

GLOKOMDA TANI

Optik Koherens Tomografinin Glokom Tanı ve Takibinde Yeri

Application of Optical Coherence Tomography in Diagnosis and Management of Glaucoma

Ali AYDIN¹

Güncel Konu

Review Article

ÖZ

Glokoma bağlı optik sinir hasarın saptanmasında ve takibinde kullanılan klinik oftalmoskopik muayene ve optik disk-retina sinir lif tabakası (RSLT) fotoğrafisinin duyarlı testler olduğu gösterilmiş olmakla beraber bu testler uygulayıcının yeteneklerinden etkilenmekte ve uygulayıcılar arası farklılıklar gösterebilmektedir.

Glokomun tanı ve takibinde kullanılabilecek, optik disk ve RSLT hasarları konusunda güvenilir ve objektif veriler sağlayacak yöntemler kuşkusuz olarak uzmanlara çok yardımcı olacaktır. Son 20 yılda yapılan araştırmalar sonucunda glokom hasarının erken dönemlerde saptanmasını sağlayabilecek görüntüleme teknolojileri geliştirilmiştir. Bunlardan birisi, ~800 nm dalga boyunda ışık kullanılarak retinanın ve optik sinirin non-kontakt, non-invaziv bir şekilde yüksek çözünürlükte tomografik kesit görüntülerinin elde edildiği optik koherens tomografidir (OKT). Optik disk ve retinanın tomografik kesit görüntüleri, kızılötesi ışığın ultrason prensibine benzer bir şekilde doku katmanlarından geri yansımaları özelliğinden faydalanılarak elde edilir. Bu şekilde OKT, retina tabakalarının ayırt edilerek RSLT kalınlığının ölçülebilmesini ve optik sinir başı parametrelerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Son yıllarda spektral OKT teknolojisinin geliştirilmesiyle, OKT'nin tekrarlanabilirliği, spesifite ve sensitivitesi daha da artmıştır. Böylece bu teknik, glokom tanı ve takibinde yaygın bir şekilde kullanılan bir görüntüleme yöntemi haline gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Optik koherens tomografi, glokom.

ABSTRACT

Clinical examination and photography of the optic disc and retinal nerve fiber layer (RNFL) have been considered as sensitive tests for detecting glaucomatous optic nerve damage and its progression. However, they are highly dependent on observer skills, inducing high interobserver and intraobserver variation that affects the utility of these diagnostic modalities.

Objective and reliable methods of detecting optic nerve head and RNFL pathologies, and their progression as well would help the clinician in the diagnosis and monitoring of glaucomatous damage. Researches during the past two decades have resulted in the development of several imaging technologies designed to detect glaucomatous damage at early stages of disease. This review outlines optical coherence tomography (OCT), which is a noncontact noninvasive imaging technology that can create high-resolution, real-time, cross-sectional tomographic images of retina and optic nerve head using light with a wavelength of ~800 nm. Cross-sectional images of the optic disc and retina are obtained using the optical backscattering of near-infrared light in a manner analogous to ultrasonography. OCT can differentiate the anatomic layers of retina, measure the thickness of RNFL and produce the optic nerve head parameters. Through the recent development of spectral domain OCT technology, OCT has improved reproducibility, specificity, and sensitivity for glaucoma detection. Thus, OCT has become a widely used imaging modality that enables clinicians to obtain objective measurements of RNFL thickness and optic nerve head parameters in glaucoma.

Key Words: Optical coherence tomography, glaucoma.

Glo-Kat 2011;6:Özel Sayı:20-26

Geliş Tarihi : 09/09/2011

Kabul Tarihi : 10/09/2011

Received : September 09, 2011

Accepted : September 10, 2011

1- GATA Haydarpaşa Eğitim Hastanesi Göz Hastalıkları Anabilim Dalı İstanbul, Doç. Dr.

1- M.D. Associate Professor, GMMMA Haydarpaşa Training Hospital, Department of Ophthalmology, İstanbul/TURKEY
AYDIN A., aydinali67@yahoo.com

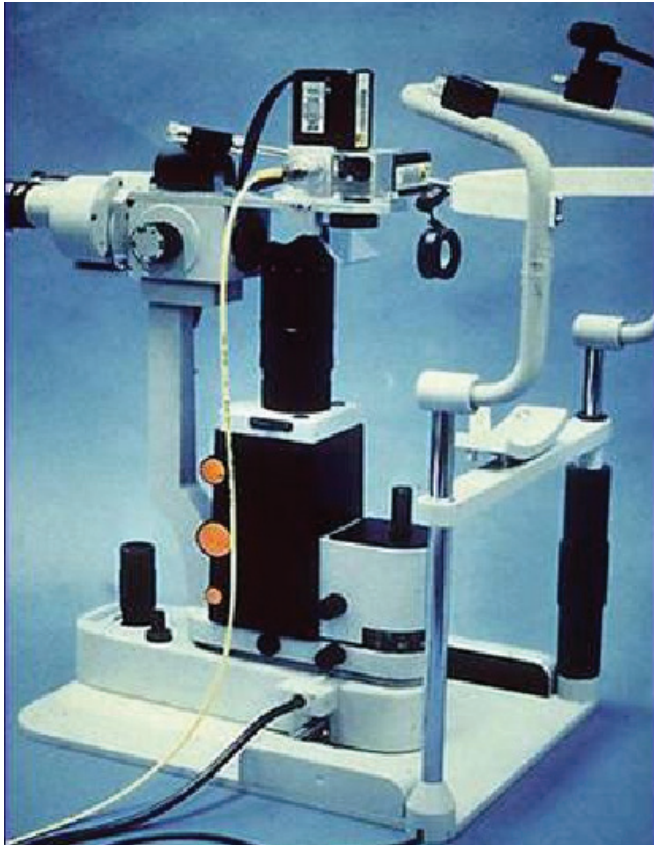
Correspondence: M.D. Associate Professor, Ali AYDIN
GMMMA Haydarpaşa Training Hospital, Department of Ophthalmology, İstanbul/TURKEY

GİRİŞ

Optik koherens tomografi (OKT); biyolojik doku katmanlarını, yüksek çözünürlükte tomografik kesitler olarak görüntüleyen, yeni bir tıbbi görüntüleme yöntemidir. Dokulara gönderilen ve farklı doku katmanlarından geri yansıyan ~800 nm dalga boyundaki infrared ışığın yansıma gecikme zamanını ve şiddetini ölçerek, dokuların ve patolojilerinin ultasonografiye benzer bir şekilde ama ondan çok daha yüksek çözünürlükte (1-15 mikron (μm)) kesit görüntülerinin alınmasına olanak tanır.

OKT tekniği ilk olarak, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde (MIT) fizik profesörü Fujimoto ve ekibi tarafından tanımlanmıştır.¹ Oftalmolojide ilk kullanımı ise Tufts Üniversitesi New England Göz Merkezinde (NEEC), cihazın bir biomikroskop üzerine monte edilmesi ile yapılan prototip OKT'nin Prof. Dr. Puliafito ve Prof. Dr. Schuman tarafından ön segment, retina hastalıkları ve glokomda uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir (Resim 1).²⁻⁴

Bu çalışmalarda kullanılan prototip, Carl Zeiss firmasının Humphrey bölümü tarafından ticari OKT olarak üretilmiştir. Bir dönem yaygın olarak kullanılan OKT modeli olan Stratus OKT (Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA)'nin de dahil olduğu bu ilk kuşak cihazlarda, time-domain (zaman doğrusunda her seferinde tek ölçüm alan sistem) analiz sisteminden faydalanılmaktaydı. Aksiyel çözünürlüğü artırarak ve tarama zamanını kısaltarak, daha duyarlı ve güvenilir veriler elde etmeye yönelik



Resim 1: Prototip OKT; biyomikroskop üzerine yerleştirilmiş bir superluminescent diod lazer cihazı ve bunun bağlandığı, referans aynasını da içeren bir interferometreden oluşmaktaydı.

çalışmalar sonucunda spektral analiz özelliğine sahip yeni kuşak OKT'ler ortaya çıkmıştır.⁵⁻⁸ Patent sorununun aşılmasıyla yedi farklı firma spektral OKT üreterek klinisyenlerin kullanımına sürmüştür. Bu spektral OKT'ler, retina hastalıkları ve glokomda görüntüleme konusunda çığır açmışlardır.

Glokom, ganglion hücre ölümü sonucu ortaya çıkan, optik sinir hasarı ve tipik görme alanı kaybı ile seyreden ilerleyici bir optik nöropatidir. Bu hastalığın patolojik bulguları olan optik disk çukurlaşması ve retina sinir lif tabakasındaki incelmeyi objektif olarak saptanması konusunda çok önemli veriler sağlayan OKT, glokom tanısı ve takibinde önemli bir görüntüleme yöntemi haline gelmiştir. Bu derlemede OKT'nin glokomda kullanım alanı ele alınmıştır.

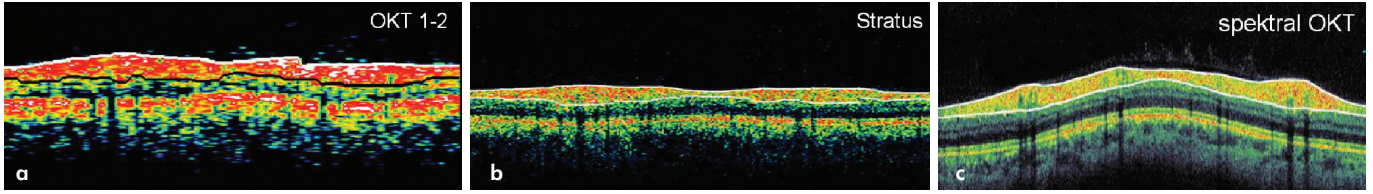
OKT'NİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

OKT teknolojik olarak bir parsiyel koherens interferometredir (low coherence interferometry). Koherent ışık terimi lazer ışığı gibi tek dalga boyundaki ışığı tanımlamaktadır. Parsiyel koherent ışık ise kısa bir aralıkta farklı dalga boyundaki ışın demetini içermektedir. OKT'de kullanılan parsiyel koherent ışık, superluminescent diod lazer (SLD) cihazından sağlanan ~800 nm dalga boyundaki kızılötesi lazer ışığıdır (çeşitli firmalar tarafından üretilen OKT cihazlarında kullanılan kızılötesi ışığın dalga boyu 800 ile 840 nm arasında değişmektedir).

SLD cihazından gönderilen ~800 nm dalga boyundaki ışık göze yönlendirilmektedir. Time domain OKT'de ışık ışın ayırıcı (beamsplitter) olarak adlandırılan yarısaydam bir aynadan geçmektedir. Bu aynada ışın demeti ikiye ayrılarak yarısı dedektöre mesafesi bilinen ve bu mesafe değiştirilebilen bir referans aynasına, diğer yarısı ise göze gönderilmektedir.

Göze giden ölçüm ışığı, gözde ilerlerken geçtiği doku katmanlarının yapısına bağlı olarak farklı şiddette ve gecikme zamanıyla dalgalara ayrılarak geriye döner. Referans aynasına giden ışık ise bilinen bir mesafeden bilinen bir gecikme zamanıyla tek bir dalga olarak dedektöre ulaşır. Dokulardan gelen ve doku katmanlarının sayısı kadar yansıma içeren ışık sinyali; referans aynasından gelen, yansıma mesafesi ve gecikme zamanı bilinen tek referans ışık sinyali ile interferometrede birleştirilir.

Referans aynasının uzaklığı değiştirilerek dokudan yansıyan ışığın yapısı değerlendirilir, bir yazılım programı aracılığıyla yansıma gecikmeleri mesafe birimlerine dönüştürülür. Dokuların reflektivitesi ise yansıyan ışığın şiddetini belirler. Böylece ultrasonun A dalgasına benzeyen bir görüntü elde edilir. Dairesel veya düz çizgi şeklinde dokuya gönderilen 128-512 arasında değişen sayıda ölçüm ışığı ile elde edilen A scan çizgiler yan yana getirilerek B scan ultrason görüntüsüne benzer bir kesit görüntüsü elde edilir.



Resim 2: Farklı OKT yazılımlarında optik disk çevresinden geçirilmiş kesit görüntüleri. Bu kesitlerde üstte sınırları çizilmiş doku retina sinir lif tabakasıdır. OKT 1 ve 2'de aksiyel çözünürlük 12- 15 μm iken (a), stratus OKT'de 8-10 μm 'a düşürülmüştür (b). Spektral OKT'de 1-5 μm 'lik çözünürlük sayesinde retinanın tüm katları ayırt edilebilmektedir (c).

Spektral OKT'de time domain'den farklı olarak referans aynası kullanılmamakta, dokunun farklı katmanlarından yansıyan ışık demeti yüksek hızlı bir spektrometre tarafından tek seferde algılanmakta ve derinliğine bir reflektivite profili oluşturulmak üzere bir Fourier transformörüne aktarılmaktadır. Bu yüzden spektral OKT'lere Fourier-domain OKT de denilmektedir. Spektral OKT'lerde dokudan yansıyan ışığı algılamada spektrometre kullanıldığı için time-domain OKT'lere göre doku katmanlarını saptama hassasiyetinin 150 kat fazla olduğu, tarama sürelerinin 50 kata kadar daha kısaldığı ve aksiyel çözünürlüğünün 1 μm 'a kadar düşürülebildiği bildirilmiştir.⁵⁻⁸

OKT'de göz dokularında aksiyel çözünürlük ilk ticari formlar olan OKT-1 ve 2'de 12-15 μm iken, OKT-3 (Stratus) 'te 8-10 μm olmuştur. Ticari olarak mevcut olmayan ileri derecede yüksek (ultrahigh) çözünürlüklü OKT'de (UHR-OCT) ise çözünürlük 1-3 μm düzeyine düşürülmüştür.⁹ Spektral OKT'de de yine aksiyel çözünürlük 1-5 μm olarak bildirilmiştir.¹⁰ Transvers çözünürlük ise 10-20 μm düzeyindedir. Resim 2'de farklı ticari formlardaki OKT 'lere ait görüntüler gösterilmiştir. Burada da görüldüğü gibi çözünürlük arttıkça retinanın katmanlarını saptama kapasitesi de artmaktadır.

Ultrasonografide görüntünün ekosundan bahsedilirken, OKT'de reflektivite söz konusudur. Işığı geriye güçlü bir biçimde yansıtan dokular OKT'de güçlü ışık sinyali verirler ve hiperreflektif olarak değerlendirilirler (retina pigment epiteli gibi). Işığı geriye yansıtma özelliği düşük olan dokular ise hiporeflektif olarak değerlendirilirler (vitreus gibi). Retina sinir lif tabakası da hiperreflektiviteye sahip olduğu için OKT'de sınırları ve kalınlığı güvenilir bir şekilde saptanabilmektedir (Resim 2).

OKT'de görüntüler B mod ultrasonografide olduğu gibi gri tonlarında elde edilebildiği gibi, maviden kırmızıya gökkuşağı tonlarında yalancı bir renklendirme yapılarak da verilebilir. Yalancı renklendirme ile doku katmanları uzman tarafından birbirinden daha iyi ayırt edilebilmektedir. Burada hiperreflektif dokular (RSLT, retina pigment epiteli, fotoreseptör tabakası gibi) kırmızı ile hiporeflektif (vitreus, retina dış nükleer tabakası gibi) veya ışığı absorbe eden dokular (kan damarları, hemoraji gibi) ise mavi-siyah renk tonları ile yansıtılmakta, reflektivitesi bu iki uç nokta arasında yer alan doku katmanları ise kırmızı ile mavi arasındaki diğer gökkuşağı renkleriyle ifade edilmektedirler.

OKT'de görüntü kalitesini ifade etmede sinyal/gürültü (signal to noise) oranı kullanılmaktadır. Bu oran OKT'nin son versiyonlarında sinyal kuvveti (signal strength) terimiyle gösterilmektedir. OKT ile elde edilen görüntülerin ve ölçümlerin güvenilir olduğunu kabul edebilmek için bu oranın 6 (yani 6/10) veya üzerinde olması gerekmektedir.

GLOKOMUN TANI VE TAKİBİNDE OKT'NİN KULLANIMI

Glokomda OKT'nin üç test yönteminden faydalanılmaktadır:

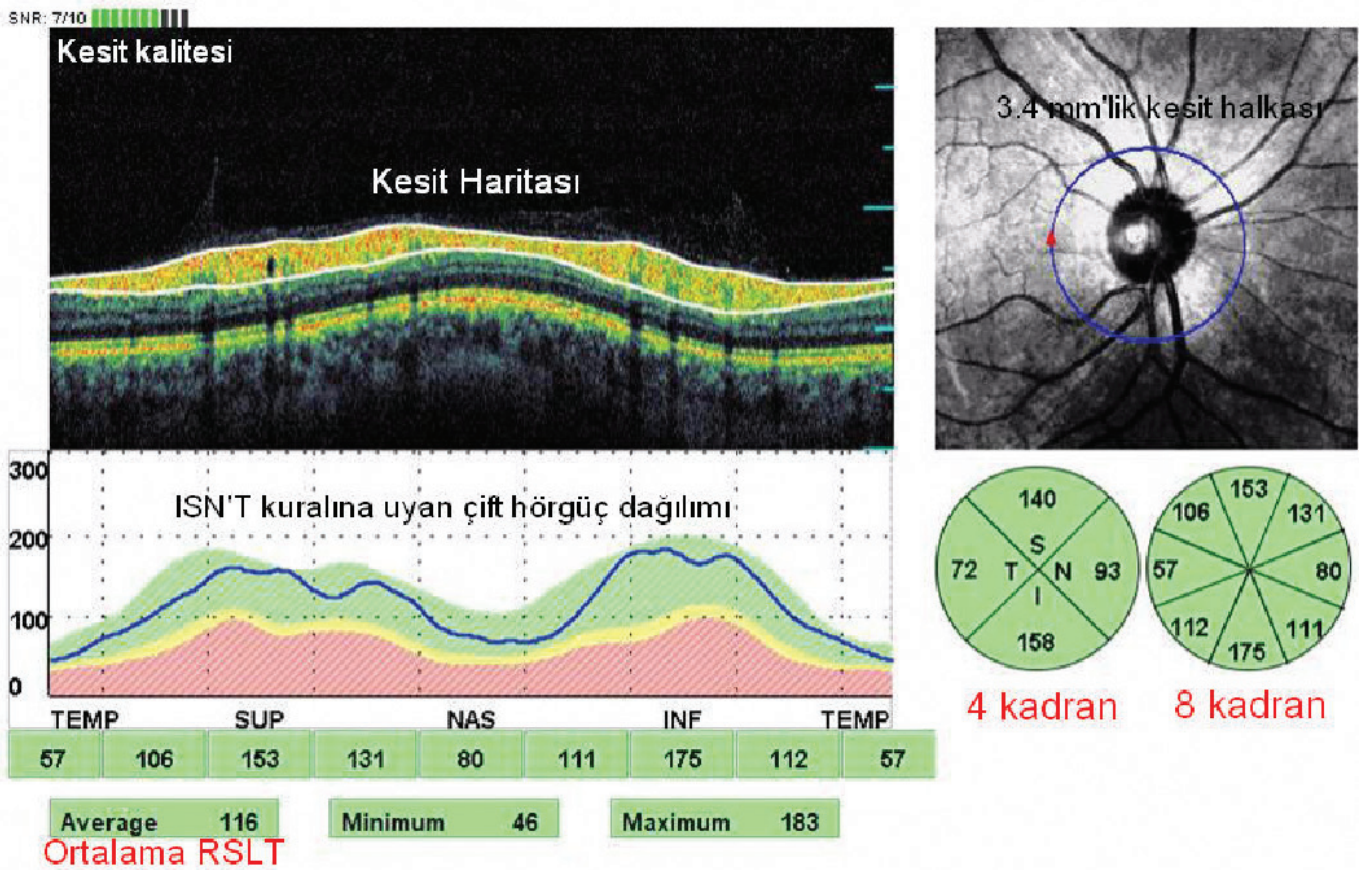
- Peripapiller retina sinir lif tabakası kalınlık ölçümü.
- Optik sinir başı analizi.
- Gangliyon hücre kompleksi analizi.

a. Peripapiller Retina Sinir Lif Tabakası Kalınlık Ölçümü

Bu değerlendirmede OKT ile optik sinir çevresinde silindirik bir tarama yapılmakta, bu kesit iki boyutlu düzlemde yansıtılmaktadır. Yapılan tekrar edilebilirlik çalışmalarında en güvenilir sonuç 3.4 mm çaplı dairesel kesitle elde edildiği için, ayrıca böylece büyük ve peripapiller atrofisi olan diskler de daha iyi değerlendirildiğinden, standart olarak 3.4 mm çaplı dairesel kesit kullanılmaktadır.^{11,12} Retina sinir lif tabakası (RSLT) kalınlığı, kullanıcı ya da referans düzlemi ihtiyacı olmaksızın otomatik bilgisayar algoritması ile belirlenmektedir.

Ölçümler RSLT 'nin optik disk çevresindeki konumuna göre bir kalınlık haritası olarak; 8-12 saat kadranı, 4 kadran ve ortalama RSLT kalınlığını verecek şekilde bir grafik halinde gösterilmektedir (Resim 3). Bu ölçümlerin güvenilir olması için 3.4 mm çaplı dairenin, kullanıcı tarafından eş zamanlı video görüntülerinde papilla etrafına tüm kadrantlarda eşit mesafede olacak şekilde oturtulması önemlidir. 'Optic disc cube' değerlendirmesi yapan bazı yeni nesil spektral OKT'lerde 3.4 mm peripapiller kesit halkası cihaz tarafından otomatik olarak yerleştirilmektedir.

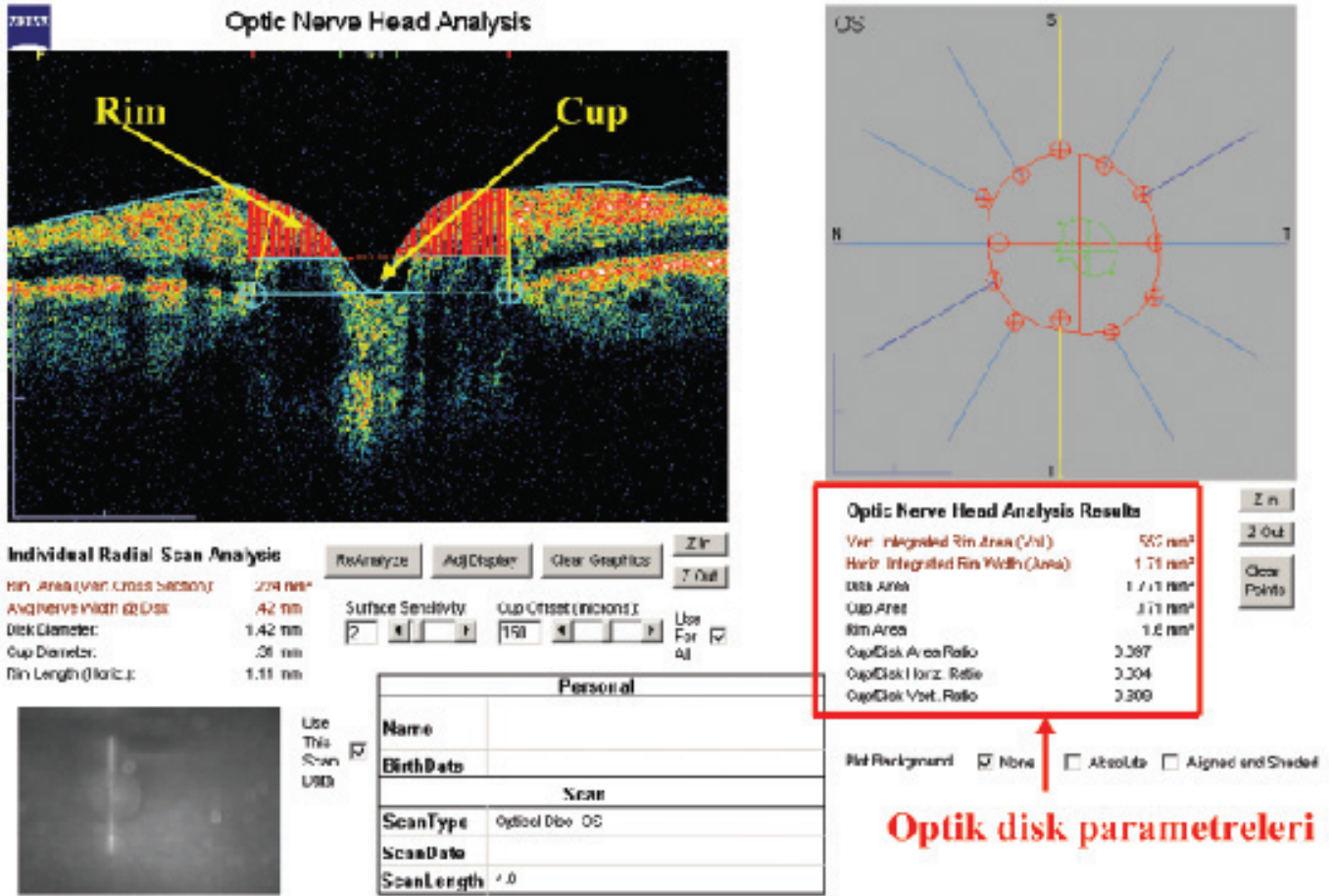
OKT ile ölçülen RSLT kalınlığı normal ile glokomlu gözler arasında, özellikle inferior kadranda olmak üzere istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir.⁴ Aynı çalışmada RSLT kalınlığı ile görme alanı testleri arasında da yüksek derecede korelasyon olduğu gösterilmiştir.



Resim 3: Spectral OCT/SLO'da retina sinir lif tabakası (RSLT) kalınlık haritası. Standart olarak 3.4 mm çaplı peripapiller kesit kullanılmaktadır. Ölçümler RSLT'nin optik disk çevresindeki konumuna göre bir kalınlık haritası olarak; 8 kadrant, 4 kadrant ve ortalama RSLT kalınlığını verecek şekilde bir grafik halinde gösterilmektedir.

OKT 1-2 ile yapılan diğer bir çalışmada da ortalama peripapiller RSLT kalınlığı <95 m olanların %50'sinde görme alanı kaybı saptanmıştır.¹³ Dr. Üstündağ'ın 144'ü normal, 151'i oküler hipertansiyonlu ve 174'ü primer açık açılı glokomlu olmak üzere toplam 469 gözde OKT ile yapılan RSLT kalınlığı ile görme alanı global indeksleri arasındaki ilişkiyi değerlendirdiği çalışmada; normal ve oküler hipertansiyonlu gözler ile glokomlu gözler arasında ortalama RSLT kalınlıklarında anlamlı farklar olduğu ve OKT ile saptanan RSLT kalınlık ölçümlerinin görme alanı indeksleri ile kuvvetli korelasyon gösterdiği bildirilmiştir.¹⁴ Glokomda fokal görme alanı defektleri veya red-free fotoğraflarla saptanan fokal RSLT defektleri ile OKT peripapiller RSLT ölçümlerinde saptanan fokal defektler arasında büyük oranda korelasyon olduğu da bir yayında bildirilmiştir.¹⁵ OKT 1-2'de ortalama RSLT kalınlığı normalde 100-130 μm arasında yer almakta, 100 μm altındaki değerler glokom lehine, 130 μm üzerindeki değerler ise optik sinir başı ödemi lehine değerlendirilmektedir. OKT 3 (Stratus)'de ise RSLT kalınlığı yaşa göre oluşturulmuş bir normogram içinde gösterilerek hekime değerlendirme açısından kolaylık sağlanmıştır. Prof. Dr. Schuman ve ekibinin longitudinal OKT çalışmasında¹⁶ OKT 3'le yapılan ölçümlerde ortalama RSLT kalınlığı normal grupta (n=107) $95.9 \pm 10.09 \mu\text{m}$, erken glo-

kom grubunda (n=64) $80.3 \pm 18.4 \mu\text{m}$, ileri glokomlu grupta (n=18) ise $50.7 \pm 13.6 \mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. RSLT, ISN'T kuralına uyan anatomik yapıyla uyumlu olarak kadrantlarda çift hörgüç dağılımı göstermektedir: İnferior ve süperiorda kalın, nazal ve temporalde ise incedir (Resim 3). Farklı spektral OKT'lerle yapılan normal popülasyon değerlendirmelerinde ortalama RSLT kalınlığı yine 90-113 μm aralığında bildirilmiştir.¹⁷ OKT ile ölçülen RSLT kalınlığını etkileyen faktörler arasında üçü dikkat çeker; yaş, aksiyel uzunluk ve optik disk çapı. OKT ile yapılan RSLT kalınlık ölçümlerinde her 10 yıllık yaşlanma ile ortalama RSLT kalınlığında yaklaşık 1-2 μm 'lik bir azalma olduğu bildirilmiştir.^{4,18} Bazı çalışmalarda ortalama RSLT kalınlığı ile aksiyel uzunluk ve disk çapı arasında ters orantı olduğuna dair veriler sunulmuştur.¹⁸⁻¹⁹ Glokomda görme alanı kaybı ya da optik sinir çukurlaşması tespit edilerek glokom tanısı konduğunda %10-50 arasında RSLT kaybının çoktan geliştiğini bildirilmiştir.²⁰ Bu sebeple OKT peripapiller RSLT kalınlık analizi, sadece glokomlu hasta takibinde değil, erken tanısında da bir erken tanı aracı olarak kullanılabilir. Özetlemek gerekirse, RSLT ortalama kalınlığının 90 μm 'nin altında olması, iki göz arasında 9 μm 'den fazla fark olması ve RSLT kalınlık kesit çizgisinin normatif haritada sarı-kırmızı alanda olması glokom lehine olarak değerlendirilmelidir.



Resim 4: Time domain bir OKT olan Stratus ile elde edilen optik sinir başı görüntü ve parametreleri. Optik sinir merkezinden geçen 30 derece aralıklı 6 radyal OCT kesiti kullanılarak optik sinir başı ve optik sinir çukurunun topografik haritası çıkarılmıştır.

Bazı spektral OKT'lerde bulunan RSLT progresyon analizi yazılımları da glokoma ait progresyonu istatistiksel olarak değerlendirerek glokom hastalarının takibinde uzmanların işini kolaylaştırmaktadır.

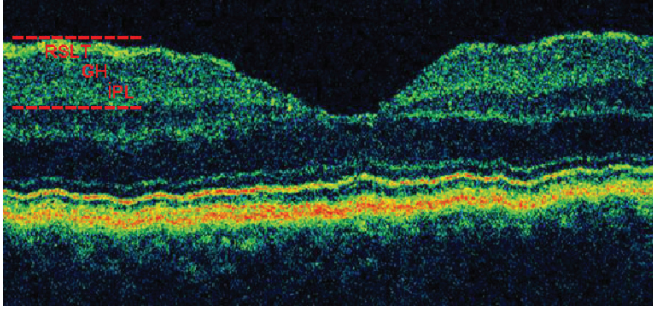
b. Optik Sinir Başı Analizi

Time domain OKT'lerde optik sinir merkezinden geçen 30 derece aralıklı 6 radyal kesit kullanılarak optik sinir başı ve optik sinir çukurunun topografik haritası çıkarılabilmektedir (Resim 4). Program yazılımı sayesinde retina pigment epiteli, koryokapillaris ve fotoreseptörlerin bittiği yer optik sinir başının başlangıcı olarak kabul edilmekte ve buna göre disk sınırları otomatik olarak belirlenmektedir. Bu durum özellikle tilted disk gibi kenarın saptanmasında güçlük oluşturan disk anomalilerinde OKT'ye avantaj sağlamaktadır. Pigment epitelinin bulunduğu düzlemin 150 µm üzerinden geçen transvers hattın altında kalan bölge disk çukurluğu (cupping) olarak kabul edilmekte ve bu şekilde cup-disc oranı, rim alanı, rim hacmi, cup alanı, cup hacmi hesaplanabilmektedir (Resim 4). Glokom tanı ve takibinde çok önemli olan bu parametreler böylece objektif bir şekilde elde edilebilmektedir. OKT ile elde edilen optik sinir başı görüntü ve parametreleri ile diğer bir görüntüleme yöntemi olan confocal scanning laser ophthalmoscopy (SLO,HRT) ile elde edilen değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı bazı çalışmalarda gösterilmiştir.^{21,22}

Bu iki yöntem karşılaştırıldığında optik disk kenarının kullanıcıdan bağımsız belirlenebilmesi, referans düzlemine ihtiyaç duyulmaması OKT'nin avantajları olarak göze çarparken, tekrarlanabilirliğinin HRT'ye göre düşük olması, onaylanmış bir normatif veri tabanının olmaması da optik disk parametrelerinin değerlendirilmesi açısından time domain OKT'nin dezavantajları olarak kabul edilebilir. Spektral OKT'lerde disk topografisi yapılırken 6 radyal kesit yerine 200x200 a-scan kesitinden oluşan 3 boyutlu küp tekniği kullanılarak, tekrarlanabilirlik ve güvenilirlik artırılmıştır.²³

c. Gangliyon Hücre Kompleksi Analizi

Glokomda santral foveal bölgede ve maküla kadranslarında retina kalınlığında azalma olduğunu gösteren yayınlar mevcuttur.²⁴ Görme alanı defektleri ve peripapiller RSLT incelmeleriyle uyumlu olarak maküla kadranslarında da retinal inceltme olduğu gösterilmiştir. Ancak maküla kalınlığının RSLT kadar glokoma spesifik veriler sağlamaması nedeniyle glokom tanı ve takibinde bir parametre olarak kabul görmemiştir. Son yıllarda glokom hastalarında maküler bölgede ganglion hücrelerinde azalma olduğunu gösteren çalışmalar, RSLT+Ganglion hücre tabakası+İç pleksiform tabakadan oluşan ganglion hücre kompleksi (GHK)'nin glokomda kullanımının değerlendirilmesine yönelik araştırmaları gündeme getirmiştir (Resim 5).^{25,26}



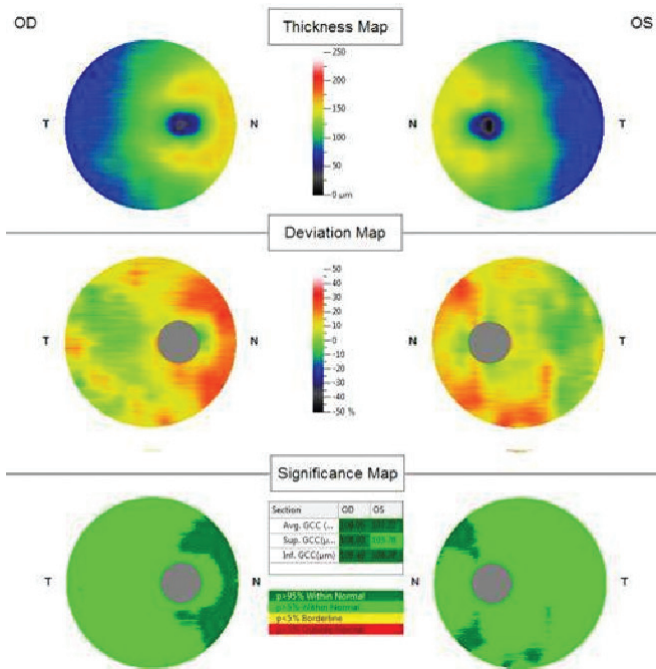
Resim 5: Makülada ganglion hücre kompleksinin (GHK) spektral OKT'de görünümü (kırmızı çizgilerin arasındaki bölge). GHK retina sinir lif tabakası (RSLT), ganglion hücre tabakası (GH) ve iç pleksiform tabakadan (İPL) oluşmaktadır.

Bu çalışmalarda GHK'nin glokom tanısında peripapiller RSLT kadar sensitif ve spesifik olduğu gösterilmiştir. Günümüzde bazı spektral OKT'lerin glokom modüllerinde GHK analizi standart parametre olarak verilmektedir (Resim 6).

SPEKTRAL OKT'LERİN TEKNİK KAPASİTELERİ

Bu bölümde ülkemizde mevcut spektral OKT'lerin yetenekleri özetlenmiştir.¹⁷

Cirrus HD-OCT (Carl Zeiss Meditec): Disk ve peripapiller RSLT parametrelerini, diski merkeze alan 6x6 mm yüzey alanı ve 2 mm derinliği olan, 200x200 a-scan içeren optik disk küpü görüntüsüyle sağlar.



Resim 6: RTVue spektral OKT cihazı ile normal bir gözden elde edilmiş makülada ganglion hücre kompleksi kalınlık analizini gösteren çıktı. Üstte kalınlık haritası renklerle kodlanarak verilmiştir. Nazaldeki ince noktalar foveadır. Ortada, yaşa göre normal popülasyondan elde edilen verilerle hastanın verileri karşılaştırılarak elde edilen deviasyon haritası, altta ise bu deviasyonun anlamlılık haritası verilmiştir.

Bu data küpünden; otomatik olarak 3.46 mm çaplı peripapiller RSLT kalınlık haritası, 6x6 mm'lik alanda RSLT kalınlık ve deviasyon haritası, disk topografisi haritası ile nöroretinal rim haritası olmak üzere toplam 4 analiz yapar ve tek bir çıktıda hepsini verir. Cihaz glokom progresyon analizi de yapmaktadır.

Spectral OCT/SLO (Opko/OTI): 3.4 mm'lik tarama halkası disk çevresine manuel olarak yerleştirilerek RSLT kalınlık haritası elde edilir. Normatif verilerle karşılaştırma, zaman içinde RSLT kalınlık seyrini gösteren grafikler, iki göze ait verilerin karşılaştırılması gibi klinisyenin işini kolaylaştıracak veriler sağlayabilir. Test-retest fonksiyonu sayesinde ilk ölçüm temel alınarak 3.4 mm'lik halkanın hep aynı yerden geçmesi sağlanabilmektedir. Son versiyonunda disk çevresinde 5 mm çaplı bölgede 3 boyutlu RSLT kalınlık haritası da görüntülenebilmektedir. Disk topografisi de mevcuttur.

RTVue (Optovue): Cihaz 3.45 mm çaplı peripapiller RSLT kalınlık analizi, optik sinir başı analizi yapabilmekte, elde edilen tüm parametre verilerini yaş, ırk ve disk çapı düzeltmeleri yapılmış normatif datayla karşılaştırabilmektedir. RSLT kalınlığının zaman içinde seyrini değerlendiren bir *RNFL progression analysis* programı da bulunmaktadır. RTVue, makülada ganglion hücre kompleksi (Ganglion cell complex, GCC) kalınlık ölçümünü glokom modülü içinde standart olarak veren ilk cihazdır (Resim 5,6). GCC kalınlık haritası, normatif verilerden deviasyon haritası ve deviasyon anlamlılık haritası analiz edilmektedir.

Spectralis OCT (Heidelberg Engineering): Glokom için özel bir analiz modülü içermektedir. RSLT ölçümünde 3.45 mm'lik peripapiller tarama halkası manuel olarak yerleştirilir. Gelişmiş bir göz hareket takip programı artefaktları önlemektedir. Tek seferde alınan 16 sirküler kesitin ortalaması alınarak görüntüdeki parazit yok edilir. Normatif data ile karşılaştırmalı olarak RSLT ve disk verileri analiz edilir.

Copernicus (Canon): Cihaz; peripapiller RSLT kalınlık analizi, RSLT kalınlık haritası, RSLT progresyon analizi ve optik sinir başı analizi yapabilen tam bir glokom modülü içermektedir. Optik sinir başı analizi yapılırken disk hasarı olasılık skalası da verilmektedir. Bu analizde C/D oranından çok rim alan ve hacmi dikkate alınmaktadır. Böylece disk çapının yanıltıcı etkisi elimine edilmeye çalışılmıştır.

RS-3000 (Nidek): Saniyede 53 000 a-scan kapasitesiyle piyasadaki en hızlı spektral OKT cihazıdır. Optik disk çevresinde 3 boyutlu RSLT kalınlık haritası sağlamakta, buradan peripapiller 3.45 mm çaplı RSLT kalınlık verileri elde edilebilmekte ve normal verilerle karşılaştırma yapılabilmektedir. Ayrıca, makülada ganglion hücre kompleksi (Ganglion cell complex, GCC) kalınlık ölçümü analizi de cihazın yetenekleri arasındadır.

3D-OCT (Topcon): Bu cihaz spektral OKT görüntüleriyle birlikte yüksek çözünürlüklü disk fotoğrafları da sağlamaktadır.

3.4 m çaplı peripapiller tarama halkası cihaz tarafından otomatik olarak yerleştirilerek RSLT kalınlık haritası elde edilmektedir. Cihazdaki RNFL Tren Analysis programı sayesinde RSLT değişiklikleri incelenebilmekte ve normal verilerle karşılaştırılabilmektedir. Disk topografisi modülü ile optik sinir başı parametreleri de sağlanmaktadır.

SONUÇ

OKT'nin Heidelberg retinal tomography, scanning laser polarimetry, pulsatil oküler kan akımı ve görme alanı gibi glokom tanısında kullanılan çeşitli tanı yöntemleriyle karşılaştırılarak glokoma yönelik sensitivite ve spesifitesinin araştırıldığı bazı çalışmalar vardır.^{13,16,21,22,24,27-30} Bu çalışmaların hepsinde, OKT'nin glokomlu gözleri normal gözlerden ayırt etmede en az diğer yöntemler kadar veya daha fazla spesifik ve sensitif olduğu gösterilmiştir. Spektral OKT'lerin son versiyonlarına, glokom progresyon analizi, RSLT değişim analizi gibi yazılımlar eklenmiştir. Ancak, bu programların glokom progresyonunu saptamada etkinliğini araştırılan bir çalışma henüz yayınlanmamıştır. OKT'nin glokom hastalarında uzun vadede görme alanı ile karşılaştırılarak glokom progresyonunu saptama yeteneğini araştırmaya yönelik yapılan önemli bir çalışma Dr.Wollstein ve ark., tarafından gerçekleştirilmiştir.¹⁶ Bu çalışmada, ortalama 5 yıl boyunca görme alanı ve OKT ile takip edilen glokom şüphesi veya glokomu olan 37 hastanın 64 gözünde hastalığın progresyonu değerlendirilmiştir. Gözlerin %66'sında herhangi bir progresyon olmazken, %22'sinde görme alanında değişiklik olmaksızın peripapiller RSLT kalınlığında OKT ile azalma saptandığı bildirilmiştir. Bu sonuç glokom takibinde, henüz fonksiyonel kayıplar ortaya çıkmadan önce OCT ile anatomik değişikliklerin ortaya konabileceğini göstermektedir. Spektral OKT'lerle birlikte test-retest değişkenliğinde sağlanan azalmanın da glokom progresyonunu erkenden saptama konusunda glokom uzmanlarına önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Sonuç olarak OKT, sağladığı objektif ve güvenilir peripapiller RSLT kalınlık ölçümleri, optik disk parametreleri ve ganglion hücre kompleksi analizleri ile glokomun tanı ve takibinde uzmanların işini kolaylaştırmaktadır.

KAYNAKLAR/REFERENCES

- Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al.: Optical coherence tomography. *Science*. 1991;254:1178-1181.
- Izzatt JA, Hee MR, Swanson EA, et al.: Micrometer-scale resolution imaging of the anterior eye in vivo with optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol*. 1994;112:1584-1589.
- Puliafito CA, Hee MR, Lin CP, et al.: Imaging of macular diseases with optical coherence tomography. *Ophthalmology* 1995;102:217-229.
- Schuman JS, Hee MR, Puliafito CA, et al.: Quantification of nerve fiber layer thickness in normal and glaucomatous eyes using optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol*. 1995;113:586-596.
- Wojtkowski M, Sirinivasan V, Ko T, et al.: Ultrahigh-resolution, high-speed, Fourier domain optical coherence tomography and methods for dispersion compensation. *Opt Express*. 2004;12:2404-2422.
- De Boer JF, Cense B, Park BH, et al.: Improved signal-to-noise ratio in spectral-domain compared with time-domain optical coherence tomography. *Opt Lett*. 2003;28:2067-2069.
- Nassif N, Cense B, Park BH, et al.: In vivo human retinal imaging by ultrahigh-speed spectral domain optical coherence tomography. *Opt Lett*. 2004;29:480-482.
- Chen TC, Cense B, Pierce MC, et al.: Spectral domain optical coherence tomography: ultra-high speed, ultra-high resolution ophthalmic imaging. *Arch Ophthalmol*. 2005;123:1715-1720.
- Fujimoto JG, Hee MR, Huang D, et al.: Principles of optical coherence tomography. In Schuman JS, Puliafito CA, Fujimoto JG: *Optical coherence tomography of ocular diseases*. Second edition. Thorofare,NJ: Slack Inc. 2004:3-20.
- Schuman JS. Spectral domain optical coherence tomography for glaucoma (an AOS thesis). *Trans Am Ophthalmol Soc*. 2008;106:426-458.
- Schuman JS, Pedut-Kloizman T, Hertzmark E, et al.: Reproducibility of nerve fiber layer thickness measurements using optical coherence tomography. *Ophthalmology*. 1996;103:1889-1898.
- Bayraktar Ş, Türker G.: Erken glokom ve glokom şüphesi olgularında optik koherens tomografi ile elde edilen retina sinir lifi kalınlığı ölçümlerinin tekrarlanabilirliği. *T Oft Gaz*. 2000;30:404-408.
- Williams ZY, Schuman JS, Gamell L, et al.: Optical coherence tomography measurement of nerve fiber layer thickness and the likelihood of a visual field defect. *Am J Ophthalmol*. 2002;134:538-546.
- Üstündağ C.: Glokomlu gözlerde optik koherens tomografi ile saptanan retina sinir lifi kalınlıklarının görme alanı indeksleri ile korelasyonu. *T Oft Gaz*. 2001;31:600-604.
- Pieroth L, Schuman JS, Hertzmark E, et al.: Evaluation of focal defects of the nerve fiber layer using optical coherence tomography. *Ophthalmology*. 1999;106:570-579.
- Wollstein G, Schuman JS, Price LL, Aydın A, et al.: Optical coherence tomography longitudinal evaluation of retinal nerve fiber layer thickness in glaucoma. *Arch Ophthalmol*. 2005;123:464-470.
- Savini G, Carbonelli M, Barboni P.: Spectral-domain optical coherence tomography for the diagnosis and follow-up of glaucoma. *Curr Op in Ophthalmol*. 2011;22:115-123.
- Bendschneider D, Tornow RP, Horn FK et al.: Retinal nerve fiber layer thickness in normal measured by spectral domain OCT. *J Glaucoma*. 2010;19:475-482.
- Kang SH, Hong SW, Im SK, et al.: Effect of myopia on the thickness of the retinal nerve fiber layer measured by Cirrus HD OCT. *Invest Ophthalmol. Vis Sci* 2010;51:4075-4080
- Quigley HA, Addicks EM.: Quantitative studies of retinal nerve fiber layer defects. *Arch Ophthalmol*. 1982;100:807-812.
- Schuman JS, Wollstein G, Farra T, et al.: Comparison of optic nerve head measurements obtained by optical coherence tomography and confocal scanning laser ophthalmoscopy. *Am J Ophthalmol*. 2003;135:504-512.
- Zangwill LM, Bowd C, Berry CC, et al.: Discriminating between normal and glaucomatous eyes using Heidelberg Retina Tomograph, GDx Nerve Fiber Analyzer, and optical coherence tomograph. *Arch Ophthalmol*. 2001;119:985-993.
- Schuman JS. Spectral domain optical coherence tomography for glaucoma (an AOS thesis). *Trans Am Ophthalmol Soc*. 2008;106:426-458.
- Wollstein G, Schuman JS, Price LL, et al.: Optical coherence tomography (OCT) macular and peripapillary retinal nerve fiber layer measurements and automated visual fields. *Am J Ophthalmol*. 2004;138:218-225.
- Tan O, Chopra V, Lu AT, et al.: Detection of macular ganglion cell loss in glaucoma by Fourier-domain optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2009;116:2305-2314.
- Kim NR, Lee ES, Seong GJ, et al.: Comparing the ganglion cell complex and retinal nerve fiber layer measurements by Fourier domain OCT to detect glaucoma. *Br J Ophthalmol*. 2011;95:1115-1121.
- Hoh ST, Greenfield DS, Mistlberger A, et al.: Optical coherence tomography and scanning laser polarimetry in normal, ocular hypertensive, and glaucomatous eyes. *Am J Ophthalmol*. 2000;129:129-135.
- Bowd CA, Zangwill LM, Berry CC, et al.: Detecting early glaucoma by assessment of retinal nerve fiber layer thickness and visual function. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2001;42:1993-2003.
- Mistlberger A, Liebmann JM, Greenfield DS, et al.: Heidelberg Retina Tomography and optical coherence tomography in normal, ocular hypertensive and glaucomatous eyes. *Ophthalmology*. 1999;106:2027-2032.
- Aydın A, Wollstein G, Price LL, ET AL.: Evaluating pulsatile ocular blood flow analysis in normal and treated glaucomatous eyes. *Am J Ophthalmol*. 2003;136:448-453.