

光学相干断层扫描技术眼前节成像的应用探讨

董 静¹, 吴 强², 王晓刚³

作者单位:¹(030001)中国山西省太原市,山西医科大学第一医院眼科;²(200233)中国上海市,上海交通大学附属第六人民医院眼科;³(030002)中国山西省太原市,山西省眼科医院
作者简介:董静,硕士,主治医师,研究方向:眼整形、白内障、视网膜疾病。

通讯作者:王晓刚,博士,住院医师,研究方向:眼科影像学在角膜、白内障及视网膜疾病临床及基础方面的应用. movie6521@163.com

收稿日期:2015-05-05 修回日期:2015-08-11

Discussion on application of optical coherence tomography for anterior segment imaging

Jing Dong¹, Qiang Wu², Xiao-Gang Wang³

¹Department of Ophthalmology, the First Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, Shanxi Province, China;²Department of Ophthalmology, the Affiliated Sixth People's Hospital Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200233, China;³Shanxi Eye Hospital, Taiyuan 030002, Shanxi Province, China

Correspondence to: Xiao - Gang Wang. Shanxi Eye Hospital, Taiyuan 030002, Shanxi Province, China. movie6521@163.com

Received:2015-05-05 Accepted:2015-08-11

Abstract

• It is very important for ophthalmic clinical diagnosis and research to obtain anterior segment information by non-invasive means. With the progress of science and technology, the application of optical coherence tomography (OCT) on clinical practice and scientific research of ophthalmology has been widely accepted. It not only can achieve precise imaging of an organization structure, but also can do some quantitative analysis for the assessment of clinical treatment and follow-up as an irreplaceable information.

• **KEYWORDS:** optical coherence tomography; anterior segment; cornea

Citation: Dong J, Wu Q, Wang XG. Discussion on application of optical coherence tomography for anterior segment imaging. *Guoji Yanke Zazhi(Int Eye Sci)* 2015;15(9):1567-1571

摘要

通过无创性手段获得眼前节组织结构信息,对于眼科临床诊断及科研尤为重要。随着科技的进步,光学相干断层扫描技术(optical coherence tomography,OCT)在眼科临床及科研的应用已经得到广泛认可。目前不仅可以实现

组织结构的精细成像,并可以进行对应的量化分析,为临床治疗的评估、随访观察提供不可替代的信息。

关键词:光学相干断层扫描;前节;角膜

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2015.9.20

引用:董静,吴强,王晓刚.光学相干断层扫描技术眼前节成像的应用探讨.国际眼科杂志2015;15(9):1567-1571

0 引言

光学相干断层扫描系统(optical coherence tomography,OCT)以其非接触、高分辨率的成像特点,广泛应用于眼科临床及科研。其主要分为前节及后节两大部分,前节OCT作为一种非接触的成像技术,可以实现眼部部分生物组织结构的活体断层成像^[1]。在1994年,Izatt等^[2]首次报道OCT用于角膜和前房结构的观察。自此,角膜屈光手术的盛行不仅推动了临床使用OCT对角膜结构进行观察,同时也推动影像学技术不断革新,提供更加精细的前节图像用于临床诊断。前节OCT的临床应用还在不断地开发,应用方面已经扩展至青光患者房角结构的定性和定量评估^[3]、前房深度测量对前房或者后房人工晶状体(intraocular lens,IOL)植入术前条件评估及术后随访观察^[4],以及对白内障术后患者后房IOL倾斜状况的评估等^[5-6]。本文对前节OCT的技术发展及临床应用分别进行概述。

1 OCT技术的原理及特点

整体而言,OCT成像基本原理与超声技术类似,主要是探测光源发出的红外光线从组织结构反射回来的时间延迟。但是由于光的传播速度很快,对其延迟的直接测量是很难实现的,所以最终采用低相干光干涉的原理,比较参考平面的反射与组织信息反射之间的差异。最终的二维断层图像(B扫描)的获得是多个不同深度反射信号强度不同的轴向扫描信息(A扫描)综合的结果。OCT成像技术包含以下几方面的特点:(1)光源为红外光,不会对被检查者造成不适刺激。由于眼前节结构有一定的深度,故对于前节OCT而言,为了满足前房全景成像的要求,使用的光源波长多为1310nm;(2)与其他成像设备,如超声、磁共振等比较而言,其成像分辨率较高,可达15~20 μ m左右,有利于临床中对眼部组织结构的详细观察;(3)前节OCT使用的波长较长的光源使得对前房结构的全景观察得以实现,但是由于一定的激光能量限制及光源本身的局限性,使得对于巩膜、虹膜等组织的穿透能力明显弱于超声技术。

对于前节OCT而言,目前根据成像的特点,可以将其简单地分为时域和傅立叶域/频域OCT两种。时域OCT是把同一时间从不同深度组织反射回来的光信号与参考反光镜反射回来的光信号进行叠加、干涉,最终成像,在整个信号收集的过程中,参考镜通过不断的移动以

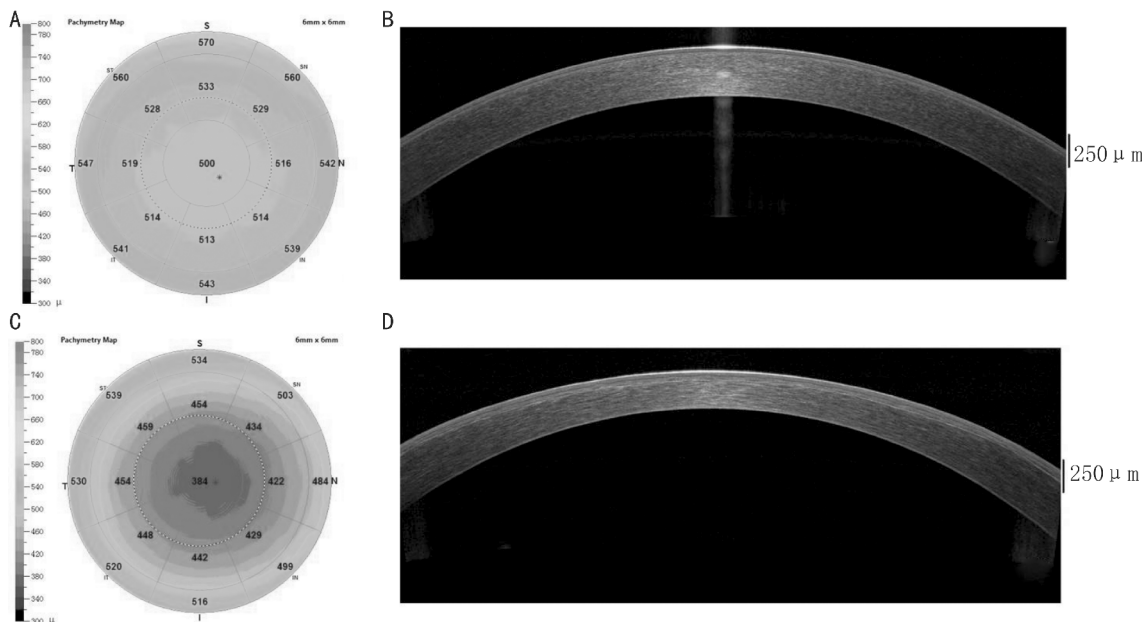


图1 LASIK手术前后OCT中央角膜地形图及断层图变化 A:LASIK术前中央6mm×6mm角膜厚度地形图;B:术前水平单线扫描的角膜断层图;C:术后3wk的角膜厚度地形图;D:术后3wk水平单线扫描的角膜断层图。

便采集到不同组织深度的发射信息,所以时域 OCT 系统的扫描速度是有限的,目前商业化的时域 OCT 最快的扫描速度大约为每秒 2 000 个 A 扫描。频域 OCT 技术的出现,将 OCT 的临床应用提高到一个新的高度,在其成像的过程中,参考臂的参照反光镜是固定不动的,而是通过改变光源光波的频率来实现信号的干涉作用,在这之中,傅立叶转换算法起到了关键的作用。同样,由于整个成像过程中,参考镜的位置是固定不动的,这也就使得其扫描速度可以成倍地提高,目前商业化的频域 OCT 最快扫描速度大约为每秒 40 000 个 A 扫描。频域 OCT 不仅扫描速度快,与时域 OCT 相比,它还使得系统的灵敏度显著提高,而且其全部组织深度结构信号被同步获得而不需要深度扫描,同时频域 OCT 信号在光谱密度中被采集,作为后续傅立叶重建的结果,从某种程度上改善了信噪比(SNR),更有利于提高成像的清晰度和分辨率。

无论是时域还是频域技术,各有优劣。以蔡司公司的 Visante 时域前节 OCT 为例,其光源波长为 1 310nm,这也使得其能够实现较大范围的成像,例如其前房全景结构扫描可实现深度 6mm、宽度 16mm 的成像范围,这对于前房深度等结构参数的测量已经足够,但是其分辨率大约在 17 μ m 左右。而对于科林公司的 RTVue 频域前节 OCT,其光源波长为 830nm,再加上傅立叶域技术转换,其扫描速度可达到 Visante 的 13 倍左右,而同时成像分辨率可提高至 5 μ m。这种更快的扫描速度可以大幅度减少患者眼动对检查结果的影响程度,同时更高的分辨率可以实现对观察组织的精细成像,但是其穿透深度和成像范围明显受限,也就使得无法实现对整个前房的全景成像。所以,临床上应根据疾病的具体需求,选择对应的最佳 OCT 检查设备。

2 前节 OCT 的临床应用

随着 OCT 设备的不断普及推广,前节 OCT 的临床应用范围也在不断扩大。以下主要从角膜、前房角及其最新临床应用扩展进行描述。

2.1 角膜地形图的临床应用 圆锥角膜是以角膜中央变

薄向前突出,呈锥形改变的一种眼科疾病。由于其角膜形态改变,常常造成高度不规则散光,从而导致无法通过框架眼镜进行矫正的视力损害。大多数情况下,角膜变薄的区域多集中在颞下象限,这可能与多项研究显示正常人角膜最薄点多分布在此象限有一定的关系^[7-8]。中重度圆锥角膜,由于其具有典型的临床特征和特殊的角膜地形图改变,故临床上较易进行诊断。但是,对于视力及角膜地形图表现正常且缺乏明显临床特征的亚临床型圆锥角膜,诊断相对较难^[9]。在这种情况下,OCT 角膜厚度地形图数据的可靠性可帮助临床医生正确了解角膜的厚度情况,以便评估是否可以纳入角膜屈光手术范围^[10-11]。对中央 5mm 角膜厚度数据特点按照上下方是否对称分布分析、角膜整体还是局部厚度变薄等,可对整体角膜进行分析,得出有价值的临床参考结果。与角膜超声测厚仪相比,前节 OCT 角膜厚度的检查对检查者的技术依赖性小、非接触条件下可多次重复检查且可以通过地形图整体了解患者角膜形态,即使对于白内障术后角膜水肿的患者,仍然表现出较好的可重复性和再现性^[12]。

准分子激光原位角膜磨镶术(laser-assisted *in situ* keratomileusis, LASIK)等角膜屈光矫正手术后角膜剩余基质床厚度(不可少于 250 μ m)^[13]的测量对于屈光术后并发症的预防起很大作用。由于 OCT 检查的非接触性,使得术中和术后及时测量角膜剩余厚度及角膜瓣厚度成为可能,也为早期发现、预防异常并发症的出现做充分准备,而且 OCT 可以对数月后的角膜瓣进行显像。有研究显示 LASIK 术后 1d、1wk 均可较好地对接角膜瓣成像(图 1)。尽管对接角膜瓣边缘的探测能力会在 3mo 时下降至 61%,6mo 时下降至 42%,但是 OCT 仍然可以准确测量每位患者的中央角膜瓣的厚度^[14]。

2.2 房角结构前节成像 眼前房结构信息的准确测量对于前后房 IOL 植入术前评估及术后随访起到很重要的作用,而且前房直径的准确测量对于临床医生选择合适大小的 IOL 以避免不必要的并发症也是很有帮助的^[15-16]。与眼科超声技术相比,OCT 为非接触的检查手段,不会给

患者带来检查的不适感,术后可及时进行随访检查,且其更高的图像分辨率、准确性及可重复性等优点使得 OCT 在临床广为使用^[17-20]。在全景或局部成像后,可进行前房深度、房角宽度、巩膜突、Schwalbe 线、Schlemm 管及虹膜轮廓的定性及定量分析^[21]。但是,对虹膜及巩膜后的组织无法显像也是它的一个较为明显的缺点。

房角信息的评估一直是青光眼诊断的一个重要辅助方面。临床沿用的金标准是房角镜下的 Shaffer 房角评估系统^[22]。这种评估系统需要一定的解剖标志作为参考进行评级,在整个接触检查的过程中,对检查者的判断水平及经验依赖性较高。已有多项研究通过 OCT 及超声生物显微镜(ultrasound biomicroscopy,UBM)内置的软件参数对房角进行评估的报道^[23-25]。其涉及到的主要参数包括 500 μm 处的房角开放距离(AOD₅₀₀)、500 和 750 μm 处的房角隐窝面积及小梁虹膜空间面积(ARA 500/750, TISA 500/750)、前房角角度(anterior chamber angle,ACA)。相关研究显示正常房角 AOD₅₀₀ 约为 329 μm ,同时 ACA 约为 28°,而窄房角的对应数据为 <210 μm 和 <18°^[26]。并且发现,AOD₅₀₀ <190 μm 可作为房角阻塞的分界线^[27]。在研究证实 OCT 对房角信息测量的可靠性及可重复性之后,研究发现 Visante 时域 OCT 可以在近 72% 的眼部断层图像中找到标志点巩膜突的位置,这种结果的出现不仅与扫描象限有关(鼻侧和颞侧上下方不易清晰成像),也与患者的配合度及成像信号的清晰度有关^[28-30]。频域前节 OCT 由于较高的分辨率和扫描速度已经可以对房角的细微结构,例如 Schwalbe 线、小梁网、Schlemm 管等进行清晰成像^[21,31]。

对角膜和巩膜信息的全面了解对于疾病的诊断及采用合理的治疗方式均有很大影响。前节 OCT 不仅可以呈现角膜及部分巩膜的断层信息,更重要的是它可以进行定量测量,例如实现角膜厚度分布地形图、角膜瘢痕、变性、营养不良等异常组织结构的浸润深度,这样更有利于临床医生掌握患者病情变化,从而做出准确合理的治疗方案,最终达到更加有效的治疗效果^[32-34]。在具体疾病治疗中,我们应该注意采用 OCT 数据引导,以便达到更好的治疗效果。例如,临床上一般会对光学区内的角膜瘢痕组织进行针对性的切除,但是此种条件下,医生就应该了解瘢痕的深度,以及真正切除后对角膜散光的影响,最重要的是需要明白移除瘢痕组织后的角膜厚度至少应该在 300 μm 以上,以便防止角膜穿孔等严重并发症的发生。角膜基质环以聚甲基丙烯酸甲酯为主要成分,由两个约 150° 的弧形结构组成,临床上主要通过手术操作将其放置在角膜中周部约 70% 角膜深度,利用弧形结构的弹力特性,将角膜相对变平坦,从而来改善圆锥角膜患者的视觉质量,也可以用来延缓甚至免去角膜移植的手术风险^[35-37]。研究表明角膜基质环手术对于圆锥角膜患者的视力有一定程度的提升,临床医生习惯使用裂隙灯简单评估基质环的安装深度,但是此种方法使医生的主观感觉缺乏一定的准确性,且依据临床医生经验等不同,评估结果也会出现明显的差异^[38-39]。与主观评估不同,前节 OCT 可通过具体的量化数据对其深度及位置进行准确判断,对术后随访也起到很重要的作用^[40-41]。这也为降低医生手术过深过浅等不当操作导致类似于角膜上皮-基质断裂、基质环脱出、穿入前房等潜在并发症的发生提供必需的数

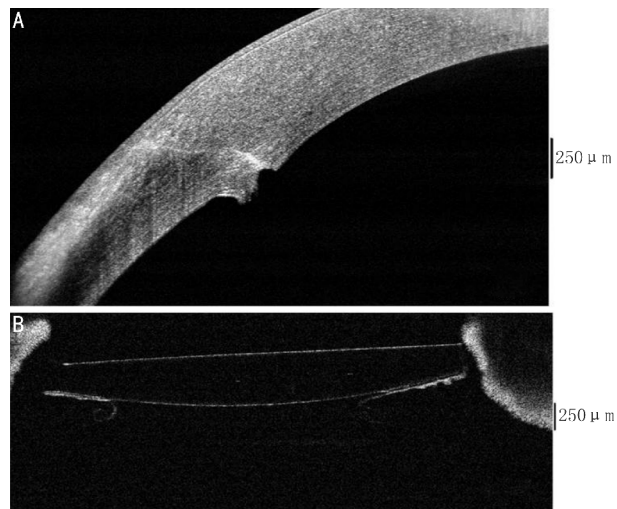


图 2 前节 OCT 对白内障手术切口及后发性白内障激光打孔后的成像观察 A:白内障术后透明角膜切口的清晰成像;B:后发性白内障激光打孔后人工晶状体轮廓及后囊膜破裂卷曲的清晰成像。

据支持,减少和手术深度相关的并发症的发生^[42-43]。对于穿透性角膜移植方面,前节 OCT 也同样体现出其独特的优势。前节 OCT 不仅可以在非接触的状态下进行术前、术后及时的断层供体角膜结构观察,显示供体的贴合程度或术后移位甚至脱落,而且可以进行相应的角膜厚度测量,在现今进行的飞秒激光穿透性角膜移植手术中,前节 OCT 还可显示特定的切口路径形态,更好地指导供受体角膜之间的对位缝合^[44-47]。

虽然 UBM 常用于眼科前节肿瘤的观察分析,但是前节 OCT 在这方面也有其独特的优势^[48]。与常规的 UBM 检查相比,它不需要眼杯及眼球接触,而且成像的分辨率也明显高于 UBM。较长波长的光源穿透深度会更深,所以使用 1 310nm 光源的前节 OCT 可以清晰显示虹膜、角巩膜缘、前房等结构信息,而且与 UBM 和裂隙灯等技术相比较,其更准确、可重复性更好^[27,49-50]。当然,其对巩膜、虹膜的穿透局限性使得 UBM 在睫状体肿瘤的探测方面仍然具有一定的优势。所以在临床检查中,需要权衡两者的利弊,选择更加合适的方法辅助疾病诊断。

2.3 最新临床应用拓展 前节 OCT 可以实现白内障手术切口、后发性白内障激光打孔后的局部成像(图 2),也可以实现对青光眼术后滤过泡和滤过通道的随访观察^[51],另外借助一定的软件分析计算,目前的前节 OCT 成像技术已经可以对白内障术后患者的 IOL 轴向位置进行量化评估,虽然此种方法还需要不断的完善,但是这对于不同白内障手术方式效果的随访观察及量化比较提供了一定的依据^[5,52]。

除了上述提及的功能,前节 OCT 还可以实现泪河高度、深度及面积的量化分析,以此作为干眼症患者的一种方便有效的非接触评估手段^[53]。通过实现不同部位结膜厚度的测量,为某些涉及结膜病变的疾病提供更加精确的评估标准,并可对翼状胬肉以及某些类型的结膜肿物进行精细结构成像,便于临床随访观察^[54-56]。利用实验室搭建的前节 OCT 平台,目前已经可以实现结膜血管及淋巴管系统局部成像,实现其从结构学分析向功能学分析的一大跨越^[57]。

3 前节 OCT 的发展趋势

目前,已经实现前节 OCT 的频域技术,为医生带来了更快的扫描速度、更清晰的图像结构,也使得局部前节结构的三维重建得到实现,这也为其对临床诊断、随访等各方面应用打下坚实的基础。希望未来随着科技的进步和发展,一方面可以实现对虹膜后组织,如睫状体、睫状沟、周边视网膜等结构的清晰成像;另一方面真正实现显微结构呈现,例如上皮细胞、角膜神经、真菌等,实现真正意义的活体显微活检;更深入地发展可以实现无造影剂条件下全虹膜的 OCT 血管成像等,以上各项功能的实现还会对角膜激光手术后角膜屈光度、IOL 度数的计算以及虹膜新生血管的治疗观察提供帮助,最终发展的立体成像会对眼科临床的发展起到一定的推动作用。

参考文献

- 1 Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. Optical coherence tomography. *Science* 1991;254(5035):1178-1181
- 2 Izatt JA, Hee MR, Swanson EA, et al. Micrometer-scale resolution imaging of the anterior eye *in vivo* with optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol* 1994;112(12):1584-1589
- 3 Chong RS, Sakata LM, Narayanaswamy AK, et al. Relationship between intraocular pressure and angle configuration: an anterior segment OCT study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013;54(3):1650-1655
- 4 Huang G, Gonzalez E, Peng PH, et al. Anterior chamber depth, iridocorneal angle width, and intraocular pressure changes after phacoemulsification: narrow vs open iridocorneal angles. *Arch Ophthalmol* 2011;129(10):1283-1290
- 5 Kumar DA, Agarwal A, Prakash G, et al. Evaluation of intraocular lens tilt with anterior segment optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 2011;151(3):406-412
- 6 Werner L, Michelson J, Ollerton A, et al. Anterior segment optical coherence tomography in the assessment of postoperative intraocular lens optic changes. *J Cataract Refract Surg* 2012;38(6):1077-1085
- 7 Wang X, Wu Q. Investigation of the human anterior segment in normal chinese subjects using a dual Scheimpflug analyzer. *Ophthalmology* 2012;120(4):703-708
- 8 Rufer F, Sander S, Klettner A, et al. Characterization of the thinnest point of the cornea compared with the central corneal thickness in normal subjects. *Cornea* 2009;28(2):177-180
- 9 Ambrosio R Jr, Alonso RS, Luz A, et al. Corneal-thickness spatial profile and corneal-volume distribution: tomographic indices to detect keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2006;32(11):1851-1859
- 10 Huang JY, Pekmezci M, Yaplee S, et al. Intra-examiner repeatability and agreement of corneal pachymetry map measurement by time-domain and Fourier-domain optical coherence tomography. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2010;248(11):1647-1656
- 11 Li Y, Shekhar R, Huang D. Corneal pachymetry mapping with high-speed optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2006;113(5):792-799
- 12 Kuerten D, Plange N, Koch EC, et al. Central corneal thickness determination in corneal edema using ultrasound pachymetry, a Scheimpflug camera, and anterior segment OCT. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2015[Epub ahead of print]
- 13 Randleman JB, Russell B, Ward MA, et al. Risk factors and prognosis for corneal ectasia after LASIK. *Ophthalmology* 2003;110(2):267-275
- 14 Li Y, Netto MV, Shekhar R, et al. A longitudinal study of LASIK flap and stromal thickness with high-speed optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2007;114(6):1124-1132
- 15 Engren AL, Behndig A. Anterior chamber depth, intraocular lens position, and refractive outcomes after cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2013;39(4):572-577

- 16 Liu XQ, Zhu HY, Su J, et al. Effects of phacoemulsification on intraocular pressure and anterior chamber depth. *Exp Ther Med* 2013;5(2):507-510
- 17 Goldsmith JA, Li Y, Chalita MR, et al. Anterior chamber width measurement by high-speed optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2005;112(2):238-244
- 18 Fukuda S, Kawana K, Yasuno Y, et al. Repeatability and reproducibility of anterior ocular biometric measurements with 2-dimensional and 3-dimensional optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg* 2010;36(11):1867-1873
- 19 Kohonen T, Thomala MC, Cichocki M, et al. Internal anterior chamber diameter using optical coherence tomography compared with white-to-white distances using automated measurements. *J Cataract Refract Surg* 2006;32(11):1809-1813
- 20 Kim SK, Kim HM, Song JS. Comparison of internal anterior chamber diameter imaging modalities: 35-MHz ultrasound biomicroscopy, Visante optical coherence tomography, and Pentacam. *J Refract Surg* 2010;26(2):120-126
- 21 McKee H, Ye C, Yu M, et al. Anterior chamber angle imaging with swept-source optical coherence tomography: detecting the scleral spur, Schwalbe's line, and Schlemm's canal. *J Glaucoma* 2013;22(6):468-472
- 22 Shaffer RN. A new classification of the glaucomas. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1960;58:219-225
- 23 Matonti F, Chazalon E, Trichet E, et al. Dynamic gonioscopy using optical coherence tomography. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 2012;43(6):890-96
- 24 Cumba RJ, Radhakrishnan S, Bell NP, et al. Reproducibility of scleral spur identification and angle measurements using fourier domain anterior segment optical coherence tomography. *J Ophthalmol* 2012;2012:487309
- 25 Dada T, Mohan S, Bali SJ, et al. Ultrasound biomicroscopic assessment of angle parameters in patients with primary angle closure glaucoma undergoing phacoemulsification. *Eur J Ophthalmol* 2011;21(5):559-565
- 26 Wirbelauer C, Karandish A, Häberle H, et al. Noncontact gonioscopy with optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol* 2005;123(2):179-185
- 27 Radhakrishnan S, Goldsmith J, Huang D, et al. Comparison of optical coherence tomography and ultrasound biomicroscopy for detection of narrow anterior chamber angles. *Arch Ophthalmol* 2005;123(8):1053-1059
- 28 Liu S, Li H, Dorairaj S, et al. Assessment of scleral spur visibility with anterior segment optical coherence tomography. *J Glaucoma* 2010;19(2):132-135
- 29 Sakata LM, Lavanva R, Friedman DS, et al. Assessment of the scleral spur in anterior segment optical coherence tomography images. *Arch Ophthalmol* 2008;126(2):181-185
- 30 Sakata LM, Lavanva R, Friedman DS, et al. Comparison of gonioscopy and anterior segment ocular coherence tomography in detecting angle closure in different quadrants of the anterior chamber angle. *Ophthalmology* 2008;115(5):769-774
- 31 Kagemann L, Wollstein G, Ishikawa H, et al. Identification and assessment of Schlemm's canal by spectral-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51(8):4054-4059
- 32 Wang T, Shi W, Ding G, et al. Ring-shaped corneoscleral lamellar keratoplasty guided by high-definition optical coherence tomography and Scheimpflug imaging for severe Terrien's marginal corneal degeneration. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2012;250(12):1795-1801
- 33 Magalhaes Ode A, Rymer S, Marinho DR, et al. Optical coherence tomography image in gelatinous drop-like corneal dystrophy: case report. *Arq Bras Oftalmol* 2012;75(5):356-357

- 34 Majander AS, Lindahl PM, Vasara LK, et al. Anterior segment optical coherence tomography in congenital corneal opacities. *Ophthalmology* 2012;119(12):2450-2457
- 35 Burris TE, Baker PC, Ayer CT, et al. Flattening of central corneal curvature with intrastromal corneal rings of increasing thickness: an eye-bank eye study. *J Cataract Refract Surg* 1993;19Suppl:182-187
- 36 Zhang ZY, Zhang XR. Combination of corneal crosslinking and intrastromal corneal ring segments for the treatment of keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2012;38(10):1878-1879
- 37 Kling S, Marcos S. Finite-element modeling of intrastromal ring segment implantation into a hyperelastic cornea. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013;54(1):881-889
- 38 Kubaloglu A, Sari ES, Cinar Y, et al. Intrastromal corneal ring segment implantation for the treatment of keratoconus. *Cornea* 2011;30(1):11-17
- 39 Coskunseven E, Kymionis GD, Grentzelos MA, et al. INTACS followed by Keraring intrastromal corneal ring segment implantation for keratoconus. *J Refract Surg* 2010;26(5):371-374
- 40 Gorgun E, Kucumen RB, Yenerel NM, et al. Assessment of intrastromal corneal ring segment position with anterior segment optical coherence tomography. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 2012;43(3):214-221
- 41 Naftali M, Jabaly-Habib H. Depth of intrastromal corneal ring segments by OCT. *Eur J Immunol* 2013;43(3):171-176
- 42 Rapuano CJ, Sugar A, Koch DD, et al. Intrastromal corneal ring segments for low myopia: a report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology* 2001;108(10):1922-1928
- 43 Lai MM, Tang M, Andrade EM, et al. Optical coherence tomography to assess intrastromal corneal ring segment depth in keratoconic eyes. *J Cataract Refract Surg* 2006;32(11):1860-1865
- 44 Mehta JS, Shilbayeh R, Por YM, et al. Femtosecond laser creation of donor cornea buttons for Descemet-stripping endothelial keratoplasty. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(11):1970-1975
- 45 Vetter JM, Butsch C, Faust M, et al. Irregularity of the posterior corneal surface after curved interface femtosecond laser-assisted versus microkeratome-assisted descemet stripping automated endothelial keratoplasty. *Cornea* 2013;32(2):118-124
- 46 Lee BH, Liu J, Tan Z, et al. Corneal graft detection for Descemet's stripping automated endothelial keratoplasty using optical coherence tomography. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2010;2010:3037-3040
- 47 Lim LS, Aung HT, Aung T, et al. Corneal imaging with anterior segment optical coherence tomography for lamellar keratoplasty procedures. *Am J Ophthalmol* 2008;145(1):81-90
- 48 Huang D, Li Y, Radhakrishnan S. Optical coherence tomography of the anterior segment of the eye. *Ophthalmol Clin North Am* 2004;17(1):1-6
- 49 Parc C, Laloum J, Berges O. Comparison of optical coherence tomography and ultrasound biomicroscopy for detection of plateau iris. *J Fr Ophthalmol* 2010;33(4):266
- 50 Chalita MR, Li Y, Smith S, et al. High-speed optical coherence tomography of laser iridotomy. *Am J Ophthalmol* 2005;140(6):1133-1136
- 51 Jung KI, Lim SA, Park HY, et al. Visualization of blebs using anterior-segment optical coherence tomography after glaucoma drainage implant surgery. *Ophthalmology* 2013;120(5):978-983
- 52 Wang X, Dong J, Wang X, et al. IOL tilt and decentration estimation from 3 dimensional reconstruction of OCT image. *PLoS One* 2013;8(3):e59109
- 53 Fukuda R, Usui T, Miyai T, et al. Tear meniscus evaluation by anterior segment swept-source optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 2013;155(4):620-624
- 54 Zhang X, Li Q, Xiang M, et al. Bulbar conjunctival thickness measurements with optical coherence tomography in healthy chinese subjects. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013;54(7):4705-4709
- 55 Welch MN, Reilly CD, Kalwerisky K, et al. Pterygia measurements are more accurate with anterior segment optical coherence tomography—a pilot study. *Nepal J Ophthalmol* 2011;3(1):9-12
- 56 Bianciotto C, Shields CL, Guzman JM, et al. Assessment of anterior segment tumors with ultrasound biomicroscopy versus anterior segment optical coherence tomography in 200 cases. *Ophthalmology* 2011;118(7):1297-1302
- 57 Li P, Sun Y, Hariri S, et al. Anterior segment optical coherence tomography evaluation of ocular graft-versus-host disease: a case study. *Quant Imaging Med Surg* 2015;5(1):163-170