

OCTA 定量分析高度近视眼视盘旁萎缩弧对视网膜及脉络膜血流密度的影响

邹天霞 俞添祥 胡懿文 王圣哲 杜特新 孙雯

【摘要】 目的 探讨在扫频源光学相干断层扫描血管成像(SS-OCTA)评估中,去除视盘旁萎缩弧(PPA)对高度近视眼视盘周围视网膜及脉络膜各层血流密度(VD)测量值的影响。方法 前瞻性纳入2023年12月至2024年12月在浙江大学医学院附属第一医院眼科中心就诊的高度近视患者38例38眼(均为右眼)。使用SS-OCTA对视盘周围进行扫描,获取视网膜全层、表层毛细血管层、深层毛细血管层、脉络膜毛细血管层及脉络膜中大血管层的血流图像。由2名医生手动圈选PPA区域,分别计算去除PPA前后各层的VD,并进行自身对照比较。同时采用Spearman秩相关分析PPA面积与等效球镜度绝对值的相关性。结果 与去除PPA前比较,去除PPA后各血管层的VD变化趋势不同,脉络膜中大血管层视盘区和中央区VD均升高(均 $P<0.05$),而脉络膜毛细血管层、视网膜全层及深层毛细血管层上述区域VD均下降(均 $P<0.05$)。表层毛细血管层各区去除PPA前后VD比较差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。此外,PPA面积与等效球镜度绝对值呈正相关($r_s=0.337, P=0.039$)。结论 在高度近视眼的OCTA评估中,PPA是影响VD测量的重要混杂因素,其影响机制因血管层而异。因此,在未来的研究与临床工作中,建议对PPA区域进行分层处理,以实现对眼底血流状况更精准的评估。

【关键词】 光学相干断层扫描血管成像;高度近视;视盘旁萎缩弧;血流密度

Quantitative analysis of the effect of peripapillary atrophy on retinal and choroidal vessel density in high myopia using optical coherence tomography angiography

ZOU Tianxia, YU Tianxiang, HU Yiwen, WANG Shengzhe, DU Chixin, SUN Wen

First-author's address: School of Medicine, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

Corresponding author: SUN Wen, E-mail: drsunwen@zju.edu.cn

【Abstract】 **Objective** To investigate the impact of excluding the peripapillary atrophy (PPA) area on the measurement of peripapillary vessel density (VD) across various retinal and choroidal layers in highly myopic eyes using swept-source optical coherence tomography angiography (SS-OCTA). **Methods** In this prospective study, 38 right eyes of 38 patients with high myopia were enrolled from the Ophthalmology Center of the First Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine between December 2023 and December 2024. SS-OCTA was performed to obtain blood flow images of the peripapillary region, encompassing the full retinal layer, superficial capillary plexus (SCP), deep capillary plexus (DCP), choriocapillaris (CC), and the middle-large choroidal vessel layer (MCVL). Two ophthalmologists manually delineated the PPA area. The VD of each layer was calculated both before and after excluding the PPA area, followed by a self-controlled comparative analysis. Spearman rank correlation was used to analyze the association between the PPA area and the absolute spherical equivalent (SE). **Results** After excluding the PPA area, the VD changes exhibited distinct trends across different vascular layers compared to that before PPA exclusion. In the MCVL, the VD in both the optic disc and central areas increased

DOI:10.12056/j.issn.1006-2785.2025.47.24.2025-1988

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(LZ24H120002);浙江省公益技术研究计划项目(LGF21H120003)

作者单位:310058 杭州,浙江大学医学院(邹天霞、俞添祥);浙江大学医学院附属儿童医院(国家儿童健康与疾病临床医学研究中心)眼科(胡懿文、王圣哲、孙雯);浙江大学医学院附属第一医院眼科(杜特新)

通信作者:孙雯, E-mail: drsunwen@zju.edu.cn

significantly (both $P < 0.05$). Conversely, in the CC, full retinal layer, and DCP, the VD in the corresponding areas decreased significantly (all $P < 0.05$). No statistically significant differences in VD were observed in any region of the SCP before and after PPA exclusion (all $P > 0.05$). Furthermore, a positive correlation was found between the PPA area and the absolute SE ($r_s = 0.337$, $P = 0.039$). **Conclusion** In the OCTA assessment of highly myopic eyes, PPA is a significant confounding factor affecting VD measurements, and its impact varies across different vascular layers. Therefore, it is recommended to perform layer-specific processing of the PPA area in future research and clinical practice to enable a more precise evaluation of fundus blood flow status.

【Key words】 Optical coherence tomography angiography; High myopia; Peripapillary atrophy; Vessel density

近视,尤其是高度近视,是全球范围内导致不可逆性视力损伤的主要原因之一^[1]。其典型的眼底改变包括后巩膜葡萄肿、脉络膜视网膜萎缩、漆裂纹及脉络膜新生血管等^[2]。近年来,随着影像学技术的飞速发展,光学相干断层扫描血管成像(optical coherence tomography angiography, OCTA)技术因其无创、高分辨率和可定量分析等优势,已成为在体评估视网膜及脉络膜血流状况的重要工具。然而,利用OCTA对高度近视眼进行评估时,视盘旁萎缩弧(peripapillary atrophy, PPA)这一普遍存在的解剖学特征成为定量分析中的重要干扰因素。PPA是指围绕视盘的脉络膜毛细血管与视网膜色素上皮层萎缩区域,在高度近视眼中极为常见^[3]。当前商用OCTA设备的自动分析软件在计算整体或局部血流密度(vessel density, VD)时,并未统一是否应将PPA区域从分析范围内剔除。若将PPA纳入计算,其固有的无血流信号会显著降低整体平均VD值。因此,既往研究报道的高度近视患者出现“VD降低”^[4-6],究竟反映真实的血流灌注不足,抑或仅是PPA对数据的“稀释效应”尚不明确。这种方法学上的差异导致不同研究结论之间难以直接比较,严重制约了OCTA在高度近视临床评估与科研中的应用价值。因此,亟需一项设计严谨的自身对照研究,在同一批高度近视患者眼中,直接比较“去除PPA区域”与“不去除PPA区域”两种处理方法下,OCTA所测得的VD值的差异。本研究旨在明确PPA对高度近视眼VD测量结果的影响程度,澄清其作为“混杂因素”的角色,从而为未来建立标准化的OCTA分析流程提供关键性证据,最终推动OCTA在高度近视管理中的准确解读和有效应用。

1 对象和方法

1.1 对象 前瞻性纳入2023年12月至2024年12月在浙江大学医学院附属第一医院眼科中心就诊的高度近视患者38例38眼(均为右眼),其中男10例10眼,女28例28眼;年龄(27.45 ± 6.22)岁。纳入标准:(1)年龄

18~45岁;(2)患者散瞳后等效球镜度 ≤ -6.00 D,散光 ≤ 1.50 D;(3)最佳矫正视力 ≥ 5.0 ,双眼屈光参差度数(等效球镜) ≤ 1.00 D;(4)除屈光不正外无其他眼部器质性病变和眼部手术及外伤史,无任何全身系统性疾病。排除标准:(1)合并任何可能影响眼部血流或视神经结构的眼部疾病,如青光眼、葡萄膜炎、视网膜血管性疾病、显著的黄斑病变、视神经疾病及眼部肿瘤等;(2)存在影响OCTA图像质量的眼部情况,包括但不限于角膜白斑、严重白内障、晶状体混浊、玻璃体大量混浊或出血;(3)有内眼手术史或眼外伤史;(4)有高血压、糖尿病、白血病等全身系统性疾病或可能影响眼部血流改变的其他疾病,有长期(定义为持续使用超过3个月)服用可能影响血液循环或眼压的全身用药史;(5)OCTA图像评分 < 8 分,或存在严重的运动伪影、离焦、遮挡等导致无法准确进行分层或定量分析的情况。为避免双眼数据间的相关性对统计结果造成潜在偏倚,并遵循统计学中数据独立性的原则,本研究仅纳入每例患者的右眼数据进行统计分析。本研究经浙江大学医学院附属第一医院医学伦理委员会审查通过(批准文号:浙大一院伦审2022研第116号-快),所有患者知情同意。

1.2 数据收集 所有患者均采集性别、年龄、既往病史等基线信息,并接受全面的眼科检查。眼科检查项目包括屈光不正测量、最佳矫正视力、眼内压、裂隙灯检查、眼底照相、眼用B超和OCTA。(1)屈光不正测量:采用全自动验光仪(型号:ARK-1,日本尼德克),测量3次取平均值,以等效球镜度表示,计算公式为“球镜度数+1/2散光度数”;(2)眼内压测量:采用非接触式眼压计(型号:NT-530 P,日本尼德克),测量3次取平均值;(3)眼底照相:采用超广角激光扫描检眼镜(型号:Daytona P₂₀₀T,日本尼康),在暗室充分暴露患者上下睑后进行眼底照相;(4)眼用B超:采用眼科B型超声诊断仪(型号:SW-2100,中国索维),由经验丰富的特检医师进行检查;(5)OCTA检查:采用扫频源OCTA(swept-source

OCTA, SS-OCTA) 仪 (型号: BM-400 K, 中国图湃医疗): 在暗室下, 引导患者至所需检查眼位, 以黄斑和视盘连线中点为扫描中心, 对后极部进行 15 mm × 15 mm 范围的扫描, 且扫描时间固定在每天 14:00—16:00。所有 OCTA 图像均经过严格的质量控制, 仅保留图像质量评分 ≥ 8 分、无明显运动伪影、无眨眼遮挡、图像居中且分层准确的扫描图像用于后续分析。每眼扫描 3 次, 选取质量最佳的一次进行分析。

1.3 图像分析处理 OCTA 图像通过 SS-OCTA 获得。选择以视盘和黄斑中心连线中点为中心的 15 mm × 15 mm 扫描模式。利用图湃内置系统自动识别并将 OCTA 图像分为不同亚层。其中, 全层视网膜定义为从内界膜到外丛状层下方 6 μm; 表层毛细血管层定义为从内界膜到外丛状层下方 9 μm; 深层毛细血管层定义为内丛状层下方 6 μm 到外丛状层下方 9 μm; 脉络膜毛细血管层定义为 Bruch 膜到 Bruch 膜下方 29 μm; 脉络膜中大血管层定义为 Bruch 膜下方 29 μm 到脉络膜巩膜交界处。由 2 名经验丰富的眼科医生对内置系统自动分层的准确性进行检查, 必要时进行调整, 然后按亚层进行图像导出, 见图 1(插页 24-2)。

由 2 名经验丰富的眼科医生根据所有研究者共同讨论出的既定规则通过对照眼底照相手动选择视盘中点、黄斑中点, 圈选 PPA 区域; 选择完成后, 系统自动生成视盘中点和黄斑中点的连线。系统以该连线的中点为中心, 生成一个长边平行于该连线的 12 mm × 11 mm 长方形, 而后分割成 8 × 8 个小格, 根据图湃内置程序可分别量化显示去除 PPA 区域前后每一小格的 VD, 见图 2(插页 24-2)。本研究选取以视盘为中心的 4 × 4 个小格进行分析, 将总体区域定义为视盘区, 中央 2 × 2 小格定义为中央区, 其余根据所在位置每 3 个小格分别定义为颞上区、颞下区、鼻上区、鼻下区, 具体分区见图 3(插页 24-2), 分别计算去除 PPA 区域前后各亚层的 5 个亚区 VD 及视盘区 VD 的变化情况。同时, 使用 C++ 编程实现计算圈选 PPA 区域的面积并导出。该面积值将用于后续与等效球镜度绝对值的相关性分析。

1.4 观察者间一致性分析 为评估并确保手动圈选 PPA 区域及计算 VD 过程的可靠性与可重复性, 本研究进行观察者间一致性分析。由 2 名经验丰富的眼科医生独立完成所有 PPA 区域的手动圈选工作, 首先采用配对样本 *t* 检验比较 2 名医生各视网膜及脉络膜层次、各分区所测得的 VD 值, 以检验是否存在系统性偏差。随后, 采用组内相关系数 (intraclass correlation coefficient, ICC) 和重复性系数 (coefficients of repeatability, COR) 对

2 名医生在各视网膜及脉络膜层次、各分区所测得的 VD 值进行一致性评价。

1.5 统计学处理 采用 GraphPad Prism 9.0.0 统计软件。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 组内比较采用配对样本 *t* 检验; 不符合正态分布的计量资料以 *M* (*P*₂₅, *P*₇₅) 表示, 组内比较采用 Wilcoxon 符号秩和检验。采用 Spearman 秩相关分析 PPA 面积与等效球镜度绝对值的相关性。 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 眼部参数分析 38 例患者等效球镜度为 -8.06 (-9.16, -6.75) D, 眼轴长度为 (26.44 ± 1.01) mm, 眼内压为 (14.53 ± 3.01) mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa), 前房深度为 (3.67 ± 0.28) mm, 角膜中央厚度为 (516.00 ± 37.50) μm。根据等效球镜度进一步分析, 高度近视 (-6.00 D ≤ 等效球镜度 ≤ -8.00 D) 19 例 (50.0%), 超高度近视 (等效球镜度 < -8.00 D) 19 例 (50.0%)。

2.2 观察者间一致性检验结果 2 名观察者去除 PPA 后各视网膜及脉络膜层次各分区的 VD 测量均值之间均未发现系统性偏差 (均 *P* > 0.05), 见表 1。COR 分析结果显示, 各层次各分区的 VD 测量的一致性良好至优秀 (均 COR < 0.2), 见表 2。作为 COR 分析的重要补充, ICC 进一步证实了测量结果的高度可靠性。ICC 分析显示, 各层次各分区的 VD 测量属于良好至优秀一致性范围 (均 ICC > 0.75), 见表 3。综上, COR 与 ICC 结果相互印证, 共同表明 2 名观察者在对各血管层进行手动圈选与 VD 计算时, 具有很好的可重复性与一致性, 为后续分析的可靠性提供了坚实的方法学基础。

表 1 2 名观察者之间的系统性偏差分析结果 (*P* 值)

层次	视盘区	中央区	颞上区	颞下区	鼻上区	鼻下区
脉络膜中大血管层	0.543	0.666	0.606	0.562	0.523	0.167
脉络膜毛细血管层	0.487	0.108	0.854	0.164	0.732	0.422
视网膜全层	0.612	0.389	0.225	0.390	0.861	0.118
表层毛细血管层	0.764	0.905	0.178	0.993	0.206	0.384
深层毛细血管层	0.315	0.678	0.452	0.834	0.673	0.594

注: PPA 为视盘旁萎缩弧; VD 为血流密度; 表中数值均为 2 名观察者去除 PPA 后各层次各分区的 VD 的两次测量均值之间的系统性偏差 *P* 值, *P* > 0.05 说明两次测量之间无显著系统性偏差。

2.3 去除 PPA 对视盘周围血流参数的影响

2.3.1 脉络膜中大血管层各区去除 PPA 前后 VD 比较 与去除 PPA 前比较, 去除 PPA 后脉络膜中大血管层视盘区、中央区 and 颞下区 VD 均升高 (均 *P* < 0.05), 而

表2 2名观察者之间的COR分析结果

层次	视盘区	中央区	颞上区	颞下区	鼻上区	鼻下区
脉络膜中大血管层	0.145	0.167	0.134	0.171	0.169	0.170
脉络膜毛细血管层	0.063	0.156	0.086	0.093	0.089	0.071
视网膜全层	0.165	0.144	0.097	0.151	0.142	0.096
表层毛细血管层	0.040	0.080	0.025	0.029	0.088	0.071
深层毛细血管层	0.145	0.172	0.134	0.171	0.169	0.170

注:PPA为视盘旁萎缩弧;VD为血流密度;COR为重复性系数;表中数值均为2名观察者去除PPA后各层次各分区的VD的两次测量均值之间的COR,COR<0.1为优秀,0.1≤COR<0.2为良好。

表3 2名观察者之间的ICC分析结果

层次	视盘区	中央区	颞上区	颞下区	鼻上区	鼻下区
脉络膜中大血管层	0.914	0.792	0.876	0.852	0.915	0.887
脉络膜毛细血管层	0.942	0.805	0.805	0.946	0.969	0.982
视网膜全层	0.983	0.864	0.972	0.985	0.986	0.954
表层毛细血管层	0.908	0.831	0.923	0.967	0.901	0.897
深层毛细血管层	0.988	0.879	0.988	0.996	0.977	0.974

注:PPA为视盘旁萎缩弧;VD为血流密度;ICC为组内相关系数;表中数值均为2名观察者去除PPA后各层次各分区的VD的两次测量均值之间的ICC,ICC>0.9为优秀,0.75≤ICC<0.9为良好。

去除PPA前后颞上区、鼻上区、鼻下区VD比较差异均无统计学意义(均P>0.05),见表4。

2.3.2 脉络膜毛细血管层各区去除PPA前后VD比较 与去除PPA前比较,去除PPA后脉络膜毛细血管层视盘区、中央区、颞上区和颞下区VD均下降(均P<0.05),而去除PPA前后鼻上区和鼻下区VD比较差异均无统计学意义(均P>0.05),见表4。

2.3.3 视网膜全层各区去除PPA前后VD比较 与去除PPA前比较,去除PPA后视网膜全层视盘区、中央区、颞上区和颞下区VD均下降(均P<0.05),而去除PPA前后鼻上区和鼻下区VD比较差异均无统计学意义(均P>0.05),见表4。

2.3.4 表层毛细血管层各区去除PPA前后VD比较 表层毛细血管层各区去除PPA前后VD比较差异均无统计学意义(均P>0.05),见表4。

2.3.5 深层毛细血管层各区去除PPA前后VD比较 与去除PPA前比较,去除PPA后深层毛细血管层视盘区和中央区VD均下降(均P<0.01),而去除PPA前后颞上区、颞下区、鼻上区和鼻下区VD比较差异均无统计学意义(均P>0.05),见表4。

2.4 PPA面积与等效球镜度绝对值的相关性分析

表4 视网膜、脉络膜各亚层各区去除PPA前后VD比较(%)

测量指标	去除PPA前	去除PPA后	Z/t值	P值
脉络膜中大血管层				
视盘区	57.16(55.73,58.69)	57.94(56.30,58.98)	-4.890	<0.001
中央区	50.63(46.69,53.56)	54.00(49.56,56.25)	-4.877	<0.001
颞上区	59.83(58.50,61.42)	59.67(58.25,61.67)	1.526	0.160
颞下区	58.50(54.33,60.33)	58.67(54.83,60.42)	-2.236	0.039
鼻上区	59.33(58.33,60.33)	59.33(58.33,60.33)	-0.254	1.000
鼻下区	59.67(58.17,60.67)	59.50(57.97,60.67)	0.524	0.813
脉络膜毛细血管层				
视盘区	47.48±1.17	46.56±1.30	14.970	<0.001
中央区	47.59±2.39	44.14±2.64	14.680	<0.001
颞上区	47.83±1.75	47.65±1.76	2.217	0.033
颞下区	48.03±1.76	47.89±1.72	2.431	0.020
鼻上区	47.67(46.50,49.00)	47.83(46.50,49.00)	-0.447	1.000
鼻下区	46.62±1.63	46.43±1.63	1.000	1.000
视网膜全层				
视盘区	44.81(43.00,45.83)	44.59(43.11,45.88)	3.209	0.002
中央区	48.17±2.59	47.84±2.99	2.534	0.016
颞上区	46.25±1.60	46.18±1.63	2.458	0.019
颞下区	47.33(45.58,48.00)	47.17(45.58,48.00)	1.987	0.009
鼻上区	42.00(38.33,43.92)	42.00(38.33,43.92)	-1.000	1.000
鼻下区	39.67(33.67,41.83)	39.67(33.83,41.83)	-1.289	0.197
表层毛细血管层				
视盘区	45.04±2.08	44.97±2.13	0.421	0.677
中央区	48.25(46.88,50.31)	48.75(46.44,50.81)	-1.733	0.130
颞上区	46.75±1.58	46.64±1.58	1.572	0.124
颞下区	47.50(46.33,48.08)	47.33(46.33,48.33)	0.635	0.469
鼻上区	42.67(39.33,45.00)	42.67(39.33,45.00)	<0.001	1.000
鼻下区	39.96±3.02	40.00±3.01	-0.159	0.875
深层毛细血管层				
视盘区	42.00(40.30,44.33)	41.47(39.34,43.38)	5.073	<0.001
中央区	46.31±3.87	44.13±4.10	8.146	<0.001
颞上区	39.99±3.61	39.87±3.62	0.961	0.343
颞下区	40.67(38.08,43.75)	40.50(38.08,42.92)	1.729	0.138
鼻上区	42.33(40.42,43.67)	42.33(40.33,43.67)	-1.342	1.000
鼻下区	41.33(38.83,43.42)	41.17(38.83,43.42)	<0.001	1.000

注:PPA为视盘旁萎缩弧;VD为血流密度;为便于阅读,所有P>0.999的统计值在表中均表示为1.000。

PPA面积为1.37(1.12,1.85)mm²,等效球镜度绝对值为8.06(6.75,9.16)D。Spearman秩相关分析显示,PPA面积与等效球镜度绝对值呈正相关(r_s=0.337,P=0.039)。

3 讨论

本研究采用前瞻性自身对照设计,基于SS-OCTA技术,系统评估了去除PPA对高度近视视网膜及脉络膜各层微血管VD测量的影响。该设计有效控制了个

体差异,清晰分离了PPA的混杂效应。SS-OCTA的应用实现了从视网膜全层至脉络膜中大血管层的同步定量分析,其分层分区量化策略深化了对PPA影响空间异质性的认识。

本研究主要发现包括:第一,去除PPA后各血管层的VD变化趋势不同,凸显了PPA作用的复杂性及不同血管层的特性差异。第二,在脉络膜中大血管层,去除PPA后VD显著升高,直观反映了PPA作为无信号区的“稀释效应”;而在脉络膜毛细血管层、深层毛细血管层及视网膜全层,去除PPA后VD反而下降,可能与投影伪影校正等因素有关,但具体机制目前尚不明确。第三,本研究证实PPA面积与等效球镜度绝对值呈正相关,与既往研究一致^[7-8]。这些结果共同表明,是否排除PPA区域,会显著改变OCTA中VD的解读,而其对不同血管层的影响需区别对待。

既往研究已明确报道了高度近视眼中PPA的存在与整体或平均视盘周围VD的降低密切相关。例如,Choe等^[9]发现,伴有 β -PPA的年轻近视眼,其视盘周围平均灌注密度与VD均显著低于不伴有 β -PPA者。Sun等^[6]也观察到, β -PPA与放射状乳头周围毛细血管(radial peripapillary capillary, RPC)的VD呈负相关($P < 0.001$), β -PPA面积每增加 1.0 mm^2 ,RPC密度相应降低 1.472% 。其后续的研究也表明, β -PPA面积与表层视网膜神经丛、深层视网膜神经丛及RPC的VD均呈负相关^[5]。此外,针对脉络膜毛细血管层的多项OCTA研究亦提示,高度近视眼中存在该微循环层面的血流受损。例如,Al-Sheikh等^[10]、Wong等^[11]与Mo等^[12]的研究均相继报道,高度近视眼中脉络膜毛细血管VD显著降低。本研究结果与上述宏观发现一致。当将PPA区域纳入计算时,其内部固有的血流信号缺失,必然会导致整个分析区域的平均VD被人为拉低。本研究已直接证实了这种“稀释效应”在脉络膜中大血管层表现得最为明显,去除PPA后该层VD显著升高。这表明,既往部分研究中报告的“VD降低”,可能部分源于PPA的纳入,而非完全反映未萎缩区的真实血流状态。

然而,既往研究主要受早期OCTA技术限制,多聚焦于视网膜层及脉络膜毛细血管层,难以对更深层的脉络膜中大血管层进行稳定、清晰的成像与定量分析。例如,Yang等^[4]研究虽揭示了高度近视眼的视网膜微血管变化,但受当时设备所限未能可靠评估脉络膜中大血管层。因此,以往对PPA影响的分析多停留于整体或视网膜层面,未能系统性揭示其对多层次血管系统的差异化影响。尽管近期SS-OCTA技术显著提升了脉络膜成像

能力,相关研究也利用其证实了高度近视眼中脉络膜相关血流参数的下降^[13],但PPA这一特定结构对不同血管层血流测量的混杂效应仍未得到充分重视和量化。本研究正是对这一空白的关键补充。SS-OCTA技术更深的穿透力可在更长的波段范围对眼底组织进行成像,利用改善脉络膜血管结构的成像质量这一特点对高度近视群体进行分层分析。

脉络膜中大血管层主要由Sattler层和Haller层的中大型血管构成,血流信号极强^[14],受浅层投影伪影的影响微乎其微。PPA区域内这些血管的缺失是结构性的、彻底的。因此,当此区域被纳入计算时,会严重拉低整体区域的平均VD值,造成血流灌注不足的假象。本研究中,去除PPA后该层VD显著升高,强有力地证实了这种“稀释效应”的存在。本研究中,去除PPA后表层毛细血管层VD无显著变化,而脉络膜毛细血管层、深层毛细血管层及视网膜全层VD则出现下降。本研究认为这可能与投影伪影的干扰有关,在保留PPA区域时,来自上方视网膜血管的投影信号可能在一定程度上填充了PPA区域的无信号区域,同时抬高了邻近健康区域的信号基线。当然,其确切机制尚不完全明确,有待未来更大样本的研究结合更精准的投影校正算法进一步阐明。

本研究存在一定局限性,如样本量相对较小,可能对某些亚组或微弱效应的检测能力有所限制;其次,参照眼底照相手动圈选PPA区域可能会存在主观偏差。未来有望通过人工智能辅助分析,进一步提升PPA圈选的客观性与可重复性。

综上所述,在高度近视眼的OCTA评估中,PPA是影响VD测量的重要混杂因素,其影响机制因血管层而异。因此,本研究建议未来该领域能够分层处理PPA,从而更准确地评估高度近视的眼底血流状况,并推动OCTA技术在探索高度近视病理生理机制、评估疾病风险与指导临床干预中发挥其应有的、更精准的价值。

4 参考文献

- [1] Haarman AEG, Enthoven CA, Tideman JW, et al. The complications of myopia: a review and Meta-analysis[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2020, 61(4):49. DOI:10.1167/iov.61.4.49.
- [2] Ohno-Matsui K, Kawasaki R, Jonas JB, et al. International photographic classification and grading system for myopic maculopathy[J]. Am J Ophthalmol, 2015, 5(159):877-883.e7. DOI: 10.1016/j.ajo.2015.01.022.
- [3] Koh V, Tan C, Tan PT, et al. Myopic maculopathy and optic disc changes in highly myopic young Asian eyes and impact

- on visual acuity[J]. *Am J Ophthalmol*, 2016, 164:69–79. DOI: 10.1016/j.ajo.2016.04.028.
- [4] Yang Y, Wang J, Jiang H, et al. Retinal microvasculature alteration in high myopia[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016, 57(14): 6020–6030. DOI:10.1167/iovs.16–19542.
- [5] Sun J, Wang J, Wang Y. Correlation between optic disc deformation and retinal vasculature in non-pathological high myopia [J]. *Exp Ther Med*, 2021, 21(4):380. DOI:10.3892/etm.2021.9811.
- [6] Sun J, Wang J, You R, et al. Is the retinal vasculature related to β -peripapillary atrophy in nonpathological high myopia? An optical coherence tomography angiography study in Chinese adults[J]. *J Ophthalmol*, 2018, 2018:7895238. DOI:10.1155/2018/7895238.
- [7] Liu X, Zhang F, Wang Y, et al. Associations between optic disc characteristics and macular choroidal microvasculature in young patients with high myopia[J]. *Clin Exp Ophthalmol*, 2021, 49(6):560–569. DOI:10.1111/ceo.13948.
- [8] Lei J, Fan Y, Wu Y, et al. Microvascular alterations of peripapillary choriocapillaris in young adult high myopia detected by optical coherence tomography angiography[J]. *J Pers Med*, 2023, 13(2):289. DOI:10.3390/jpm13020289.
- [9] Choe S, Kim YW, Lim HB, et al. Effects of beta-zone peripapillary atrophy and focal lamina cribrosa defects on peripapillary vessel parameters in young myopic eyes[J]. *J Glaucoma*, 2021, 30(8):703–710. DOI:10.1097/IJG.0000000000001890.
- [10] Al-Sheikh M, Phasukkijwatana N, Dolz-Marco R, et al. Quantitative OCT angiography of the retinal microvasculature and the choriocapillaris in myopic eyes[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2017, 58(4):2063–2069. DOI:10.1167/iovs.16–21289.
- [11] Wong CW, Teo YCK, Tsai STA, et al. Characterization of the choroidal vasculature in myopic maculopathy with optical coherence tomographic angiography[J]. *Retina*, 2019, 39(9): 1742–1750. DOI:10.1097/IAE.0000000000002233.
- [12] Mo J, Duan A, Chan S, et al. Vascular flow density in pathological myopia: an optical coherence tomography angiography study[J]. *BMJ Open*, 2017, 7(2):e013571. DOI:10.1136/bmjopen-2016-013571.
- [13] 涂书, 姚昱欧, 曾巧珠, 等. 基于超广角 SS-OCTA 的高度近视患者脉络膜血管改变[J]. *中华实验眼科杂志*, 2024, 42(11):1020–1027. DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20230125-00026.
- [14] Qu Y, Ma J, Di R, et al. Grid-based analysis of three-dimensional choroidal Sattler's and Haller's layer vascularity volume index and its relation to age and axial length in adults by ultra-widefield swept-source optical coherence tomography angiography[J]. *BMC Ophthalmol*, 2024, 24(1):529. DOI:10.1186/s12886-024-03784-0.

(收稿日期:2025-10-27)

(本文编辑:陈丽)

(上接第 2614 页)

- following intentional paraquat ingestion: analysis of 187 cases[J]. *Liver Int*, 2012, 32(9):1400–1406. DOI:10.1111/j.1478-3231.2012.02829.x.
- [16] 樊均明, 张维明, 李克儒, 等. 影响百草枯中毒预后的因素分析[J]. *中华急诊医学杂志*, 2004, 13(2):123–124. DOI:10.3760/j.issn:1671-0282.2004.02.018.
- [17] 孙斌, 韩海霞, 吴立强, 等. 401 例急性百草枯中毒病例流行病学特点分析[J]. *中华危重症医学杂志(电子版)*, 2017, 10(2):109–111. DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-6880.2017.02.008.
- [18] 胡峰, 张贺, 陈洁, 等. 急性百草枯中毒患者急性肾损伤的临床特征[J]. *肾脏病与透析肾移植杂志*, 2012, 21(4):341–345. DOI: 10.3969/j.issn.1006-298X.2012.04.008.
- [19] Capone M, Giannarelli D, Mallardo D, et al. Baseline neutrophil-to-lymphocyte ratio (NLR) and derived NLR could predict overall survival in patients with advanced melanoma treated with nivolumab[J]. *J Immunother Cancer*, 2018, 6(1): 74. DOI:10.1186/s40425-018-0383-1.
- [20] 卞恒娟, 陈虎, 李景荣, 等. 早期中性粒细胞/淋巴细胞比值联合血清二氧化碳浓度对急性百草枯中毒预后的影响分析[J]. *中国急救医学*, 2020, 40(7):601–605. DOI:10.3969/j.issn.1002-1949.2020.07.004.
- [21] Liu Y, Zhang YM, Tang Y, et al. The evolution of plant NLR immune receptors and downstream signal components[J]. *Curr Opin Plant Biol*, 2023, 73:102363. DOI:10.1016/j.pbi.2023.102363.
- [22] 梁欢, 高焱, 刘芸, 等. 中性粒细胞/淋巴细胞比率对急性百草枯中毒患者 30 天死亡风险的预测价值评估[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2018, 36(12):911–914. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2018.12.007.
- [23] Kaur H, Chandran VP, Rashid M, et al. The significance of APACHE II as a predictor of mortality in paraquat poisoning: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Forensic Leg Med*, 2023, 97:102548. DOI:10.1016/j.jflm.2023.102548.
- [24] Kahraman F, Yilmaz AS, Demir M, et al. APACHE II score predicts in-hospital mortality more accurately than inflammatory indices in patients with acute coronary syndrome[J]. *Kardiologia*, 2022, 62(9):54–59. DOI: 10.18087/cardio.2022.9.n1979.
- [25] 陈潇荣, 杜潇瀛, 叶欢乐, 等. 敌草快混合百草枯中毒患者临床特点分析[J]. *中华急诊医学杂志*, 2023, 32(2):203–209. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2023.02.013.

(收稿日期:2025-05-06)

(本文编辑:沈亚芳)