

· 专家述评 ·

## 正确认识 OCT 血管成像技术的临床应用价值

王敏 周瑶

200031 上海, 复旦大学附属眼耳鼻喉科医院眼科

通信作者: 王敏, Email: wangmin83@yahoo.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2016.12.001

**【摘要】** OCT 血管成像 (OCTA) 是一项无创、快捷的血流检测技术, 目前主要用于视网膜脉络膜的血流成像。与传统的荧光素眼底血管造影 (FFA) 和吲哚青绿血管造影 (ICGA) 技术不同, OCTA 无需静脉注射造影剂就能够对血流信号进行探测和量化分析, 并且能够分层观察和判断视网膜脉络膜的血流改变情况, 因此 OCTA 比传统的眼底血管造影技术提供的血流信息更多、更准确。OCTA 作为一项具有革命性突破的新技术, 在眼科血管性疾病的诊断及血流改变有关眼病的发病机制探讨方面具有划时代的意义。但是, 任何新技术的临床应用都有其限制性和局限性, 如 OCTA 观察的眼底范围并不如 FFA 和 ICGA 大, 且检查和读图过程中也受到一些因素的影响。充分了解 OCTA 的成像原理和成像特点有助于眼科医师更好地了解视网膜脉络膜疾病、青光眼和神经眼科疾病的血流改变, 并加深对这些疾病发病机制的认识, 同时利用该技术对相关眼病进行有效监测和随访。

**【关键词】** 血管摄影/方法; 生物技术评估; 光学相干断层扫描; 视网膜血管/生理病理; 脉络膜新生血管/诊断; 视神经; 荧光素眼底血管造影; 吲哚青绿血管造影

**Correctly understanding the clinical value of optical coherence tomography angiography** Wang Min, Zhou Yao  
Department of Ophthalmology, Eye and ENT Hospital of Fudan University, Shanghai 200031, China  
Corresponding author: Wang Min, Email: wangmin83@yahoo.com

**【Abstract】** OCT angiography (OCTA) is a non-invasive imaging technique for detecting blood flow information of the retina and choroid. Dye injection is not needed with OCTA, which is different from fundus fluorescein angiography (FFA) and indocyanine green angiography (ICGA). OCTA is able to observe blood flow in different retinal and choroidal segmentation slab. This revolutionary breakthrough in OCTA algorithm provides more and more accurate blood flow informations in the diagnosis of ocular vessel diseases and the study on pathogenesis of some vessel-related eye diseases. However, like other biometric technology, OCTA has its limitations and shortcomings, for example, OCTA presents a smaller observational area than FFA and ICGA, and some factors affect the imaging quality and cause misdiagnosis during the examination and reading image. Fully understanding the principle of OCTA and its image features are helpful for eye doctors to better interpret the blood flow changes of retinal diseases, choroidal diseases, glaucoma and neuro-ophthalmic diseases. Ophthalmologists should correctly apply this imaging tool for a better monitoring and following up of these diseases.

**【Key words】** Angiography/methods; Technology assessment, biomedical; Tomography, optical coherence; Retinal vessels/physiopathology; Choroid neovascularization/diagnosis; Optic nerve; Fundus fluorescein angiography; Indocyanine green angiography

OCT 血管成像 (OCT angiography, OCTA) 是近几年出现的检测视网膜和脉络膜血流的新颖影像技术, 具有无创、快捷的优点, 目前主要用于视网膜脉络膜的血流成像。OCTA 利用分频谱振幅去相干血管成像 (split-spectrum amplitude-decorrelation angiography, SSADA) 算法, 能够增强血流信号的探测能力, 减少眼

球轴向运动的影响, 与传统的检测法相比成像质量更为准确和清晰<sup>[1]</sup>。与荧光素眼底血管造影 (fundus fluorescein angiography, FFA) 和吲哚青绿血管造影 (indocyanine green angiography, ICGA) 相比, OCTA 无需静脉注射造影剂, 而且获取图像所用的时间短, 为临床上对患者的快速诊断提供了极大的便利。但由于

OCTA 检测范围的限制,检查时对受检眼固视和屈光间质的清晰度要求较高,因此目前尚不能完全替代 FFA 和 ICGA。眼科医师应充分了解 OCTA 的特性、临床应用价值和注意事项,提高对这一新技术的认识,以便更合理、更有效地利用 OCTA 为临床服务。

## 1 OCTA 的基本原理及其与传统血管造影检查技术的对比

OCTA 的问世依赖于 OCT 技术的不断发展。OCT 是一种无创的影像学检查技术,能够对生物的浅表组织进行断层成像。自 1991 年 Huang 等<sup>[2]</sup>发明 OCT 技术以来,其成像速度和分辨率不断提高,后来出现的 en face OCT 也为 OCTA 的研发奠定了基础。多普勒技术最先用于血流成像,但是由于其仅对平行于探测光束的血流比较敏感,而视网膜脉络膜的血流大部分垂直于探测光束,因此多普勒血管成像不能很好地对视网膜脉络膜的血流成像<sup>[3]</sup>。以往对各种血流成像方法的探索,包括基于振幅、基于相位以及基于二者联合变化等算法<sup>[4]</sup>。目前临床应用的 OCTA 设备有基于振幅的算法,还有基于相位和振幅的算法。

与 FFA 和 ICGA 等传统的视网膜脉络膜血管造影技术相比,OCTA 无需静脉注射造影剂,避免了造影剂注射带来的各种不良反应。外源性造影剂静脉注射会造成 4.83% 的患者发生不同程度的不良反应,轻者如恶心、呕吐、皮肤瘙痒,严重者可导致死亡<sup>[5-6]</sup>。传统眼底血管造影检查需要观察造影剂注射后眼底血管荧光的动态变化,这一过程需要 10~30 min,而 OCTA 对眼底各层血管的成像只需 5~6 s。此外,FFA 和 ICGA 呈现的是视网膜脉络膜全层荧光的分布情况,而 OCTA 能够分层显示视网膜脉络膜的血流分布情况,清楚地显示病灶的层次与位置,而且每幅 en face OCTA 图像配有相应的 B 扫描 OCT,可更精确地分析病变的形态和位置。OCTA 的成像过程无造影剂注射,因此也无法显示传统血管造影方法中显示的荧光素渗漏、着染和染料积存等影像特征,但也因此避免了造影剂渗漏对病灶观察的干扰。目前临床上应用的 OCTA 的最大扫描范围为 8 mm×8 mm,较传统血管造影显示的观察范围小,无法呈现周边部的血流改变,这也是目前 OCTA 的主要缺点。

## 2 OCTA 的临床应用领域

### 2.1 脉络膜新生血管性疾病的血流成像

脉络膜新生血管 (choroidal neovascularization, CNV) 常发生在黄斑区,可继发于不同的疾病或为特发

性,引起视物变形、视力下降等症状。研究发现,OCTA 对于 CNV 诊断的敏感度为 50%~100%,特异度可达 92%~100%<sup>[7-8]</sup>。OCTA 可以显示眼底不同层面及不同类型的 CNV, I 型 CNV 的血流信号位于视网膜色素上皮 (retinal pigment epithelium, RPE) 与 Bruch 膜之间,可以用脉络膜毛细血管层面来显示; II 型 CNV 则可在 RPE 上见到血流信号,可用外层视网膜层面来显示。OCTA 中显示的 CNV 细节较 FFA 和 ICGA 更加清晰, I 型 CNV 在 OCTA 图像上可呈扇形、海蛇头形和不规则形, II 型 CNV 则通常显示为肾小球形或水母样<sup>[9-10]</sup>。由于 OCTA 的无创和快捷特性,可以密切观察抗血管内皮生长因子 (vascular endothelial growth factor, VEGF) 药物治疗过程中 CNV 的变化,从影像学图像上直观地观察疗效。目前, OCTA 还可以对 CNV 的面积进行定量测量,这使得 OCTA 成为评价抗 VEGF 药物疗效一个有价值的生物学指标。

息肉样脉络膜血管病变 (polypoidal choroidal vasculopathy, PCV) 是一种以脉络膜异常分支血管网 (branch vascular network, BVN) 及其末端的息肉样膨大 (polyps) 为特点的血管性病变,目前 ICGA 仍是 PCV 诊断的金标准。但 ICGA 是有创的检查方法,并且由于 ICGA 设备普及度不够以及造影剂染料的供应问题,限制了其临床应用。OCTA 对于 BVN 血管形态的显像较 ICGA 更清晰,而且能直观显示出 BVN 的血流信号位于 RPE 与 Bruch 膜之间。目前, OCTA 对于 polyps 的检测尚有局限性,文献报道的检出率为 25%~92%<sup>[11-13]</sup>,其主要原因可能与 OCTA 对 polyps 信号的捕捉方式有关,有些流速慢、体积小的息肉样病灶检测的难度较大。在能检测到的 polyps 病例中, OCTA 显示其血流信号位于陡峭色素上皮脱离的顶端<sup>[13]</sup>,这在 ICGA 中是无法显示的。目前,可以利用 OCTA 对 PCV 的疑似患者进行筛查,不能确诊者则可进一步用 ICGA 明确诊断。

### 2.2 视网膜血管性疾病的血流成像

糖尿病视网膜病变 (diabetic retinopathy, DR) 是糖尿病患者中常见的视网膜血管性疾病, OCTA 能够很好地显示 DR 中视网膜微血管的异常,如微血管瘤、视网膜内微血管异常、视网膜中央无血管区 (foveal avascular zone, FAZ) 的扩大及周围毛细血管的重塑、毛细血管扩张以及无灌注区<sup>[14]</sup>。微血管瘤在 OCTA 上显示的数量少于在 FFA 上显示的数量,这可能与 OCTA 的成像原理有关,因为有些过小的微血管瘤血流速度较低, OCTA 无法捕捉血流信号<sup>[15]</sup>。在 DR 患者的视网膜新生血管成像方面,因为 OCTA 没有荧光

素渗漏的干扰而且局部的分辨率更高,因此 OCTA 对于 FAZ 的扩大以及周围血管的重塑、小的无灌注区的显像较 FFA 好。血糖过高的 DR 患者不适宜进行 FFA 检查,OCTA 为这部分患者提供了一个评估视网膜微血管情况的途径。但 OCTA 扫描范围较小,故无法对 DR 患者的周边视网膜血流进行观察。

视网膜静脉阻塞 (retinal vein occlusion, RVO) 可以造成严重的视力损害,其发病率仅次于 DR,以往的检查方法对其异常血管的观察不够理想。OCTA 能很好地显示 RVO 患者视网膜后极部血管弓内浅层和深层毛细血管的扩张、迂曲、重塑和异常吻合及毛细血管无灌注区和微血管瘤等,也可清晰显示合并黄斑水肿眼黄斑区 FAZ 的扩大以及黄斑区血管密度的降低<sup>[16-17]</sup>。但临床上由于 OCTA 扫描范围的限制,FFA 对于 RVO 的治疗,特别是周边有无灌注区患者的动态监测仍具有指导意义。RVO 患者黄斑区血流对于视网膜神经节细胞及其轴突的血供十分重要,OCTA 能帮助我们了解黄斑区血流改变的信息,其影像分析对患者的视力预后判断具有重要价值。

OCTA 可用于各种眼底血管性疾病的检测,但其主要的扫描区域仍局限在黄斑区上下血管弓内,对于因视网膜周边部有无灌注区而需要激光光凝治疗的患者来说,OCTA 目前无法替代 FFA 对治疗的指导作用。我们可以利用 OCTA 无创、便捷的优势对接受治疗的患者进行随访,通过对黄斑区血流情况的观察来评估治疗效果,判断患者的视力预后。

### 2.3 中心性浆液性脉络膜视网膜病变

OCTA 能够对中心性浆液性脉络膜视网膜病变 (central serous chorioretinopathy, CSC) 患者脉络膜毛细血管的血流改变进行观察。在急性 CSC 患者中,OCTA 能观察到在 FFA 上显示的荧光素渗漏点附近的脉络膜毛细血管血流信号增强<sup>[18]</sup>,但渗漏点的发现仍然需要依靠 FFA。在慢性 CSC,由于病灶区域可能出现 RPE 变薄或萎缩,OCTA 可透见 RPE 下的脉络膜毛细血管,在判读 OCTA 结果时应注意识别,需联合 B 扫描 OCT 一并观察。值得注意的是,OCTA 对 CSC 并发 CNV 的诊断有重要价值,其作用优于 FFA 而且快捷、无创,这一点已得到公认。

### 2.4 OCTA 在青光眼及神经眼科疾病中的应用

青光眼和神经眼科疾病可导致神经元(视网膜神经节细胞)和轴突(视网膜神经纤维)的损害,OCTA 为我们进一步了解视网膜神经元和轴突的丢失与血流改变之间的关系提供了重要研究手段<sup>[18]</sup>。OCTA 有助于我们从血流变化的角度深入认识青光眼和神经眼科

疾病的发病机制,而不是作为确诊青光眼或神经眼科疾病的主要影像学检查方法,en face OCT 联合 OCTA 有助于我们理解青光眼和神经眼科疾病中组织结构(神经纤维和节细胞)和功能改变(血流)之间的对应关系或先后顺序,从而全面了解这些疾病的发病机制。

### 3 应用 OCTA 时的注意事项

OCTA 是目前对视网膜脉络膜血管性疾病进行诊断和观察的有用工具,但其检查过程和对影像的判断也受一些因素的影响,因此 OCTA 的应用需注意尽量避免一些影响因素。

在进行 OCTA 扫描前首先应检查患者的屈光间质,角膜、晶状体或玻璃体明显混浊的患者会影响 OCTA 的成像质量。此外,检查时受检眼固视不好、有眼球震颤或视力极差者由于眼动的影响也会引起成像质量不好,这些患者不适合进行 OCTA 检查。OCTA 扫描的间隙让患者瞬目或短暂闭眼休息有助于减少眼动次数,对 OCTA 扫描结果进行解读时应注意针对不同的疾病特点选择不同的 OCTA 分层面,视网膜血管性疾病主要从浅层及深层毛细血管分层面进行观察,CNV 患者应选择外层视网膜和脉络膜毛细血管分层面进行观察。可用手动法适当调整分层面的上下界限以突显病变形态和位置。

OCTA 的成像特性可以产生投射,浅层的大血管会投射在无血管的外层视网膜上,使得本无血流信号的外层视网膜出现一些与浅层大血管形态相同的信号,目前虽然已有专门的算法去除这种投射,但在某些情况下依旧会出现投射伪影,如在严重的视网膜水肿病例中,由于视网膜形态变化较大,分层的准确性受到影响,外层视网膜层面依旧会出现伪影。为了鉴别这些血流信号是否为伪影,我们可以对比外层视网膜层面上的血管形态与浅层视网膜的血管形态,如两者吻合则为投射伪影。OCTA 是通过检测红细胞在血管中的运动来判定血流的,因此图像采集过程中眼球的运动也会引起伪影。虽然理论上 OCTA 识别到的信号应当都是红细胞的运动,但是一些非血管结构的组织因细微的眼动有时也会被误认为血流信号。另外,血流速度太快或太慢,OCTA 也无法进行识别。

OCTA 技术本身还在不断地改进和进步,今后的 OCTA 扫描速度会更快,扫描范围会更广,在眼部疾病中的应用也会越来越广。不同厂家生产的 OCTA 设备其算法也不同,这些设备将陆续进入市场和医疗机构,眼科医师可以根据自己的临床需求选择不同的 OCTA 设备。只有对 OCTA 成像原理及特点有足够的认识,

才能更好地利用这一新技术。任何新技术都不是完美的,虽然与传统的眼底血管造影方法相比 OCTA 有其一定的优势,但在临床应用中仍有一定的局限性,广大眼科医师应权衡利弊,合理地使用这一新技术。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. Optical coherence tomography[J]. *Science*, 1991, 254(5035): 1178-1181.
- [3] Wang RK. Three-dimensional optical micro-angiography maps directional blood perfusion deep within microcirculation tissue beds *in vivo* [J]. *Phys Med Biol*, 2007, 52(23): N531-537. DOI:10.1088/0031-9155/52/23/N01.
- [4] Zhang A, Zhang Q, Chen CL, et al. Methods and algorithms for optical coherence tomography-based angiography: a review and comparison [J/OL]. *J Biomed Opt*, 2015, 20(10): 100901 [2016-08-13]. <http://biomedicaloptics.spiedigitallibrary.org/article.aspx?articleid=2464650>. DOI:10.1117/1.JBO.20.10.100901.
- [5] Yannuzzi LA, Rohrer KT, Tindel LJ, et al. Fluorescein angiography complication survey[J]. *Ophthalmology*, 1986, 93(5): 611-617.
- [6] Butner RW, McPherson AR. Adverse reactions in intravenous fluorescein angiography[J]. *Ann Ophthalmol*, 1983, 15(11): 1084-1086.
- [7] de Carlo TE, Bonini FMA, Chin AT, et al. Spectral-domain optical coherence tomography angiography of choroidal neovascularization[J]. *Ophthalmology*, 2015, 122(6): 1228-1238. DOI:10.1016/j.ophtha.2015.01.029.
- [8] Bonini FMA, de Carlo TE, Ferrara D, et al. Association of choroidal neovascularization and central serous chorioretinopathy with optical coherence tomography angiography [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2015, 133(8): 899-906. DOI:10.1001/jamaophthalmol.2015.1320.
- [9] Kuehlewein L, Bansal M, Lenis TL, et al. Optical coherence tomography angiography of type 1 neovascularization in age-related macular degeneration[J]. *Am J Ophthalmol*, 2015, 160(4): 739-748. DOI: 10.1016/j.ajo.2015.06.030.
- [10] El AA, Cohen SY, Semoun O, et al. Type 2 neovascularization secondary to age-related macular degeneration imaged by optical coherence tomography angiography[J]. *Retina*, 2015, 35(11): 2212-2218. DOI:10.1097/IAE.0000000000000773.
- [11] Kim JY, Kwon OW, Oh HS, et al. Optical coherence tomography angiography in patients with polypoidal choroidal vasculopathy [J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2016, 254(8): 1505-1510. DOI: 10.1007/s00417-015-3228-3.
- [12] Srour M, Querques G, Semoun O, et al. Optical coherence tomography angiography characteristics of polypoidal choroidal vasculopathy[J]. *Br J Ophthalmol*, 2016, 56: 71-76. DOI:10.1136/bjophthalmol-2015-307892.
- [13] Wang M, Zhou Y, Gao SS, et al. Evaluating polypoidal choroidal vasculopathy with optical coherence tomography angiography [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016, 57(9): 526-532. DOI:10.1167/iov.15-18955.
- [14] Ishibazawa A, Nagaoka T, Takahashi A, et al. Optical coherence tomography angiography in diabetic retinopathy: a prospective pilot study[J]. *Am J Ophthalmol*, 2015, 160(1): 35-44. DOI:10.1016/j.ajo.2015.04.021.
- [15] Couturier A, Mané V, Bonnin S, et al. Capillary plexus anomalies in diabetic retinopathy on optical coherence tomography angiography[J]. *Retina*, 2015, 35(11): 2384-2391. DOI:10.1097/IAE.0000000000000859.
- [16] Rispoli M, Savastano MC, Lumbroso B. Capillary network anomalies in branch retinal vein occlusion on optical coherence tomography angiography [J]. *Retina*, 2015, 35(11): 2332-2338. DOI:10.1097/IAE.0000000000000845.
- [17] Suzuki N, Hirano Y, Yoshida M, et al. Microvascular abnormalities on optical coherence tomography angiography in macular edema associated with branch retinal vein occlusion [J]. *Am J Ophthalmol*, 2016, 161: 126-132. DOI:10.1016/j.ajo.2015.09.038.
- [18] 王敏,徐格致,孙兴怀,等. OCT 血管成像和 en face OCT 图谱 [M]. 上海:复旦大学出版社, 2015: 185-203.

(收稿日期:2016-10-11)

(本文编辑:尹卫靖 刘艳)

## 消息

### 第三届华夏眼科国际论坛暨第六届国际葡萄膜炎会议征文通知

由厦门眼科中心主办、眼免疫学组参与的第三届华夏眼科国际论坛暨第六届国际葡萄膜炎会议将于 2017 年 4 月 1—2 日在厦门召开。

会议邀请到多位从事葡萄膜炎临床工作和眼免疫相关基础研究的国际著名专家及国内不同专业的知名专家,就眼科发展的新技术、新知识、新经验以及对葡萄膜炎相关疾病的临床、基础和流行病学研究等进行专题讲授,将为参会代表搭建一个广泛、深入、富有成效的学术交流平台,共同推动我国眼科学和葡萄膜炎研究的发展。参加此次会议将获得国家级医学继续教育学分,欢迎全国眼科医师报名参会并不吝赐稿。

1 征文截稿日期 2017 年 3 月 10 日。

2 征文内容 眼科相关的基础及临床研究;眼科管理、科研和教学方法;各种类型葡萄膜炎、眼内炎症以及手术后所致炎症反应;眼免疫相关的临床及基础研究论文或经验体会。

3 征文要求 凡报送大会交流的论文,均须提交中英文摘要一份,包括目的、方法、结果、结论及关键词,论文要求未在国内公开发行的刊物上发表,字数不超过 500 字。请注明论文题目、作者姓名、作者单位、详细地址、邮编、联系电话及 Email。

4 投稿方式 请将稿件摘要发送至 [uveitis2017@163.com](mailto:uveitis2017@163.com)。

5 联系方式 会议地址:厦门国际会议展览中心(暂定);邮编:361000;Email:[uveitis2017@163.com](mailto:uveitis2017@163.com);联系人:谭笑(13883590536)、修老师(13696950722)。

(会务组)