

高速扫频源光学相干断层血流成像不同扫描宽度对糖尿病视网膜病变病灶检测率的影响

韦丁杨^{1,2}, 陈丽^{1,2}, 毛明珠^{1,2}, 黎梦宇^{2,3}, 刘逸^{2,3}, 王祎娅^{1,2}, 郭楚云^{2,3}, 李杰^{2,3}

1. 成都中医药大学眼科学院, 四川 成都 610032 2. 四川省医学科学院·四川省人民医院(电子科技大学附属医院)眼科, 四川 成都 610072;
3. 电子科技大学医学院, 四川 成都 610056

【摘要】 目的 探讨高速扫频源光学相干断层扫描血流成像(SS-OCTA)不同扫描宽度对糖尿病视网膜病变(DR)病灶检测率的影响。方法 纳入2021年10月至2023年10月于四川省人民医院眼科就诊的糖尿病(DM)患者126例213眼,接受包括24 mm×20 mm高速广域SS-OCTA扫描方案在内的全面眼科检查。从24 mm×20 mm的OCTA图像中提取一个中心区域记为“12 mm×12 mm中心区”,其余区域记为“12~24 mm环区”。记录并比较使用不同扫描区域的DR病灶检测率。结果 共纳入126例参与者的213只眼(54只眼糖尿病无DR,53只眼轻度至中度非增殖性糖尿病视网膜病变(NPDR),54只眼重度NPDR,52只眼增殖性糖尿病视网膜病变(PDR))。24 mm×20 mm OCTA图像无灌注区(NP)检测率显著高于12 mm×12 mm中心区($P < 0.05$);12~24 mm环区的缺血指数(ISI)中位数明显高于12 mm×12 mm中心区($P < 0.05$);7眼视网膜新生血管(NV),10眼视网膜内微血管异常(IRMA)病变仅存在于12~24 mm环区。结论 高速广域SS-OCTA单次扫描可捕获24 mm×20 mm视网膜血管图像,更宽的扫描范围可以提高视网膜缺血程度检测的准确性和NV、IRMA的检测率。

【关键词】 糖尿病视网膜病变;微动脉瘤;视网膜内微血管异常;视网膜新生血管;扫频源光学相干断层扫描血流成像术;毛细血管无灌注区

【中图分类号】 R856.77

【文献标志码】 A

【文章编号】 1672-6170(2024)06-0124-05

The influence of different scanning widths on the detection rate of lesions in diabetic retinopathy using high-speed swept-source optical coherence tomography angiography WEI Ding-yang^{1,2}, CHEN Li^{1,2}, MAO Ming-zhu^{1,2}, LI Meng-yu^{2,3}, LIU Yi^{2,3}, WANG Yi-ya^{1,2}, GUO Chu-yun^{2,3}, LI Jie^{2,3} 1. Eye School of Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610032, China; 2. Department of Ophthalmology, Sichuan Academy of Medical Sciences · Sichuan Provincial People's Hospital (Affiliated Hospital of University of Electronic Science and Technology of China), Chengdu 610072, China; 3. School of Medicine, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610056, China

【Corresponding author】 LI Jie

【Abstract】 **Objective** To investigate the effect of different scanning widths in high-speed swept-source optical coherence tomography angiography (SS-OCTA) on the detection rate of lesions in diabetic retinopathy (DR). **Methods** A total of 126 patients (213 eyes) with diabetes mellitus (DM) were enrolled at the department of ophthalmology, Sichuan Provincial People's Hospital from October 2021 to October 2023. The patients underwent comprehensive ophthalmological examination including a 24 mm × 20 mm high-speed ultra-widefield SS-OCTA scan. A central region was extracted from the OCTA image of 24 mm × 20 mm and named as "12 mm × 12 mm central area", and the other regions were named as "12~24 mm annulus". The detection rates of DR lesions in different scanning areas were recorded and compared. **Results** In the 213 eyes, there were 54 eyes without DR, 53 with mild to moderate non-proliferative diabetic retinopathy (NPDR), 54 with severe NPDR, and 52 with proliferative diabetic retinopathy (PDR). The detection rate of non-perfusion areas (NP) in the 24 mm × 20 mm OCTA image was significantly higher than that in the 12 mm × 12 mm central area ($P < 0.05$). The median of ischemic index (ISI) of the mm-annulus was significantly higher than that of the 12 mm × 12 mm central area ($P < 0.05$). Retinal neovascularization (NV) of 7 eyes, and intraretinal microvascular abnormalities (IRMA) of 10 eyes were only found in the area of 12~24 mm-annulus. **Conclusions** High-speed ultra-widefield SS-OCTA single scan can capture 24 mm × 20 mm retinal vascular images. The wider scanning range can improve the accuracy of detecting the degree of retinal ischemia and the detection rate of NV and IRMA.

【Key words】 Diabetic retinopathy; Microaneurysms; Intraretinal microvascular abnormalities; Retinal neovascularization; Swept-source optical coherence tomography angiography; Capillary non-perfusion areas

糖尿病视网膜病变(diabetic retinopathy, DR)是糖尿病(diabetes mellitus, DM)最常见的微血管并发症之一,也是全球工作年龄人口视力下降的主要原

因之一^[1]。在过去的十年里,已经开发了几种用于筛查和诊断DR的新成像技术。其中扫频源光学相干断层血流成像(swept-source optical coherence tomography angiography, SS-OCTA)作为一种非侵入性的眼底检查方法,可以检测DR中的各种血管病变^[2]。目前大多数的商用SS-OCTA设备单次扫描只能获得12 mm×12 mm或更小的扫描区域。由于

【基金项目】 四川省卫生健康委员会医学科技项目(编号:21PJ077),人类疾病基因研究四川省重点实验室2021年度开放课题(编号:2021kfls002)。

【通讯作者】 李杰

观察范围的限制,可能无法捕捉到扫描区域以外的重要病变信息。最近开发的图湃高速广域 SS-OCTA 系统单次扫描可捕获获得 24 mm×20 mm 的视网膜血流图像^[3,4]。在本研究中,我们继续使用此系统获取 24 mm×20 mm 视网膜血流图像,并将其对 DR 病变的检测率与较窄范围的 12 mm×12 mm 视网膜血流图像进行比较。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2021 年 10 月至 2023 年 10 月于四川省人民医院眼科门诊就诊的 DR 或 DM 患者 126 例 213 眼。纳入标准:患有糖尿病,诊断为 DR 或无 DR。排除标准:①因视力极差或无法固视,屈光介质严重混浊等无法配合的患者;②其他眼病引起的玻璃体视网膜疾病;③除高血压、血脂异常、肾功能异常外的其他并发症;④白内障以外的眼内手术;⑤较差的图像,包括系统内置自动质量评分低于 6/10 的图像;⑥严重的运动伪影妨碍准确分析的图像,以及模糊的图像;⑦屈光介质的混浊影响超过 30% 的 OCTA 图像。其中 2 型糖尿病 125 例,1 型糖尿病 1 例;眼别比(右/左)为 108 : 105,男女比 68 : 58,年龄(56.25±10.41)岁;糖尿病病程(9.27±6.85)年;有 DM 但无 DR 54 例,轻中度非增殖型糖尿病视网膜病变(non-proliferative diabetic retinopathy, NPDR)53 例,重度 NPDR 54 例,增殖型糖尿病视网膜病变(proliferative diabetic retinopathy, PDR)52 例;患有 DME 共计 75 眼。本研究获得四川省人民医院伦理委员会批准。检查前征得患者的知情同意。所有程序均按照《赫尔辛基宣言》的准则进行。

1.2 检查方法 所有患者都进行了全面的眼科检查,包括最佳矫正视力、眼压、电脑验光、眼底摄影、眼轴生物测定和高速广域 SS-OCTA。使用 Optos 超宽视野激光扫描(Optos PLC; Scotland, United Kingdom)获取视网膜图像。根据国际临床糖尿病视网膜病变严重程度量表^[5]对所有受试者根据病变特点^[6],将 DR 分为不伴有 DR 的 DM、轻度至中度 NPDR、重度 NPDR 和 PDR。使用图湃 SS-OCTA 系统[北溟鲲,图湃(北京)医疗科技有限公司]获取受试者视网膜血流数据。该仪器扫描速度为每秒 40 万次,波长为 1060 nm,横向分辨率为 10 μm,深度分辨率(光学)为 3.8 μm,最大眼底成像面积 24 mm×20 mm[约 120° 视场(field of view, FOV)]。仪器指示受试者观察内部标记光,获得以黄斑为中心的 24 mm×20 mm 的 SS-OCTA 图像。图像质量由内置软件按 1~10 分自动评分。如果图像质量较差(<6/10),则重复此过程以获得新的图像;选择质量较好的图像进行分析。对每位受试者均采用 24 mm×

20 mm 扫描模式进行扫描并获取 SS-OCTA 图像,同时对 46 例患者 92 只眼采用 12 mm×12 mm 扫描模式进行扫描。

1.3 图像分析 所有图像由两名经验丰富的眼科医生进行解读,若有分歧则由一位独立的资深视网膜专家解读。所有病变都是在高速广域 SS-OCTA 图像上根据其特征识别^[2]。在 SS-OCTA 图像中,微动脉瘤(microaneurysms, MA)被定义为中等或高反射点,具有多种形态,包括梭状、囊状、弯曲状,和很少的螺旋状^[7]。在邻近毛细血管无灌注区(capillary non-perfusion areas, NP)的视网膜上,视网膜内微血管异常(intraretinal microvascular abnormalities, IRMA)表现为迂曲、扩张、环状的异常微血管。视网膜新生血管(retinal neovascularization, NV)为经分割误差校正后,在玻璃体视网膜交界上观察到突破视网膜内界膜外的血管。NP 的定义是没有毛细血管床末端小动脉和近端小静脉或更大的血管之间的区域,但小于 0.2 mm² 的潜在 NP 没有被划定^[8]。硬性渗出物(hard exudates, HE)为在 B 扫描上显示为明亮的高反射病灶。每幅 24 mm×20 mm OCTA 图像用内置软件以黄斑为中心标记一个 12 mm×12 mm 的正方形,并将其划分为 12 mm×12 mm 中心区和 12~24 mm 环区域,见图 1。每个区域标记 MA、IRMA、NV、NP、HE 和糖尿病性黄斑水肿(diabetic macular edema, DME)的存在或不存在,见图 2。NP 的面积(mm²)也被记录下来。用 NP 面积除以相应视网膜面积计算出缺血指数(ischemic index, ISI)^[9]。为了评估 12 mm×12 mm 中心区(24 mm×20 mm 扫描图像中截取获得)的准确性,本研究选择了 92 眼同时进行了 12 mm×12 mm 和 24 mm×20 mm 两种宽度模式的扫描。将 12 mm×12 mm 中心区与单次 12 mm×12 mm 扫描的 OCTA 图像进行了对比。

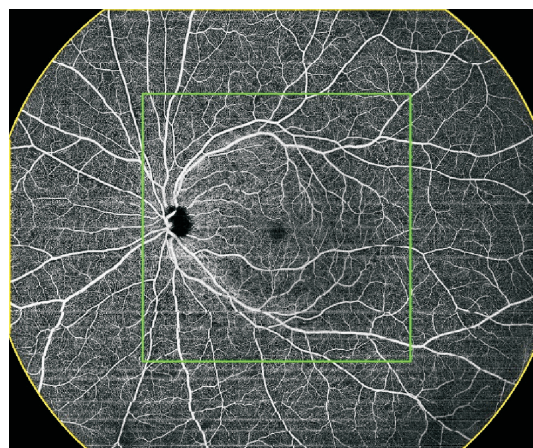


图 1 SS-OCTA 不同扫描区域展示 绿色方框内为 12 mm×12 mm 扫描宽度,黄色区域内为 24 mm×20 mm 扫描宽度。

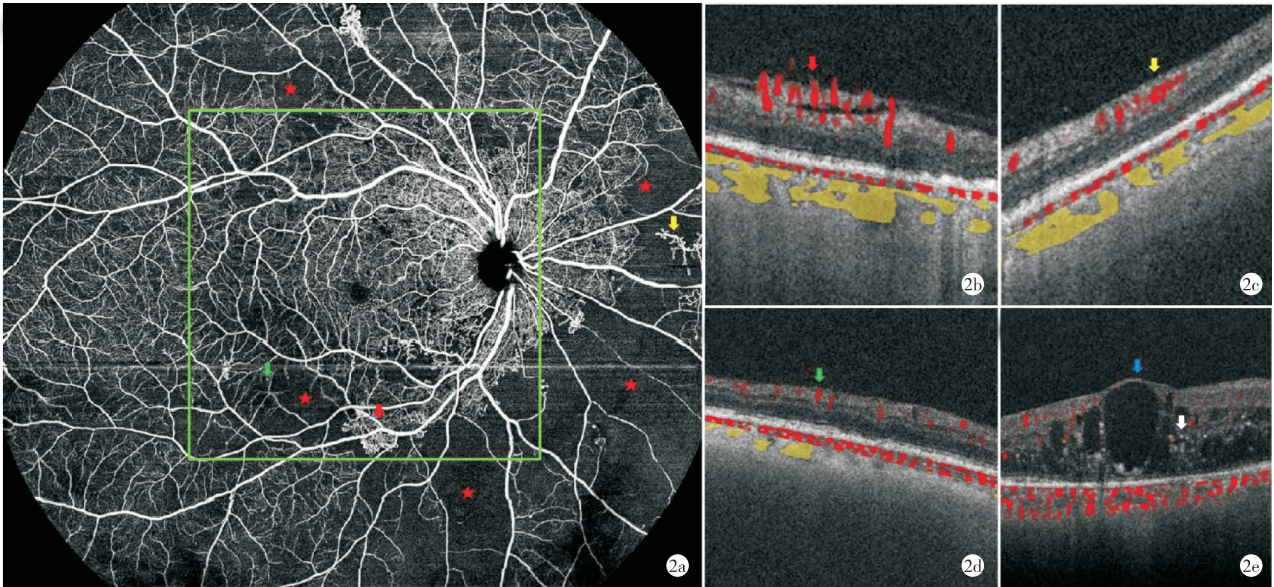


图2 糖尿病视网膜病变(DR)患者病灶展示 a:为一具有代表性的PDR患眼24 mm×20 mm OCTA扫描图像,其中红色箭头标记为NV和相应的B扫描结构(b);黄色箭头标记为IRMA和相应的B扫描结构(c);IRMA被定义为视网膜层内形成的异常血管,而视网膜NV突破了内界膜,可见血管突破内界膜生长;绿色箭头标记为MA和相应的B扫描结构(d);红色星号代表NP;可见大多数NP位于12~24 mm环区。e:B扫描上HE(白色箭头)及糖尿病性黄斑水肿(蓝色箭头)病灶。NV:视网膜新生血管;IRMA:视网膜内微血管异常;NP:毛细血管无灌注区;PDR:增殖性糖尿病视网膜病变;HE:硬性渗出物;DME:糖尿病黄斑水肿。

1.4 统计学方法 应用SPSS 27.0.1统计学软件进行数据分析。检测率为发现眼数除以检查眼总数,正态分布的计量资料以均数±标准差表示,比较采用 t 检验;非正态计量资料以中位数(Q1, Q3)表示,比较采用非参数检验进行分析;计数资料的比较采用卡方检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 24 mm×20 mm 高速广域SS-OCTA 图像不同扫描区域DR 病灶的检测率比较 12 mm×12 mm 中心区MA、IRMA和NV的检测率分别为66.20%、43.19%和21.13%,24 mm×20 mm OCTA 图像的检测率分别为72.77%、48.84%和24.41%,三种病变检测率比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。但有7眼NV仅在12~24 mm 环区域内,见图3。10眼IRMA仅在12~24 mm 环区域内。24 mm×20 mm OCTA 图像的NP检测率高于12 mm×12 mm 中心图像,差异有统计学意义($\chi^2 = 5.511, P < 0.05$)。两种扫描方案对HE和DME的检测率相同($P = 1.00$)。见表1。

表1 不同扫描范围对DR 病变的检测率比较 [出现病灶眼数/总眼数(%)]

病变类型	12 mm×12 mm 中心区	24 mm×20 mm	P
MA	141/213(66.20)	155/213(72.77)	0.141
IRMA	92/213(43.19)	104/213(48.84)	0.243
NV	45/213(21.13)	52/213(24.41)	0.419
NP	109/213(51.17)	133/213(62.44)	0.019
HE	129/213(60.56)	129/213(60.56)	1.000
DME	75/213(35.21)	75/213(35.21)	1.000

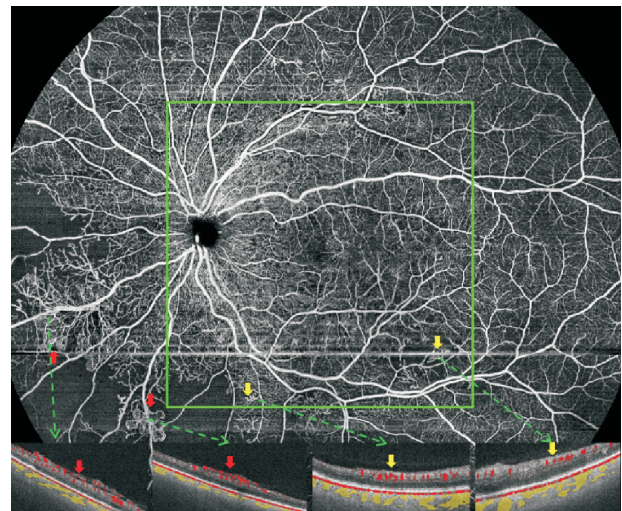


图3 PDR的代表性OCTA图像。12~24 mm 环区域内NV展示在24 mm×20 mm OCTA 图像中,红色箭头标记为NV,并提供相应的B扫描图像;黄色箭头标记为IRMA,并提供相应的B扫描图像。在这只眼中,NV仅存在于12 mm×12 mm 中心区域(绿色轮廓)之外,24 mm×20 mm 扫描模式可以准确检测到NV。NV:视网膜新生血管;IRMA:视网膜内微血管异常;PDR:增殖性糖尿病视网膜病变。

2.2 无灌注区和缺血指数在不同视网膜区域的分布 12~24 mm-环区NP平均面积高于12 mm×12 mm 中心区($P < 0.05$),12~24 mm-环区平均ISI同样高于12 mm×12 mm 中心区,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表2。

表 2 无灌注区和缺血指数在不同视网膜成像区域分布比较

指标	12 mm×12 mm 中心区	12~24 mm-环区	U	P
NP 面积(mm ²)	2.68(0.42,8.87)	20.51(5.89,55.81)	-8.923	0.000
ISI(%)	1.86(0.29,6.06)	6.76(1.99,18.12)	-9.001	0.000

2.3 单次 12 mm×12 mm 扫描模式与 24 mm×20 mm 扫描模式对同一区域的检测效能比较 两种不同扫描模式对同一病变的检测能力相当。见图 4。MA、IRMA、NV、NP、HE 和 DME 等病变检测率比较差异无统计学意义($P>0.05$)。见表 3。

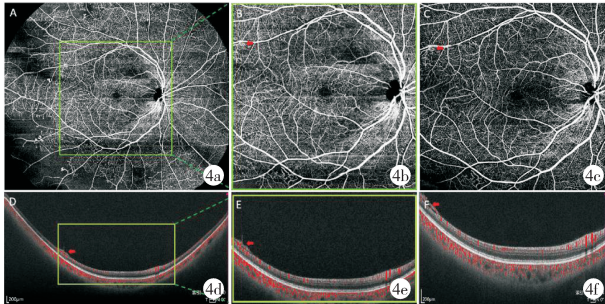


图 4 单次 12 mm×12 mm 扫描模式与 24 mm×20 mm 扫描模式对同一区域的检测效能对比 a:24 mm×20 mm 扫描模式。b:从 A 中的绿色轮廓区域提取 12 mm×12 mm 图像。c:使用 12 mm×12 mm 扫描模式获得的图像。d~f:分别为 a、b、c 中同一病变的 B 扫描图像,24 mm×20 mm 和 12 mm×12 mm 扫描模式均显示新生血管突破内界膜生长(红色箭头)。

表 3 单次 12 mm×12 mm 成像范围与 24 mm×20 mm 中截取 12 mm×12 mm 成像范围的病变检测率比较 [n(%)]

病变类型	单次 12 mm×12 mm	24 mm×20 mm 中截取 12 mm×12 mm	P
MA	68/92(73.91)	71/92(77.17)	0.606
IRMA	49/92(53.26)	49/92(53.26)	1.000
NV	21/92(22.83)	21/92(22.83)	1.000
NP	59/92(65.13)	59/92(65.13)	1.000
HE	59/92(65.13)	59/92(65.13)	1.000
DME	42/92(45.65)	42/92(45.65)	1.000

3 讨论

本研究比较了 24 mm×20 mm(FOV 120°)和 12 mm×12 mm(FOV 50°)视网膜成像范围的 SS-OCTA 图像中 DR 病变的检测率和分布。随着 FOV 的增加,广域 SS-OCTA 能检测到更多的 IRMA 和 NV,视网膜中周区的缺血较后极部严重。此外,相对于 12 mm×12 mm 的扫描模式,24 mm×20 mm 的扫描模式没有丢失 DR 患者后极部病变的细节。

近十年来,SS-OCTA 逐渐被用于 DR 血管病变的检测和研究,以往的研究采用扫描面积为 12 mm×12 mm(FOV 50°)范围的 SS-OCTA^[10],使用拼图技术可以获得更高的 FOV(90°)。然而,拼图技术也有一定的局限性,如对齐不佳、运动伪影和较长的

处理时间等。在本研究中,使用了新开发和商业化的高速广域 SS-OCTA 系统。其最大扫描范围 24 mm×20 mm(444.6 mm²)比既往 12 mm×12 mm 扫描范围(144mm²)多提供了 208.7%的扫描面积,并有助于扩大视网膜视野(约 120°FOV)。根据国际广域成像研究组的建议,本研究的 OCTA 系统视场可归类为超广域(约 110°~220°,壶腹涡静脉前缘,至平面部以上)^[11]。

本研究评估了获取的 OCTA 图像上包括 MA、IRMA、NV、NP、HE 和 DME 在内的 DR 病变的有或无。本研究结果显示较大的扫描区域并没有增加 MA、IRMA 和 NV 的检测率。然而,作为视网膜缺血指标的 NP 的检测率随着扫描区域的扩张而增加。本研究量化了 NP 的面积,并对不同扫描区域的 NP 面积占该扫描区域面积的比值进行了测算,即 ISI。12~24 mm-环区的 ISI 显著高于 12 mm×12 mm 中心区域。这些结果表明,在 24 mm×20 mm 区域内,外周区域比后极部缺血更严重。两个区域的 ISI 结果呈现偏态分布,这可能是由于 PDR 组的数据变异程度较大的原因,例如 PDR 组 NP 面积最小值仅为 5.23 mm²,而最大值达 318.43 mm²。Wang 等使用 5 张 12 mm×12 mm OCTA 图像组成的 OCTA 拼图进行分析,报道 DR 中 50°~100°视场区域毛细血管无灌注在视网膜中比中心区更明显^[12]。本研究结果与既往文献相似。然而,作者意识到他们的研究的几个局限性:12 mm×12 mm 扫描只能提供 24 mm 的横向分辨率;自动拼图扫描需要耗费时间及人工进行校正;图像失真可能影响了外周毛细血管无灌注的测量^[12]。而在此次研究中中单次扫描即可提供 24 mm×20 mm 范围(FOV120°)的视网膜血流图像,使我们能够更准确地观察毛细血管无灌注区域,并且更宽的 SS-OCTA 图像显示缺血区域更全面、直观。理论上,这些无创的广域 SS-OCTA 图像可以在临床实践中快速和重复地从患者眼中获得,使得我们可以便利的对 DR 患者视网膜毛细血管缺血状态的变化进行随访。

除 NP 外,IRMA 和 NV 是 DR 管理的重要考虑因素。区分视网膜上的 IRMA 和 NV 对于确定疾病的严重程度和预后以及做出治疗决定非常重要。SS-OCTA 可以显示正面和横断面分析,Lee 等认为 B 扫描有助于区分 IRMA 和 NV^[13]。与他们使用的方法相似,我们通过分析 B 扫描来区分 IRMA 和

NV。在本研究中,尽管 12 mm×12 mm 中心区域和 24 mm×20 mm 区域的视网膜血流图像对 IRMA 和 NV 的检测率之间无统计学差异。但的确发现 24 mm×20 mm 区域内的 IRMA 和 NV 的检测率高于 12 mm×12 mm 中心区域。在我们纳入的 54 眼 NPDR 及 52 眼 PDR 中,有 7 眼 NV 及 10 眼 IRMA 仅在 12 ~ 24 mm 环区域内。即随着可检测的 NV 区域增多,7 眼最初根据 12 mm×12 mm 成像范围诊断为重度 NPDR 的眼睛被诊断为 PDR。与 12 mm×12 mm 中心区域相比,24 mm×20 mm 区域 17 只眼由于 FOV 增大而出现更严重的病变。增加 SS-OCTA 扫描范围可以更准确地判断 DR 进展情况,帮助临床医生及时干预和指导临床诊断以及治疗。当然,需要更大样本量的前瞻性研究来验证这一假设。

此外由于这是一种新开发的 SS-OCTA 设备,我们还对比了 24 mm×20 mm 扫描模式中的 12 mm×12 mm 区域和单次 12 mm×12 mm 扫描模式对病变检测率的差异。我们对 46 名患者的 92 眼睛同时进行了这两种模式扫描。并将 24 mm×20 mm 扫描模式中提取的 12 mm×12 mm 图像与单次 12 mm×12 mm 扫描方式提取的图像进行对比。发现所有病灶的检测率之间无统计学差异,即 24 mm×20 mm 扫描模式在 DR 病灶检测过程中没有丢失 12 mm×12 mm 中心区域内的信息。并且,它在中周视网膜提供了更多的信息。然而,12 mm×12 mm 扫描模式的优点是扫描时间相对较短。

本研究还有其他几个局限性。这是一项涉及相对较小样本的单中心研究。与之前报道的 SS-OCTA 类似,我们所使用的图湃高速广域 SS-OCTA 也受到屈光介质浑浊度和伪影的影响。对于睫毛较长、较密、睑裂较小、泪膜功能较差的患者来说,24 mm×20 mm 的扫描模式可能会产生一些光遮挡或伪影,从而影响 DR 病变的观察。此外,患有黄斑疾病和 DME 患者固视功能差,可能导致更多的阴影和运动伪影,并影响图像质量。这些问题需要在未来的研究中加以考虑。

综上,本研究中使用的高速广域 SS-OCTA 可以在一次扫描中获得 24 mm×20 mm 的 OCTA 视网膜图像,能够更准确地反应视网膜缺血程度,24 mm×20 mm 扫描区域比 12 mm×12 mm 扫描区域能够检测出更多的 NV 和 IRMA 病变。

【参考文献】

[1] Sivaprasad S, Gupta B, Crosby-Nwaobi R, et al. Prevalence Of Diabetic Retinopathy In Various Ethnic Groups: a Worldwide Perspec-

- tive [J]. *Survey Of Ophthalmology*, 2012, 57(4): 347-370.
- [2] Cui Y, Zhu Y, Wang JC, et al. Comparison Of Widefield Swept-Source Optical Coherence Tomography Angiography With Ultra-Widefield Colour Fundus Photography And Fluorescein Angiography For Detection Of Lesions In Diabetic Retinopathy [J]. *British Journal Of Ophthalmology*, 2021, 105(4): 577-581.
- [3] Li J, Wei D, Mao M, et al. Ultra-Widefield Color Fundus Photography Combined With High-Speed Ultra-Widefield Swept-Source Optical Coherence Tomography Angiography For Non-Invasive Detection Of Lesions In Diabetic Retinopathy [J]. *Frontiers In Public Health*, 2022, 10: 1047608.
- [4] Li M, Mao M, Wei D, et al. Different Scan Areas Affect The Detection Rates Of Diabetic Retinopathy Lesions By High-Speed Ultra-Widefield Swept-Source Optical Coherence Tomography Angiography [J]. *Frontiers In Endocrinology*, 2023, 14: 1111360.
- [5] Wilkinson CP, Ferris FL, Klein RE, et al. Proposed International Clinical Diabetic Retinopathy And Diabetic Macular Edema Disease Severity Scales [J]. *Ophthalmology*, 2003, 110(9): 1677-1682.
- [6] Silva PS, Cavallerano JD, Sun JK, et al. Nonmydriatic Ultrawide Field Retinal Imaging Compared With Dilated Standard 7-Field 35-Mm Photography And Retinal Specialist Examination For Evaluation Of Diabetic Retinopathy [J]. *American Journal Of Ophthalmology*, 2012, 154(3): 549-59. e2.
- [7] Schreur V, Domanian A, Liefers B, et al. Morphological And Topographical Appearance Of Microaneurysms On Optical Coherence Tomography Angiography [J]. *British Journal Of Ophthalmology*, 2019, 103(5): 630-635.
- [8] Wang K, Ghasemi Falavarjani K, Nittala M, et al. Ultra-Wide-Field Fluorescein Angiography-Guided Normalization Of Ischemic Index Calculation In Eyes With Retinal Vein Occlusion [J]. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2018, 59(8): 3278-3285.
- [9] Fan W, Nittala M, Velaga S, et al. Distribution Of Nonperfusion And Neovascularization On Ultrawide-Field Fluorescein Angiography In Proliferative Diabetic Retinopathy (Recovery Study): Report 1 [J]. *American Journal Of Ophthalmology*, 2019, 206: 154-160.
- [10] Schaal K, Munk M, Wyssmueller I, et al. Vascular Abnormalities In Diabetic Retinopathy Assessed With Swept-Source Optical Coherence Tomography Angiography Widefield Imaging [J]. *Retina (Philadelphia, Pa)*, 2019, 39(1): 79-87.
- [11] Choudhry N, Duker JS, Freund KB, et al. Classification And Guidelines For Widefield Imaging [J]. *Ophthalmology Retina*, 2019, 3(10): 843-849.
- [12] Wang F, Saraf S, Zhang Q, et al. Ultra-Widefield Protocol Enhances Automated Classification Of Diabetic Retinopathy Severity With Oct Angiography [J]. *Ophthalmology Retina*, 2020, 4(4): 415-424.
- [13] Lee CS, Lee AY, Sim DA, et al. Reevaluating The Definition Of Intraretinal Microvascular Abnormalities And Neovascularization Elsewhere In Diabetic Retinopathy Using Optical Coherence Tomography And Fluorescein Angiography [J]. *American Journal of Ophthalmology*, 2015, 159(1): 101.

(收稿日期:2023-12-07;修回日期:2024-02-10)

(本文编辑:林 贇)