

术中 OCT 在眼底手术中的应用

代照枝 综述 李拓 审校

恩施土家族苗族自治州中心医院眼科,恩施 445000

通信作者:李拓,Email:13986840088@139.com

【摘要】 光学相干断层扫描(OCT)是一种光学诊断技术,可对活体眼组织的显微结构进行非接触、非侵入性断层成像。但因检查过程中需要患者呈坐位状态的配合,限制了 OCT 在婴幼儿和卧位患者中的应用。术中 OCT(iOCT)可用于卧位患者,为术者提供术中实时解剖结构和细微病变等关键信息,有效提高手术的成功率及安全性。目前临床上应用的 iOCT 类型包括手持 iOCT、显微镜下悬吊式 iOCT、集成显微镜 iOCT 等,其中以集成显微镜 iOCT 应用最为广泛。iOCT 用于多种眼底手术过程中,在视网膜疾病手术中可用于视网膜脱离复位术、增生性糖尿病视网膜病变切除术等,在黄斑部手术中可用于黄斑裂孔修复术、黄斑前膜剥除术等,可有效减少手术并发症、辅助发现亚临床病变、帮助术者做出最合适的术中手术决策、预测患者预后等作用。本文就 iOCT 的分类和优劣及在视网膜脱离、糖尿病视网膜病变、黄斑前膜及黄斑裂孔等眼底病中的应用进展作一综述,为广大临床工作者提供参考。

【关键词】 光学相干断层扫描; 术中光相干断层扫描; 玻璃体视网膜病变

基金项目: 国家自然科学基金项目(81360154)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20210525-00320

Application of intraoperative OCT in fundus surgery

Dai Zhaozhi, Li Tuo

Department of Ophthalmology, The Central Hospital of Enshi Tujia and Miao Autonomous Prefecture, Enshi 445000, China

Corresponding author: Li Tuo, Email: 13986840088@139.com

【Abstract】 Optical coherence tomography (OCT) is an optical diagnostic technique that provides non-contact, non-invasive tomographic imaging of microscopic structures of living ocular tissues. However, it requires the patient to be seated during the examination, which limits its use in infants and recumbent patients. Intraoperative OCT (iOCT) can be used in patients in the decubitus position to provide the surgeon with critical real-time information on anatomy and subtle lesions, improving the success and safety of the procedure. At present, the clinically applied iOCT types include handheld OCT, microscope-mounted OCT, microscope-integrated OCT and so on, among which integrated microscope-integrated OCT is the most widely used. iOCT is mainly used in a variety of fundus surgeries, retinal detachment reduction and proliferative diabetic retinopathy resection in retinal disease surgeries, and macular hole repair and anterior macular membrane stripping in macular surgery. During surgery, the use of iOCT can play a role in reducing surgical complications, detecting subclinical lesions, helping the surgeon make the most appropriate surgical decision, and predicting patient prognosis. This article reviewed the classifications of iOCT, as well as its advantages and disadvantages in the application of retinal detachment, diabetic retinopathy, macular epiretinal membrane, macular hole and other diseases to provide a reference for clinical practitioners.

【Key words】 Optical coherence tomography; Intraoperative OCT; Vitreoretinopathy

Fund program: National Natural Science Foundation of China (81360154)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20210525-00320

光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)是一种非侵入性的检查方法,能够显示活体生物组织的断层显微结构,已成为眼科疾病诊疗过程中必不可少的工具之一^[1-3]。自 Huang 等^[4]发明 OCT 以来,其性能不断提升,应用范围不断

扩大,现已被广泛用于眼科疾病的正确诊断、病情评估以及随访中。OCT 因检查过程中需要患者呈坐位状态的配合,无法应用于婴幼儿和卧位患者;而术中 OCT(intraoperative OCT, iOCT)能应用于仰卧位的手术体位,可为术者提供术中黄斑区及玻璃

体视网膜界面等的情况,帮助术者做出准确的判断,提高手术的安全性和成功率。本文总结近几年 iOCT 在眼底手术中的应用的研究成果,为眼科医师应用 iOCT 提供一定的参考。

1 iOCT 的分类及优劣

1.1 手持式 OCT

手持式 OCT (handheld spectral domain optical coherence tomography, HHOCT) 赋予了检查体位很大的灵活性^[5]。之前, HHOCT 一般用于常规检查、床旁检查等。2009 年, Toth 等^[6]首次将 HHOCT 应用于黄斑裂孔手术中, 此后 HHOCT 逐渐被应用于视网膜脱离手术^[7]、小儿麻醉后眼部检查^[8-9]、早产儿视网膜病变筛查^[10]等眼科临床工作中。HHOCT 虽具有携带方便、操作灵活的优点, 但仍存在一些限制性因素, 如检查过程中需暂停手术, 无法实时成像; 检查图像的质量受检查者使用熟练程度的影响较大; 操作时需要注意维持术区无菌等。这些原因使其在临床中未得到广泛应用。

1.2 显微镜下悬吊式 OCT

显微镜下悬吊式 OCT (microscope-mounted optical coherence tomography, MMOCT) 通过显微镜的脚踏板来调节探头扫描位置, 增强采集图像时的稳定性并加快图像采集速度^[11]。但镊子、针头等手术器械在 OCT 下显现出高反射, 使得视网膜断层图像上产生阴影, 影响成像效果^[12]。相比于 HHOCT, MMOCT 提供了更好的图像质量, 但它仍然需要暂停手术进行扫描。

1.3 集成显微镜 OCT

为了解决前 2 种 iOCT 所存在的局限性, 研究者们开发了集成显微镜 OCT (microscope-integrated OCT, MIOCT)。Toth 等^[13]率先将 OCT 与 Leica 手术显微镜和 Oculus 双目间接显微镜 (BIOM3) 集成, 它们具有共同的焦点, 可对手术时的玻璃体和视网膜进行非接触、120° 大范围的广角成像。目前的市售 MIOCT 有 3 种, 分别是 Zeiss Rescan 700、Haag-Streit iOCT 和 EnFocus Ultra-HD OCT^[14-16]。这些 MIOCT 能适应显微镜的光学通路, 手术操作与 OCT 扫描同时进行, 可以实时反馈视网膜结构, 无需暂停手术, 保证了手术的流畅性, 但图像质量稍有下降。MIOCT 是目前应用最广的 iOCT。

1.4 探针式 OCT

Han^[17]等于 2008 年发明了一种将 OCT 与内窥镜探针头结合的 21G 探针头。与其他类型的 iOCT 相比, 探针式 iOCT 的探头能够深入眼内, 避免因屈光间质混浊而带来的影响, 在动物实验中可清晰地显示玻璃体、视网膜和脉络膜的图像。但在当时并没有与之相配的 21G 手术器械。随着微创玻璃体切割技术的发展, 已有与 23G、25G 相匹配的探针式 OCT^[18]; 但目前其还未在临床上广泛应用, 需要更多的临床研究来验证其可行性。Li 等^[19]已在动物中成功应用与激光器结合使用的探针 OCT。目前有研究将探针式 OCT 与机器人辅助系统结合以减少震颤, 提高定位精确度^[20]。

2 iOCT 在视网膜手术中的应用

2.1 视网膜脱离复位术

孔源性视网膜脱离 (rhegmatogenous retinal detachment, RRD) 是由于视网膜萎缩变性或玻璃体的牵拉而形成的视网膜神经上皮层的全层裂孔, 液化的玻璃体经裂孔进入视网膜下而形成的视网膜脱离。Ehlers 等^[21]在气液交换后采用 MIOCT 对 120 例 RRD 患者扫描发现了 71 例隐匿的病变, 如视网膜下积液、亚临床黄斑裂孔等。紧接着对其中的 21 眼提前进行了额外的内界膜 (Internal limiting membrane, ILM) 剥离和气体填塞等, 以减少这些隐匿的病变对术后视力恢复可能的不利影响。Abraham 等^[22]对 52 例复杂 RRD 患者 (具有其他的视网膜病变) 和 51 例单纯 RD 患者进行了术中扫描, 发现 iOCT 能透过全氟化碳液体 (眼内填充物) 进行成像, 并在 26 例复杂病例和 11 例单纯病例中发现了隐匿的黄斑裂孔、视网膜前膜和视网膜囊肿等改变。这些研究结果表明 iOCT 能帮助术者在 RRD 术中发现肉眼不可见或难以判断的复杂病理改变以做出相应的处理。

2.2 增生性糖尿病视网膜病变玻璃体切割术

糖尿病性视网膜病变是糖尿病的主要并发症之一。由于增生性糖尿病视网膜病变 (proliferative diabetic retinopathy, PDR) 中玻璃体视网膜结构关系的复杂性和组织的严重改变, 致使手术存在一定风险性。因此, 应用 iOCT 可将眼后节区域快速、实时地反馈给眼科医生, 有助于提高手术的安全性^[23]。

Agarwal 等^[24]采用 MIOCT 对 46 例行玻璃体切割手术的 PDR 患者进行术中扫描, 识别出纤维血管组织与视网膜紧密粘连和非粘连的区域, 从而有效减少术中对视网膜造成的医源性损伤。Khan 等^[25]采用 MIOCT 对 81 例行玻璃体视网膜手术的 PDR 患者进行术中扫描, 在超过一半的病例中识别出视网膜解剖平面和视网膜裂孔, 对其中 21 例患者调整了手术方式, 采用更多的膜剥离或使用填充物处理, 并在 4 例有可疑病变的患者中证实无视网膜裂孔或断裂, 从而减少了不必要的光凝或填塞。这与 Ehlers 等^[12]认为 iOCT 能帮助术者做出手术决策的研究结论一致。在玻璃体积血的情况下, 由于屈光间质的混浊导致无法进行术前黄斑区扫描, 限制了术前对视网膜结构的评估和手术计划的制定。清除玻璃体积血后, 可采用 iOCT 评估眼底情况 (黄斑前膜、黄斑水肿等), 帮助术者及时制定合适的手术方案。

目前, 临床上治疗糖尿病性黄斑水肿的方法有黄斑微脉冲激光光凝、玻璃体腔注射激素及抗 VEGF 治疗等, 但结果并不都令人满意。因此有研究者尝试使用黄斑水肿切除术来治疗复杂病例, 但这种手术操作精细, 可能会造成视网膜以及黄斑的损伤。Asahina 等^[26]采用 iOCT 辅助下糖尿病性黄斑囊样水肿切除术治疗难治性糖尿病性黄斑囊样水肿, 有效降低了术后黄斑裂孔的发生率; 术后随访 6 个月, 20 例患者中有 13 例患者黄斑中心凹厚度和最佳矫正视力得到显著改善。

2.3 视网膜下注射术

视网膜下注射药物是某些遗传性视网膜疾病的一种治疗方法, iOCT 的研发与应用对这一治疗手段产生深远影响。Vasconcelos 等^[27]收集了 19 例行视网膜下注射基因治疗患者的 iOCT 图像, 发现进针深度对成功建立局部泡状视网膜脱离

和药物输送至关重要,针尖过深会导致脉络膜出血、色素上皮层损伤以及药物进入脉络膜层,而进针太浅会导致药物返流和视网膜劈裂,而 iOCT 辅助视网膜下注射可极大减少这些并发症的发生。另外,视网膜下注射药物的剂量也至关重要。在视网膜下注射药物的过程中,由于药物的返流或者渗漏到玻璃体腔,使注射剂量与实际进入视网膜的剂量存在一定的差异,Hsu 等^[28]开发了一种基于 MIOCT 的注射剂量测量方法,使得剂量误差不超过 6%,可以实时提供注射药物剂量的信息,改善治疗效果,这对视网膜治疗的疗效和毒性研究具有重要意义。

3 iOCT 在黄斑部手术中的应用

3.1 黄斑裂孔修复术

黄斑裂孔 (macular hole, MH) 是指在黄斑中心凹处发生的全层视网膜缺损,会产生视物变形、明显的视力减退或中央暗点等症状。iOCT 能够辅助显示术中黄斑区的解剖结构变化,例如 ILM 剥除后引起的裂孔形状以及视网膜结构改变,有助于在手术过程中做出更客观的评估。Dayani 等^[6]于 2009 年首次在 4 例 MH 患者术中应用 HHOCT,发现其中 3 例患者在玻璃体切割术联合 ILM 剥除后, MH 的底部直径减小、高度增加,孔缘两侧视网膜组织变得尖锐,向中央靠拢,表明 ILM 对视网膜组织的牵引力减小;但有 1 例 4 期 MH 合并玻璃体后脱离的患者没有出现这种变化。这一发现可能解释了玻璃体后脱离在 MH 发病机制中的作用。Yee 等^[29]对 84 例 MH 患者术中应用 MIOCT 扫描发现, MH 闭合率为 97.6%,与常规手术相比没有明显差异;但在 5 例 MH 患者中,通过 iOCT 扫描发现了需要进一步处理的视网膜前膜,术中增加了剥膜过程。Maier 等^[30]应用 iOCT 辅助内界膜翻转覆盖术治疗较大 MH,发现 MH 闭合率为 100%,高于常规内界膜翻转覆盖术的 88%^[31]。Lorusso 等^[32]研究发现,术中应用 iOCT 确认 MH 闭合,可缩短患者术后平均俯卧位时间,在早期随访中(术后 1~3 d) MH 闭合率为 100%且无其他并发症,术后 3 个月时, MH 的闭合率是 93%,这表明 iOCT 辅助 MH 修复手术安全且有效,可提高患者的生活质量和依从性。Ehlers 等^[33]应用 iOCT 研究 MH 闭合速度,发现术中 MH 容积的变化、术中 MH 最小直径的变化和术前最小直径是早期预测 MH 闭合的最可靠指标。Tao 等^[34]将剥除 ILM 后 iOCT 扫描的 MH 边缘形态分为孔门组、中央凹瓣组以及一般形态组,发现 3 个组裂孔闭合率之间无明显差异,但中央凹瓣组的术后最佳矫正视力 (best corrected visual acuity, BCVA) 恢复最好,推测中央凹瓣可以覆盖内部视网膜的缺损,促进中央凹的光感受器和外界膜的修复,这使得术者在术中更偏向于保留皮瓣,提高术后 BCVA。

3.2 黄斑前膜剥除术

黄斑前膜 (macular epiretinal membrane, ERM) 是黄斑前形成的无血管的纤维膜,常引起视物变形和视力下降等,可通过玻璃体切割联合 ILM 剥除是目前治疗 MF 的主要方法,但对 ILM 剥除范围仍有争议。Itoh 等^[42]对 15 只行 ILM 剥除的 MF 眼进行 iOCT 扫描发现,保留中心凹 ILM 组 6 眼黄斑区视网膜结构均没有发生变化,完全 ILM 剥除组 9 眼中有 8 眼出现了视网膜结构的显著改变 (MH 等),术中随即对其中 3 眼进行了空气或长效气体填塞;保留中心凹 ILM 组患眼术后早期获得了更好的视力,但在随访终点 2 个组间视力比较差异无统计学意义,这

凹旁的低反射区,这些低反射区与临床上视网膜脱离的囊样改变相对应^[36]。Leisser 等^[37]使用 MIOCT 对 ERM 患者进行术中扫描发现,剥膜过程中医源性牵拉造成的黄斑中心凹下与黄斑中心凹旁的低反射区对患者术后视力无明显影响,但术后出现的低反射区是一种视网膜病理改变,提示了早期黄斑囊样水肿,这种病理改变通常在术后 3~4 d 出现,3 d 后消失。有研究发现,剥膜后光感受器内节/外节层与视网膜色素上皮层之间的距离以及嵌合体带与视网膜色素上皮层之间的距离显著增加^[38]。这些研究表明使用 iOCT 能使术者观察到剥膜后产生的视网膜解剖结构的变化,但需要进一步的研究来明确这些变化的意义和可能存在的影响。

在 ERM 手术中应用 iOCT 的最主要目的之一是可以观察到在显微镜下不易发现的残留膜。在 ERM 和 ILM 剥除后, Ehlers 等^[38]对 76 例 ERM 患者进行 iOCT 扫描发现,其中 9 例患者需要进一步剥除残留膜。Falkner-Radler 等^[39]使用 MIOCT 观察了 70 例接受 ILM 剥除后的患者,发现黄斑区无 ERM 或 ILM 残留,但使用视网膜染色剂后发现 66 例残留少量 ILM,但由于它们位于黄斑中心凹外,故无需进一步剥除。Leisser 等^[40]研究发现,30 例 ERM 患者中有 19 例患者在 iOCT 的辅助下不使用染料成功进行了 ERM 剥离,其余 11 例患者需要染色剂辅助。Falkner-Radler 等^[39]研究认为当 ERM 皱缩时,在 iOCT 的辅助下可不使用染色剂来帮助剥膜,以避免染色剂对视网膜的毒性作用。关于 ILM 是否剥除,一直以来争议不断,一般认为剥除 ILM 后可减少黄斑前膜的复发率。但 Ehlers 等^[38]研究发现,在 iOCT 辅助的 ERM 手术中, ILM 未剥除与 ILM 剥除后的 ERM 复发率相似。这表明在使用 iOCT 辅助手术治疗 ERM 时,不需要行额外的 ILM 剥除来预防 ERM 复发,其原因可能在于 iOCT 辅助手术能将 ERM 完全剥除。

Tao 等^[41]将 71 只玻璃体体积血患眼分为使用 iOCT 组 (试验组) 和不使用 iOCT 组 (对照组) 进行对比研究来探讨 iOCT 的有效性及其安全性,试验组中有 8 例黄斑病变的 iOCT 图像与手术显微镜下的观察结果不一致,其中 7 例改变了手术方案;与对照组相比, iOCT 组术中 ERM 剥离率较高,术后 ERM 的发生率较低;术后 2 个组 BCVA 均有显著改善,但组间比较差异无统计学意义。该研究表明虽然 iOCT 的使用没有影响玻璃体体积血患者最终的 BCVA,但可帮助医师选择最佳的手术方式,改善术后黄斑区的结构,降低术后黄斑 ERM 的发生率,避免二次手术。

3.3 黄斑劈裂修复术

高度近视性黄斑劈裂 (myopic foveoschisis, MF) 是指伴有后巩膜葡萄肿的高度近视患者视网膜神经上皮层间的分离。玻璃体切割联合 ILM 剥除是目前治疗 MF 的主要方法,但对 ILM 剥除范围仍有争议。Itoh 等^[42]对 15 只行 ILM 剥除的 MF 眼进行 iOCT 扫描发现,保留中心凹 ILM 组 6 眼黄斑区视网膜结构均没有发生变化,完全 ILM 剥除组 9 眼中有 8 眼出现了视网膜结构的显著改变 (MH 等),术中随即对其中 3 眼进行了空气或长效气体填塞;保留中心凹 ILM 组患眼术后早期获得了更好的视力,但在随访终点 2 个组间视力比较差异无统计学意义,这

项研究表明术者可应用 iOCT 于 MF 患眼术中,以观察术中视网膜微结构的变化,从而针对这些变化选择最优手术策略,减少手术并发症的发生;iOCT 也可作为一项研究工具来对临床工作中存在的争议进行评价,以选择最佳的治疗方案^[43]。

4 小结与展望

综上所述,iOCT 的优势在于术中能实时显示黄斑部与玻璃体视网膜界面的断层结构,帮助判断复杂病例的术中情况,例如在 RRD 复位术中可发现视网膜下积液、亚临床 MH,从而行 ILM 剥除和气体填充;在 MH 修复术中可提高 ILM 翻转覆盖术的裂孔闭合率,减少患者术后俯卧时间、保留“皮瓣”提高术后 BCVA;在 ERM 剥除术中减少染色剂的使用、降低 ERM 的复发率等。相比于台式 OCT,iOCT 不但降低了对患者体位的要求,而且还可对周边视网膜进行扫描,帮助术者观察到肉眼难以发现或判断的细微病变,从而提前做出处理,减少手术并发症,提高手术的安全性及成功率。

MIOCT 图像分辨率较常规 OCT 有所降低,虽然提高光照强度后能增强图像分辨率,但会增加对视网膜的损伤,改进 iOCT 的成像技术或许能有效解决这个问题。目前,MIOCT 在国内应用并不广泛,可能是由于仪器价格过于昂贵。未来期待更先进的 iOCT 仪器和软件平台应用于眼科临床工作。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Xiao W, Zhu Z, Oduard C, et al. Wide-field en face swept-source optical coherence tomography features of extrafoveal retinoschisis in highly myopic eyes [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2017, 58 (2) : 1037-1044. DOI: 10.1167/iovs.16-20607.
- [2] Menke MN, Dabov S, Knecht P, et al. Reproducibility of retinal thickness measurements in patients with age-related macular degeneration using 3D Fourier-domain optical coherence tomography (OCT) (Topcon 3D-OCT 1000) [J]. Acta Ophthalmol, 2011, 89 (4) : 346-351. DOI: 10.1111/j.1755-3768.2009.01692.x.
- [3] Jitpoonkuson T, Garcia PM, Rosen RB. Correlation between fluorescein angiography and spectral-domain optical coherence tomography in the diagnosis of cystoid macular edema [J]. Br J Ophthalmol, 2010, 94 (9) : 1197-1200. DOI: 10.1136/bjoo.2009.170589.
- [4] Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. Optical coherence tomography [J]. Science, 1991, 254 (5035) : 1178-1181. DOI: 10.1126/science.1957169.
- [5] Radhakrishnan S, Rollins AM, Roth JE, et al. Real-time optical coherence tomography of the anterior segment at 1310 nm [J]. Arch Ophthalmol, 2001, 119 (8) : 1179-1185. DOI: 10.1001/archoph.119.8.1179.
- [6] Dayani PN, Maldonado R, Farsiu S, et al. Intraoperative use of handheld spectral domain optical coherence tomography imaging in macular surgery [J]. Retina, 2009, 29 (10) : 1457-1468. DOI: 10.1097/IAE.0b013e3181b266bc.
- [7] Lee LB, Srivastava SK. Intraoperative spectral-domain optical coherence tomography during complex retinal detachment repair [J/OL]. Ophthalmic Surg Lasers Imaging, 2011, 42 Online : e71-e74 [2022-10-06]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21830748>. DOI: 10.3928/15428877-20110804-05.
- [8] Scott AW, Farsiu S, Enyedi LB, et al. Imaging the infant retina with a hand-held spectral-domain optical coherence tomography device [J]. Am J Ophthalmol, 2009, 147 (2) : 364-373. DOI: 10.1016/j.ajo.2008.08.010.
- [9] Chong GT, Farsiu S, Freedman SF, et al. Abnormal foveal morphology in ocular albinism imaged with spectral-domain optical coherence tomography [J]. Arch Ophthalmol, 2009, 127 (1) : 37-44. DOI: 10.1001/archophthalmol.2008.550.
- [10] Muni RH, Kohly RP, Charonis AC, et al. Retinoschisis detected with handheld spectral-domain optical coherence tomography in neonates with advanced retinopathy of prematurity [J]. Arch Ophthalmol, 2010, 128 (1) : 57-62. DOI: 10.1001/archophthalmol.2009.361.
- [11] Ang BCH and Lim SY and Dorairaj S. Intra-operative optical coherence tomography in glaucoma surgery-a systematic review [J]. Eye (Lond), 2020, 34 (1) : 168-177. DOI: 10.1038/s41433-019-0689-3.
- [12] Ehlers JP, Tao YK, Farsiu S, et al. Integration of a spectral domain optical coherence tomography system into a surgical microscope for intraoperative imaging [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2011, 52 (6) : 3153-3159. DOI: 10.1167/iovs.10-6720.
- [13] Tao YK, Ehlers JP, Toth CA, et al. Intraoperative spectral domain optical coherence tomography for vitreoretinal surgery [J]. Opt Lett, 2010, 35 (20) : 3315-3317. DOI: 10.1364/OL.35.003315.
- [14] Grimm M, Roodaki H, Eslami A, et al. Automatic intraoperative optical coherence tomography positioning [J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2020, 15 (5) : 781-789. DOI: 10.1007/s11548-020-02135-w.
- [15] Ehlers JP, Goshe J, Dupps WJ, et al. Determination of feasibility and utility of microscope-integrated optical coherence tomography during ophthalmic surgery: the DISCOVER Study RESCAN results [J]. JAMA Ophthalmol, 2015, 133 (10) : 1124-1132. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2015.2376.
- [16] Brooks CC, Kitchens J, Stone TW, et al. Consolidation of imaging modalities utilizing digitally assisted visualization systems: the development of a surgical information handling cockpit [J]. Clin Ophthalmol, 2020, 14 : 557-569. DOI: 10.2147/OPHT.S239339.
- [17] Han S, Sarunic MV, Wu J, et al. Handheld forward-imaging needle endoscope for ophthalmic optical coherence tomography inspection [J/OL]. J Biomed Opt, 2008, 13 (2) : 020505 [2022-10-16]. DOI: 10.1117/1.2904664. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18465947>.
- [18] Joos KM and Shen JH. Miniature real-time intraoperative forward-imaging optical coherence tomography probe [J]. Biomed Opt Express, 2013, 4 (8) : 1342-1350. DOI: 10.1364/BOE.4.001342.
- [19] Li Z, Shen JH, Kozub JA, et al. Miniature forward-imaging B-scan optical coherence tomography probe to guide real-time laser ablation [J]. Lasers Surg Med, 2014, 46 (3) : 193-202. DOI: 10.1002/lsm.22214.
- [20] Yu H, Shen JH, Shah RJ, et al. Evaluation of microsurgical tasks with OCT-guided and/or robot-assisted ophthalmic forceps [J]. Biomed Opt Express, 2015, 6 (2) : 457-472. DOI: 10.1364/BOE.6.000457.
- [21] Ehlers JP, Modi YS, Pecan PE, et al. The DISCOVER Study 3-year results: feasibility and usefulness of microscope-integrated intraoperative OCT during ophthalmic surgery [J]. Ophthalmology, 2018, 125 (7) : 1014-1027. DOI: 10.1016/j.ophtha.2017.12.037.
- [22] Abraham JR, Srivastava SK, T KL, et al. Intraoperative OCT-assisted retinal detachment repair in the DISCOVER Study: impact and outcomes [J]. Ophthalmol Retina, 2020, 4 (4) : 378-383. DOI: 10.1016/j.oret.2019.11.002.
- [23] Zakir R, Iqbal K, Hassaan Ali M, et al. The outcomes and usefulness of intraoperative optical coherence tomography in vitreoretinal surgery and its impact on surgical decision making [J]. Rom J Ophthalmol, 2022, 66 (1) : 55-60. DOI: 10.22336/rjo.2022.12.
- [24] Agarwal A and Gupta V. Intraoperative optical coherence tomography and proportional reflux hydrodissection-guided pars plana vitrectomy for complex severe proliferative diabetic retinopathy [J]. Indian J Ophthalmol, 2020, 68 (1) : 177-181. DOI: 10.4103/ijo.IJO_978_19.
- [25] Khan M, Srivastava SK, Reese JL, et al. Intraoperative OCT-assisted surgery for proliferative diabetic retinopathy in the DISCOVER Study [J]. Ophthalmol Retina, 2018, 2 (5) : 411-417. DOI: 10.1016/j.oret.2017.08.020.

- [26] Asahina Y, Tachi N, Asahina Y, et al. Six-month postoperative outcomes of intraoperative OCT-guided surgical cystotomy for refractory cystoid macular edema in diabetic eyes [J]. Clin Ophthalmol, 2017, 11 : 2099-2105. DOI:10.2147/OPHT.S150385.
- [27] Vasconcelos HM Jr, Lujan BJ, Pennesi ME, et al. Intraoperative optical coherence tomographic findings in patients undergoing subretinal gene therapy surgery[J/OL]. Int J Retina Vitreous, 2020, 6 : 13 [2022-10-26]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32377379>. DOI: 10.1186/s40942-020-00216-1.
- [28] Hsu ST, Gabr H, Viehland C, et al. Volumetric measurement of subretinal blebs using microscope-integrated optical coherence tomography[J/OL]. Transl Vis Sci Technol, 2018, 7(2) : 19 [2022-10-26]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29651361>. DOI: 10.1167/tvst.7.2.19.
- [29] Yee P, Sevgi DD, Abraham J, et al. iOCT-assisted macular hole surgery: outcomes and utility from the DISCOVER study [J]. Br J Ophthalmol, 2021, 105(3) : 403-409. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2020-316045.
- [30] Maier M, Bohnacker S, Klein J, et al. Vitrectomy and iOCT-assisted inverted ILM flap technique in patients with full thickness macular holes[J]. Ophthalmologie, 2019, 116(7) : 617-624. DOI: 10.1007/s00347-018-0769-y.
- [31] Michalewska Z, Michalewski J, Adelman RA, et al. Inverted internal limiting membrane flap technique for large macular holes [J]. Ophthalmology, 2010, 117(10) : 2018-2025. DOI:10.1016/j.ophtha.2010.02.011.
- [32] Lorusso M, Micelli Ferrari L, Cicinelli MV, et al. Feasibility and safety of intraoperative optical coherence tomography-guided short-term posturing prescription after macular hole surgery[J]. Ophthalmic Res, 2020, 63(1) : 18-24. DOI:10.1159/000501561.
- [33] Ehlers JP, Uchida A, Srivastava SK, et al. Predictive model for macular hole closure speed: insights from intraoperative optical coherence tomography[J/OL]. Transl Vis Sci Technol, 2019, 8(1) : 18 [2022-11-08]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30746303>. DOI: 10.1167/tvst.8.1.18.
- [34] Tao J, Chen H, Zhu L, et al. Macular hole edge morphology predicts restoration of postoperative retinal microstructure and functional outcome[J/OL]. BMC Ophthalmol, 2020, 20(1) : 280 [2022-11-08]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32652958>. DOI: 10.1186/s12886-020-01541-7.
- [35] Ray R, Barañano DE, Fortun JA, et al. Intraoperative microscope-mounted spectral domain optical coherence tomography for evaluation of retinal anatomy during macular surgery [J]. Ophthalmology, 2011, 118(11) : 2212-2217. DOI:10.1016/j.ophtha.2011.04.012.
- [36] Pichi F, Alkabes M, Nucci P, et al. Intraoperative SD-OCT in macular surgery[J]. Ophthalmic Surg Lasers Imaging, 2012, 43(6 Suppl) : S54-S60. DOI:10.3928/15428877-20121001-08.
- [37] Leisser C, Hackl C, Hirschall N, et al. Effect of subfoveal and extrafoveal hyporeflexive zones due to iatrogenic traction during membrane peeling for epiretinal membranes on postoperative outcomes [J]. Ophthalmologica, 2020, 243(4) : 297-302. DOI: 10.1159/000505214.
- [38] Ehlers JP, Khan M, Petkovsek D, et al. Outcomes of intraoperative ophthalmic assisted epiretinal membrane surgery from the PIONEER study [J]. Ophthalmol Retina, 2018, 2(4) : 263-267. DOI: 10.1016/j.oret.2017.05.006.
- [39] Falkner-Radler CI, Glittenberg C, Gabriel M, et al. Intraoperative microscope-integrated spectral domain optical coherence tomography-assisted membrane peeling [J]. Retina, 2015, 35(10) : 2100-2106. DOI:10.1097/IAE.0000000000000596.
- [40] Leisser C, Hirschall N, Palkovits S, et al. Intraoperative optical coherence tomography-guided membrane peeling for surgery of macular pucker: advantages and limitations [J]. Ophthalmologica, 2019, 241(4) : 234-240. DOI:10.1159/000493279.
- [41] Tao J, Wu H, Chen Y, et al. Use of iOCT in Vitreoretinal surgery for dense vitreous hemorrhage in a Chinese population [J]. Curr Eye Res, 2019, 44(2) : 219-224. DOI:10.1080/02713683.2018.1533982.
- [42] Itoh Y, Inoue M, Kato Y, et al. Alterations of foveal architecture during vitrectomy for myopic retinoschisis identified by intraoperative optical coherence tomography [J]. Ophthalmologica, 2019, 242(2) : 87-97. DOI:10.1159/000500362.
- [43] Caporossi T, Picardi SM, Gambini G, et al. Dynamics of epiretinal membrane peeling under perfluorocarbon liquid evaluated by intraoperative OCT [J/OL]. Life (Basel), 2023, 13(2) : 253 [2022-11-22]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36836611>. DOI: 10.3390/life13020253.

(收稿日期:2023-01-16 修回日期:2023-07-24)

(本文编辑:张宇 骆世平)

读者·作者·编者

本刊对基金项目的证明和著录要求

文稿所涉及的课题如为国家级、部级、省级等基金资助项目,请分别用中英文表述并分别列于文章中英文摘要关键词之下,“基金项目:”进行标识,并注明基金项目名称,并在圆括号内注明基金项目编号。基金项目名称应按国家有关部门规定的正式名称填写,多个基金资助的项目请全部列出,按资助机构的等级顺序排列,并以“;”隔开。如:基金项目:国家自然科学基金项目(30271269);国家重点基础研究发展规划(973计划)(2013CB532002);Fund program:National Natural Science Foundation of China(30271269);National Key Basic Research Program of China(973 Program)(2013CB532002)。获得基金项目资助的论文投稿时请提供基金项目资助证明的复印件或扫描后发至编辑部信箱。

欢迎订阅《中华实验眼科杂志》

《中华实验眼科杂志》为中国科技论文统计源期刊和中国中文核心期刊、中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊,月刊,96面,每月10日出版,每期定价26元,邮发代号:36-13,国内外公开发行,欢迎到各地邮局订阅或直接与本刊编辑部联系订购。联系电话:0371-87160872。

(本刊编辑部)