

光学相干断层扫描血管成像在特发性黄斑前膜中的应用研究进展

徐钊楷¹ 综述 毛剑波² 沈丽君^{1,2} 审校

¹温州医科大学眼视光学院(生物医学工程学院),温州 325000; ²浙江省人民医院(杭州医学院附属人民医院)眼科中心,杭州 310000

通信作者:沈丽君,Email:slj@mail.eye.ac.cn

【摘要】 特发性黄斑前膜(iERM)是一种因黄斑区及周边视网膜形成非血管性纤维膜,继而因纤维膜的牵拉导致黄斑的变形、皱褶等导致患眼视力下降及视物变形的眼底疾病。光学相干断层扫描血管成像(OCTA)凭借无创、分辨率高、可分层显示视网膜血管、量化视网膜血管密度和无灌注血管区大小等优势,已被广泛应用于包括 iERM 在内的黄斑疾病的诊断中。OCTA 除了可以提供视网膜微血管结构、血流灌注的数字化信息,揭示 iERM 对微血管结构的牵拉作用,还可以在疾病的随访中用于监测血流灌注的改变。虽然目前 OCTA 尚不能完全替代眼底血管造影检查,但其已经为进一步了解 iERM 的发病机制、疾病进程及预后因素带来了更加丰富的信息。本文就 OCTA 在 iERM 中的应用研究进展作一综述,以期 OCTA 在 iERM 中的应用提供更多启示。

【关键词】 特发性黄斑前膜; 体层摄影术; 光学相干; 综述

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20200713-00493

Advances of optical coherence tomography angiography in idiopathic macular epiretinal membrane

Xu Zhaokai¹, Mao Jianbo², Shen Lijun^{1,2}

¹School of Ophthalmology and Biomedical Engineering, Wenzhou Medical University, Wenzhou 325000, China; ²Ophthalmic Center, Zhejiang Provincial People Hospital (People Hospital of Hangzhou Medical College), Hangzhou 310000, China

Corresponding author: Shen Lijun, Email: slj@mail.eye.ac.cn

【Abstract】 Idiopathic macular epiretinal membrane (iERM) is a kind of fundus disease caused by fibrocellular proliferation over the internal limiting membrane (ILM) followed by deformation and wrinkling of the macula due to traction of the fibrous membranes, leading to vision loss and visual distortion in the affected eye. Optical coherence tomography angiography (OCTA) has been widely used in the diagnosis of macular diseases including iERM by virtue of non-invasive, high resolution and stratified display of superficial and deep retinal vessels and quantification of retinal vessel density and non-perfusion area. OCTA can provide information of retinal microvascular structure and blood perfusion under disease conditions, revealing the pulling effect of iERM on the microvascular structure, and it can also be used to evaluate changes in blood flow during the course of disease follow-up. After surgery, OCTA can also be used for follow-up monitoring of microvascular structure and blood flow to further predict vision. Although OCTA cannot completely replace fundus angiography, it has provided richer information about the pathogenesis, disease progression and prognostic factors of iERM. This article reviews the progress of research on the application of OCTA in iERM to provide more insight into the application of OCTA in iERM.

【Key words】 Idiopathic macular epiretinal membrane; Tomography, optical coherence; Review

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20200713-00493

黄斑前膜(macular epiretinal membrane, ERM)是一种常见的黄斑疾病,可在黄斑区及周边视网膜形成非血管性纤维膜^[1]。ERM 病变早期可仅有轻度的视物变形症状,随着病情的进展,纤维膜的牵拉可导致黄斑的变形、皱褶,甚至黄斑水肿,从而导致患眼的视力下降及视物变形症状加重^[2]。目前,

玻璃体手术被认为是治疗 ERM 的主要手段。根据发病原因,ERM 可分为特发性黄斑前膜(idiopathic macular epiretinal membrane, iERM)和继发性 ERM。继发性 ERM 常继发于玻璃体视网膜疾病,如视网膜脱离、视网膜血管病变等玻璃体视网膜疾病^[3]。而 iERM 则指发生于正常且无已知玻璃体视网膜

病变的黄斑中心凹区域视网膜前膜。

ERM 向心性收缩会导致视网膜和视网膜血管发生牵拉性改变,进而导致黄斑区局部血流及视网膜微结构发生变化。光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)、眼底照相、荧光素眼底血管造影(fundus fluorescein angiography, FFA)常用于 ERM 的检查及诊断。其中 OCT 及眼底彩色照相主要用于评价视网膜结构变化,FFA 可观察患者黄斑区血管的改变。然而,FFA 需注射造影剂,存在变态反应的风险,且不适用肝肾功能异常或妊娠的患者^[4];FFA 不能显示视网膜不同分层的血流变化,也无法量化相关的视网膜血流数据。

光学相干断层扫描血管成像(optical coherence tomography angiography, OCTA)作为一种无创、分辨率高的新兴眼科检查技术,可测量浅层、深层视网膜血管密度、无灌注血管区面积,越来越多地应用于视网膜和脉络膜血管性疾病的诊断、随访及临床研究^[5]。由于 iERM 会对黄斑中心凹及周边区域产生牵拉作用,引起微血管扭曲、变形,近年来许多研究利用 OCTA 对 iERM 患者的视网膜微血管结构进行分析。随着 OCTA 设备的发展,它可以分析视网膜不同层间的血流变化,已用于分析 iERM 的视网膜微血管形态结构的变化,并探究不同层次血流情况及其与视力预后之间的关系。为探究 iERM 的发病机制和预后预测提供了新的检测手段。

目前,ERM 的 OCTA 研究主要集中于黄斑中心凹无血管区。本文就 OCTA 在 iERM 中的应用研究进展作一综述,以期对 OCTA 在 iERM 中的应用研究提供更多启示。

1 OCTA 对 iERM 牵拉导致的视网膜毛细血管结构改变的研究

ERM 牵拉导致视网膜的褶皱,当 ERM 收缩时,会对中心凹旁的毛细血管丛产生影响,可导致黄斑及周边区域的微血管扭曲、变形和血管渗漏。ERM 可能导致视网膜血管形态及血流动力学的改变,且黄斑前膜病变越重,患者中心凹结构改变越明显。

OCTA 通过高分辨率扫描视网膜血管结构,自动分层并量化血管密度,从而评估视网膜各层毛细血管结构的改变。目前的研究主要关注黄斑区浅层和深层血流。ERM 的向心性收缩可导致中心凹区及中心凹旁的血流发生相应的改变^[6-12]。毛剑波等^[7]通过横断面研究发现,iERM 组深层和浅层视网膜中心凹血管密度较正常对照组均明显增加;iERM 组深层和浅层视网膜上、下、鼻、颞侧中心凹旁血管密度均较对照组降低。Chen 等^[8]的研究也发现,与健康眼相比,iERM 眼的视网膜中心凹区域的浅层血管密度明显升高,旁中心凹区域的血管密度明显降低;深层血管密度在中心凹区域升高,旁中心凹区域降低。曾苗等^[9]研究发现,iERM 组患视网膜浅层、深层毛细血管层黄斑区无血管区(foveal avascular zone, FAZ)面积较正常对照组均明显变小。Mastropasqua 等^[10]在对 15 例 iERM 患者进行为期 1 个月的术后随访观察发现,患视网膜颞上、上方、鼻上、颞下、下方、鼻下区域的浅层血管密度均较术前降低。这些研究表明,iERM 的向心性收缩会导致视网膜浅层、深层和中心

凹区血流增加,而中心凹旁血流减少。

Nelis 等^[6]研究发现,42 只 iERM 眼视网膜浅层、深层和全层的中心凹血管密度与旁中心凹血管密度比值(macular vessel density ratio, MVR)较健康眼明显升高,反映了 ERM 牵拉产生的切向力造成血管从旁中心凹区域向中心凹区域移位;而在手术解除 ERM 牵拉作用后,扭曲、变形的微血管在一定程度上复位,因而术后各层 MVR 均较术前明显减少。ERM 的牵拉造成血管移位,不仅可导致中心凹、旁中心凹血管密度的改变,也可导致 FAZ 面积的减少^[11-13]。手术剥除 ERM 后,浅层、深层 FAZ 面积较术前均有明显增大,侧面反映了血管结构在术后一定程度上的复位^[11]。

2 OCTA 对 ERM 牵拉导致的脉络膜毛细血管结构改变研究

ERM 的牵拉作用不仅可以导致视网膜毛细血管结构扭曲变形,还可以导致脉络膜毛细血管结构改变。OCTA 可以提供与脉络膜毛细血管的相关数据,如脉络膜层的血管密度及血流面积,反映病灶对脉络膜层面的影响^[14]。

Chen 等^[8]分析 iERM 术前的脉络膜血管数据发现,与健康眼相比,iERM 眼脉络膜层中心凹区域的血管密度明显降低,血流面积减少,表明 ERM 牵拉对视网膜和脉络膜层微血管结构产生不同的影响。Yu 等^[15]对 45 例 iERM 患者 ERM 剥除联合玻璃体切割术术前和术后 1 个月进行 OCTA 检查,发现与健康眼相比,iERM 眼脉络膜层血流面积明显减少,旁中心凹区域血管密度也明显降低,而术后 1 个月脉络膜血管指标与术前相比均无明显改善,推测单纯的 ERM 剥除仍无法改善 ERM 牵拉及脉络膜层的灌注。

在对 iERM 患者行 OCTA 检查脉络膜时,还需要考虑昼夜节律对测量结果的影响。Rommel 等^[16]分别在上午 7 时、12 时,下午 4 时、8 时对 21 例 iERM 眼行 OCTA 检查,发现 iERM 患者的脉络膜旁中心凹厚度和 Haller 层与时间呈二次关系,即从上午至下午呈下降趋势,而晚上又呈上升趋势;研究者认为,这是因为 ERM 牵拉除了造成视网膜层结构的扭曲变形外,还会使脉络膜的血管结构发生改变,导致脉络膜血流及部分区域厚度的昼夜波动变大。然而,昼夜节律对视网膜结构测量是否有影响,仍有待进一步研究来确定。

3 OCTA 应用于视网膜结构改变与视力相关性研究

ERM 牵拉导致血管移位、视网膜隆起等结构改变,从而导致患眼的视力下降及视物变形症状^[2]。目前,玻璃体切除联合 ERM 剥除术仍是治疗 ERM 的主流方法,该方法不但能提高患者的视功能和生活质量,还能在一定程度上阻止 iERM 再生^[17-21]。通过 OCTA 量化视网膜结构的改变,并结合视力进行相关性分析,有助于预测 iERM 患者的术后视力,进而提高其生活质量。Chen 等^[8]研究发现,患者术前的最佳矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA)主要与黄斑中心凹厚度和旁中心凹厚度呈负相关,患者术后的 BCVA 不但取决于黄斑中心凹和旁中心凹厚度,还受浅层 FAZ 面积的影响,即术后浅层 FAZ 面积越大,视力往往越好;当对视网膜内、外层厚度进一步

分析发现,视网膜内层厚度与 BCVA 呈明显负相关,而外层厚度则无明显相关性。这一发现也说明了 ERM 牵拉导致的内层视网膜增厚是视力变差的主要原因之一,而外层视网膜结构改变则与视力没有明显的相关性,这也为预测 iERM 眼的术后视力提供了一定的依据。曾苗等^[22]通过对 42 只 iERM 眼进行 OCTA 研究发现,术前和术后 12 个月时,iERM 患眼浅层 FAZ 面积与 BCVA 无明显相关性,与视物变形度呈明显负相关;而深层 FAZ 面积则与 BCVA、视物变形度均呈负相关;玻璃体切除联合 ERM 剥除手术可以有效恢复 iERM 患眼浅层和深层 FAZ 面积,提高患眼视力,降低视物变形程度。毛剑波等^[7]研究发现,iERM 眼的 BCVA 与 FAZ 面积呈负相关,与黄斑中心凹厚度呈正相关,与中心凹血管密度和深层毛细血管丛血管密度无相关性,但与浅层中心凹旁毛细血管丛血管密度有相关性,推测 ERM 的收缩牵拉导致内层视网膜的改变,而对浅层毛细血管丛的影响更大,使中心凹无血管区缩小,旁中心凹血管密度降低。而这种结构上的改变越大,对视功能的影响就大,浅层 FAZ 面积越小,浅层毛细血管丛中心凹旁血管密度越低,患者的视力就越差。

但也有研究发现,iERM 患者术后视力与 FAZ 面积无明显相关性。Baba 等^[23]分别在术前和术后 3、6、12 个月对 17 例 iERM 患者进行视力、视网膜敏感度及 OCTA 检查,发现术后视力与 FAZ 面积无显著相关性。而术后 3、6 个月的视网膜敏感性与 FAZ 面积呈负相关,术后 12 个月的视网膜敏感性与 FAZ 面积无明显相关性。虽然术后 FAZ 面积与视力恢复无明显相关性,但是术后 FAZ 面积越小,视网膜敏感度越高,也可以为术后视功能恢复提供一定参考价值。

通过 OCTA 采集的 iERM 眼视网膜微血管图像,还可以进一步处理并计算其血管弯曲度(vessel tortuosity, VT)。Cheng 等^[24]对 30 例 iERM 患者进行 BCVA 与 VT 的相关性分析发现,BCVA 与 VT 呈负相关。Shen 等^[25]对 41 例接受手术治疗的 iERM 患者进行了为期 3 个月的随访观察,发现患者术后 BCVA 和视网膜敏感度的改善与 VT 降低相关。

4 OCTA 应用于视网膜不同结构改变之间相关性研究

OCTA 可以量化疾病状态下视网膜微血管结构,评估血液灌注,用于分析疾病影响下不同结构改变之间的相关性,有利于进一步研究发病机制,评估疾病治疗效果以及病程中视网膜循环结构的变化。Muftuoglu 等^[26]对 52 只 iERM 眼进行 OCTA 研究发现,31 眼的中心凹无血管区有形态学改变,其中 7 眼的中心凹无血管区完全血管化,16 眼的中心凹无血管区圆度减少,5 眼的中心凹无血管区有血管穿过;iERM 眼的中心凹无血管区平均偏心率为 0.84 ± 0.46 ,而健康眼的中心凹无血管区平均偏心率为 0.98 ± 0.07 ,另外中心凹无血管区平均偏心率与黄斑中心凹厚度呈明显负相关。中心凹无血管区平均偏心率可用于提示 ERM 牵拉引起的血管畸变,黄斑中心凹增厚,平均偏心率越大意味着黄斑中心凹处血管畸变越严重。

Baba 等^[23]对 17 例 iERM 患者进行了为期 1 年的随访研究,发现术后 3、6 和 12 个月的 FAZ 面积与中心凹区域厚度均

呈负相关。Chen 等^[8]同样发现,术前和术后 FAZ 面积与黄斑中心凹厚度呈负相关,推测是 ERM 牵拉导致的中心凹无血管区域的扭曲变形和面积缩小,当手术剥除 ERM、解除牵拉后,中心凹无血管区在一定程度上有所复位。Kitagawa 等^[11]对 13 例单眼 iERM 患者术前与术后的 FAZ 进行相关性分析,发现术后浅层 FAZ 面积与术前浅层 FAZ 面积明显相关,术后深层 FAZ 面积与术前浅层 FAZ 面积、术前深层 FAZ 面积均明显相关。鉴于术前与术后 FAZ 的相关性,OCTA 可用于评价术后疗效,也可以通过监测 FAZ 面积,选择合适的干预时机,提升患者的术后视觉质量。

Okawa 等^[27]的研究发现,术前 FAZ 面积与中心凹区域厚度呈明显负相关,但是术前与术后 FAZ 面积并无明显相关性。Ufik 等^[28]的一项研究中纳入了 154 只 iERM 眼,发现 iERM 眼的 FAZ 面积与视网膜中心凹区域厚度、平均视网膜厚度呈显著负相关。曾苗等^[9]采用 OCTA 测量 iERM 眼视网膜浅层、深层毛细血管层 FAZ 面积,并结合 OCT 扫描的相关指标进行分析,其结果表明,iERM 患眼视网膜浅层、深层毛细血管层 FAZ 面积与黄斑中心凹厚度、内层视网膜厚度、椭圆体带完整性均呈负相关,推测可能是因为 ERM 对视网膜内层组织的牵拉及收缩作用,导致视网膜组织发生移位,视网膜血管随之向中心集聚。Kim 等^[13]回顾性分析 17 例单眼 iERM 患者的 OCTA 数据,发现术前的浅层、深层 FAZ 的眼间差异与中心凹区域全层厚度呈正相关。其中,与神经节细胞复合体厚度呈正相关,而与内核层、外核层、外丛状层、光感受器外段无明显的相关性。术后全层、神经节细胞复合体、内核层、外核层、外丛状层的厚度与浅层、深层 FAZ 的眼间差异呈均正相关,与光感受器外段无明显的相关性。对于旁中心凹区域,术前内核层厚度与浅层、深层 FAZ 的眼间差异呈正相关,未发现与其他各层有明显相关性;在术后,内核层厚度与浅层、深层 FAZ 的眼间差异呈正相关,与神经节细胞复合体厚度呈负相关。研究者认为,虽然 ERM 的牵拉直接导致浅层组织结构的损害,但是相关性分析表明牵拉产生的机械力也会对深层产生同样的影响。OCTA 的相关研究有助于更好地阐释 iERM 的病理机制。

5 小结

ERM 的持续性牵拉,在垂直方向上表现为病灶区域的增厚,而在水平区域则表现为 FAZ 的减小、中心凹区域血管密度的升高及旁中心凹区域血管密度的降低。OCTA 应用于 iERM,在发现视网膜、脉络膜灌注异常及黄斑中心凹形态改变等方面显示出较眼底血管造影更高的灵敏度和特异性,为临床工作中掌握 iERM 患者病情、长期随访及评估治疗反应提供了高效的方法,也为进一步探索 iERM 的病理生理机制提供了新的方向。目前,OCTA 仍存在扫描区域有限、分层可能存在误差等局限,但其作为多模式影像系统的重要组成部分,与其他影像检查相互补充、佐证,可共同为疾病诊治和科研探索提供有力支持。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Wang N, Peng A, Li S, et al. Clinic study on macular epiretinal membrane in patients under the age of 40 years [J/OL]. BMC Ophthalmol, 2023, 23(1): 79 [2024-04-08]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36841759>. DOI: 10.1186/s12886-023-02813-8.
- [2] Flaxel CJ, Adelman RA, Bailey ST, et al. Idiopathic Epiretinal Membrane and Vitreomacular Traction Preferred Practice Pattern® [J]. Ophthalmology, 2020, 127(2): P145–P183. DOI: 10.1016/j.ophtha.2019.09.022.
- [3] Fung AT, Galvin J, Tran T. Epiretinal membrane: a review [J]. Clin Exp Ophthalmol, 2021, 49(3): 289–308. DOI: 10.1111/ceo.13914.
- [4] Meira J, Marques ML, Falcão-Reis F, et al. Immediate reactions to fluorescein and indocyanine green in retinal angiography: review of literature and proposal for patient's evaluation [J]. Clin Ophthalmol, 2020, 14: 171–178. DOI: 10.2147/OPTH.S234858.
- [5] 王倩, 魏文斌. 分频幅去相干血管成像 [J]. 国际眼科纵览, 2016, 40(2): 112–116. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-5803.2016.02.009.
Wang Q, Wei WB. Optical coherence tomography angiography with split-spectrum amplitude decorrelation angiography [J]. Int Rev Ophthalmol, 2016, 40(2): 112–116. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-5803.2016.02.009.
- [6] Nelis P, Allen F, Clemens CR, et al. Quantification of changes in foveal capillary architecture caused by idiopathic epiretinal membrane using OCT angiography [J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2017, 255(7): 1319–1324. DOI: 10.1007/s00417-017-3640-y.
- [7] 毛剑波, 劳吉梦, 俞雪婷, 等. 特发性黄斑前膜 OCTA 检查结果的变化及其与视力的关系 [J]. 中华眼科杂志, 2019, 55(10): 757–762. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2019.10.006.
Mao JB, Lao JM, Yu XT, et al. Correlation of capillary plexus with visual acuity in idiopathic macular epiretinal membrane eyes using optical coherence tomography angiography [J]. Chin J Ophthalmol, 2019, 55(10): 757–762. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2019.10.006.
- [8] Chen H, Chi W, Cai X, et al. Macular microvasculature features before and after vitrectomy in idiopathic macular epiretinal membrane: an OCT angiography analysis [J]. Eye (Lond), 2019, 33(4): 619–628. DOI: 10.1038/s41433-018-0272-3.
- [9] 曾苗, 陈晓, 洪玲, 等. 特发性黄斑前膜患者中心凹无血管区面积与中心凹形态相关性研究 [J]. 中华眼底病杂志, 2019, 35(1): 15–19. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1015.2019.01.004.
Zeng M, Chen X, Hong L, et al. Correlation between foveal avascular zone size and foveal morphology in patients with idiopathic macular epiretinal membrane [J]. Chin J Ocul Fundus Dis, 2019, 35(1): 15–19. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1015.2019.01.004.
- [10] Mastropasqua R, D'Aloisio R, Viggiano P, et al. Early retinal flow changes after vitreoretinal surgery in idiopathic epiretinal membrane using swept source optical coherence tomography angiography [J/OL]. J Clin Med, 2019, 8(12): 2067 [2023-06-12]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31771299>. DOI: 10.3390/jcm8122067.
- [11] Kitagawa Y, Shimada H, Shinjima A, et al. Foveal avascular zone area analysis using optical coherence tomography angiography before and after idiopathic epiretinal membrane surgery [J]. Retina, 2019, 39(2): 339–346. DOI: 10.1097/IAE.0000000000001972.
- [12] Coppe AM, Lapucci G, Ripandelli G, et al. Inner macular changes in fellow eye of patients with unilateral idiopathic epiretinal membrane [J/OL]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2021, 62(10): 29 [2023-06-12]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/34427622>. DOI: 10.1167/iovs.62.10.29.
- [13] Kim YJ, Kim S, Lee JY, et al. Macular capillary plexuses after epiretinal membrane surgery: an optical coherence tomography angiography study [J]. Br J Ophthalmol, 2018, 102(8): 1086–1091. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2017-311188.
- [14] Savastano MC, Lumbroso B, Rispoli M. *In vivo* characterization of retinal vascularization morphology using optical coherence tomography angiography [J]. Retina, 2015, 35(11): 2196–2203. DOI: 10.1097/IAE.0000000000000635.
- [15] Yu Y, Teng Y, Gao M, et al. Quantitative choriocapillaris perfusion before and after vitrectomy in idiopathic epiretinal membrane by optical coherence tomography angiography [J]. Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina, 2017, 48(11): 906–915. DOI: 10.3928/23258160-20171030-06.
- [16] Rommel F, Siegfried F, Sochurek J, et al. Mapping diurnal variations in choroidal sublayer perfusion in patients with idiopathic epiretinal membrane: an optical coherence tomography angiography study [J]. Int J Retina Vitreous, 2019, 5: 12 [2023-06-18]. DOI: 10.1186/s40942-019-0162-2.
- [17] Inoue M, Kadonosono K. Macular diseases: epiretinal membrane [J]. Dev Ophthalmol, 2014, 54: 159–163. DOI: 10.1159/000360462.
- [18] Malyshev AV, Karapetov GY. Effect of surgery on quality of life in patients with epiretinal membrane [J]. Vestn Oftalmol, 2015, 131(1): 30–35. DOI: 10.17116/oftalma2015131130-35.
- [19] Shimada H, Nakashizuka H, Mori R, et al. 25-gauge scleral tunnel transconjunctival vitrectomy [J]. Am J Ophthalmol, 2006, 142(5): 871–873. DOI: 10.1016/j.ajo.2006.05.057.
- [20] Tranos P, Koukoulas S, Charteris DG, et al. The role of internal limiting membrane peeling in epiretinal membrane surgery: a randomised controlled trial [J]. Br J Ophthalmol, 2017, 101(6): 719–724. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2016-309308.
- [21] Fang XL, Tong Y, Zhou YL, et al. Internal limiting membrane peeling or not: a systematic review and meta-analysis of idiopathic macular pucker surgery [J]. Br J Ophthalmol, 2017, 101(11): 1535–1541. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2016-309768.
- [22] 曾苗, 陈晓, 蔡春艳, 等. 特发性黄斑前膜患眼手术后中心凹无血管区面积变化及其与视物变形的相关性研究 [J]. 中华眼底病杂志, 2020, 36(3): 205–210. DOI: 10.3760/cma.j.cn511434-20181213-00426.
Zeng M, Chen X, Cai CY, et al. Changes of foveal avascular zone size and correlation between foveal avascular zone size and metamorphopsia before and after idiopathic macular epiretinal membrane surgery [J]. Chin J Ocul Fundus Dis, 2020, 36(3): 205–210. DOI: 10.3760/cma.j.cn511434-20181213-00426.
- [23] Baba T, Kakisu M, Nizawa T, et al. Study of foveal avascular zone by OCTA before and after idiopathic epiretinal membrane removal [J]. Spektrum der Augenheilkunde, 2017, 32(1): 31–38. DOI: 10.1007/s00717-017-0375-4.
- [24] Cheng CY, Hsiao CC, Hsieh YT. Image processing and quantification analysis for optical coherence tomography angiography in epiretinal membrane [J/OL]. Photodiagnosis Photodyn Ther, 2023, 42: 103534 [2024-04-08]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36965759>. DOI: 10.1016/j.pdpdt.2023.103534.
- [25] Shen Y, Ye X, Tao J, et al. Quantitative assessment of retinal microvascular remodeling in eyes that underwent idiopathic epiretinal membrane surgery [J/OL]. Front Cell Dev Biol, 2023, 11: 1164529 [2024-06-26]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/37152290>. DOI: 10.3389/fcell.2023.1164529.
- [26] 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.
- [27] Okawa Y, Maruko I, Kawai M, et al. Foveal structure and vasculature in eyes with idiopathic epiretinal membrane [J/OL]. PLoS One, 2019, 14(4): e0214881 [2023-06-22]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30939161>. DOI: 10.1371/journal.pone.0214881.
- [28] Ulfik-Dembska K, Teper S, Dembski M, et al. Idiopathic epiretinal membrane: microvasculature analysis with optical coherence tomography and optical coherence tomography angiography [J]. Tomography, 2022, 8(1): 189–199. DOI: 10.3390/tomography8010016.

(收稿日期: 2023-09-22 修回日期: 2024-04-09)

(本文编辑: 张宇 骆世平)