中心到动静脉交叉点的距离(DAVD)。采用优化的U-net算法剔除视盘周围大血管后再计算RPC密度。比较三组间CMT、RNFL厚度、RPC密度, 并分析RPC密度与CMT、RNFL厚度、DAVD之间的相关性。

结果: 单侧BRVO组患眼CMT、RNFL厚度较对侧健眼组和健康对照组显著增厚(均 $P < 0.05$); 对侧健眼组CMT、RNFL厚度与健康对照组比较均无差异(均 $P > 0.05$)。单侧BRVO组患眼RPC密度较对侧健眼组增加, 较健康对照组减少, 但均无差异(均 $P > 0.05$), 而对侧健眼组RPC密度较健康对照组减少($P < 0.05$)。单侧BRVO组患眼RPC密度与CMT无相关性($P = 0.960$), 与RNFL厚度呈正相关($r = 0.401, P = 0.014$), 与DAVD呈负相关($r = -0.339, P = 0.040$)。

结论: BRVO患眼视盘区RNFL明显增厚、RPC密度无明显变化。RPC密度与RNFL厚度呈正相关, 说明RNFL厚度可作为分析研究RPC密度损伤程度的监测指标。

关键词: 视网膜分支静脉阻塞; 光相干断层扫描血管成像; 视盘周围放射状毛细血管密度; 视网膜神经纤维层厚度; 视盘中心到动静脉交叉点的距离

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2025.1.28

Quantitative analysis on microvasculature in the optic disc area of patients with unilateral branch retinal vein occlusion

Sun Jia¹, Liu Jian², Yan Peng¹, Lu Nan¹, Shan Zhiming¹, Yang Dongni¹

¹Department of Ophthalmology, First Hospital of Qinhuangdao, Qinhuangdao 066000, Hebei Province, China; ²School of Control Engineering, Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao 066000, Hebei Province, China

Correspondence to: Yang Dongni. Department of Ophthalmology, First Hospital of Qinhuangdao, Qinhuangdao 066000, Hebei Province, China. yangdongniqhd@sina.com

Received: 2024-06-16 Accepted: 2024-12-02

Abstract

• **AIM:** To observe the changes of retinal nerve fiber layer (RNFL) thickness and radial peripheral capillary (RPC) density in patients with unilateral branch retinal vein occlusion (BRVO), and further analyze the correlation between RPC density and RNFL thickness.

• **METHODS:** Observational study. Totally 37 patients with unilateral BRVO diagnosed at the ophthalmology department of First Hospital of Qinhuangdao from October 2020 to January 2022 were selected, the 37 affected eyes were the unilateral BRVO group, and 37 fellow healthy eyes were the contralateral unaffected group, and 35 healthy individuals (35 right eyes were selected) without ocular diseases during the same period were selected as the normal control group. The best corrected visual acuity, intraocular pressure, anterior segment, fundus and optical coherence tomography angiography (OCTA) were examined in both eyes of all BRVO patients and healthy individuals. The central macular thickness (CMT), the RNFL thickness, and the optic disc-AV crossing distance (DAVD) were measured by built-in software of the OCTA equipment. The optimized U-net algorithm was used to eliminate the large blood vessels, and then the RPC density was calculated. The CMT, RNFL thickness and RPC density were compared among the three groups. And the correlations of the RPC density with the CMT, RNFL thickness, and the DAVD were investigated.

• **RESULTS:** Compared with the contralateral unaffected group and the normal control group, the CMT and the RNFL thickness were significantly thickened in the

unilateral BRVO group (all $P < 0.05$); there were no statistical differences in the CMT and the RNFL thickness between the contralateral unaffected group and the normal control group (all $P > 0.05$). The RPC density in the unilateral BRVO group increased compared with the contralateral unaffected group and decreased compared with the normal control group, but there was no statistically difference (all $P > 0.05$). However, the RPC density in the contralateral unaffected group decreased compared with the normal control group ($P < 0.05$). The RPC density in the unilateral BRVO group was not correlated with the CMT ($P = 0.960$), but positively correlated with the RNFL thickness ($r = 0.401$, $P = 0.014$) and negatively correlated with the DAVD ($r = -0.339$, $P = 0.040$).

• **CONCLUSION:** The RNFL thickened significantly and the RPC density did not change significantly in the optic disc area of BRVO patients. The RPC density is positively correlated with the RNFL thickness, indicating that the RNFL thickness can be used as a monitoring indicator to analyze and study the damage degree of the RPC density.

• **KEYWORDS:** branch retinal vein occlusion; optical coherence tomography angiography; radial peripheral capillary density; retinal nerve fiber layer thickness; optic disc-AV crossing distance

Citation: Sun J, Liu J, Yan P, et al. Quantitative analysis on microvasculature in the optic disc area of patients with unilateral branch retinal vein occlusion. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2025, 25(1): 152-156.

0 引言

视网膜分支静脉阻塞(branch retinal vein occlusion, BRVO)是一种视网膜静脉局灶性闭塞的眼底血管性疾病,以火焰状出血、静脉迂曲扩张为特征,合并黄斑水肿是引起视力下降、视物变形的主要原因之一。以往 BRVO 的研究主要集中于黄斑区微血管变化,随着对 BRVO 疾病了解增加,视盘区也显示出了较高的研究价值及能够重复测量的优势^[1],其血流灌注情况可用于评估病情变化和治疗效果,探究发病原因。视盘周围放射状毛细血管(radial peripheral capillary, RPC)是位于视网膜神经纤维层(retinal nerve fiber layer, RNFL)的复杂毛细血管网,走行较长且平行于神经节细胞,起营养 RNFL 作用^[2]。王良艳等^[3]研究发现,因 RPC 缺乏与神经纤维束吻合的结构特征,易发生病理性改变,视网膜静脉阻塞(retinal vein occlusion, RVO)患者视盘周围大血管及毛细血管密度均发生损伤。

光相干断层扫描血管成像(optical coherence tomography angiography, OCTA)因具有无需造影剂、准确、较高轴向分辨率等特点,可量化分析不同部位、不同分层的视网膜微血管变化,尤其是在测量 RPC 及视网膜深层毛细血管方面优势更加突出^[4-5],目前广泛用于 BRVO 的诊断及评估治疗效果。目前对 BRVO 患者视盘区微血管的变化研究较少。因此,本研究使用 OCTA 测量 BRVO 患

者黄斑中心凹厚度(central macular thickness, CMT)、RNFL 厚度、RPC 密度、视盘中心到动静脉交叉点的距离(optic disc-AV crossing distance, DAVD)等指标,观察视盘区微血管形态结构及灌注状态的变化,并进一步探讨影响 RPC 密度的因素。

1 对象和方法

1.1 对象 观察性研究。选取 2020-10/2022-01 在秦皇岛市第一医院眼科确诊的单侧 BRVO 患者 37 例,37 只患眼为 BRVO 组,37 只对侧健眼为对侧健眼组。同期从医院职工及患者家属中选取年龄、性别和基础疾病与 BRVO 患者相匹配的无眼部疾病的健康者 35 名 35 眼(均选取右眼入组)作为健康对照组。纳入标准:(1)散瞳后查眼底为单侧分支静脉新鲜火焰状出血,无硬性渗出;(2)对侧健眼的最佳矫正视力 ≤ 0.1 (LogMAR),双眼无高度近视、无高度远视且屈光介质无明显混浊;(3)OCTA 检查图像清晰。排除标准:(1)合并其他眼底血管疾病;(2)有眼科手术史及激光治疗史;(3)有青光眼或有青光眼家族史;(4)拒绝配合检查或因眼球震颤及固视差等不能完成相关检查的患者。本研究已获得秦皇岛市第一医院伦理委员会批准,所有参与者及家属均知情同意,符合《赫尔辛基宣言》。

1.2 方法 所有参与者双眼均使用国际标准对数视力表(LogMAR)测量最佳矫正视力、非接触 Goldman 眼压计测量眼压;裂隙灯检查眼前节及散瞳后前置镜检查眼底。使用 OCTA 自带软件测量双眼 CMT,以视盘中央为中心,3.4 mm 为半径的平均 RNFL 厚度及患眼的 DAVD。RPC 的测量采用波长 870 nm, A-scan 扫描速度为 85 000 Hz,扫描范围是以视盘中央为中心的 4.5 mm \times 4.5 mm。由两名经验丰富且操作熟练的医师核对检验,按照程序提示完成视盘区血管扫描,利用全频谱概率算法形成图像,选取其中质量更为清晰的图像保存,定期进行设备校准,手动修正图像中分层错误。RPC 的范围:从内界膜向下至 RNFL 外界之间,以视盘中央为中心的内圆直径为 2 mm 与外圆直径为 4 mm 之间部分。剔除视盘周围大血管是采用优化的 U-net 算法,即在传统 U-net 算法基础上添加了 loss 函数的加权修正算法,用于准确分割视盘周围团聚的毛细血管。RPC 密度等于去除大血管后的毛细血管面积与去除大血管后的所有面积的比值。

统计学分析:应用 SPSS 20.0 统计学软件行统计分析。计量资料使用均数 \pm 标准差表示,两组间比较采用独立样本 t 检验,三组间比较采用单因素方差分析,进一步两两比较采用 LSD- t 检验;计数资料使用频数及百分比表示,采用卡方检验或 Fisher 精准概率法。采用 Pearson 相关分析相关性。 $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 单侧 BRVO 组和健康对照组基本资料比较 纳入 37 例 37 眼单侧 BRVO 患者中右眼 21 眼(57%),左眼 16 眼(43%);颞上分支静脉阻塞 25 眼(68%),颞下分支静脉阻塞 12 眼(32%),无鼻上和鼻下分支静脉阻塞。最佳矫正视力(LogMAR)0.00-0.98(平均 0.48 \pm 0.31),CMT 212-1 314(平均 581.54 \pm 260.30) μ m,DAVD 661-5 319(平均 2364.59 \pm 1051.24) μ m。单侧 BRVO 组和健康对照组基本

资料比较差异均无统计学意义($P>0.05$,表1)。

2.2 单侧 BRVO 组患眼和对侧健眼组及健康对照组临床指标比较 三组间眼压的差异无统计学意义($P>0.05$);三组间 CMT、RNFL 厚度和 RPC 密度的差异均有统计学意义($P<0.05$)。单侧 BRVO 组患眼 CMT、RNFL 厚度较对侧健眼组和健康对照组显著增厚,差异均有统计学意义($P<0.05$);对侧健眼组 CMT、RNFL 厚度与健康对照组比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。单侧 BRVO 组患眼 RPC 密度较对侧健眼组增加,较健康对照组减少,但差异均无统计学意义($P>0.05$),而对侧健眼组 RPC 密度较健康对照组减少,差异具有统计学意义($P<0.05$),见表2。

2.3 单侧 BRVO 组患眼 RPC 密度与 CMT 和 RNFL 厚度及 DAVD 相关性 单侧 BRVO 组患眼 DAVD 为 $2364.59 \pm 1051.24 \mu\text{m}$ 。单侧 BRVO 组患眼 RPC 密度与 CMT 无相关性($P = 0.960$),与 RNFL 厚度呈正相关($r = 0.401, P = 0.014$),与 DAVD 呈负相关($r = -0.339, P = 0.040$)。

3 讨论

目前,BRVO 确切发病机制尚不清楚,但已知与高血压、糖尿病、高脂血症、动脉粥样硬化等全身基础疾病密切相关^[6]。在动静脉交叉处,动脉和静脉共用血管外鞘膜,僵硬的动脉机械性压迫静脉,导致静脉管腔狭窄,静脉血流紊乱、回流障碍,血管内皮细胞慢性损伤,形成血栓,最终发生 BRVO^[7]。有研究发现,BRVO 患者视网膜神经纤维层薄变顺序与青光眼相似^[8],并且 BRVO 患者后期发生青光眼的比例高于正常人^[9],说明两种疾病可能存在共同的危险因素。在 BRVO 发生时,不仅会损伤黄斑区微血管,同时也会损伤视盘周围的血流灌注及 RNFL。血管源性假说提出 BRVO 患者视盘周围血液循环障碍,RNFL 缺血缺氧,进而引起视神经不同程度的损伤^[10],是目前广泛认可的假说之一。本文深入分析 BRVO 患者视盘区不同 OCTA 参数,探讨视盘区血流灌注与结构之间的关系,为评估患者预后提供新思路。

本研究结果显示,与对侧健眼组及健康对照组相比,

BRVO 组患眼 RNFL 厚度显著增加。当血-视网膜屏障被破坏时,进入视网膜的液体大于流出,液体堆积于视网膜内或视网膜下,造成囊样或神经上皮脱离样的黄斑水肿^[11]。视盘周围的视网膜水肿机械性压迫,使 RNFL 受压变形,高反射性细胞内细胞器(如线粒体)聚集在压迫部位,增加的间质液体漏入轴突,导致轴突肿胀^[12],进而引起 RNFL 水肿。我们考虑 RNFL 增厚除了与视网膜肿胀波及视盘周围^[13],还可能与视盘周围的自身视网膜屏障破坏引起视盘区水肿相关^[14]。朱少进等^[15]研究发现,与对照组相比,患侧组颞侧上方 RNFL 厚度明显升高,可能与纳入患者存在未接受治疗的继发黄斑水肿有关,这与本研究结果类似,BRVO 患者正处于急性期,视网膜及 RNFL 水肿,毛细血管迂曲怒张。Kang 等^[10]长期随访观察 BRVO 眼 RNFL 厚度变化,发现基线时厚度为 $111.6 \pm 21.6 \mu\text{m}$,12 mo 后复测 RNFL 厚度为 $103.5 \pm 12.3 \mu\text{m}$,发生显著降低。在疾病早期,RNFL 因视网膜出血渗出及屏障功能破坏而发生水肿增厚,随着病程进展,视网膜发生缺血缺氧,RNFL 萎缩薄变。由此可得出,BRVO 患者 RNFL 厚度的变化可用于初步判断病程时期,长期随访观察不同病程阶段 RNFL 厚度变化,以便更加全面了解疾病进展过程。

本研究中,与健康对照组相比,BRVO 组患眼 RPC 密度减少,但二者无统计学差异。分析 RPC 密度减少有以下原因:(1)在视盘血液循环障碍及炎症因素的共同影响下,毛细血管发生直接损伤而闭塞;(2)动脉交叉压迫静脉造成静脉及毛细血管血流速度降低,进而引起 OCTA 识别红细胞运动的敏感性降低,导致 RPC 密度的测量值降低^[14]。Chen 等^[16]对 47 只单侧 BRVO 患者行视盘区 OCTA 检查,结果显示 BRVO 患眼的视盘区毛细血管密度降低,这与 Yin 等^[17]研究结果一致,说明盘周灌注状态也发生了病理改变。患眼组视盘部各区血管密度均降低,多表现在视盘周围上侧及相邻区域,这与梗阻多发生在视网膜上方相关^[14]。Zeng 等^[18]研究发现 RVO 患者 RPC 密度

表1 单侧 BRVO 组和健康对照组基本资料比较

分组	例数	性别(例,%)		年龄($\bar{x} \pm s$,岁)	高血压(例,%)	糖尿病(例,%)
		男	女			
单侧 BRVO 组	37	17(46)	20(54)	54.97±9.29	23(62)	2(5)
健康对照组	35	16(46)	19(54)	53.11±6.89	17(49)	0
t/χ^2 /Fisher		0.000		0.960	1.345	
P		0.984		0.340	0.246	0.493

注:健康对照组为无眼部疾病的健康者。

表2 单侧 BRVO 组患眼和对侧健眼组及健康对照组临床指标比较

分组	眼数	眼压(mmHg)	CMT(μm)	RNFL 厚度(μm)	RPC 密度(%)
单侧 BRVO 组	37	14.19±2.78	581.54±260.30	119.43±14.18	40.47±9.01
对侧健眼组	37	14.73±2.57	221.35±13.86 ^a	106.86±10.33 ^a	38.21±7.16
健康对照组	35	14.29±2.19	221.77±18.73 ^a	107.06±8.90 ^a	43.23±6.90 ^c
F		0.479	68.290	14.643	3.763
P		0.621	<0.01	<0.01	0.026

注:健康对照组为无眼部疾病的健康者;^a $P<0.05$ vs 单侧 BRVO 组;^c $P<0.05$ vs 对侧健眼组。

与类巨噬细胞样细胞密度之间呈负相关。有研究表明对侧健眼的 RPC 密度和浅层毛细血管密度明显降低^[19-20]。然而,与对侧健眼组相比,BRVO 眼 RPC 密度增加,但无统计学差异。王良艳等^[3]也同样得出视盘内血管、视盘内毛细血管、鼻上、鼻下区域内的血流密度与对侧健眼组无明显差异。另外因 OCTA 测量方法与模式不同,视网膜条件不同,患者配合情况不同,这些均会影响测量结果^[14]。因此在未来的研究中,需要进一步扩大样本量精确地测量盘周毛细血管指标,来阐明 RPC 密度的变化过程,深入分析 BRVO 发病机制,进而准确判断患者疾病转归。

本研究采用 Pearson 相关分析探讨 BRVO 患眼 RPC 密度与 CMT、RNFL 厚度、DAVD 之间的关系,发现 RPC 密度与 CMT 无相关性,而与 RNFL 厚度呈正相关。Shin 等^[21]和 Atilgan 等^[22]发现,RNFL 厚度和神经节细胞层厚度可能与视盘周围毛细血管微血管参数呈正相关,这支持了我们的结论。RPC 密度和 RNFL 厚度在视盘周围分布不同,其分布规律与血管结构和血管活动有关^[23],BRVO 组患者的上侧象限和对侧健康组的下侧象限毛细血管密度和 RNFL 厚度更能反映视盘区整体变化^[15]。由此可得出,RNFL 厚度因易测量、误差小等优点,可作为分析研究 RPC 密度损伤程度的监测指标,为患者制定治疗方案、评估疾病预后提供重要依据。

在 BRVO 眼中,受累及静脉的压力在动静脉交叉点周围异常升高,造成局部缺血缺氧,影响阻塞点远端视网膜血液循环。本研究结果显示 RPC 密度与 DAVD 呈负相关,即静脉阻塞点病变位置离视盘越远,RPC 密度越高。Arslan 等^[24]使用 OCTA 测量黄斑中心凹到动静脉交叉处的距离和 DAVD,发现黄斑中心凹到动静脉交叉处距离越远,患者视网膜血管参数和视力越好;而 DAVD 与视力、受影响半侧的毛细血管密度及中心凹无血管区面积无关。BRVO 患者动静脉交叉处到盘缘的距离与视网膜发生出血增多和难治性黄斑水肿存在相关性^[25]。Iida-Miwa 等^[26]发现,大分支静脉阻塞眼的无灌注区面积较基线显著增加,而黄斑区小分支静脉阻塞眼的无灌注区面积无明显增加。说明视网膜无灌注区的大小可能因交叉血管的解剖位置不同而不同,大分支静脉阻塞对患者预后影响较大。经分析,BRVO 患者阻塞点病变位置即动静脉交叉点是影响盘周视网膜灌注状态的原因之一,其病变过程为深入了解 BRVO 发病机制及危险因素提供新方向,也需要我们着重关注。

本研究还存在一些局限性:(1)样本量较小,随访时间短。(2)部分患者视网膜出血累及图像,可引起信号遮蔽、分层误差等,影响测量结果。(3)OCTA 在颞侧视盘缘外 8.5 mm 处检测到了 RPC^[2],本研究使用 4.5 mm×4.5 mm 范围对 RPC 进行测量分析,但是并没有反映全部 RPC 的血流状态。(4)眼压波动可引起 RNFL 损伤薄变,但对血管密度无影响^[27],本研究未行 24 h 眼压监测,不能排除眼压波动影响。

综上所述,视盘区的 OCTA 量化分析可敏锐观察到视网膜早期微血管异常,是全面评估 BRVO 疾病进展、准确判断患者预后的重要方法。我们研究发现单侧 BRVO 患

眼 RNFL 厚度显著增加,RPC 密度较对侧健眼组增加,较健康对照组减少,但均无统计学差异。RPC 密度与 RNFL 厚度密切正相关,因 RNFL 厚度易测量、误差小等优点,可作为分析研究 RPC 密度损伤程度的监测指标;与 DAVD 呈负相关性,阻塞点病变位置是影响盘周视网膜灌注状态的原因之一。深入研究视盘区 OCTA 血流及结构的改变,对于加深 BRVO 等血管性疾病发生、发展、转归的认知具有重要临床应用价值。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:孙佳、杨冬妮论文选题与修改、文献检索、初稿撰写;刘健提取数据、数据分析;燕鹏协助选题,收集数据;陆楠、单志明、杨冬妮选题指导,论文修改。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

- [1] Fernández - Vigo JI, Kudsieh B, Macarro - Merino A, et al. Reproducibility of macular and optic nerve head vessel density measurements by swept - source optical coherence tomography angiography. *Eur J Ophthalmol*, 2020,30(4):756-763.
- [2] Mansoori T, Sivaswamy J, Gamalapati JS, et al. Topography and correlation of radial peripapillary capillary density network with retinal nerve fibre layer thickness. *Int Ophthalmol*, 2018,38(3):967-974.
- [3] 王良艳,刘超群,刘建亮,等.视网膜静脉阻塞视盘区量化 OCTA 的临床研究. *国际眼科杂志*, 2020,20(12):2163-2166.
- [4] Fang DQ, Yang DW, Mai XT, et al. Repeatability, interocular correlation and agreement of optic nerve head vessel density in healthy eyes: a swept-source optical coherence tomographic angiography study. *Int J Ophthalmol*, 2024,17(5):896-903.
- [5] Arda H, Sener H, Temizyurek O, et al. Automated evaluation of parapapillary choroidal microvasculature in crowded optic discs: a controlled, optical coherence tomography angiography study. *Int J Ophthalmol*, 2024,17(1):113-118.
- [6] Călugăru D, Călugăru M. spheric retinal vein occlusion: Characterizing the more severe spectrum of retinal vein occlusion. *Surv Ophthalmol*, 2019,64(3):440-441.
- [7] Tomita R, Goto K, Ueno Y, et al. Narrowing ratio of retinal veins at arteriovenous crossing in patients with branch retinal vein occlusion versus that in healthy individuals. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2023, 64(14):22.
- [8] Fan LL, Zhu YZ, Sun XM, et al. Patients with unilateral retinal vein occlusion show reduced radial peripapillary capillary density in their fellow eyes. *BMC Ophthalmol*, 2021,21(1):448.
- [9] Xu K, Wu LL, Ma ZZ, et al. Primary angle closure and primary angle closure glaucoma in retinal vein occlusion. *Acta Ophthalmol*, 2019, 97(3):e364-e372.
- [10] Kang HM, Choi JH, Koh HJ, et al. Significant reduction of peripapillary choroidal thickness in patients with unilateral branch retinal vein occlusion. *Retina*, 2018,38(1):72-78.
- [11] Daruich A, Matet A, Moulin A, et al. Mechanisms of macular edema: Beyond the surface. *Prog Retin Eye Res*, 2018,63:20-68.
- [12] Karahan E, Abdelhakim A, Durmaz C, et al. Relief of cystoid macular edema - induced focal axonal compression with anti - vascular endothelial growth factor treatment. *Transl Vis Sci Technol*, 2020,9(4): 18.
- [13] 谭丛,赵芃芃,秦梅.光学相干断层扫描血管成像在视网膜分支静脉阻塞患者抗血管内皮生长因子治疗前后视盘区微血管变化中的应用. *眼科新进展*, 2021,41(2):166-170.

[14] 孙佳. OCTA 评估视网膜分支静脉阻塞合并黄斑水肿患者抗 VEGF 治疗前后视盘周围放射状毛细血管密度的变化. 承德医学院, 2022.

[15] 朱少进, 谢驰, 陶子瑜, 等. 定量分析单眼视网膜静脉阻塞患者视盘区变化. 国际眼科杂志, 2023, 23(1):158-162.

[16] Chen LL, Yuan MZ, Sun L, et al. Evaluation of microvascular network with optical coherence tomography angiography (OCTA) in branch retinal vein occlusion (BRVO). *BMC Ophthalmol*, 2020, 20(1): 154.

[17] Yin S, Cui YY, Jiao WZ, et al. Quantitative assessment parameters of peripapillary regions with branch retinal vein occlusion by using optical coherence tomography angiography. *Biomed Res Int*, 2022, 2022:9281630.

[18] Zeng YK, Zhang XZ, Mi L, et al. Characterization of macrophage-like cells in retinal vein occlusion using en face optical coherence tomography. *Front Immunol*, 2022, 13:855466.

[19] Park YJ, Kim J, Lee EJ, et al. Peripapillary microvasculature of the retina and choriocapillaris in uninvolved fellow eyes of unilateral retinal vein occlusion patients. *Retina*, 2022, 42(1):159-167.

[20] Zhao XY, Zhao Q, Wang CT, et al. Central and peripheral changes in retinal vein occlusion and fellow eyes in ultra-widefield optical coherence tomography angiography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2024, 65(2):6.

[21] 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. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2019, 60(2):823-829.

[22] Atilgan CU, Goker YS, Hondur G, et al. Evaluation of the radial peripapillary capillary density in unilateral branch retinal vein occlusion and the unaffected fellow eyes. *Ther Adv Ophthalmol*, 2022, 14:25158414221090092.

[23] Liu GD, Wang YL, Gao P. Distributions of radial peripapillary capillary density and correlations with retinal nerve fiber layer thickness in normal subjects. *Med Sci Monit*, 2021, 27:e933601.

[24] Arslan GD, Guven D, Demir M, et al. Microvascular and functional changes according to the fundus location of the affected arteriovenous crossing in patients with branch retinal vein occlusion. *Indian J Ophthalmol*, 2021, 69(5):1189-1196.

[25] Lee YH, Kim YC. Clinical characteristics of branch retinal vein occlusion with increased retinal haemorrhage during treatment for macular oedema. *Sci Rep*, 2020, 10(1):10272.

[26] Iida-Miwa Y, Muraoka Y, Iida Y, et al. Branch retinal vein occlusion: treatment outcomes according to the retinal nonperfusion area, clinical subtype, and crossing pattern. *Sci Rep*, 2019, 9(1):6569.

[27] Demirtas AA, Erdem S, Karahan M, et al. Magnitude of diurnal change in retinal vessel density: comparison between exfoliative glaucoma and primary open-angle glaucoma. *Beyoglu Eye J*, 2021, 6(2): 124-132.