

# OCTA 在原发性开角型青光眼中的应用

莫 逆<sup>1</sup>, 钟 华<sup>2</sup>

引用:莫逆,钟华. OCTA 在原发性开角型青光眼中的应用. 国际眼科杂志 2020;20(5):791-795

作者单位:<sup>1</sup>(671000)中国云南省大理白族自治州人民医院眼科;  
<sup>2</sup>(650000)中国云南省昆明市,昆明医科大学第一附属医院眼科

作者简介:莫逆,毕业于昆明医科大学,硕士,主治医师,研究方向:青光眼。

通讯作者:莫逆. 379305028@qq.com

收稿日期:2019-09-29 修回日期:2020-04-10

## 摘要

**目的:**采用光学相干断层扫描血管成像术(OCTA)观察正常人和原发性开角型青光眼(POAG)患者盘周毛细血管(RPC)层的视盘区血管密度情况,探讨该技术对 POAG 的诊断能力。

**方法:**本研究为横断面研究,纳入明确诊断为 POAG 患者 45 例 60 眼,健康受试者 48 例 60 眼为正常对照组。采用 OCTA 技术对所有受检者视乳头区扫描,测量视乳头区 RPC 层血管密度和纵行 C/D 比值。Humphrey 视野检测 MD、PSD 值。分析血管密度和 C/D 比值的相关性;采用 ROC 曲线和 AUC 评价患者血管密度各参数的诊断效能并进行成对比较。

**结果:**血管密度随着青光眼的加重而降低,视盘内毛细血管密度和视盘内血管密度与 MD 值及 PSD 值相关性较弱,其它各血管密度参数与 MD 值及 PSD 值具有很强的相关性。全区域毛细血管密度、视乳头周围毛细血管密度、全区域血管密度、视乳头周围血管密度 AUC>0.9,具有较高的诊断价值,各参数间均无差异( $P>0.05$ );视盘内毛细血管密度、视盘内血管密度的诊断效力明显低于其它参数(均  $P<0.05$ ),AUC 分别为 0.85、0.88。

**结论:**与正常对照组相比,POAG 组血管密度明显下降,并且随着病情进展而加重;视盘区血管密度是评估 POAG 患者结构损伤的良好指标,在 POAG 的诊断和随访中具有重要意义,而视盘内血管密度和毛细血管密度对 POAG 的诊断效能明显低于其它血管参数。

**关键词:**光学相干断层扫描血管成像术;血管密度;原发性开角型青光眼;视野

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2020.5.10

## Application of OCTA in primary open angle glaucoma

Ni Mo<sup>1</sup>, Hua Zhong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Ophthalmology, Dali Bai Autonomous Prefecture People's Hospital, Dali Bai Autonomous Prefecture 671000, Yunnan

Province, China; <sup>2</sup>Department of Ophthalmology, the First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650000, Yunnan Province, China

**Correspondence to:**Ni Mo. Department of Ophthalmology, Dali Bai Autonomous Prefecture People's Hospital, Dali Bai Autonomous Prefecture 671000, Yunnan Province, China. 379305028@qq.com  
Received:2019-09-29 Accepted:2020-04-10

## Abstract

• **AIM:** To observe the vascular density of optic disc region in radial peripapillary capillaries (RPC) layer of normal people and primary open angle glaucoma (POAG) patients using OCTA, and to explore the diagnostic ability of this technique for POAG.

• **METHODS:** This study was a cross-sectional study, including 45 patients (60 eyes) diagnosed as POAG and 48 healthy subjects (60 eyes) as normal control group. OCTA technique was used to scan the optic papilla area of all subjects, and the vascular density and longitudinal C/D ratio of RPC layer in optic papilla area were measured. Humphrey's field of view detected MD and PSD values. The correlation between vascular density and other parameters was analyzed. ROC curve and AUC were used to evaluate the diagnostic efficacy of various parameters of vascular density in patients and were compared in pairs.

• **RESULTS:** The vascular density decreases with the aggravation of glaucoma. The correlation between capillary density and vascular density in optic disc and MD and PSD values is weak. Other vascular density parameters have strong correlation with MD and PSD values. The whole image capillary density, peripapillary capillary density, whole image vascular density, peripapillary vascular density AUC > 0.9 have high diagnostic value. There was no statistical difference between among the parameters ( $P>0.05$ ). The diagnostic efficacy of inside disc capillary density and inside vascular density is significantly lower than that of other parameters AUC of 0.85 and 0.88 respectively( $P<0.05$ ).

• **CONCLUSION:** Compared with the positive control group, the vascular density in POAG group decreased significantly and became more serious with the progress of the disease. Vascular density in optic disc region is a good indicator for evaluating structural damage in POAG patients, and is of great significance in diagnosis and follow-up of POAG. However, the diagnostic efficiency of inside disc vascular density and capillary density for POAG is obviously lower than other vascular parameters.

• KEYWORDS: optical coherence tomography angiography; vessel density; primary open angle glaucoma; visual field

Citation: Mo N, Zhong H. Application of OCTA in primary open angle glaucoma. *Guoji Yanke Zazhi(Int Eye Sci)* 2020;20(5):791-795

## 0 引言

原发性开角型青光眼(primary open angle glaucoma, POAG)是以视网膜神经节细胞死亡、轴突丢失至视神经损伤和视野缺损为特征的慢性严重的致盲性眼病。POAG发病机制尚不明确,目前主要有机械压力学说、血管学说、基因学说。血管学说认为眼内压升高或其他影响眼内血流的因素致使眼部血液灌注的减少最终导致青光眼性视神经损害<sup>[1-4]</sup>。眼部血液循环的障碍如糖尿病视网膜病变、视网膜静脉阻塞、视乳头血管病变及全身血液循环障碍如高血压、颅内压降低、高粘血症等都可造成视乳头血液循环障碍、视乳头缺血,导致或加剧青光眼性视神经损害<sup>[5-8]</sup>。因此,研究血液微循环障碍在青光眼发病机制中的作用,对青光眼的诊断和治疗具有非常重要的意义。光学相干断层扫描血管成像术(optical coherence tomography angiography, OCTA)能够在短时间内对视神经和视网膜血管密度进行无创、客观、准确、可重复的定量测量,是检测青光眼视乳头局部微循环的新方法<sup>[9-11]</sup>。最近关于OCTA在青光眼中的应用研究表明,OCTA可用于青光眼的诊断、分期和检查,并进一步阐明了微循环和视神经血流在青光眼发病中的作用<sup>[12]</sup>。本研究通过OCTA观察正常人和POAG患者神经纤维层内的放射状盘周毛细血管(radial peripapillary capillaries, RPC)层的血管密度情况,探讨该技术在POAG患者中的诊断效力。

## 1 对象和方法

1.1 对象 2018-01/2019-08 大理州人民医院眼科门诊明确诊断为POAG患者45例60眼,其中包括早期20眼,中期20眼,晚期20眼,同期纳入健康受试者48例60眼为正常对照组。经医院伦理委员会审核通过,所有患者均签署受试者知情同意书。

1.1.1 纳入标准 POAG组:(1)POAG诊断明确,POAG诊断标准参照《我国原发性青光眼诊断和治疗专家共识(2014年)》<sup>[13]</sup>;(2)UBM检查前房角开放;(3)最佳矫正视力 $\geq 4/40$ ;(4)屈光度在 $+1.0 \sim -1.5$ DS,散光度数在 $\pm 1.0$ DC之间。

1.1.2 排除标准 (1)非青光眼性的视野损害(如视神经炎、视乳头水肿、缺血性视神经病变等、颅脑疾病等);(2)存在视网膜血管异常或者可能影响视野结果的视网膜疾病,如严重白内障、动/静脉阻塞、黄斑疾病、视网膜脱离、葡萄膜炎或者活动性眼内炎等眼内疾病;(3)继发性青光眼以及受过影响视觉通路的眼外伤患者;(4)不愿意按照项目要求进行检查的患者,或其它不能获得可靠的视野结果的患者。

## 1.2 方法

1.2.1 检查方法 所有的参与者都完成视力、屈光度及最佳矫正视力、眼压、裂隙灯及联合+90D前置镜、UBM等眼科检查。

1.2.2 视野检查 使用Humphrey视野计检查视野,包括24-2及30-2测试程序,获取视野指数(visual field indices, VFI)(%)、视野平均缺损(mean deviation, MD)(dB)、视野模式标准偏差(pattern standard deviation, PSD)(dB),可靠的视野报告结果为固视丢失率 $< 20\%$ ,假阳性率 $< 15\%$ ,假阴性率 $< 33\%$ 。

1.2.3 OCT扫描视神经乳头 所有受试者采用AngioOCT量化标准2.0版本的HD AngioDisc [4.5]程序以视乳头为中心,进行 $4.5\text{mm} \times 4.5\text{mm}$ 的扫描,获取RPC层的血管分布情况,通过三维全面去投影、视盘血流和结构同步扫描、视盘血流密度改良分区(大小血管分离)、改良分层定义和自定义分层更好地评估和观察青光眼视盘内血管密度和结构损伤情况。根据信号强度值(signal strength index, SSI)确定血流图像质量,SSI $> 50$ 选入分析,而SSI $< 50$ 时需重新扫描或排除该受试对象。本研究用OCTA参数为RPC层血管和毛细血管密度(%)包括全区域、视盘内、视乳头周围区域,纵行C/D比值。全区域血管密度代表 $4.5\text{mm} \times 4.5\text{mm}$ 扫描范围内的血管面积所占扫描面积的比例,而视盘内区域定义为以视盘几何中心为中心,半径为2mm的圆形区域,而视乳头周围定义为 $2 \sim 4\text{mm}$ 的环形区域,见图1。

本研究POAG组患者根据Advanced Glaucoma Intervention Study (AGIS)<sup>[14]</sup>评分系统将POAG患者分为早期、中期、晚期。

统计学分析:采用SPSS Statistics 22和Medcalc进行,结果以均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,经方差齐性检验后用单因素方差分析统计各组间参数差异,组间两两比较采用LSD-*t*检验。使用Pearson线性相关分析对视盘血管密度各参数与VFI、MD及PSD、C/D比值的相关性进行分析。采用ROC曲线下面积(area under the curve, AUC)评价患者各血管密度的诊断效能,最后通过Medcalc软件对AUC进行两两比较,以确定各参数的诊断效能是否具有统计学差异。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 一般情况 各组年龄比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ );正常对照组与早期POAG患者VFI值比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),其它各组间比较,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ );早期和中期C/D比值比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),其它各组间比较,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ );各组MD、PSD值比较,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),见表1。

2.2 青光眼组与正常对照组OCTA血管密度值分析 全区域毛细血管密度、视乳头周围毛细血管密度、全区域血管密度、视乳头周围血管密度在正常对照组及早期、中期、晚期进行两两比较,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),且随着疾病的加重血管密度逐渐降低。早期、中期POAG患者视盘内毛细血管密度、视盘内血管密度比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),而其它各组间差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),见表2。

2.3 血管密度与其它参数的相关性比较 血管密度各参数与年龄存在弱负相关性( $r = -0.4 \sim -0.2$ ,均 $P < 0.05$ );视盘内毛细血管密度、视盘内血管密度与VFI和MD值存在强相关性( $r = 0.6 \sim 0.8$ ,均 $P < 0.01$ ),而其它血管密度参

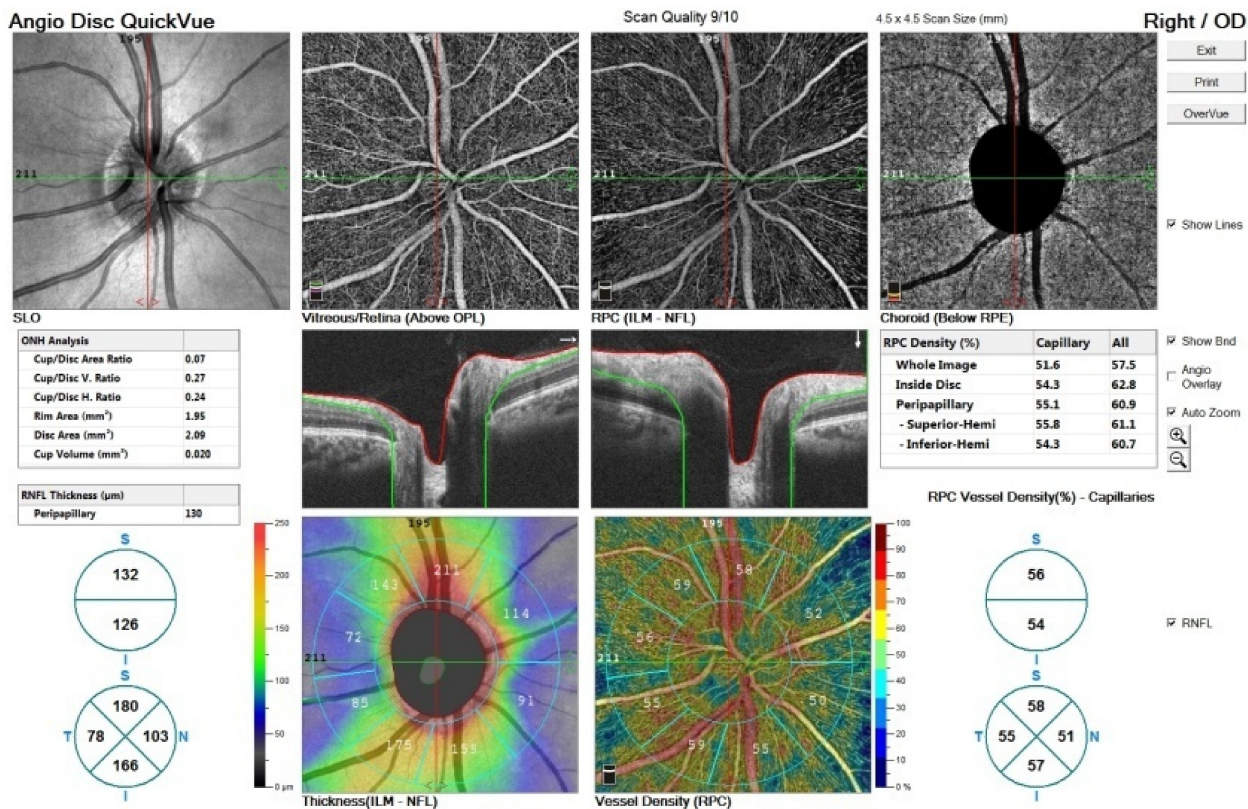


图 1 1 名受试者 OCTA 报告图。

表 1 青光眼组和正常对照组基线资料

组别	眼数	年龄(岁)	VFI (%)	MD (dB)	PSD (dB)	C/D 比值	$\bar{x} \pm s$
正常对照组	60	54.20 ± 6.81	98.58 ± 0.94	-1.42 ± 0.78	1.69 ± 0.65	0.35 ± 0.21	
青光眼							
早期	20	54.40 ± 4.80	94.20 ± 3.52	-3.18 ± 1.72 <sup>a</sup>	4.05 ± 2.02 <sup>a</sup>	0.69 ± 0.10 <sup>a</sup>	
中期	20	55.85 ± 5.94	70.95 ± 11.78 <sup>a,c</sup>	-11.82 ± 3.97 <sup>a,c</sup>	10.71 ± 2.96 <sup>a,c</sup>	0.72 ± 0.15 <sup>a</sup>	
晚期	20	53.45 ± 6.08	19.40 ± 11.93 <sup>a,c,e</sup>	-27.71 ± 2.96 <sup>a,c,e</sup>	8.08 ± 2.88 <sup>a,c,e</sup>	0.87 ± 0.08 <sup>a,c,e</sup>	
<i>F</i>		0.53	686.23	770.41	136.26	54.44	
<i>P</i>		0.66	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	

注:<sup>a</sup>*P*<0.05 vs 正常对照组;<sup>c</sup>*P*<0.05 vs 早期 POAG 患者;<sup>e</sup>*P*<0.05 vs 中期 POAG 患者。

表 2 青光眼组和正常对照组 OCTA 血管密度值分析

组别	眼数	全区域毛细血管密度	视盘内毛细血管密度	视乳头周围毛细血管密度	全区域血管密度	视盘内血管密度	视乳头周围血管密度	$(\bar{x} \pm s, \%)$
正常对照组	60	49.81 ± 2.66	49.81 ± 5.70	52.95 ± 3.09	56.23 ± 2.96	59.38 ± 4.75	59.18 ± 3.21	
青光眼								
早期	20	43.10 ± 4.69 <sup>a</sup>	42.65 ± 5.50 <sup>a</sup>	45.81 ± 4.74 <sup>a</sup>	49.31 ± 4.90 <sup>a</sup>	51.44 ± 6.03 <sup>a</sup>	51.97 ± 4.75 <sup>a</sup>	
中期	20	37.58 ± 5.30 <sup>a,c</sup>	43.77 ± 5.51 <sup>a</sup>	38.57 ± 7.49 <sup>a,c</sup>	43.73 ± 5.50 <sup>a,c</sup>	51.82 ± 5.71 <sup>a</sup>	44.58 ± 6.67 <sup>a,c</sup>	
晚期	20	27.71 ± 2.82 <sup>a,c,e</sup>	36.17 ± 6.15 <sup>a,c,e</sup>	26.83 ± 3.43 <sup>a,c,e</sup>	35.24 ± 3.29 <sup>a,c,e</sup>	43.65 ± 7.48 <sup>a,c,e</sup>	34.70 ± 4.73 <sup>a,c,e</sup>	
<i>F</i>		204.56	31.43	192.84	165.00	42.89	152.10	
<i>P</i>		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	

注:<sup>a</sup>*P*<0.05 vs 正常对照组;<sup>c</sup>*P*<0.05 vs 早期 POAG 患者;<sup>e</sup>*P*<0.05 vs 中期 POAG 患者。

数与 VFI 和 MD 值存在极强相关性 ( $r = 0.8 \sim 0.9$ , 均  $P < 0.01$ ); 视盘内毛细血管密度和视盘内血管密度与 PSD 值存在中等程度的负相关性 ( $r = -0.6 \sim -0.4$ , 均  $P < 0.01$ ), 而其它血管密度参数与 PSD 值存在强负相关性 ( $r = -0.8 \sim -0.7$ , 均  $P < 0.01$ ); 血管密度各参数与 C/D 比值存在强负相关性 ( $r = -0.7 \sim -0.6$ , 均  $P < 0.01$ ), 见表 3。

2.4 血管密度各参数 AUC 分析 视盘内毛细血管密度与视盘内血管密度 AUC 分别为 0.85、0.88, 两组比较差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 而其它各血管密度参数 AUC > 0.9, 具有较高的诊断价值, 进行两两比较, 各组间差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 而视盘内毛细血管密度、视盘内血管密度与其它血管密度各参数进行两两比较, 差异均

表3 OCTA 血管密度与其它参数的相关性分析

血管密度	年龄		VFI		MD		PSD		C/D 比值	
	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P
全区域毛细血管密度	-0.28	<0.01	0.89	<0.01	0.90	<0.01	-0.74	<0.01	-0.68	<0.01
视盘内毛细血管密度	-0.33	<0.01	0.65	<0.01	0.65	<0.01	-0.47	<0.01	-0.64	<0.01
视乳头周围毛细血管密度	-0.26	<0.01	0.89	<0.01	0.90	<0.01	-0.74	<0.01	-0.65	<0.01
全区域血管密度	-0.31	<0.01	0.85	<0.01	0.86	<0.01	-0.77	<0.01	-0.66	<0.01
视盘内血管密度	-0.32	<0.01	0.71	<0.01	0.70	<0.01	-0.54	<0.01	-0.68	<0.01
视乳头周围血管密度	-0.27	<0.01	0.85	<0.01	0.86	<0.01	-0.77	<0.01	-0.63	<0.01

注: |r| ≤ 0.2 极弱相关或无相关, 0.2 < |r| ≤ 0.4 弱相关, 0.4 < |r| ≤ 0.6 中等程度相关, 0.6 < |r| ≤ 0.8 强相关, 0.8 < |r| ≤ 1.0 极强相关。

表4 血管密度各参数 AUC 分析

检验结果变量	AUC	标准误	渐近显著性水平	95% CI	
				下限值	上限值
全区域毛细血管密度	0.96	0.02	<0.01	0.92	0.99
视盘内毛细血管密度	0.85	0.03	<0.01	0.78	0.92
视乳头周围毛细血管密度	0.95	0.02	<0.01	0.91	0.99
全区域血管密度	0.95	0.02	<0.01	0.92	0.99
视盘内血管密度	0.88	0.03	<0.01	0.82	0.94
视乳头周围血管密度	0.95	0.02	<0.01	0.92	0.99

注: 0.5 ≤ AUC ≤ 0.7 诊断价值较低, 0.7 < AUC ≤ 0.9 诊断价值中等, AUC > 0.9 诊断价值较高。

表5 AUC 进行成对对比

血管密度	全区域毛细 血管密度		视盘内毛细 血管密度		视乳头周围 毛细血管密度		全区域 血管密度		视盘内 血管密度	
	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
全区域毛细血管密度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
视盘内毛细血管密度	3.01	<0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
视乳头周围毛细血管密度	0.97	0.33	2.79	<0.01	-	-	-	-	-	-
全区域血管密度	0.56	0.57	2.92	<0.01	0.42	0.67	-	-	-	-
视盘内血管密度	2.453	0.01	1.45	0.14	2.19	0.03	2.34	0.02	-	-
视乳头周围血管密度	0.75	0.45	2.84	0.005	0.34	0.70	0.30	0.77	2.19	0.03

有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 因此视盘内毛细血管密度与视盘内血管密度对 POAG 患者的诊断效力低于其它血管密度参数, 见表 4、5。

### 3 讨论

青光眼是世界范围内不可逆失明的主要原因, 临床上多数患者就诊时已出现不可逆的青光眼性视神经病变。目前, 对于 POAG 特征性视神经损害的主要因素, 除病理性眼压升高外, 不少学者提出了血管缺血学说。传统的视乳头血液循环检查方法包括: 眼底荧光素血管造影 (fundus fluorescein angiography, FFA)、彩色多普勒等。FFA 中青光眼视乳头血循环障碍主要表现为脉络膜循环延迟或障碍, 视乳头荧光充盈缺损和局部各循环时间延迟, 这些改变与视神经的损害部位和损害程度有较高的一致性。但 FFA 是有创, 必须注射造影剂, 限制了其在青光眼中的应用。彩色多普勒是过去眼科临床中最常用的方法, 可获得视乳头大血管的血流动力学数据, 包括血管的流速减缓, 流动阻力增加。彩色多普勒具有无创性、高分辨率及高敏感性等特点, 但只能测量视乳头旁大血管, 不能测量流速小的血管的血流变化, 无法判断组织灌注压, 因此无法进行更深层次的研究。OCTA 是最近发展起来的一项技术, 它能定量、快速、非侵入性评估视网膜和脉络

膜的微循环, 以观察青光眼视盘微血管变化, 定量分析视乳头血管, 使得更早一步发现青光眼成为可能。本研究通过 OCTA 自动获取 RPC 层血管密度信息, 定量分析 RPC 层血管密度评估和观察青光眼视盘区血管密度和结构损伤情况。

RPC 位于 RNFL 下方的最表层毛细血管, 营养视盘旁神经纤维层, Daicker 和 Kornzweig 等证实青光眼病程中 RPC 层血管容易发生病理性损害, 而 RPC 层损伤可能在临床上表现为 Bjerrum 暗点, 在青光眼视野损害过程中起重要作用<sup>[15-16]</sup>。最近 Manno 等<sup>[17]</sup> 和 Mansoori 等<sup>[18]</sup> 运用 OCTA 对视盘区 RPC 层进行扫描, 证实青光眼患者 RPC 层血管密度降低, 并且随着疾病的加重而降低。我们研究也得出了同样的结论, 视盘区血管密度随着青光眼的加重而降低, 正常组与青光眼组之间存在显著差异。

本研究通过视盘区血管密度分别与 C/D 比值、VFI、MD、PSD 做相关性分析发现, 除视盘内毛细血管密度和视盘内血管密度与结构和功能参数的相关性较弱外, 而其它血管密度参数具有强的相关性或负相关性, 其中全区域、视乳头周围血管及毛细血管密度与 VFI、MD 值 ( $r > 0.84$ ,  $P < 0.05$ ) 的相关性强于其它参数。Yarmohammadi 等<sup>[19]</sup> 同样指出, 全区域血管密度和视乳头周围血管密度与视野

MD 值存在显著相关性,全区域血管密度和视乳头周围血管密度下降 1%,其 MD 值分别下降 0.66、0.64dB。Liu 等<sup>[20]</sup>也证实视盘血管密度与视野 MD 值、PSD 值存在显著相关性。另一些研究者还通过对 RPC 层不同区域血管密度分析,证实血管密度减少部位与视野缺损部位存在对应关系<sup>[21]</sup>。这些结果提示 OCTA 检出的青光眼患者血管的损伤与青光眼性视野的缺损一致。

光视 Optovue 量化标准 2.0 版对视盘血流密度分区、分层定义和自定义分层等进行全面的改良和升级,其诊出能力备受关注,分析研究中常采用 AUC 反映其诊断的敏感性与特异性。我们的研究显示全区域毛细血管密度、视乳头周围毛细血管密度、全区域血管密度、视乳头周围血管密度 AUC 均>0.9,具有较高的诊断价值,进行成对对比,各组间差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。Rao 等<sup>[22]</sup>和 Chen 等<sup>[23]</sup>通过分析正常眼和青光眼视乳头周围血管密度,显示其对青光眼患者具有较高的诊断价值。我们的研究对视盘血流密度分区更细,而研究显示视盘内毛细血管密度、视盘内血管密度早期和中期患者比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),而它们的 AUC 分别为 0.85、0.88,明显低于其它组,差异均有统计学意义( $P<0.05$ ),因此视盘内毛细血管密度、视盘内血管密度对 POAG 的诊断效力明显弱于其它参数。可能与以下因素有关:(1)通过 OCTA 自动获取 RPC 层血管密度即视盘周围放射状毛细血管层的血管密度,而我们分析视盘内血管密度并不能全面地反映 RPC 层血管密度;(2)OCTA 的分层是基于正常患者,而青光眼患者视盘内结构变化多且差异大,因此视盘内分层错误明显高于其它部位;(3)OCTA 装置是基于分频幅去相干血流成像来检测血管的,并不区分流速较快的血管和流速较慢的血管,而视盘内血管形态变化多样,都可能造成测量误差。

本研究还有其他一些局限性。我们与 VFI、MD 或 PSD 进行比较,来观察血管密度评估 POAG 的效力。然而 VFI、MD 和 PSD 可能受其它非青光眼因素如屈光不正、透镜和屈光介质混浊的影响。此外,我们没有评估混杂因素如血压、灌注压、青光眼滴眼液、全身药物对血管密度的影响及其与标准结构和功能测量的关系。同时也应该看到,当前研究的横断面设计限制 OCTA 血管密度损失与青光眼结构和功能损伤之间的时间关系的确定。我们需要进行纵向研究,以评估 OCTA 血管密度变化与标准结构和功能测量中青光眼改变之间形态和时间关系。对于 OCTA 软件系统的进一步完善、检查操作的进一步规范以及正常参考值的进一步确定仍需要大量的研究工作,使 OCTA 能更好地评估青光眼患者形态和功能,做到早期诊断、早期干预,使患者的预后及生活质量得到明显改善。

#### 参考文献

- 1 Rankin SJ, Drance SM. Peripapillary focal retinal arteriolar narrowing in open angle glaucoma. *J Glaucoma* 1996;5(1):22-28
- 2 Yokoyama Y, Aizawa N, Chiba N, et al. Significant correlations between optic nerve head microcirculation and visual field defects and nerve fiber layer loss in glaucoma patients with myopic glaucomatous disk. *Clin Ophthalmol* 2011;5:1721-1727
- 3 Flammer J, Orgül S. Optic nerve blood-flow abnormalities in glaucoma. *Prog Retin Eye Res* 1998;17(2):267-289
- 4 吴玲玲,陈芝清,周卉.慢性闭角型青光眼的视盘荧光血管造影研

- 究.中国实用眼科杂志 2005;23(3):252-256
- 5 Magargal LE, Donoso LA, Sanborn GE. Retinal ischemia and risk of neovascularization following central retinal vein obstruction. *Ophthalmology* 1982;89(11):1241-1245
- 6 Gherghel D, Orgül S, Gugleta K, et al. Relationship between ocular perfusion pressure and retrobulbar blood flow in patients with glaucoma with progressive damage. *Am J Ophthalmol* 2000;130(5):597-605
- 7 Pasquale LR. Low intracranial pressure: a tipping point in our understanding of primary open-angle glaucoma? *Ophthalmology* 2008;115(5):761-762
- 8 Wang YE, Kakigi C, Barbosa D, et al. Oral Contraceptive Use and Prevalence of Self-Reported Glaucoma or Ocular Hypertension in the United States. *Ophthalmology* 2016;123(4):729-736
- 9 Suh MH, Zangwill LM, Manalastas PI, et al. Deep Retinal Layer Microvasculature Dropout Detected by the Optical Coherence Tomography Angiography in Glaucoma. *Ophthalmology* 2016;123(12):2509-2518
- 10 Kashani AH, Chen CL, Gahm JK, et al. Optical coherence tomography angiography: A comprehensive review of current methods and clinical applications. *Prog Retin Eye Res* 2017;60:66-100
- 11 Richter GM. The Promise of Optical Coherence Tomography Angiography in Glaucoma. *Ophthalmology* 2017;124(11):1577-1578
- 12 Yousefi S. Promise of Optical Coherence Tomography Angiography in Determining Progression of Glaucoma. *JAMA Ophthalmol* 2019;179(6):674-689
- 13 中华医学会眼科学分会青光眼学组.我国原发性青光眼诊断和治疗专家共识(2014年).中华眼科杂志 2014;55(5):382-383
- 14 Advanced Glaucoma Intervention Study. 2. Visual field test scoring and reliability. *Ophthalmology* 1994;101(8):1445-1455
- 15 Kornzweig AL, Eliasoph I, Feldstein M. Selective atrophy of the radial peripapillary capillaries in chronic glaucoma. *Arch Ophthalmol* 1968;80(6):696-702
- 16 Daicker B. Selective atrophy of the radial peripapillary capillaries and visual field defects in glaucoma (author's transl). *Albrecht Von Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol* 1975;195(1):27-32
- 17 Mammo Z, Heisler M, Balaratnasingam C, et al. Quantitative Optical Coherence Tomography Angiography of Radial Peripapillary Capillaries in Glaucoma, Glaucoma Suspect, and Normal Eyes. *Am J Ophthalmol* 2016;170:41-49
- 18 Mansoori T, Sivaswamy J, Gamalapati JS, et al. Measurement of Radial Peripapillary Capillary Density in the Normal Human Retina Using Optical Coherence Tomography Angiography. *J Glaucoma* 2017;26(3):241-246
- 19 Yarmohammadi A, Zangwill LM, Diniz-Filho A, et al. Relationship between Optical Coherence Tomography Angiography Vessel Density and Severity of Visual Field Loss in Glaucoma. *Ophthalmology* 2016;123(12):2498-2508
- 20 Liu L, Jia Y, Takusagawa HL, et al. Optical Coherence Tomography Angiography of the Peripapillary Retina in Glaucoma. *JAMA Ophthalmol* 2015;133(9):1045-1052
- 21 Yarmohammadi A, Zangwill LM, Diniz-Filho A, et al. Peripapillary and Macular Vessel Density in Patients with Glaucoma and Single-Hemifield Visual Field Defect. *Ophthalmology* 2017;124(5):709-719
- 22 Rao HL, Kadambi SV, Weinreb RN, et al. Diagnostic ability of peripapillary vessel density measurements of optical coherence tomography angiography in primary open-angle and angle-closure glaucoma. *Br J Ophthalmol* 2017;101(8):1066-1070
- 23 Chen HS, Liu CH, Wu WC, et al. Optical Coherence Tomography Angiography of the Superficial Microvasculature in the Macular and Peripapillary Areas in Glaucomatous and Healthy Eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2017;58(9):3637-3645