

SS-OCTA 评估增殖性糖尿病视网膜病变玻璃体切除术后黄斑微血管的变化

纪风涛^{1,2}, 王慧², 魏科², 李永蓉², 戴维², 王志敏², 廖荣丰¹

引用: 纪风涛, 王慧, 魏科, 等. SS-OCTA 评估增殖性糖尿病视网膜病变玻璃体切除术后黄斑微血管的变化. 国际眼科杂志 2023;23(5):747-753

基金项目: 合肥市卫生健康应用医学研究项目 (No. Hwk2022zd008)

作者单位:¹(230022) 中国安徽省合肥市, 安徽医科大学第一附属医院眼科;²(230011) 中国安徽省合肥市第二人民医院 安徽医科大学附属合肥医院

作者简介: 纪风涛, 在读博士研究生, 副主任医师, 研究方向: 视光学、眼底病。

通讯作者: 廖荣丰, 博士, 主任医师, 教授, 博士研究生导师, 研究方向: 视光学、白内障. liaorfayfy@126.com

收稿日期: 2022-10-24 修回日期: 2023-04-13

摘要

目的: 探讨增殖性糖尿病视网膜病变 (PDR) 经扁平部玻璃体切除 (PPV) 术后黄斑区视网膜、脉络膜血流的变化。

方法: 横断面研究。选取 2020-09/2022-07 在合肥市第二人民医院眼科诊断为单眼 PDR 并接受 23G PPV 手术治疗的患者 35 例 35 眼, 所有患者均行扫频源光学相干断层扫描血管造影 (SS-OCTA) 检查, 采用系统内置分析软件测量黄斑区 3mm×3mm 范围内视网膜、脉络膜血流参数, 并分析其与术后最佳矫正视力 (BCVA) 的相关性。

结果: 术后随访 1~22 (平均 9.72±6.67) mo, 末次随访时, 纳入患者 PPV 术眼鼻侧旁中心凹区域中层毛细血管层 (ICP) 灌注面积 (FA) ($0.31 \pm 0.06 \text{mm}^2$) 较对侧眼 ($0.38 \pm 0.05 \text{mm}^2$) 明显减少, 颞侧旁中心凹区域深层毛细血管层 (DCP) FA ($0.19 \pm 0.08 \text{mm}^2$) 较对侧眼 ($0.27 \pm 0.07 \text{mm}^2$) 明显减少 (均 $P < 0.05$), 除颞侧旁中心凹区域, PPV 术眼其他旁中心凹区域脉络膜血管指数 (CVI) 均较对侧眼显著降低 ($P < 0.05$)。PPV 术眼术后 BCVA 与视网膜中、深层血管密度和灌注面积均有一定的相关性。

结论: 严重 PDR 患者患眼 PPV 术后较对侧眼可能更易出现旁中心凹区域视网膜深层及脉络膜血流灌注的减少。

关键词: 增殖性糖尿病视网膜病变; 扫频源光学相干断层扫描血管造影 (SS-OCTA); 经扁平部玻璃体切除术; 灌注面积; 血管密度; 脉络膜血管指数

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.5.06

Evaluation of macular microvasculature alterations in patients with proliferative diabetic retinopathy after vitrectomy by swept - source optical coherence tomography angiography

Feng-Tao Ji^{1,2}, Hui Wang², Ke Wei², Yong-Rong Li², Wei Dai², Zhi-Min Wang², Rong-Feng Liao¹

Foundation item: The Health Applied Medical Research Fund Project of Hefei (No.Hwk2022zd008)

¹Department of Ophthalmology, the First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022, Anhui Province, China; ²the Second People's Hospital of Hefei; Hefei Hospital Affiliated to Anhui Medical University, Hefei 230011, Anhui Province, China

Correspondence to: Rong - Feng Liao. Department of Ophthalmology, the First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022, Anhui Province, China. liaorfayfy@126.com

Received:2022-10-24 Accepted:2023-04-13

Abstract

• **AIM:** To investigate the changes in retinal and choroidal blood flow after pars plana vitrectomy (PPV) for proliferative diabetic retinopathy (PDR).

• **METHODS:** A cross-sectional study was conducted on 35 patients (35 eyes) who were diagnosed as monocular PDR and received 23GPPV in ophthalmology department of the Second People's Hospital of Hefei between September 2020 and July 2022. All eyes underwent swept-source optical coherence tomography angiography (SS-OCTA) examination. Retinal and choroidal vascular parameters within 3mm × 3mm of macular zone were measured by built-in analyzer, and its correlation with postoperative best corrected visual acuity (BCVA) was analyzed.

• **RESULTS:** The follow-up was 1~22 (average 9.72±6.67) mo. At the last follow-up, flow area (FA) of intermediate capillary plexus (ICP) layer in paranasal foveal region was significantly reduced in PPV eyes ($0.31 \pm 0.06 \text{mm}^2$) compared with contralateral eyes ($0.38 \pm 0.05 \text{mm}^2$), and FA of deep capillary plexus (DCP) in temporal foveal region was significantly lower in PPV eyes ($0.19 \pm 0.08 \text{mm}^2$) than contralateral eyes ($0.27 \pm 0.07 \text{mm}^2$; all $P < 0.05$). Choroidal vascularity index (CVI) were lower in PPV eyes than contralateral eyes in parafoveal subregions except temporal region ($P < 0.05$). After PPV, BCVA had a

certain correlation with the density and FA of middle and deep retinal vessels.

• **CONCLUSIONS:** Eyes with severe PDR may be prone to having a decrease in the DCP and parafoveal choroidal perfusion in the parafoveal regions after PPV than contralateral eyes.

• **KEYWORDS:** proliferative diabetic retinopathy; swept-source optical coherence tomography angiography (SS-OCTA); pars plana vitrectomy; flow area; vascular density; choroidal vascular index

Citation: Ji FT, Wang H, Wei K, *et al.* Evaluation of macular microvasculature alterations in patients with proliferative diabetic retinopathy after vitrectomy by swept-source optical coherence tomography angiography. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2023; 23(5):747-753

0 引言

糖尿病视网膜病变(diabetic retinopathy, DR)是糖尿病常见的微血管并发症,也是工作年龄人群视觉损害的主要原因^[1]。最近研究表明 DR 全球患病率为 22.27%,其中威胁视力的 DR 为 6.17%^[2],早期糖尿病视网膜病变研究(Early Treatment Diabetic Retinopathy Study, ETDRS)数据表明约 45%的重度非增殖性糖尿病视网膜病变(non-proliferative diabetic retinopathy, NPDR)患者在 1a 内发展为增殖性糖尿病视网膜病变(proliferative diabetic retinopathy, PDR)^[3],近 50%的 PDR 患者经历严重的视力丧失^[4]。经扁平部玻璃体切除术(pars plana vitrectomy, PPV)是治疗严重 PDR 的有效方法,术中通过切除病理性玻璃体、视网膜增殖膜,清除血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)和炎症因子达到治疗目的^[5]。

扫频源光学相干断层扫描血管造影(swept-source optical coherence tomography angiography, SS-OCTA)作为一种非侵入性和高分辨成像技术,具有扫描速度快、信号强度高、穿透深度深等优点^[6],可快速显示后极部视网膜及脉络膜微血管,量化血管密度(vessel density, VD)、灌注面积(flow area, FA)^[7]。此外,SS-OCTA 波长 1050nm,能够清晰显示脉络膜图像,自动检测和分析脉络膜厚度(choroidal thickness, CT)、脉络膜血管指数(choroidal vascularity index, CVI)和脉络膜容积^[8-9]。有研究使用 SS-OCTA 观察发现,随着 DR 病变进展,视网膜、脉络膜血流灌注降低,脉络膜功能下降^[10-11]。然而对于严重 PDR 患者由于玻璃体出血、视网膜增殖牵拉及屈光间质混浊等原因,无法了解视网膜、脉络膜微血管的变化,因此本研究通过 PPV 手术去除混浊玻璃体及增殖膜复位视网膜,屈光间质清晰后采用 SS-OCTA 定量分析视网膜和脉络膜血流变化,并与对侧眼进行比较,探讨严重 PDR 术后患眼黄斑区视网膜脉络膜参数的变化情况。

1 对象和方法

1.1 对象 横断面研究。选取 2020-09/2022-07 在合肥市第二人民医院眼科诊断为 PDR 并接受 23G PPV 手术治疗的 35 例 35 眼,其中男 16 例,女 19 例;平均年龄 59.00±9.04 岁;平均体质指数(body mass index, BMI) 24.77±2.95kg/m²;1 型糖尿病患者 1 例,2 型糖尿病患者

34 例,糖尿病病程 14.43±7.6a;术前糖化血红蛋白水平 8.59%±1.57%;单纯 PPV 手术者 8 例 8 眼,PPV 联合白内障手术者 27 例 27 眼,术前接受抗 VEGF 治疗者 14 例 14 眼,术中均行全视网膜激光光凝(panretinal photocoagulation, PRP)治疗,术中使用硅油填充 2 眼,空气填充 32 眼,生理盐水填充 1 眼。对侧眼 DR 分期中度 NPDR 3 眼,重度 NPDR 28 眼,PDR 4 眼,接受抗 VEGF 治疗者 7 眼,行 PRP 治疗者 13 眼。纳入患者 PPV 术眼眼轴长度(22.94±0.53mm)与对侧眼(22.96±0.61mm)差异无统计学意义($t=-0.109, P>0.05$);术后末次随访时 PPV 术眼最佳矫正视力(best-corrected visual acuity, BCVA)(0.65±0.31LogMAR)与对侧眼(0.61±0.32LogMAR)相比无明显下降($t=0.249, P>0.05$)。纳入标准:(1)年龄大于 18 岁;(2)临床诊断为 PDR 且单眼行 PPV 手术治疗的患者。排除标准:(1)双眼接受 PPV 手术的患者;(2)术后视功能差,无法配合完成 SS-OCTA 检查;(3)SS-OCTA 成像质量差,无法进行后续分析;(4)合并葡萄膜炎、青光眼、高度近视(眼轴长度大于 26mm)、双眼屈光度差值大于 2D;(5)既往有内眼手术史或患有其他可能干扰视觉功能的眼部病变。本研究遵循《赫尔辛基宣言》,并得到合肥市第二人民医院伦理审查委员会批准。所有患者均对治疗方案知情同意并签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 手术方法 所有患者均由同一位经验丰富的医生使用玻切超乳一体机进行 23G 经扁平部 PPV 术。根据晶状体情况决定是否联合白内障摘除术,所有患者均注射曲安奈德染色玻璃体,如果存在视网膜前增殖膜与视盘或视网膜连接紧密,则进行钝性分离以解除牵拉复位视网膜。对于增殖膜剥除后新生血管残端反复出血则使用 23G 眼内电凝进行止血,所有患者未进行内界膜(internal limiting membrane, ILM)剥除,气液交换或重水注入视网膜复位后,532nm 绿激光进行 PRP 治疗,根据视网膜情况玻璃体腔选择生理盐水、无菌空气或硅油填充。

1.2.2 随访观察 术后随访 1~22(平均 9.72±6.67)mo,进行 BCVA、裂隙灯、超广角扫描激光眼底检查和 SS-OCTA 等眼科检查,分析末次随访时 PPV 术眼 SS-OCTA 黄斑微血管参数与对侧眼的差异及其与 BCVA 的相关性。SS-OCTA 波长 1050nm,扫描速率每秒 200 000 次 A 扫描,轴向分辨率、横向分辨率和扫描深度分别为 5μm、13μm、3mm,利用集成共焦扫描激光检眼镜的眼动追踪技术消除眼动伪影,经过 512 次 B 扫描获得中心凹 3mm×3mm 范围 OCTA 图像,并通过软件自动分层,获得视网膜浅层毛细血管层(superficial capillary plexus, SCP)、中层毛细血管层(intermediate capillary plexus, ICP)、深层毛细血管层(deep capillary plexus, DCP)、脉络膜毛细血管层(choriocapillaris, CC)和脉络膜中大血管层的图像。每一幅图像均由经验丰富的技术人员检查分割的准确性,发现分割错误时进行手动调整。依据 ETDRS 3mm×3mm 网格将黄斑区分为直径 1mm(central fovea, C1)和 3mm(parafovea, C3)的圆,旁中心凹区进一步分为上方(superior, S1-3)、下方(inferior, I1-3)、颞侧(temporal, T1-3)、鼻侧(nasal, N1-3)区域(图 1)。使用仪器内置软件分别测量以中心凹为中心 3mm×3mm 范围视网膜内层平均 VD、中心凹无血管区(foveal avascular zone, FAZ)面积和周长,近圆指数(circularity index, CI),视网膜浅、中、

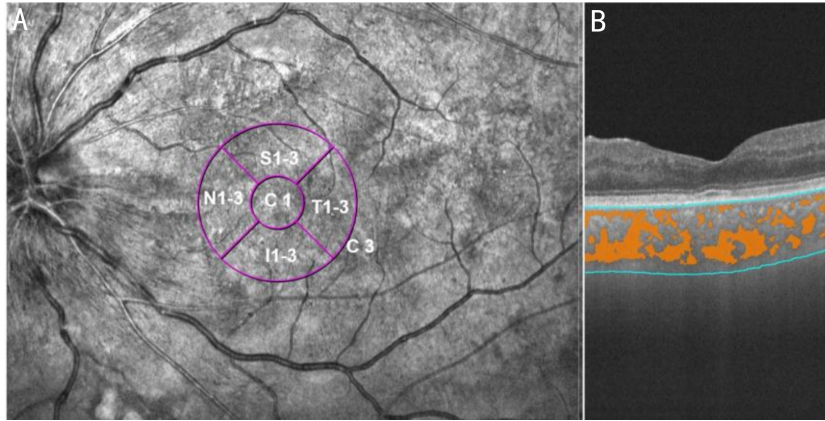


图1 SS-OCTA检查示意图 A:ETDRS网格的非红外图像,其中C1表示中心凹1mm范围(内层粉红色圆),C3表示中心凹3mm范围(外层粉红色圆),S1-3表示上方旁中心凹区域,I1-3表示下方旁中心凹区域,T1-3表示颞侧旁中心凹区域,N1-3表示鼻侧旁中心凹区域;B:脉络膜管腔的提取图,由机器内置软件自动确定脉络膜(蓝线)和脉络膜血管腔(橙色区域)的上边界和下边界。

深层毛细血管层VD和FA,CT、脉络膜毛细血管灌注面积(CCFA)和CVI。

统计学分析:所有数据采用SPSS 22.0软件进行统计分析。计量资料使用Shapiro-Wilk检验符合正态分布,采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,双眼间进行比较采用配对样本 t 检验。相关性分析采用Spearman相关分析法。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 视网膜相关参数 纳入患者PPV术眼中心凹FAZ面积和周长较对侧眼略有增加,黄斑区视网膜内层平均VD和CI较对侧眼略有减少,但差异均无统计学意义($P > 0.05$),见表1。纳入患者PPV术眼视网膜浅、中、深层毛细血管层VD与对侧眼差异均无统计学意义($P > 0.05$),但PPV术眼鼻侧旁中心凹区域ICP-FA($0.31 \pm 0.06 \text{mm}^2$)较对侧眼($0.38 \pm 0.05 \text{mm}^2$)明显减少,颞侧旁中心凹区域DCP-FA($0.19 \pm 0.08 \text{mm}^2$)较对侧眼($0.27 \pm 0.07 \text{mm}^2$)明显减少,差异均有统计学意义($P < 0.05$),见表2。

2.2 脉络膜相关参数 纳入患者PPV术眼下方旁中心凹区域CCFA较对侧眼略有增加,但差异无统计学意义($t = 2.250, P = 0.051$);PPV术眼各区域CT与对侧眼相比差异均无统计学意义($P > 0.05$);PPV术眼中心凹3mm区域,上方、下方和鼻侧旁中心凹区域CVI均较对侧眼显著降低,差异均有统计学意义($P < 0.05$),见表3。

2.3 PPV术后视力与视网膜脉络膜血流参数的相关性 采用Spearman相关分析法分析纳入患者PPV术眼术后末次随访时BCVA与视网膜脉络膜血流参数的相关性,结果显示,PPV术眼术后BCVA与下方、鼻侧旁中心凹区域ICP-VD呈正相关($r_s = 0.652, P = 0.041$; $r_s = 0.709, P = 0.022$),与下方、鼻侧旁中心凹区域及中心凹3mm范围DCP-VD呈正相关($r_s = 0.866, P = 0.001$; $r_s = 0.715, P = 0.020$; $r_s = 0.872, P = 0.001$);PPV术眼术后BCVA与中心凹1mm范围ICP-FA呈正相关($r_s = 0.634, P = 0.049$),与中心凹及旁中心凹各区域DCP-FA均呈正相关($P < 0.05$);PPV术眼术后BCVA与脉络膜血流参数均无明显相关性,见表4、5。

3 讨论

黄斑区血流变化对视网膜脉络膜血管性疾病的诊断和随访至关重要,既往对于严重PDR接受PPV手术后黄

斑区视网膜及脉络膜血流变化的研究较少,本研究利用SS-OCTA评估严重PDR行PPV手术后黄斑区视网膜及脉络膜血流变化,并与对侧眼进行比较,结果发现患眼PPV术后中心凹及旁中心凹区域浅、中、深层毛细血管层血管密度与对侧眼均无明显差异,这与孔源性视网膜脱离^[12-13]、黄斑裂孔^[14]患者行PPV术后黄斑区浅、深层毛细血管层血管密度的变化类似,提示PPV手术本身可能不会引起黄斑区视网膜各层血管密度的改变^[15]。Liu等^[11]采用SS-OCTA评估不同分期DR患者视网膜、脉络膜血流变化,发现PDR与NPDR患者ICP、DCP血管密度存在差异,PDR患者深层血管密度明显下降。同时,Nesper等^[16]发现旁中心凹区域DCP血管密度降低与DR严重程度相关,是区分NPDR和PDR的敏感指标。这与本研究结果不一致,其可能的原因在于研究方法及入组患者存在差异。

本研究对黄斑区视网膜各层灌注面积的研究发现,PPV术眼术后SCP灌注面积与对侧眼接近,ICP鼻侧旁中心凹区域、DCP颞侧旁中心凹区域灌注面积较对侧眼减少,提示严重PDR旁中心凹中、深层毛细血管层血流减少。Uchitomi等^[17]使用超广角-OCTA研究DR患者黄斑区视网膜各层的无灌注面积,发现与鼻侧象限相比,DCP颞侧无灌注面积更高,分析其原因在于鼻侧象限血管具有较高灌注压,而黄斑颞侧毛细血管灌注压较低^[18],从而导致颞侧视网膜无灌注面积增加。本研究观察到PPV术眼术后鼻侧中层和颞侧深层血管灌注面积减少,表明严重PDR中、深层血流灌注在不同象限存在差异,需要进一步研究。

视网膜FAZ形态通常采用面积、周长、半径及圆形指数表示,反映糖尿病微血管变化。正常人群中FAZ大小、面积存在显著个体差异^[19-20],并与眼轴长度相关^[21]。本研究中PPV术眼与对侧眼眼轴近似,研究对象为同一个体,因此可以更好地控制系统性混杂因素。结果发现,PPV术眼术后FAZ各项指标与对侧眼无差异,这与Liu等^[11]研究结果一致,该研究发现NPDR和PDR患者FAZ各项指标无显著差异,FAZ的变化可能仅与DR发生有关,与DR程度无明显关联。脉络膜毛细血管灌注与DR之间的关联尚不明确。最近一项研究显示,CC血流减少与DR严重程度独立相关^[22]。Gendelman等^[23]对90例

表1 纳入患者双眼黄斑区参数比较

| 参数 | PPV 术眼 (n=35) | 对侧眼 (n=35) | t | P | $\bar{x} \pm s$ |
|---------------------------|---------------|------------|--------|-------|-----------------|
| FAZ 面积 (mm ²) | 0.39±0.20 | 0.33±0.12 | 1.003 | 0.342 | |
| FAZ 周长 (mm) | 2.82±0.79 | 2.56±0.58 | 0.959 | 0.364 | |
| CI | 0.61±0.15 | 0.63±0.13 | -0.273 | 0.791 | |
| VD (%) | 30.52±8.78 | 33.39±7.34 | -1.113 | 0.295 | |

表2 纳入患者双眼视网膜血流参数比较

| 参数 | 视网膜血管 | 区域 | PPV 术眼 (n=35) | 对侧眼 (n=35) | t | P | $\bar{x} \pm s$ |
|-----------------------|-------|------|---------------|------------|--------|-------|-----------------|
| VD (%) | SCP | S1-3 | 36.25±10.77 | 35.48±8.81 | 0.239 | 0.817 | |
| | | T1-3 | 29.26±9.28 | 27.92±9.34 | 0.655 | 0.529 | |
| | | I1-3 | 39.93±8.99 | 35.58±6.42 | 1.815 | 0.103 | |
| | | N1-3 | 30.33±9.23 | 32.61±4.98 | -1.117 | 0.293 | |
| | | C1 | 8.50±4.06 | 10.02±5.84 | -0.666 | 0.522 | |
| | | C3 | 31.48±7.60 | 30.28±6.19 | 0.766 | 0.463 | |
| | ICP | S1-3 | 26.80±6.39 | 28.03±7.22 | -0.430 | 0.677 | |
| | | T1-3 | 22.73±7.24 | 26.14±5.21 | -1.526 | 0.161 | |
| | | I1-3 | 26.92±5.83 | 30.10±3.46 | -1.510 | 0.165 | |
| | | N1-3 | 25.60±4.71 | 30.95±5.59 | -2.131 | 0.062 | |
| | | C1 | 12.16±5.71 | 15.33±4.49 | -1.585 | 0.147 | |
| | | C3 | 24.24±4.63 | 27.35±4.03 | -1.704 | 0.123 | |
| | DCP | S1-3 | 20.17±8.44 | 19.19±6.60 | 0.454 | 0.660 | |
| | | T1-3 | 13.01±5.34 | 18.72±6.36 | -2.071 | 0.068 | |
| | | I1-3 | 17.76±4.87 | 19.15±5.38 | -0.902 | 0.390 | |
| | | N1-3 | 18.54±7.73 | 20.34±6.74 | -0.766 | 0.463 | |
| | | C1 | 5.65±4.32 | 5.86±5.26 | -0.131 | 0.898 | |
| | | C3 | 16.22±4.59 | 17.89±4.35 | -1.780 | 0.109 | |
| FA (mm ²) | SCP | S1-3 | 0.51±0.17 | 0.50±0.18 | 0.145 | 0.888 | |
| | | T1-3 | 0.43±0.13 | 0.43±0.13 | 0.018 | 0.986 | |
| | | I1-3 | 0.57±0.12 | 0.54±0.08 | 1.059 | 0.317 | |
| | | N1-3 | 0.46±0.13 | 0.49±0.10 | -1.817 | 0.103 | |
| | | C1 | 0.07±0.03 | 0.09±0.04 | -0.958 | 0.363 | |
| | | C3 | 2.02±0.49 | 2.05±0.44 | -0.306 | 0.767 | |
| | ICP | S1-3 | 0.33±0.08 | 0.34±0.10 | -0.240 | 0.816 | |
| | | T1-3 | 0.30±0.08 | 0.34±0.06 | -1.490 | 0.170 | |
| | | I1-3 | 0.34±0.06 | 0.37±0.03 | -1.014 | 0.337 | |
| | | N1-3 | 0.31±0.06 | 0.38±0.05 | -2.588 | 0.029 | |
| | | C1 | 0.08±0.04 | 0.10±0.03 | -1.530 | 0.160 | |
| | | C3 | 1.35±0.25 | 1.52±0.21 | -1.491 | 0.170 | |
| | DCP | S1-3 | 0.26±0.12 | 0.26±0.10 | -0.075 | 0.942 | |
| | | T1-3 | 0.19±0.08 | 0.27±0.07 | -2.428 | 0.038 | |
| | | I1-3 | 0.25±0.09 | 0.28±0.06 | -1.136 | 0.285 | |
| | | N1-3 | 0.25±0.11 | 0.29±0.07 | -1.367 | 0.205 | |
| | | C1 | 0.04±0.03 | 0.05±0.03 | -0.487 | 0.638 | |
| | | C3 | 0.99±0.37 | 1.16±0.24 | -1.608 | 0.142 | |

DR 患者进行回顾性分析发现, DR 严重程度与黄斑区 CC 血流缺失密切相关。然而, Dai 等^[24]发现 NPDR 和 PDR 患者 CC 血管密度无显著差异。上述研究结论存在差别, 分析可能与种族不同及影响 CC 的混杂因素没有完全矫正有关。本研究去除了大部分混杂因素, 结果发现, PPV 术眼术后 CC 灌注面积相比对侧眼有增加趋势, 其可能原因是 PPV 术后玻璃体腔炎性介质及 VEGF 含量下降, 术

中 PRP 导致中周部视网膜耗氧量减少, CC 血流可能从中周部转移到代谢需氧较高的后极部黄斑区域^[25-26], 从而引起黄斑区脉络膜毛细血管代偿扩张, 但具体机制有待于进一步研究。

CVI 是反映脉络膜血流状态的指标, 与 CT 相比不受眼球生物学参数影响^[27]; 然而 CVI 与年龄相关, 随年龄增加而下降^[28]。虽然 SS-OCTA 检测 CVI 的算法仍需完善,

表3 纳入患者双眼脉络膜相关参数比较 $\bar{x} \pm s$

| 参数 | 区域 | PPV 术眼 (n=35) | 对侧眼 (n=35) | t | P |
|------------------------|------|------------------|---------------|--------|-------|
| CCFA(mm ²) | S1-3 | 0.67±0.41 | 0.59±0.52 | 1.157 | 0.277 |
| | T1-3 | 0.66±0.38 | 0.59±0.43 | 1.124 | 0.290 |
| | I1-3 | 0.68±0.41 | 0.54±0.42 | 2.250 | 0.051 |
| | N1-3 | 0.58±0.37 | 0.56±0.48 | 0.316 | 0.759 |
| | C1 | 0.34±0.19 | 0.32±0.25 | 0.417 | 0.687 |
| | C3 | 2.87±1.66 | 2.59±2.09 | 0.947 | 0.369 |
| CT(μm) | S1-3 | 377±77 | 364±82 | 0.690 | 0.508 |
| | T1-3 | 357±94 | 362±80 | -0.271 | 0.793 |
| | I1-3 | 355±110 | 361±79 | -0.285 | 0.782 |
| | N1-3 | 348±117 | 362±90 | -0.682 | 0.512 |
| | C1 | 360±96 | 385±92 | -1.290 | 0.229 |
| | C3 | 359±98 | 365±82 | -0.290 | 0.778 |
| CVI | S1-3 | 0.29±0.09 | 0.36±0.08 | -2.739 | 0.023 |
| | T1-3 | 0.25±0.10 | 0.28±0.09 | -1.805 | 0.105 |
| | I1-3 | 0.29±0.09 | 0.35±0.09 | -3.511 | 0.007 |
| | N1-3 | 0.25±0.10 | 0.32±0.07 | -3.137 | 0.012 |
| | C1 | 0.30±0.11 | 0.33±0.08 | -1.618 | 0.140 |
| | C3 | 0.27±0.09 | 0.33±0.08 | -3.552 | 0.006 |

表4 PPV 术后视力与脉络膜血流参数的相关性

| 参数 | 区域 | r _s | P |
|------|------|----------------|-------|
| CCFA | S1-3 | -0.006 | 0.986 |
| | T1-3 | -0.238 | 0.507 |
| | I1-3 | -0.132 | 0.717 |
| | N1-3 | -0.113 | 0.756 |
| | C1 | -0.082 | 0.823 |
| | C3 | -0.163 | 0.653 |
| CT | S1-3 | 0.583 | 0.077 |
| | T1-3 | 0.326 | 0.358 |
| | I1-3 | 0.470 | 0.170 |
| | N1-3 | 0.472 | 0.169 |
| | C1 | 0.276 | 0.440 |
| | C3 | 0.502 | 0.139 |
| CVI | S1-3 | -0.006 | 0.986 |
| | T1-3 | 0.063 | 0.863 |
| | I1-3 | 0.113 | 0.756 |
| | N1-3 | 0.088 | 0.809 |
| | C1 | 0.169 | 0.640 |
| | C3 | 0.213 | 0.554 |

但 SS-OCTA 具有扫描范围广、速度快、重复性好的特点^[29],更重要的是,与 SD-OCTA 相比,扫描深度更深,即使存在视网膜水肿等病变的情况下,仍然可以清晰显示脉络膜整体状态,提供详细、准确的脉络膜血流信息^[30]。本研究利用 SS-OCTA 测量反映脉络膜血流的指标,结果显示 PPV 术眼术后与对侧眼各区域 CT 均无差异,然而在中心凹 3mm 范围及上、下、鼻侧旁中心凹区域 PPV 术眼术后 CVI 均较对侧眼明显降低,提示严重 PDR 脉络膜中大血管存在损伤。既往对 DR 患者 CT 的研究结果不一致,多数研究认为严重 DR 往往伴随脉络膜变薄^[31-32],也有学

表5 PPV 术后视力与视网膜血流参数的相关性

| 参数 | 视网膜血管 | 区域 | r _s | P |
|----|-------|------|----------------|--------|
| VD | SCP | S1-3 | -0.138 | 0.704 |
| | | T1-3 | -0.119 | 0.743 |
| | | I1-3 | 0.163 | 0.653 |
| | | N1-3 | 0.220 | 0.542 |
| | | C1 | 0.602 | 0.065 |
| | | C3 | 0.050 | 0.890 |
| | ICP | S1-3 | 0.420 | 0.227 |
| | | T1-3 | 0.420 | 0.227 |
| | | I1-3 | 0.652 | 0.041 |
| | | N1-3 | 0.709 | 0.022 |
| | | C1 | 0.609 | 0.062 |
| | | C3 | 0.602 | 0.065 |
| | DCP | S1-3 | 0.552 | 0.098 |
| | | T1-3 | 0.458 | 0.183 |
| | | I1-3 | 0.866 | 0.001 |
| | | N1-3 | 0.715 | 0.020 |
| | | C1 | 0.276 | 0.440 |
| | | C3 | 0.872 | 0.001 |
| FA | SCP | S1-3 | -0.063 | 0.863 |
| | | T1-3 | 0.013 | 0.973 |
| | | I1-3 | 0.301 | 0.398 |
| | | N1-3 | 0.251 | 0.484 |
| | | C1 | 0.602 | 0.065 |
| | | C3 | 0.207 | 0.566 |
| | ICP | S1-3 | 0.307 | 0.388 |
| | | T1-3 | 0.389 | 0.267 |
| | | I1-3 | 0.602 | 0.065 |
| | | N1-3 | 0.508 | 0.134 |
| | | C1 | 0.634 | 0.049 |
| | | C3 | 0.627 | 0.052 |
| | DCP | S1-3 | 0.715 | 0.020 |
| | | T1-3 | 0.671 | 0.034 |
| | | I1-3 | 0.922 | <0.001 |
| | | N1-3 | 0.747 | 0.013 |
| | | C1 | 0.728 | 0.017 |
| | | C3 | 0.935 | <0.001 |

者认为在非增殖期,CT 随着病变进展逐渐下降,进入增殖期增加^[33];基于人群的北京眼科研究发现,糖尿病与较厚的 CT 独立相关,而 DR 与 CT 无关^[34]。以上研究结果差异可能与不同 OCT 测量设备及纳入人群种族不同有关。CVI 在 DR 进展中的变化,既往文献似乎得到了一致的结果,即随着 DR 进展,CVI 逐渐下降^[10,35-36]。本研究结果也显示,严重 PDR 患者 PPV 术后术眼 CVI 较对侧眼降低,表明 CVI 比 CT 更加稳定,可作为评估 DR 进展和严重程度的指标。

关于视网膜脉络膜血流与视觉功能的关系,本研究结果显示,PPV 术眼术后 BCVA 与黄斑区中、深层毛细血管层血管密度和灌注面积均有一定的相关性,但未发现与脉络膜血流相关。Kuonen 等^[37]发现 NPDR 患者视力丧失可能与 SCP 无灌注面积增加相关;对于糖尿病性黄斑水肿患者,黄斑区 DCP 血管密度与视力相关^[38]。Abdelshafy

等^[39]研究发现黄斑区 DCP-VD 是 PDR 患者 BCVA 的最佳预测因素,提示 PDR 与 DCP-VD 关联密切,这与本研究结果一致。最近一项对 DR 患者脉络膜参数与视力相关性的研究观察到在接受治疗且病情稳定的 DR 患者中,脉络膜生物标志物与 BCVA 相关^[40]。本研究未发现 PPV 术眼术后 BCVA 与任何脉络膜参数有关联,出现这一差异的原因可能归因于入组患者不同,本研究选择的是严重 PDR 患者。

本研究存在的局限性:(1)样本量相对较小,另外由于严重 PDR 患者屈光介质不清,在 PDR 手术前无法测量视网膜脉络膜血流参数;(2)本研究为横断面研究,未来纵向研究可观察 PDR 术后视网膜脉络膜血流的动态变化;(3)OCTA 图像可能受机器本身及测量的影响,本研究采用 SS-OCTA 内置眼动实时跟踪系统,可降低由于眼球转动引起的伪影。尽管存在一定的局限性,但本研究的优势在于采用扫描速度更快的 SS-OCTA,可以获得清晰的视网膜脉络膜血流图像,保证测量数据的准确性。此外,本研究分析同一个体双眼之间的差异,避免了系统性混杂因素,结果更为可靠。

综上所述,SS-OCTA 可以无创观察 DR 患者视网膜脉络膜血流变化,严重 PDR 患者患眼 PPV 术后较对侧眼可能更易出现旁中心凹视网膜深层及脉络膜血流灌注的减少,提示旁中心凹视网膜深层及脉络膜血流改变在 PDR 发展中具有重要作用。

参考文献

- 1 Cheung N, Mitchell P, Wong TY. Diabetic retinopathy. *Lancet* 2010; 376(9735): 124-136
- 2 Teo ZL, Tham YC, Yu M, et al. Global prevalence of diabetic retinopathy and projection of burden through 2045: systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology* 2021; 128(11): 1580-1591
- 3 Davis MD, Fisher MR, Gangnon RE, et al. Risk factors for high-risk proliferative diabetic retinopathy and severe visual loss: early Treatment Diabetic Retinopathy Study Report #18. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1998; 39(2): 233-252
- 4 Chaudhary S, Zaveri J, Becker N. Proliferative diabetic retinopathy (PDR). *Dis Mon* 2021; 67(5): 101140
- 5 Sharma T, Fong A, Lai TY, et al. Surgical treatment for diabetic vitreoretinal diseases: a review. *Clin Exp Ophthalmol* 2016; 44(4): 340-354
- 6 Laíns I, Wang JC, Cui Y, et al. Retinal applications of swept source optical coherence tomography (OCT) and optical coherence tomography angiography (OCTA). *Prog Retin Eye Res* 2021; 84: 100951
- 7 Yuan M, Wang W, Kang SM, et al. Peripapillary microvasculature predicts the incidence and development of diabetic retinopathy: an SS-OCTA study. *Am J Ophthalmol* 2022; 243: 19-27
- 8 Wang JC, Laíns I, Providência J, et al. Diabetic choroidopathy: choroidal vascular density and volume in diabetic retinopathy with swept-source optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 2017; 184: 75-83
- 9 Russell JF, Zhou H, Shi YY, et al. Longitudinal analysis of diabetic choroidopathy in proliferative diabetic retinopathy treated with panretinal photocoagulation using widefield swept - source optical coherence tomography. *Retina* 2022; 42(3): 417-425
- 10 Nicolini N, Tombolini B, Barresi C, et al. Assessment of diabetic choroidopathy using ultra-widefield optical coherence tomography. *Transl Vis Sci Technol* 2022; 11(3): 35

- 11 Liu TT, Lin W, Shi GG, et al. Retinal and choroidal vascular perfusion and thickness measurement in diabetic retinopathy patients by the swept-source optical coherence tomography angiography. *Front Med (Lausanne)* 2022; 9: 786708
- 12 Lu B, Zhang PF, Liu HY, et al. Peripapillary vessel density in eyes with rhegmatogenous retinal detachment after pars plana vitrectomy. *J Ophthalmol* 2021; 2021: 6621820
- 13 Hong EH, Cho H, Kim DR, et al. Changes in retinal vessel and retinal layer thickness after vitrectomy in retinal detachment via swept-source OCT angiography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2020; 61(2): 35
- 14 Li J, Wang WJ, Zhang XD, et al. Morphological and functional features in patients with idiopathic macular hole treatment. *Int J Gen Med* 2022; 15: 4505-4511
- 15 王梓伊, 温舒, 刘国立, 等. PDR 行玻璃体切除术后黄斑区视网膜血流密度的影响因素及预测模型. *国际眼科杂志* 2022; 22(8): 1352-1356
- 16 Nesper PL, Roberts PK, Onishi AC, et al. Quantifying microvascular abnormalities with increasing severity of diabetic retinopathy using optical coherence tomography angiography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2017; 58(6): BIO307-BIO315
- 17 Uchitomi D, Murakami T, Dodo Y, et al. Disproportion of lamellar capillary non-perfusion in proliferative diabetic retinopathy on optical coherence tomography angiography. *Br J Ophthalmol* 2020; 104(6): 857-862
- 18 Pournaras CJ, Rungger-Brändle E, Riva CE, et al. Regulation of retinal blood flow in health and disease. *Prog Retin Eye Res* 2008; 27(3): 284-330
- 19 Shihara H, Terasaki H, Sonoda S, et al. Objective evaluation of size and shape of superficial foveal avascular zone in normal subjects by optical coherence tomography angiography. *Sci Rep* 2018; 8(1): 10143
- 20 Samara WA, Say EAT, Khoo CTL, et al. Correlation of foveal avascular zone size with foveal morphology in normal eyes using optical coherence tomography angiography. *Retina* 2015; 35(11): 2188-2195
- 21 Sun ZH, Yang DW, Tang ZQ, et al. Optical coherence tomography angiography in diabetic retinopathy: an updated review. *Eye (Lond)* 2021; 35(1): 149-161
- 22 Wang W, Guo X, Chen YF, et al. Choriocapillaris perfusion assessed using swept source optical coherence tomographic angiography and the severity of diabetic retinopathy. *Br J Ophthalmol* 2022 [Epub ahead of print]
- 23 Gendelman I, Alibhai AY, Moulton EM, et al. Topographic analysis of macular choriocapillaris flow deficits in diabetic retinopathy using swept-source optical coherence tomography angiography. *Int J Retina Vitreous* 2020; 6: 6
- 24 Dai YN, Zhou H, Zhang QQ, et al. Quantitative assessment of choriocapillaris flow deficits in diabetic retinopathy: a swept - source optical coherence tomography angiography study. *PLoS One* 2020; 15(12): e0243830
- 25 Lejoyeux R, Benillouche J, Ong J, et al. Choriocapillaris: fundamentals and advancements. *Prog Retin Eye Res* 2022; 87: 100997
- 26 Cuenca N, Ortuño-Lizarán I, Sánchez-Sáez X, et al. Interpretation of OCT and OCTA images from a histological approach: clinical and experimental implications. *Prog Retin Eye Res* 2020; 77: 100828
- 27 Agrawal R, Ding JB, Sen P, et al. Exploring choroidal angioarchitecture in health and disease using choroidal vascularity index. *Prog Retin Eye Res* 2020; 77: 100829
- 28 Koçak N, Subaşı M, Yeter V. Effects of age and binarising area on choroidal vascularity index in healthy eyes: an optical coherence

- tomography study. *Int Ophthalmol* 2021; 41(3): 825–834
- 29 Lane M, Moulton EM, Novais EA, *et al.* Visualizing the choriocapillaris under drusen: comparing 1050-nm swept-source versus 840-nm spectral-domain optical coherence tomography angiography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2016; 57(9): OCT585–OCT590
- 30 Copete S, Flores-Moreno I, Montero JA, *et al.* Direct comparison of spectral-domain and swept-source OCT in the measurement of choroidal thickness in normal eyes. *Br J Ophthalmol* 2014; 98(3): 334–338
- 31 Wang W, Liu S, Qiu ZH, *et al.* Choroidal thickness in diabetes and diabetic retinopathy: a swept source OCT study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2020; 61(4): 29
- 32 Ambiya V, Kumar A, Baranwal VK, *et al.* Change in subfoveal choroidal thickness in diabetes and in various grades of diabetic retinopathy. *Int J Retina Vitreous* 2018; 4: 34
- 33 范雯, 陈强, 戈伟中, 等. 不同分期糖尿病视网膜病变患者脉络膜厚度及体积变化的计算机自动分割方法分析. *中华实验眼科杂志* 2022; 40(9): 827–831
- 34 Xu J, Xu L, Du KF, *et al.* Subfoveal choroidal thickness in diabetes and diabetic retinopathy. *Ophthalmology* 2013; 120(10): 2023–2028
- 35 Wang XH, Li R, Chen JY, *et al.* Choroidal vascularity index (CVI)–Net-based automatic assessment of diabetic retinopathy severity using CVI in optical coherence tomography images. *J Biophotonics* 2023 [Epub ahead of print]
- 36 Temel E, Özcan G, Yank Ö, *et al.* Choroidal structural alterations in diabetic patients in association with disease duration, HbA1c level, and presence of retinopathy. *Int Ophthalmol* 2022; 42(12): 3661–3672
- 37 Kuonen A, Bergin C, Ambresin A. Perifoveal capillary changes in diabetic patients and association between severity and type of diabetes, visual acuity, and enlargement of non-flow area in the retinal capillary plexuses. *J Fr Ophthalmol* 2021; 44(3): 367–375
- 38 Hsiao CC, Yang CM, Yang CH, *et al.* Correlations between visual acuity and macular microvasculature quantified with optical coherence tomography angiography in diabetic macular oedema. *Eye (Lond)* 2020; 34(3): 544–552
- 39 Abdelshafy M, Abdelshafy A. Correlations between optical coherence tomography angiography parameters and the visual acuity in patients with diabetic retinopathy. *Clin Ophthalmol* 2020; 14: 1107–1115
- 40 Marques JH, Marta A, Castro C, *et al.* Choroidal changes and associations with visual acuity in diabetic patients. *Int J Retina Vitreous* 2022; 8(1): 6