

doi: 10.3978/j.issn.1000-4432.2020.12.06

View this article at: <http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.1000-4432.2020.12.06>

光相干断层扫描血管成像技术在原发性开角型青光眼合并高度近视诊断中的价值

刘莹, 宋武莲 综述 原慧萍 审校

(哈尔滨医科大学附属第二医院眼科, 哈尔滨 150086)

[摘要] 高度近视视盘及盘周的改变为原发性开角型青光眼(primary open-angle glaucoma, POAG)合并高度近视患者的早期诊断及病情进展分析带来困难。光相干断层扫描血管成像技术(optical coherence tomography angiography, OCTA)作为一种非侵入性眼底影像检查技术,可以量化视网膜、脉络膜各部分血流密度,具有无创、快速和可随访等特点。OCTA可以通过评估脉络膜、视网膜各部位异常血流状态,并与视网膜神经纤维层厚度、视野等改变相结合,从而为POAG合并高度近视的早期诊断、病情进展分析和治疗效果评估提供依据。本文对POAG、高度近视以及POAG合并高度近视患者的OCTA眼底血流改变和特点进行综述,以对POAG合并高度近视临床诊断提供比较可靠的参考指标。

[关键词] 原发性开角型青光眼; 高度近视; 光相干断层扫描血管成像; 血管密度; 视网膜神经纤维层; 视野

Diagnostic value of optical coherence tomography angiography in the study of primary open-angle glaucoma combined with high myopia

LIU Ying, SONG Wulian, YUAN Huiping

(Department of Ophthalmology, Second Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin 150086, China)

Abstract Early diagnosis and progression analysis of patients with high myopic disc and periapical changes in primary open-angle glaucoma (POAG) complicated with high myopic glaucoma are difficult. Optical coherence tomography (OCTA) is a non-invasive fundus imaging technique that quantifies the blood flow density of each part of the retina and choroid, with the characteristics of non-invasive, rapid and can be followed up. OCTA can be used to evaluate abnormal blood flow in various parts of the choroid and retina, and combined with changes in retinal nerve fiber layer thickness and visual field, so as to provide evidence for early diagnosis, disease progression

收稿日期 (Date of reception): 2020-09-15

通信作者 (Corresponding author): 原慧萍, Email: yuanhp2013@126.com

analysis and treatment effect evaluation of high myopia with POAG. In this paper, the changes and characteristics of OCTA fundus blood flow in patients with POAG, high myopia and POAG combined with high myopia were reviewed, so as to provide a reliable reference index for the clinical diagnosis of POAG combined with high myopia.

Keywords primary open-angle glaucoma; high myopia; optical coherence tomography angiography; vessel density; retinal nerve fiber layer; visual field

原发性开角型青光眼(primary open-angle glaucoma, POAG)作为全球主要不可逆性致盲眼病之一,其病程进展较缓慢且多数没有明显症状,不易早期发现,具有很大的危险性^[1]。因此,POAG的早期诊断,对预防疾病的进展以及保护患者的视功能极为重要。POAG的特征性改变是视网膜神经节细胞及其轴突丢失引起的结构变化,继而导致的视野(visual field, VF)缺损等^[2]。流行病学调查分析结果^[3]显示:近视、眼压、年龄等为POAG的主要危险因素。研究^[4-5]表明:患有近视的个体发生POAG的风险几乎是健康人的2倍,近视人群患POAG的风险性也多随近视度数的增加而增加。POAG在高度近视人群中发病年龄更早,VF缺损进展速度更快^[6]。由于高度近视与POAG常同时存在,高度近视又通常会出现视盘变形、倾斜、视网膜血管密度减少、视网膜新生血管、视网膜脉络膜变薄、脉络膜萎缩弧以及VF缺损等改变^[7-8],这些改变与POAG的结构和功能改变容易混淆,为POAG合并高度近视患者的临床诊断带来难度。因此,如何早期发现和鉴别高度近视患者发生POAG相关的眼底改变,对维持和提高POAG合并高度近视患者的生活质量极为重要。

光相断层扫描血管成像技术(optical coherence tomography angiography, OCTA)作为一种非侵入性眼底影像检查技术,通过检测运动的红细胞,得到血管密度,使视网膜和脉络膜微血管可视化,有助于理解视网膜脉络膜微血管系统在眼部疾病中的作用^[9-11]。OCTA可用于测量视盘及周围血管密度、黄斑区血管密度以及脉络膜周围毛细血管密度^[11-13]。POAG和高度近视均会随着病情的进展而产生视网膜和脉络膜的结构改变,影响组织血管密度。因此通过OCTA观察POAG和高度近视患者的视网膜脉络膜血管密度改变的特点,对于判断这两类患者及POAG合并高度近视患者的病情变化具有极为重要的意义。

1 OCTA 在 POAG 诊断中的应用

1.1 POAG 眼底血流改变与结构参数变化的关系

OCTA因其各项特点可能为青光眼进展风险的评估和疾病变化的预测提供重要信息。2017年,Manalastas等^[14]用OCTA测量了视盘及黄斑区血管密度(vessel density, VD)以评价其可重复性。研究表明,健康人视盘和黄斑区VD测量值的变异系数范围分别为1.8%~3.2%和2.5%~9.0%。青光眼视盘和黄斑区VD测量值的变异系数范围分别为2.3%~4.1%和3.2%~7.9%。POAG患者平均总体和各象限视盘和黄斑VD测量值均小于健康人($P<0.05$)。由此可见,POAG患者的视盘和黄斑区VD以及测量值的可重复性均较健康人低。

Chen等^[15]用OCTA定量评估POAG患者视盘及黄斑区浅层微血管情况,并应用受试者工作特征曲线下面积(area under the receiver operating characteristic curves, AUC)分析了视盘和黄斑区VD、视盘周围神经纤维层(circumpapillary retinal nerve fiber layer, cpRNFL)厚度、神经节细胞复合体(ganglion cell complex, GCC)厚度。发现青光眼患者视盘和黄斑区整体血管密度(whole-image vessel density, wiVD)均低于健康人;POAG患者的视盘周围血管密度(circumpapillary vessel density, cpVD)较健康人低($53.3\pm 7.0\%$ vs $61.5\pm 3.2\%$, $P<0.001$)。AUC数据则显示为cpRNFL (0.95)和GCC (0.95)最高,其次分别为黄斑wiVD (0.94),视盘周围wiVD (0.93)和cpVD (0.89)。与标准视野检查(standard automated perimetry, SAP)严重程度的相关性分析表明POAG的视盘及周围血管VD、视网膜神经纤维层(retinal nerve fiber layer, RNFL)厚度、与GCC厚度均低于健康人且与SAP严重程度显著相关^[15]。虽然在调整神经节细胞以及内丛状层的厚度后,黄斑VD也可以预测RNFL的变化,但对于POAG的诊断能力而言,视盘VD

更优于黄斑VD^[15]。且Rao等^[16]也证实了视盘VD更优于黄斑VD。Andrade De Jesus等^[17]和Hou等^[18]也表明POAG患者的视盘和黄斑区VD低于健康人。且OCTA显示出的血管参数变化可能有助于青光眼进展程度的分期^[17]。

那么黄斑及视盘周围VD与RNFL变薄的进展度间的关系是怎样的呢? 2018年, Moghimi等^[19]对轻中度POAG患者进行了为期2年的随访研究, 他们通过测量基线时视盘血管密度(optic nerve head-wiVD, onh-wiVD)和黄斑血管密度(macular-wiVD, m-wiVD)以及RNFL、最小盘沿宽度、神经节细胞加内丛状层(ganglion cell-inner plexiform layer, GCIPL)厚度, 通过单变量分析(即仅涉及预测因素、时间及相互作用), m-wiVD和onh-wiVD每降低1%, 相对应的RNFL变薄速率分别为0.11 mm/年($P<0.001$)和0.06 mm/年($P=0.031$); 通过多变量分析, m-wiVD和onh-wiVD降低与RNFL变薄的速率之间也发现了相关性。本研究表明了黄斑和视盘VD较低眼的RNFL变薄速率更快。并提示视盘和黄斑VD值可能为评估和预测青光眼的进展的风险和速率提供重要信息。

NTG作为POAG的一种类型, 其临床表现较隐匿, 不易诊断。OCTA检测血流变化对早期诊断NTG成为了新的研究热点。黄斑中心凹旁暗点的出现通常被认为是青光眼患者血液循环受损的证据。2018年Jeon等^[20]评估了伴有黄斑中心凹旁暗点的NTG患者的黄斑区VD以及各层厚度。研究结果表明神经纤维层(nerve fiber layer, NFL), 神经节细胞层(ganglion cell layer, GCL)和内丛状层(inner plexiform layer, IPL)中的浅层VD与这几层的厚度值呈显著相关, 内核层(inner nuclear layer, INL)中的深层VD与任何结构参数均无相关性。但是, 深层VD与VF参数MD (SITA 10-2)却显著相关。他们通过多元回归分析发现: 影响中心视功能的重要因素也是深层VD, 视功能较差组的深层VD明显低于视功能较好组。因此, 深层的黄斑VD可能是影响中心VF缺损的独立因素。通过应用OCTA测量黄斑区视网膜厚度及深层VD可能作为预测NTG患者视功能恶化的指标。

从以上文献研究可以看出, OCTA检测视盘及黄斑血流参数对早期诊断及评估青光眼损害有着重要的意义。但青光眼性结构和血流的变化, 孰先孰后仍需要进一步的研究证实。

1.2 POAG 眼底血流改变与功能参数变化的关系

视野改变是诊断POAG的主要指标, 多项研究结果表明OCTA参数与视野平均缺损(mean deviation, MD)之间显著相关^[21-22]。Yarmohammadi等^[23-24]为研究视网膜VD与VF缺损之间的关系, 分别于2016年和2017年做了两项相关研究。2016年, 他们对健康人、可疑青光眼以及青光眼患者的RNFL以及其相对应的cpVD和wiVD进行了测量评估, 并得出健康人比青光眼患者RNFL内微血管密度高的结果^[23]。wiVD和cpVD由高至低分别是健康人、可疑青光眼、轻度青光眼、中至重度青光眼。SAP MD与cpVD和wiVD之间的关联性强于SAP MD与RNFL和盘沿之间的关联性。

2017年, Yarmohammadi等^[24]检测了患有半侧视野缺损的POAG患者和健康人的黄斑中心凹旁血管密度(Perifoveal vessel density, pfVD)和cpVD, cpRNFL和黄斑神经节细胞复合物(Macular ganglion cell complex, mGCC)的厚度以及MD。发现, 无视野缺损的青光眼平均cpVD和pfVD高于半侧视野缺损青光眼的平均cpVD和pfVD, 但低于健康人的平均cpVD和pfVD。cpRNFL和mGCC厚度测量结果与测得的平均cpVD和pfVD的结果相似($P<0.05$)。与半侧视野缺损平均敏感度(mean sensitivity, MS)关联性最强的是cpVD, 其次分别为pfVD, cpRNFL和mGCC。此外, 半侧视野缺损MS与cpVD和pfVD之间的相关性高于MS与cpRNFL和mGCC厚度之间的相关性。

综上, POAG患者在视野出现缺损前视网膜已存在血流改变。青光眼患者的VD降低程度与视野缺损严重程度正相关, 且视网膜VD比视网膜厚度减少与视野缺损的相关性更强^[21,23-24]。因此, OCTA具有在检测到局灶性视野缺损前就能识别青光眼损害的能力。但其是否具有早期诊断价值, 仍需通过进一步的队列研究验证。

2 OCTA 在高度近视诊断中的应用

2.1 高度近视视网膜眼底血流的改变

高度近视可以导致视盘变形、视网膜血管密度减少、漆裂纹形成、视网膜脉络膜萎缩变薄等特征性的眼底结构改变^[7-8,13,25]。随着OCTA技术的发展, 检测高度近视视网膜血管密度及微循环改变为评估其进展提供了新思路。2017年, Li等^[26]对高

度近视患者和健康对照组研究表明, 近视组浅层(内界膜到内丛状层)和深层(内核层到外丛状层)微血管丛的密度与对照组相比均显著降低($P < 0.05$)。两组视网膜微血管血流速度(microvessel blood flow velocity, BFV)的差异无统计学意义($P > 0.05$)。在高度近视组中, 视网膜浅层和深层血管丛的微血管密度与眼轴长度呈负相关。其他文献[8,27-28]通过OCTA图像来定量分析评估高度近视的视网膜微血管网也得到类似的结果。Li等^[26]证实高度近视患者的黄斑中心凹无血管区(Foveal avascular zone, FAZ)的密度不随近视度数的增加而改变, 并认为高度近视FAZ处可能不发生微血管密度改变。但高度近视眼的FAZ以外的区域却易受近视度数的影响而出现黄斑区微血管密度减少。Lee团队^[29]和Min等^[28]用OCTA研究高度近视的FAZ处也得到了类似的结论。但Min等^[28]表示: 与健康人相比, 高度近视患者的FAZ面积明显扩大。

关于高度近视患者的视网膜及脉络膜微血管密度的变化, Su等^[30]用OCTA对高度近视、中度近视以及健康人进行了前瞻性的研究。他们分析量化并比较了不同组间黄斑区视网膜浅层和深层毛细血管丛的VD和血管长度密度以及脉络膜毛细血管血流减少的程度。发现: 与正视对照组相比, 高度近视组的视网膜浅层微血管VD较低($P < 0.05$), 但三组间深层微血管VD差异无统计学意义($P > 0.05$)。高度和中度近视组的浅层微血管的血管长度密度较正视对照组低; 高度近视组的深层微血管的血管长度密度较中度近视和正视对照组低; 且高度近视组脉络膜毛细血管血流减少的百分比显著高于中度近视和正视对照组($P < 0.05$)。因此, 高度近视患者黄斑区脉络膜毛细血管血流减少程度比中低度近视患者更严重, 并且其血流减少出现于近视发生病理性或退化性等特征改变之前。但导致近视性黄斑区脉络膜毛细血管血流量减少的阈值仍有待确定^[30]。此外, 对于高度近视患者的视网膜浅层和深层微血管密度改变, 其结果与Li等^[26]的研究结果相一致。

综上所述, 高度近视患者的视网膜浅层和深层微血管密度以及脉络膜血管密度均减少。FAZ以外的区域易受近视度数的影响而出现黄斑区微血管密度减少, 但FAZ处微血管密度却不受近视度数影响。因此, 视网膜、脉络膜血管密度以及FAZ的相关参数可能作为评估高度近视疾病进展的有效指标。另外, POAG患者FAZ面积明显扩大, 且其

血管密度显著降低, 并与中心视野缺损的严重程度及空间对应性显著相关^[31]。那么, 通过检测高度近视患者FAZ处微血管密度改变能否用于早期诊断其青光眼的发生值得进一步研究。

2.2 高度近视视网膜眼底血流改变与功能参数变化的关系

高度近视也存在着视野缺损等功能改变。2020年, 有学者团队^[32]为评估高度近视患者视网膜脉络膜厚度以及视网膜微血管网与视野缺损之间的关系, 对高度近视患者和正视或低度近视患者的对照组行OCTA及OCT扫描, 以测量GCC、内核层和外丛状层(inner nuclear layer and outer plexiform layer, INOPL)、视网膜外层(outer retinal layer, ORL)和脉络膜层(choroid layer, ChL)的厚度, 并量化视网膜浅表血管密度(superficial vessel density, SVD)和深层血管密度(deep vessel density, DVD)。同时辅以显微视野法分析视网膜光敏性(retinal light sensitivity, RLS)。结果发现与对照组相比, 高度近视组视网膜脉络膜厚度较薄, 视网膜血管密度和RLS较低($P < 0.05$)。RLS降低与ORL厚度和ChL厚度减少相关。视网膜微血管网参数与RLS之间无相关性($P > 0.05$), 但DVD与ORL呈负相关, 表明高度近视早期视野缺损可能是受ORL变薄和视网膜深层微血管循环影响所致。因此, ORL厚度以及视网膜深层微血管的改变可能成为早期预测高度近视进展的重要指标^[26,32]。

3 OCTA在POAG合并高度近视患者诊断中的优势

3.1 POAG合并高度近视视盘区血流变化及其与结构和功能参数的关系

POAG合并高度近视是近视性视神经病变和青光眼性视神经病变的结合。视盘损害在POAG合并高度近视的诊断中具有重要意义, 观察视盘血流变化及其与视野的对应关系对于POAG合并高度近视的诊断可能具有重要价值。2016年, Akagi等^[22]前瞻对照分析了POAG患者和健康对照组的视乳头旁血管密度(peripapillary vessel density, pVD)和RNFL厚度。发现非高度近视和高度近视性青光眼VF缺损相对应位置的pVD均明显低于健康对照组。在下半侧VF缺损的非高度近视性POAG中, 与VF缺损相对应的位置处的视盘VD显著降低($P = 0.006$), 而

对侧眼未观察到这种变化。POAG患者的pVD与其对应的VF总偏差显著相关。该研究提示, 与VF缺损相关的微血管减少存在于视盘周围和视盘内这两个特定的对应区域内。

2018年, Shin等^[33]分析比较了青光眼合并或不合并高度近视患者的pVD、视盘周围神经纤维层厚度(peripapillary retinal nerve fibre layer thickness, pRNFLT)和平均视野灵敏度(visual field mean sensitivity, VFMS)。通过将pVD或pRNFLT与相应的VFMS进行比较, 分析了血管-功能或结构-功能的关系。结果表明, 在合并高度近视的青光眼中, 整体pVD-VFMS的相关性明显强于pRNFLT-VFMS的相关性($P=0.009$)。然而, 在不合并高度近视的青光眼中, 整体pVD-VFMS和pRNFLT-VFMS之间相关性的差异并不明显($P=0.343$)。在POAG合并高度近视中, 鼻上方、鼻侧和颞侧的pVD-VFMS相关性在区域上显著优于pRNFLT-VFMS相关性($P<0.05$)。因此, 用OCTA评估POAG合并高度近视患者的pVD与VFMS之间的整体和区域相关性较pRNFLT强, pVD可能是监测高度近视性青光眼疾病进展的有用参数。由于视乳头旁毛细血管密度会随眼轴的增长而减少, 且OCTA的信号强弱会影响pVD的结果^[22], 因此, 应用OCTA分析合并高度近视的POAG患者pVD这一参数时, 还需要较高的信号质量。

另外, POAG合并高度近视所产生的视盘变形等结构改变使得其早期诊断极为困难。而OCTA评估POAG合并高度近视的潜在优势是其结果不受RNFL的低反射率以及视盘结构变形(如视盘倾斜或PPA)的影响。2020年, 有学者团队^[34]研究了视盘脉络膜微血管系统在高度近视眼性青光眼损害中的作用, 发现在POAG合并高度近视的45眼中, 有44眼观察到有视盘周围脉络膜微血管丢失(microvasculature dropout, MvD), 而健康对照组均未观察到MvD的存在。MvD与半侧VF缺损之间又具有良好的区域对应关系($\kappa=0.863$, $P<0.001$)。MvD的面积和周长与VF平均偏差显著相关。这不仅表明POAG合并高度近视眼中普遍存在MvD, 同时MvD与视野缺损不仅在区域上相对应, 其大小与面积也与视野缺损的严重程度表现高度一致性。以上提示, 当POAG合并高度近视其它结构测量结果无法评估其结构损伤情况时, 测量MvD的大小和面积可以作为一项参考指标以有助于高度近视性青光眼的诊断^[34]。但是, MvD

在疾病的早期不会出现^[34], 单独的MvD是否是POAG的病理标志以及MvD的进展是否可以用来评估POAG合并高度近视的疾病进展仍需进一步的研究。

综上所述, 通过OCTA评估高度近视患者的视盘内及视盘周围毛细血管密度, 以及MvD的面积可能对于早期诊断POAG以及预防青光眼性视神经损害有重要的意义。

3.2 POAG 合并高度近视黄斑区血流变化及与结构和功能参数的关系

既然OCTA检测视盘区血流参数对诊断及评估POAG合并高度近视有重要帮助, 那么黄斑区血流参数是否能用于检测高度近视患者POAG的发生呢? 2018年, Rao等^[35]应用光学微血管成像(optical microangiography, OMAG)进行GCIPL厚度参数的90%特异性下的灵敏度和AUC分析。在POAG和对照眼中, 对于黄斑内参数而言, 大多数3 mm×3 mm黄斑扫描的OMAG参数和6 mm×6 mm扫描的结果相似($P>0.05$)。在POAG眼中, 6 mm×6 mm扫描得到的黄斑外OMAG参数均显著较对照眼低($P<0.05$)。最佳GCIPL厚度参数的灵敏度和AUC(颞下GCIPL厚度分别为0.84和67%)明显优于血管密度($P<0.05$)。因此, OMAG黄斑6 mm×6 mm扫描的外部测量结果似乎比内部测量结果更好。对黄斑区扫描面积而言, 与3 mm×3 mm扫描面积相比, 6 mm×6 mm扫描面积的结果更有利于诊断POAG。在诊断青光眼时, GCIPL厚度值也明显优于所有黄斑OMAG参数。

2020年, Lee等^[36]用OCTA对POAG患者及对对照组的视盘和黄斑区VD进行评估发现, 在OCTA各测量参数中, 对于诊断POAG最好的参数分别为黄斑平均血管密度比(vessel density ratio, VDR; AUC: 0.852和0.909)和黄斑下方VDR(AUC: 0.820和0.941)。在高度近视患者中, 黄斑下方VDR表现出比大多数其他测量结果更好的青光眼诊断能力(包括盘周RNFL厚度和黄斑GCIPL厚度)。另外, Lee等^[36]还发现使用6 mm×6 mm扫描时, 黄斑区血管密度对青光眼的诊断能力与视盘周围血管密度相当或更好。这一观点与上述Rao等^[35]的结论相一致。

因此, OCTA测量可用于诊断高度近视性合并青光眼, 特别是在使用如平均VDR或下方VDR等参数时。由于高度近视患者视网膜黄斑区深层

微血管密度的改变^[26,30,32], 检测其黄斑区血管密度是否可以进一步提升高度近视合并青光眼的诊断效能呢? 且对于高度近视患者而言, 更宽的OCTA测量区域可能具有更好的POAG诊断能力。而某些OCTA程序可以做到8 mm×8 mm的黄斑扫描, 这种更宽的测量范围是否有助于早期发现高度近视患者发生POAG有待进一步研究。

4 结语

OCTA可用于检测POAG合并高度近视患者视盘周围和黄斑区VD及相应的RNFL的变化。同时, 高度近视患者的视网膜外层厚度和视网膜脉络膜VD均会随着病情进展而变薄或减少, 无论是POAG还是高度近视患者的OCTA血流参数均与视野缺损的程度和空间区域上呈现出一致性。对于POAG合并高度近视的诊断和进展评估而言, 应用OCTA监测视盘周围血管密度、MvD以及GCIPL的改变有着极为重要的意义, 但仍需解决如容易出现伪影(投影伪影或运动伪影)误差^[37]和由于分层错误导致的血流信号错误等干扰因素。目前OCTA对评估POAG合并高度近视患者病情进展和诊断的参数标准尚未形成, 未来仍需要更多的相关研究数据和技术的开发来支持。

参考文献

- Hitzl W, Bunce C, Reutsamer HA, et al. The projected increase in glaucoma due to the aging population in Austria from 2001 to 2031: results based on data of the Salzburg-Moorfields Collaborative Glaucoma Study[J]. *Eur J Ophthalmol*, 2007, 17(1): 45-52.
- Weinreb RN, Aung T, Medeiros FA. The pathophysiology and treatment of glaucoma: a review[J]. *JAMA*, 2014, 311(18): 1901-1911.
- Xu L, Wang Y, Wang S, et al. High myopia and glaucoma susceptibility the Beijing Eye Study[J]. *Ophthalmology*, 2007, 114(2): 216-220.
- Perkins ES, Phelps CD. Open angle glaucoma, ocular hypertension, low-tension glaucoma and refraction[J]. *Arch Ophthalmol*, 1982, 100(9): 1464-1467.
- Mastropasqua L, Lobefalo L, Mancini A, et al. Prevalence of myopia in open angle glaucoma[J]. *Eur J Ophthalmol*, 1992, 2(1): 33-35.
- Lee YA, Shih YF, Lin LK, et al. Association between high myopia and progression of visual field loss in primary open-angle glaucoma[J]. *J Formos Med Assoc*, 2008, 107(12): 952-957.
- Cho BJ, Shin JY, Yu HG. Complications of pathologic myopia[J]. *Eye Contact Lens*, 2016, 42(1): 9-15.
- Yang Y, Wang J, Jiang H, et al. Retinal microvasculature alteration in high myopia[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016, 57(14): 6020-6030.
- Alnawaiseh M, Lahme L, Viktoria M, et al. Correlation of flow density, as measured using optical coherence tomography angiography, with structural and functional parameters in glaucoma patients[J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2018, 256(3): 589-597.
- Jia Y, Tan O, Tokayer J, et al. Split-spectrum amplitude-decorrelation angiography with optical coherence tomography[J]. *Opt Express*, 2012, 20(4): 4710-4725.
- Van Melkebeke L, Barbosa-Breda J, Huygens M, et al. Optical coherence tomography angiography in glaucoma: a review[J]. *Ophthalmic Res*, 2018, 60(3): 139-151.
- Tan ACS, Tan GS, Denniston AK, et al. An overview of the clinical applications of optical coherence tomography angiography[J]. *Eye (Lond)*, 2018, 32(2): 262-286.
- He J, Chen Q, Yin Y, et al. Association between retinal microvasculature and optic disc alterations in high myopia[J]. *Eye (Lond)*, 2019, 33(9): 1494-1503.
- Manalastas PIC, Zangwill LM, Saunders LJ, et al. Reproducibility of optical coherence tomography angiography macular and optic nerve head vascular density in glaucoma and healthy eyes[J]. *J Glaucoma*, 2017, 26(10): 851-859.
- 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[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2017, 58(9): 3637-3645.
- Rao HL, Pradhan ZS, Weinreb RN, et al. Regional comparisons of optical coherence tomography angiography vessel density in primary open angle glaucoma[J]. *Am J Ophthalmol*, 2016, 171: 75-83.
- Andrade De Jesus D, Sánchez Brea L, Barbosa Breda J, et al. OCTA multilayer and multisector peripapillary microvascular modeling for diagnosing and staging of glaucoma[J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2020, 9(2): 58.
- Hou TY, Kuang TM, Ko YC, et al. Optic disc and macular vessel density measured by optical coherence tomography angiography in open-angle and angle-closure glaucoma[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 5608.
- Moghimi S, Zangwill LM, Penteado RC, et al. Macular and optic nerve head vessel density and progressive retinal nerve fiber layer loss in glaucoma[J]. *Ophthalmology*, 2018, 125(11): 1720-1728.
- Jeon SJ, Park HL, Park CK. Effect of macular vascular density on central visual function and macular structure in glaucoma patients[J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 16009.

21. Ghahari E, Bowd C, Zangwill LM, et al. Association of macular and circumpapillary microvasculature with visual field sensitivity in advanced glaucoma[J]. *Am J Ophthalmol*, 2019, 204: 51-61.
22. Akagi T, Iida Y, Nakanishi H, et al. Microvascular density in glaucomatous eyes with hemifield visual field defects: an optical coherence tomography angiography study[J]. *Am J Ophthalmol*, 2016, 168: 237-249.
23. Yarmohammadi A, Zangwill LM, Diniz FA, et al. Relationship between optical coherence tomography angiography vessel density and severity of visual field loss in glaucoma[J]. *Ophthalmology*, 2016, 123(12): 2498-2508.
24. Yarmohammadi A, Zangwill LM, Diniz FA, et al. Peripapillary and macular vessel density in patients with glaucoma and single-hemifield visual field defect[J]. *Ophthalmology*, 2017, 124(5): 709-719.
25. Kim YM, Yoon JU, Koh HJ. The analysis of lacquer crack in the assessment of myopic choroidal neovascularization[J]. *Eye (Lond)*, 2011, 25(7): 937-946.
26. Li M, Yang Y, Jiang H, et al. Retinal microvascular network and microcirculation assessments in high myopia[J]. *Am J Ophthalmol*, 2017, 174(2): 56-67.
27. Milani P, Montesano G, Rossetti L, et al. Vessel density, retinal thickness, and choriocapillaris vascular flow in myopic eyes on OCT angiography[J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2018, 256(8): 1419-1427.
28. Min CH, Al-Qattan HM, Lee JY, et al. Macular microvasculature in high myopia without pathologic changes: an optical coherence tomography angiography study[J]. *Korean J Ophthalmol*, 2020, 34(2): 106-112.
29. Lee JH, Lee MW, Baek SK, et al. Repeatability of manual measurement of foveal avascular zone area in optical coherence tomography angiography images in high myopia[J]. *Korean J Ophthalmol*, 2020, 34(2): 113-120.
30. Su L, Ji YS, Tong N, et al. Quantitative assessment of the retinal microvasculature and choriocapillaris in myopic patients using swept-source optical coherence tomography angiography[J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2020, 258(6): 1173-1180.
31. Kwon J, Choi J, Shin JW, et al. Alterations of the foveal avascular zone measured by optical coherence tomography angiography in glaucoma patients with central visual field defects[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2017, 58(3): 1637-1645.
32. Wu Q, Chen Q, Lin B, et al. Relationships among retinal/choroidal thickness, retinal microvascular network and visual field in high myopia[J]. *Acta Ophthalmol*, 2020, 98(6): e709-e714.
33. Shin JW, Kwon J, Lee J, et al. Relationship between vessel density and visual field sensitivity in glaucomatous eyes with high myopia[J]. *Br J Ophthalmol*, 2018, [Epub ahead of print].
34. Na HM, Lee EJ, Lee SH, et al. Evaluation of peripapillary choroidal microvasculature to detect glaucomatous damage in eyes with high myopia[J]. *J Glaucoma*, 2020, 29(1): 39-45.
35. Rao HL, Riyazuddin M, Dasari S, et al. Diagnostic abilities of the optical microangiography parameters of the 3×3 mm and 6×6 mm macular scans in glaucoma[J]. *J Glaucoma*, 2018, 27(6): 496-503.
36. Lee K, Maeng KJ, Kim JY, et al. Diagnostic ability of vessel density measured by spectral-domain optical coherence tomography angiography for glaucoma in patients with high myopia[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 3027.
37. Bojikian KD, Chen PP, Wen JC, et al. Optical coherence tomography angiography in glaucoma[J]. *Curr Opin Ophthalmol*, 2019, 30(2): 110-116.

本文引用: 刘莹, 宋武莲, 原慧萍. 光相干断层扫描血管成像技术在原发性开角型青光眼合并高度近视诊断中的价值[J]. *眼科学报*, 2020, 35(6): 442-448. doi: 10.3978/j.issn.1000-4432.2020.12.06

Cite this article as: LIU Ying, SONG Wulian, YUAN Huiping. Diagnostic value of optical coherence tomography angiography in the study of primary open-angle glaucoma combined with high myopia[J]. *Yan Ke Xue Bao*, 2020, 35(6): 442-448. doi: 10.3978/j.issn.1000-4432.2020.12.06