

Optical Coherence Tomography in the Management of Retinal Disorders

แพทย์หญิงสุนทรี อิติวิเชียรเลิศ

อาจารย์ นายแพทย์กิตติชัย อัครพิพัฒน์กุล

ภาควิชาจักษุวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

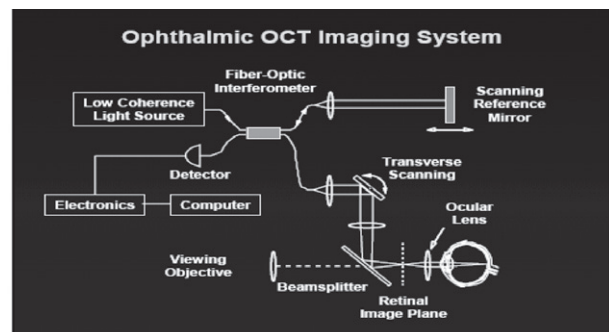
บทคัดย่อ

Optical Coherence Tomography (OCT) เป็นเครื่องมือตรวจวินิจฉัยโรคจอประสาทตาที่เริ่มนำมาใช้แพร่หลายมากขึ้น เครื่อง OCT สามารถแสดงภาพตัดขวางเสมือนการตัดชิ้นเนื้อในชั้นเรตินาและคอโรยด์ และให้ความละเอียดของภาพสูงถึง 1-15 ไมครอน ในทางจักษุวิทยายังสามารถนำมาใช้ในการตรวจต้อหินและส่วนด้านหน้าของลูกตา

บทนำ

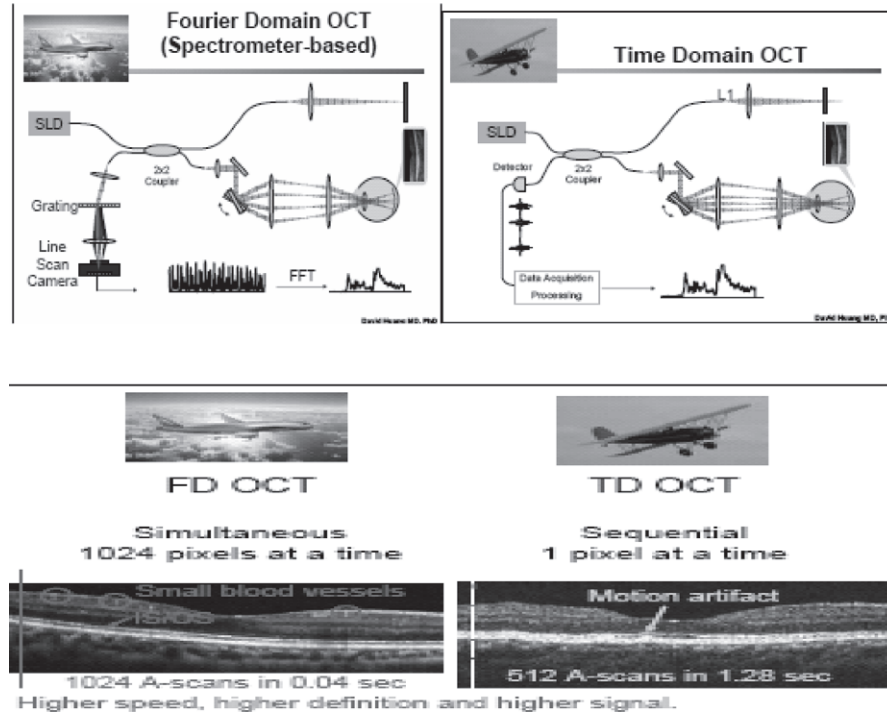
เครื่อง Optical Coherence Tomography (OCT) เริ่มมีการพัฒนาและนำมาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1991 โดย Dr. Haung ต่อมามีการพัฒนาหลายรุ่น ได้แก่ OCT1 ในปี 1996, OCT2 ในปี 2000 และ OCT3 ในปี 2002 ซึ่งคือรุ่นปัจจุบันนั่นเอง หลักการทำงานของเครื่อง OCT อาศัยหลักการของ low coherence interferometry ซึ่งพัฒนามาจากการทำงานของ fiberoptic โดยมีแหล่งกำเนิดแสงเป็น superluminescence diode ให้ความยาวคลื่นแสงในช่วง 820 นาโนเมตร (infrared) ซึ่งจะแยกลำแสงเป็นสองลำแสง แสงเมื่อเดินทางถึงเนื้อเยื่อที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน จะเกิดการกระจายแสง(backscattering) และการสะท้อนกลับ (backreflectivity) ที่ต่างกัน ลำแสงลำหนึ่งจะสะท้อนกลับทันทีเสมือนเป็น reference ส่วน

ลำแสงอีกลำจะฉายไปที่ intraocular structures ก่อนที่จะเดินทางกลับมาเข้าเครื่อง photodetector การรวมกันของสองลำแสงที่สะท้อนกลับนี้จะเกิดการแทรกสอด (interference) กันและเกิดแสงเสมือน wave ซึ่งได้ภาพทันที (real time) หลังจากนั้นเครื่องจะวิเคราะห์แปลผลระยะทางและความหนาของเนื้อเยื่อชั้นต่างๆ ในการเกิดภาพ



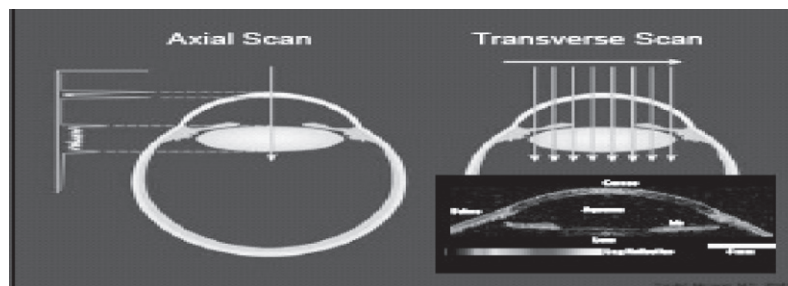
รูปแสดง การทำงานเครื่อง OCT โดยหลัก Low Coherence Interferometry

เครื่อง OCT ยังแบ่งออกเป็นสองประเภท ได้แก่ Time domain OCT และ Fourier หรือ Spectral domain OCT ซึ่งต่างกันที่ detector โดยในเครื่อง time domain OCT จะมี detector ตัวเดียวในขณะที่เครื่อง fourier หรือ spectral domain OCT มี detectors หลายตัวทำให้สามารถรับแสงได้พร้อมกันหลายตัวต่อวินาที เป็นการเพิ่มสัญญาณและความเร็วในการบันทึกภาพ



รูปแสดง เปรียบเทียบการทำงานของเครื่อง Fourier domain OCT และ Time domain OCT

Image resolution มี 2 ส่วนดังแสดงในรูป



1. Axial (longitudinal) resolution

หลักการคล้ายกับ A-scan ultrasound โดยฉายลำแสงและวัด intensity และ time delay ในแต่ละลำแสงที่สะท้อนกลับออกมา วัดในแนวตั้งให้ 10 microns resolution

ในแง่ของ intensity หรือ peak ของลำแสง จะเทียบเท่ากับระดับของ backscattering ของ optical interface ส่วน time delay วัดจากระยะห่างของลำแสงแต่ละ peak คำนวณกลับได้เป็นระยะทาง

2. Transverse resolution

หลักการคล้ายกับ B-scan ultrasound เมื่อได้ axial scan ในแต่ละหลายๆ ตำแหน่ง ในแนว transverse points ก็จะรวมกันให้ 20-25 microns resolution การวัดแนวอนนซ้ายไปขวาขึ้นกับ focused spot size ของ optical beam อีกทั้งยังแบ่งย่อยเป็น high และ low resolution ซึ่งคล้ายความละเอียดหน่วย Pixel ของกล้องถ่ายรูป โดยใน high (512) transverse pixel density เครื่องจะ scan 400 axial scans ต่อ

วินาที ซึ่งเวลาที่ใช้คำนวณจาก $512/400 = 1.28$ seconds นั่นคือ 1 ภาพใช้เวลา scan ประมาณ 1.3 วินาที ส่วนใน low (128) transverse pixel density จะคำนวณเวลาได้เป็น $128/400 = 0.32$ seconds คือ 1 ภาพใช้เวลา scan ประมาณ 0.3 วินาที

เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่อง ultrasound เครื่อง OCT มีข้อแตกต่างดังนี้

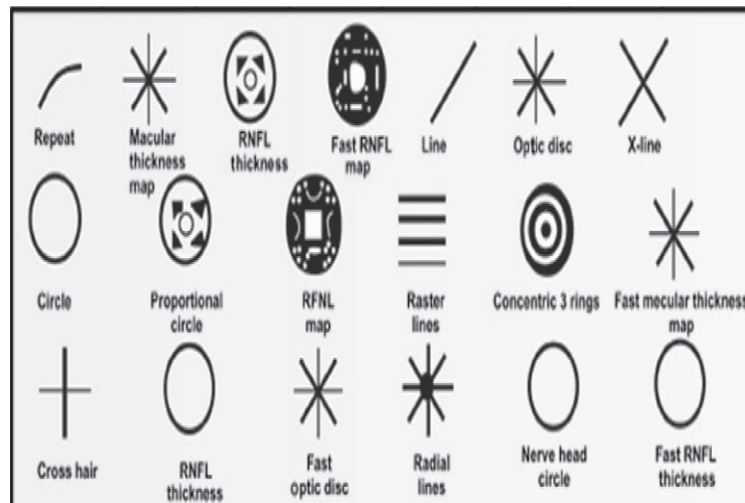
1. เป็น non-contact instrument
2. อาศัยแหล่งกำเนิดแสงให้คลื่นแสงเป็น infrared
3. วัดปริมาณลำแสง (intensity) ของลำแสงที่สะท้อนกลับ
4. เครื่องที่ใช้ทั่วไปให้ความละเอียดสูงถึง 10 microns

(ในเครื่อง ultrahigh resolution OCT ให้ resolution ได้สูงถึง 3 microns)

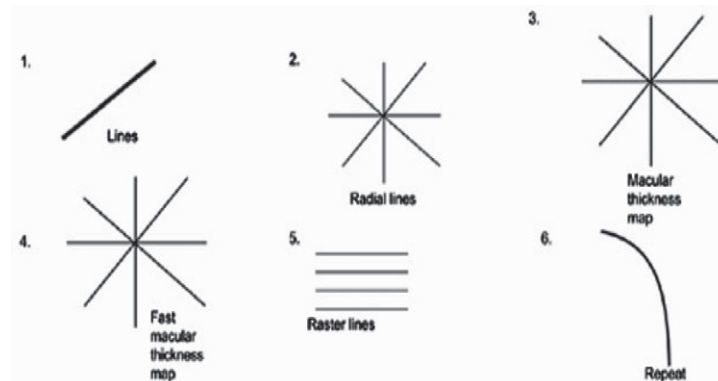
แต่ OCT มีข้อจำกัดในกรณีต่อไปนี้ ได้แก่

1. ภาวะกระจกตาบวม (corneal edema)
2. เลนส์แก้วตาขุ่นมาก (lens opacity)
3. ภาวะวุ้นน้ำตาขุ่นหรือมีเลือดออก (vitreous opacity, vitreous hemorrhage)
4. รูม่านตาเล็ก (miosis)
5. ภาวะตาแห้ง (impair tear film)
6. การรอกกตาของผู้ป่วย (eye motion)
7. การเปลี่ยนแปลงค่าความดันลูกตา (IOP fluctuation)
8. Tremor
9. ต้องการศึกษาบริเวณที่อยู่นอกเหนือจาก posterior pole

ส่วน ultrasound เป็น contact instrument อาศัยแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงในย่านความถี่สูง วัดปริมาณความเข้มของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับ ข้อจำกัดคือยังให้ low resolution 150 microns (20 microns ในเครื่อง anterior segment ultrasound)



รูปแสดง Scan Protocols มี 19 Protocols



รูปแสดง Protocols ที่นำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษาโรคทางจอประสาทตา

Retinal applications นำมาใช้ในหลายโรค ตัวอย่างเช่น

1. Macular hole, pseudohole
2. Vitreo-retinal interface
3. Vitreomacular traction
4. Macular edema
5. Retinal pigment epithelial detachment
6. Age related macular degeneration
7. Diabetic retinopathy
8. Choroidal neovascular membrane

(CNVM), Tumors

การแปลผล OCT

1. Qualitative analysis แสดงผล 2 ส่วน ได้แก่

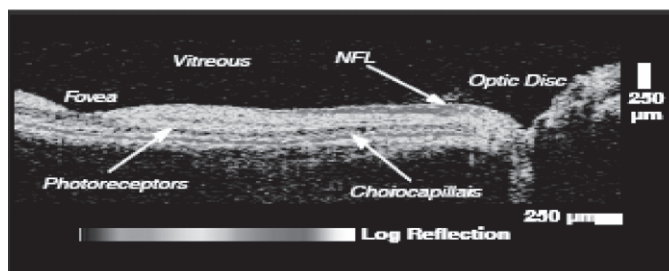
(1) Morphology

❖ Morphological change

❖ Anomalous structure by region

(2) Reflectivity

เครื่องจะแสดงผลเป็น cross-sectional imaging โดยใช้ color scale สีที่ต่างกันตั้งแต่สีแดง แสดง high หรือ hyperreflectivity ไปจนถึงสีฟ้าแสดง low หรือ hyporefectivity



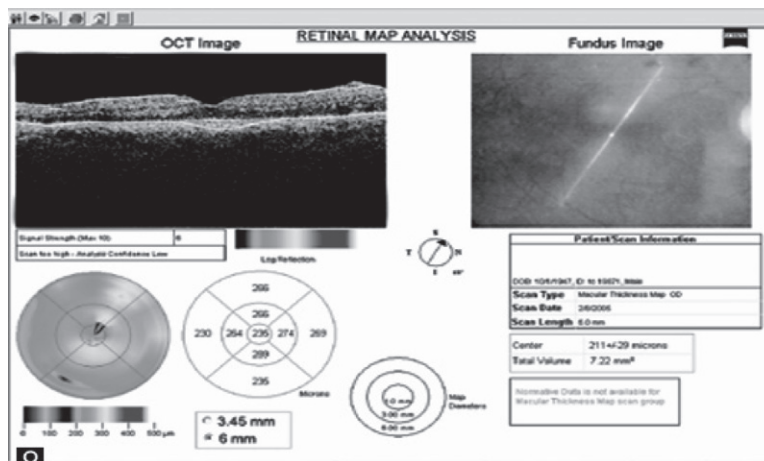
รูปแสดง Color scale: Red คือ hyperreflectivity, Blue คือ hyporefectivity

Normal reflectivity of retinal layers

- ❖ High reflectivity ได้แก่ชั้น nerve fiber layer
- ❖ Medium reflectivity ได้แก่ชั้น plexiform layer และ nuclear layer
- ❖ Low reflectivity ได้แก่ชั้น photoreceptors layer

2. Quantitative analysis

เครื่องแสดงผลเป็น surface mapping area ซึ่งจะแสดง thickness และ volume โดยมี color scale เช่นกันแต่สีต่างๆ เทียบกับ normal thickness ซึ่งต่างจาก reflectivity

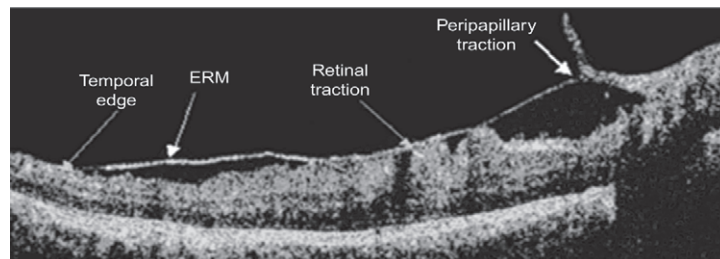


รูปแสดง Retinal map analysis

ตัวอย่างความผิดปกติที่พบในโรคต่างๆ

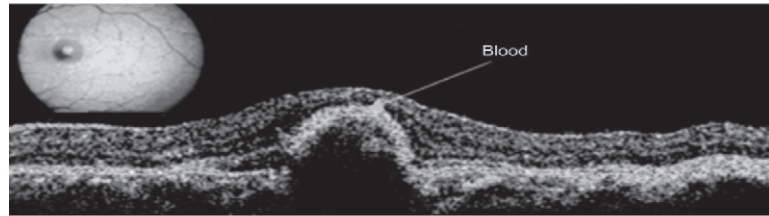
1. Abnormal high reflectivity

1.1 Superficial causes เช่น ERM (epiretinal membrane), cotton wool spots

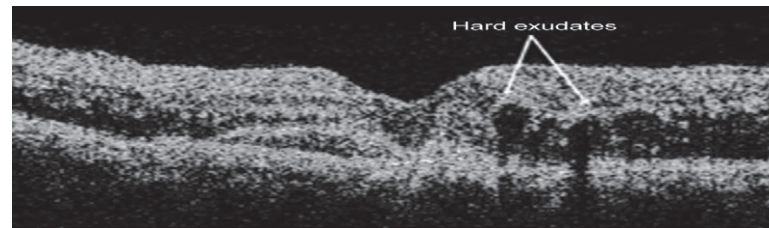


รูปแสดง OCT ของ hyper-reflective membrane extend from disc both nasally and temporally causing peripapillary traction ในผู้ป่วย epiretinal membrane ชนิด macular pucker

1.2 Intraretinal causes เช่น intraretinal hemorrhage, hard exudates, retinal fibrosis and scar with reduced thickness

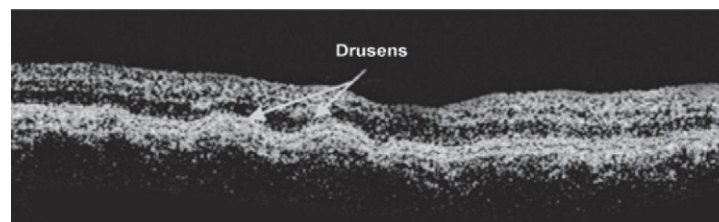


รูปแสดง OCT ของ Intraretinal hemorrhage เห็นเป็น hyperreflectivity ในชั้น inner retinal layers

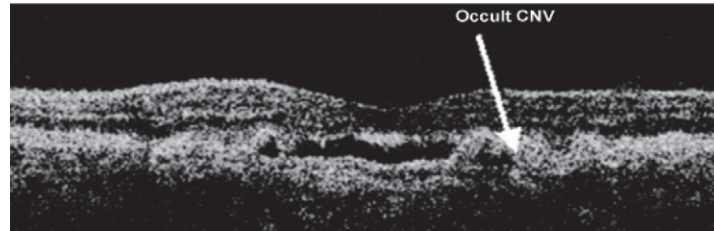


รูปแสดง OCT ของ macular thickening with reduced backscatter due to fluid accumulation in outer retinal layers. circinate rings of hard exudates “hyper-reflective lesions” within retinal layers with shadowing effect

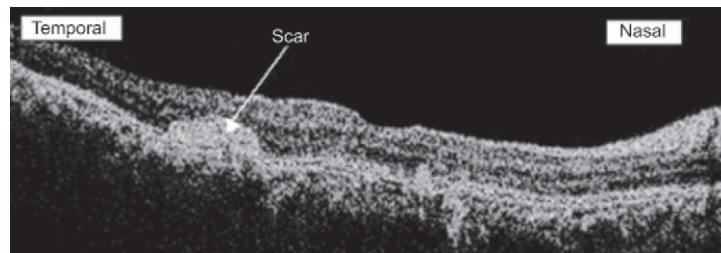
1.3 Deep causes เช่น RPE hyperplasia, drusen ที่มี increase thickness of RPE, pre-intrasubretinal choroidal neovascular membrane (CNVM), retinal scarring จาก choroiditis, trauma หรือการยิง laser เป็นต้น



รูปแสดง OCT ของ hard drusens as small disruptions in RPE projecting into overlying photoreceptor layer and area of RPE atrophy showed hyper-reflectivity from underlying choroid

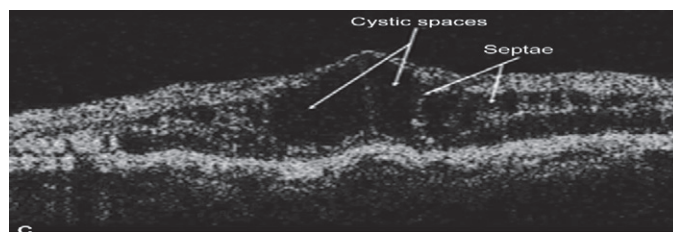


รูปแสดง OCT ของ area of hyperreflectivity จาก occult CNV และ area of hyporefectivity under fovea suggest subretinal fluid, reflection from choroid underlying RPE detachment were not attenuated and optical backscatter was seen in subRPE space suggest of an underlying CNV ในผู้ป่วย neovascular AMD



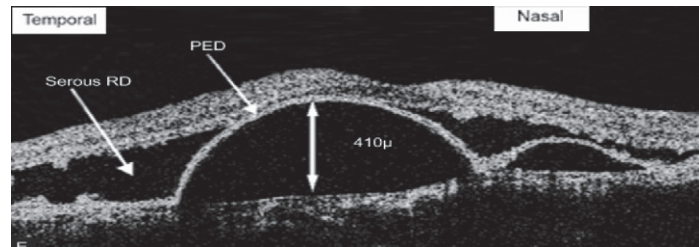
รูปแสดง OCT ของ hyperreflectivity band จาก scar

- 2. Abnormal hyporefectivity
- 2.1 Cystoid macular edema



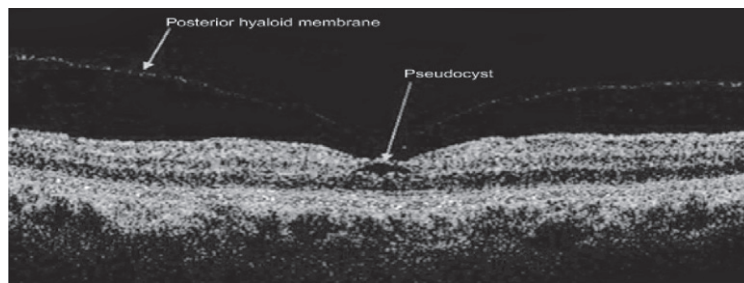
รูปแสดง OCT ของ macular thickening with two nearly full thickness cystoid spaces under fovea with intervening septae ในผู้ป่วย diabetic macular edema

2.2 Serous retinal detachment (serous RD), Pigment epithelial detachment (PED)

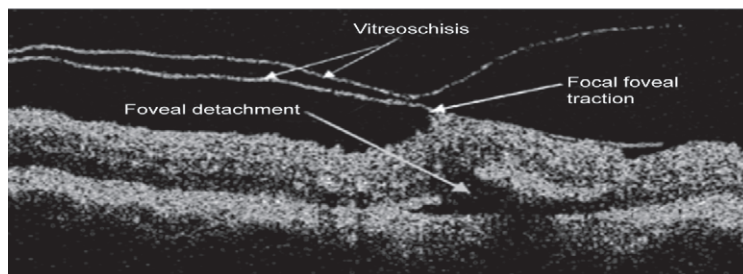


รูปแสดง OCT ของ PED under fovea 410 microns with surrounding serous fluid ในผู้ป่วย atypical central serous chorioretinopathy

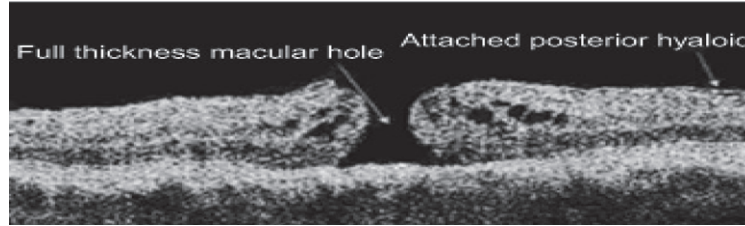
3. Abnormal vitreoretinal traction



รูปแสดง OCT ของ perifoveal detachment of posterior hyaloids but still attached to foveola, an intraretinal pseudocyst in inner foveola with focal adhesion of vitreous to macula leads to mechanical deformation of fovea with pseudocyst ในผู้ป่วย macular hole stage I (foveal pseudocyst)



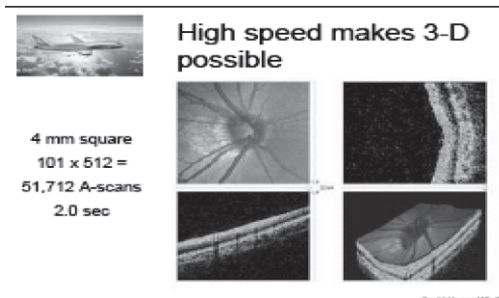
รูปแสดง OCT ของ increased retinal thickening with vitreoschisis (splitting of posterior vitreous phase into two lamellae), posterior lamina of vitreoschisis caused focal traction on fovea resulting in underlying TRD ในผู้ป่วย diabetic macular edema ที่เกิด tractional detachment of fovea



รูปแสดง OCT ของ full thickness dehiscence surrounding retina, thickening 390 microns from bottom of hole along with cystic change (hyporeflective spaces in neurosensory retina), macular detachment results in swelling, cystoid spaces and inward curvature of edges bordering holes ในผู้ป่วย macular hole stage III without posterior vitreous detachment

Future Development

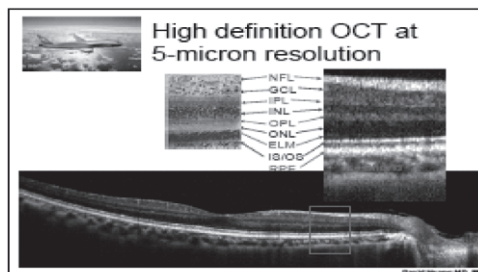
- 1. Three-dimensional (3D) OCT (Topcon) ให้รายละเอียดภาพเป็นสามมิติ



รูปแสดง เครื่อง Three-dimensional (3D) OCT

- 2. Ultrahigh resolution OCT

ปัจจุบันสามารถตัดได้ละเอียดถึง 1-2 microns axial resolution และพัฒนาใช้ spectral detection ทำให้เพิ่ม image sensitivity และประหยัดเวลาเร็วขึ้น 40 เท่าเมื่อเทียบกับเครื่อง standard OCT สามารถศึกษารายละเอียดแต่ละชั้นของ retina รวมทั้งชั้น external limiting membrane และ photoreceptor outer segments



รูปแสดง เครื่อง Ultrahigh resolution OCT

สรุป

OCT เป็นเครื่องมือ non-contact แสดงผลเป็น real-time ให้ภาพ cross-section ของลูกตาดามี high resolution ปัจจุบันมีความสำคัญในการช่วยวินิจฉัยและติดตามการรักษาโรคทางจอประสาทตาหลายๆโรค แต่ทั้งนี้ยังต้องอาศัยผลการตรวจทางคลินิก, slit-lamp biomicroscopy, indirect ophthalmoscopy หรือ FFA ประกอบด้วย และเครื่อง OCT ได้มีการพัฒนาโปรแกรมซึ่งในอนาคตน่าจะให้ประโยชน์มากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Hee MR, Izatt JA, Swanson EA et al. Optical coherence tomography of the human retina. Arch Ophthalmol 1995;113:325-32.
2. Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. Optical coherence tomography. Science 1999; 254:1178-81.
3. Puliafito CA, Hee MR, Schuman JS, Fujimoto JG. Optical Coherence Tomography of Ocular Diseases.1995.
4. Stratus OCT Model 3000.User Manual Carl Zeiss Mediatec Inc. 2004.