

# Optik Koherens Tomografinin Glokomda Yeri

## Application of Optical Coherence Tomography in Glaucoma

Ali AYDIN,<sup>1</sup> Ahmet Hamdi BİLGE<sup>2</sup>

Güncel Konu

Quest Editorials

### ÖZ

Glokom, gözü etkileyen çeşitli hastalıkların yarattığı retina ganglion hücre ölümüne bağlı olarak gelişen optik sinir hasarı ve tipik görme alanı kayıpları ile karakterize ilerleyici bir optik nöropatidir. Glokoma bağlı hasarın saptanmasında ve takibinde kullanılan klinik oftalmoskopik muayene ve optik disk-retina sinir lif tabakası (RSLT) fotoğrafının duyarlı testler olduğu gösterilmiş olmakla beraber bu testler uygulayıcının yeteneklerinden etkilenmekte ve uygulayıcılar arası farklılıklar gösterebilmektedir. Glokomun tanı ve takibinde kullanılacak, optik disk ve RSLT hasarları konusunda güvenilir ve objektif veriler sağlayacak yöntemler şüphesiz uzmanlara çok yardımcı olacaktır. Son 20 yılda yapılan araştırmalar sayesinde 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 (OCT). Optik disk ve retinanın tomografik kesit görüntüleri, kızılötesi ışığın B mod ultrason prensibine benzer bir şekilde doku katmanlarından geri yansıması özelliğinden faydalanılarak elde edilir. Bu şekilde OCT, retina tabakalarının ayırt edilerek RSLT kalınlığının ölçülebilmesini ve optik sinir başı parametrelerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Böylece bu teknik, glokom tanı ve takibinde yaygın bir şekilde kullanılan bir görüntüleme yöntemi haline gelmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Optik koherens tomografi, glokom.

### ABSTRACT

Glaucoma is a progressive optic neuropathy characterized by optic nerve damage and typical visual field defects due to retinal ganglion loss caused by a number of diseases affecting the eye. Although clinical examination and photography of the optic disc and retinal nerve fiber layer (RNFL) have been considered as sensitive tests for detecting glaucomatous damage and its progression, 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 B-scan ultrasonography. OCT can differentiate the anatomic layers of retina, measure the thickness of RNFL and produce the optic nerve head parameters. 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 2007;77-82

**Geliş Tarihi :** 05/03/2007

**Kabul Tarihi :** 21/05/2007

**Received :** March 05, 2007

**Accepted:** May 21, 2007

1- GATA Haydarpaşa Eğitim Hastanesi Göz Hastalıkları Servisi, İstanbul, Yrd. Doç. Dr.  
2- GATA Haydarpaşa Eğitim Hastanesi Göz Hastalıkları Servis Şefi, İstanbul, Prof. Dr.

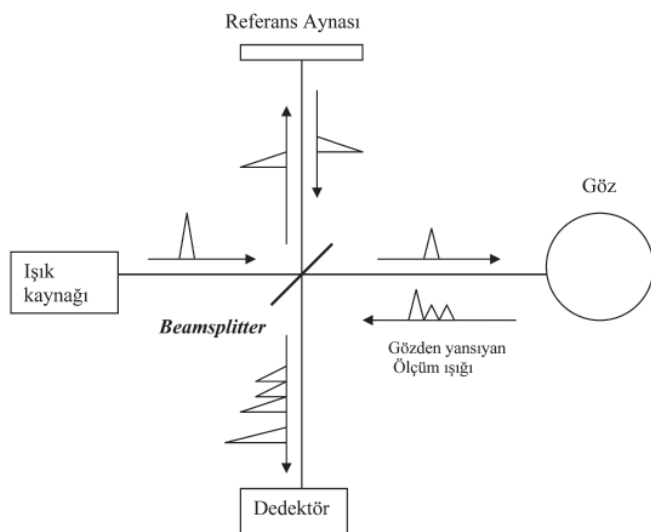
1- M.D. Assistant Professor, GMMMA Haydarpaşa Training Hospital, Department of Ophthalmology İstanbul/TURKEY  
AYDIN A., aydinali67@yahoo.com  
2- M.D. Professor, GMMMA Haydarpaşa Training Hospital, Department of Ophthalmology İstanbul/TURKEY  
BİLGE A.H., akademigoz@superonline.com  
**Correspondence:** M.D. Assistant Professor, Ali AYDIN  
GMMMA Haydarpaşa Training Hospital, Department of Ophthalmology Üsküdar İstanbul/TURKEY

## GİRİŞ

Optik koherens tomografi (OCT); biyolojik doku katmanlarını, mikron düzeyinde yüksek çözünürlükte tomografik kesitler olarak görüntüleyen, yeni bir tıbbi görüntüleme-tanı yöntemidir. Dokulara gönderilen ve farklı doku katmanlarından geri yansıyan ~800 nm dalga boyundaki infrared ışığın yansıma gecikme zamanını ve şiddetini ölçerek, dokuların ve patolojilerinin B-scan ultrasonografiye benzer bir şekilde ama ondan çok daha yüksek çözünürlükte (1-15 mikron ( $\mu\text{m}$ )) kesit görüntülerinin alınmasına olanak tanır.

OCT tekniği ilk olarak, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde (MIT) fizik profesörü Dr. Fujimoto ve ekibi tarafından tanımlanmıştır.<sup>1</sup> Oftalmolojide ilk kullanımı ise Boston Tufts Üniversitesi New England Göz Merkezinde (NEEC), cihazın bir biomikroskop üzerine monte edilmesi ile yapılan prototip OCT'nin Dr. Puliafito ve Dr. Schuman tarafından ön segment, retina hastalıkları ve glukomda uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir.<sup>2-4</sup> Bu çalışmalarda kullanılan teknik Carl Zeiss firmasının Humphrey bölümü tarafından (artık Zeiss Humphrey Systems, Inc olarak biliniyor) ticari OCT olarak üretilmiştir.

Glukom, 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 OCT, glukom tanısı ve takibinde önemli bir görüntüleme yöntemi haline gelmiştir. Bu derlemede OCT'nin glukomda kullanım alanı ele alınmıştır.



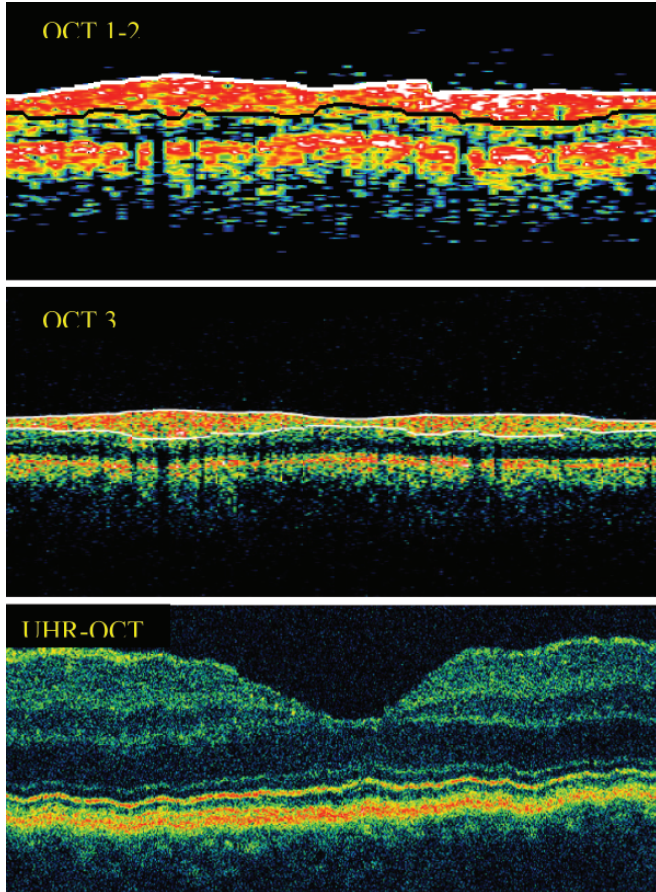
**Resim 1:** OCT'nin çalışma prensibi. Işık kaynağından gelen ışık beamsplitter denen yarı saydam ayna sayesinde ikiye ayrılır, yarısı göze diğersini referans aynasına gönderilir. Gözdeki doku katmanlarından geri yansıyan ışık dalgaları referans aynasından yansıyanlarla interferometrede birleştirilir. Dalgaların interferansından faydalanılarak doku katmanları görüntülenir.

## OCT'NİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

OCT 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. OCT'de kullanılan parsiyel koherent ışık, superluminescent diod laser (SLD) cihazından sağlanan ~800 nm dalga boyundaki kızılötesi lazer ışığıdır (çeşitli firmalar tarafından üretilen OCT cihazlarında kullanılan kızılötesi ışığın dalga boyu 800 ile 840 nm arasında değişmektedir). Resim 1'de OCT'nin çalışma prensibi özetlenmiştir. SLD cihazından gönderilen ~800 nm dalga boyundaki ışık göze yönlendirilmekte, bu sırada 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, diğersini 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 mesafesi 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. OCT'de göz dokularında aksiyel çözünürlük ilk ticari formlar olan OCT-1 ve 2'de 12-15  $\mu\text{m}$  iken, OCT-3 'te 8-10  $\mu\text{m}$  olmuştur. Henüz ticari olarak mevcut olmayan ileri derecede yüksek (ultrahigh) çözünürlüklü OCT'de (UHR-OCT) ise çözünürlük 1-3  $\mu\text{m}$  düzeyine düşürülmüştür.<sup>5</sup> Transvers çözünürlük ise 20  $\mu\text{m}$  düzeyindedir. Resim 2'de farklı ticari formlardaki OCT 'lere ait görüntüler gösterilmiştir. Burada da görüldüğü gibi çözünürlük arttıkça retinanın katmanlarını saptama kapasitesi de artmaktadır.

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



**Resim 2:** Farklı OCT yazılımlarında retina görüntüleri. OCT 1-2 ve OCT 3' e ait görüntüler optik disk çevresinden geçirilmiş kesit görüntüleridir. Bu kesitlerde üstte sınırları çizilmiş doku retina sinir lif tabakasıdır. Ultrahigh çözünürlüklü OCT (UHR-OCT)' ye ait görüntü ise foveadan geçen bir makula kesitidir. 1-2  $\mu\text{m}$ 'lik çözünürlük sayesinde retinanın tüm katları ayırt edilebilmektedir.

edilebildiği gibi, maviden kırmızıya gökkuşağı tonlarında yalancı bir renklendirme yapılarak da verilebilir. Yalancı renklendirme ile doku katmanları uzman tarafından bir-

birinden 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.

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

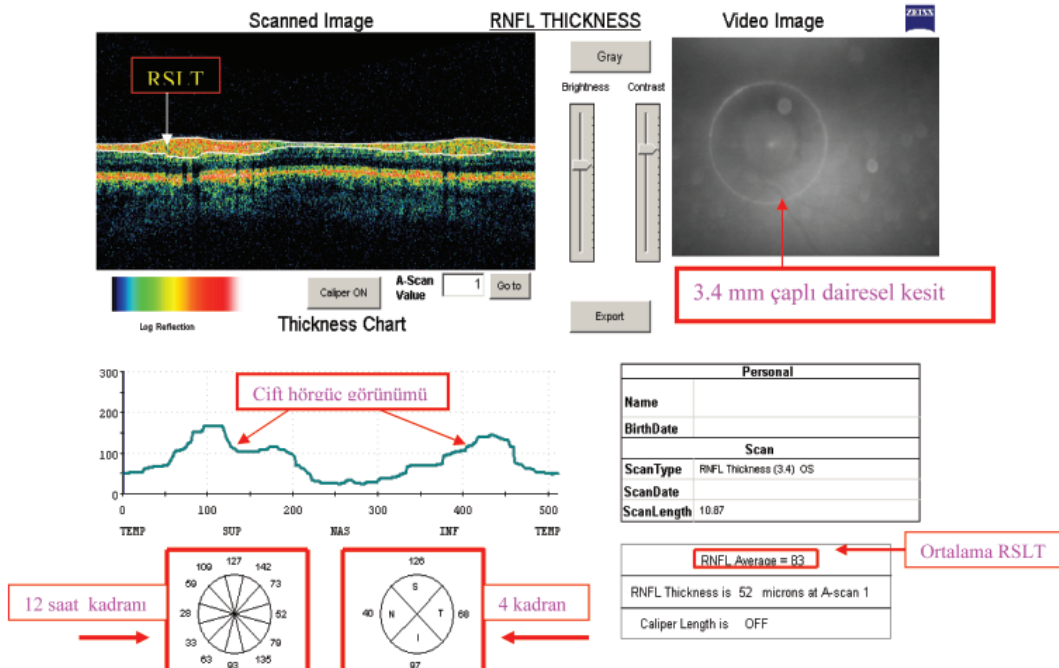
## GLOKOMUN TANI VE TAKİBİNDE OCT'NİN KULLANIMI

Glokomda OCT'nin üç test yönteminden faydalanılmaktadır:

- Peripapiller retina sinir lif tabakası kalınlık ölçümü.
- Optik sinir başı analizi.
- Maküla analizi.

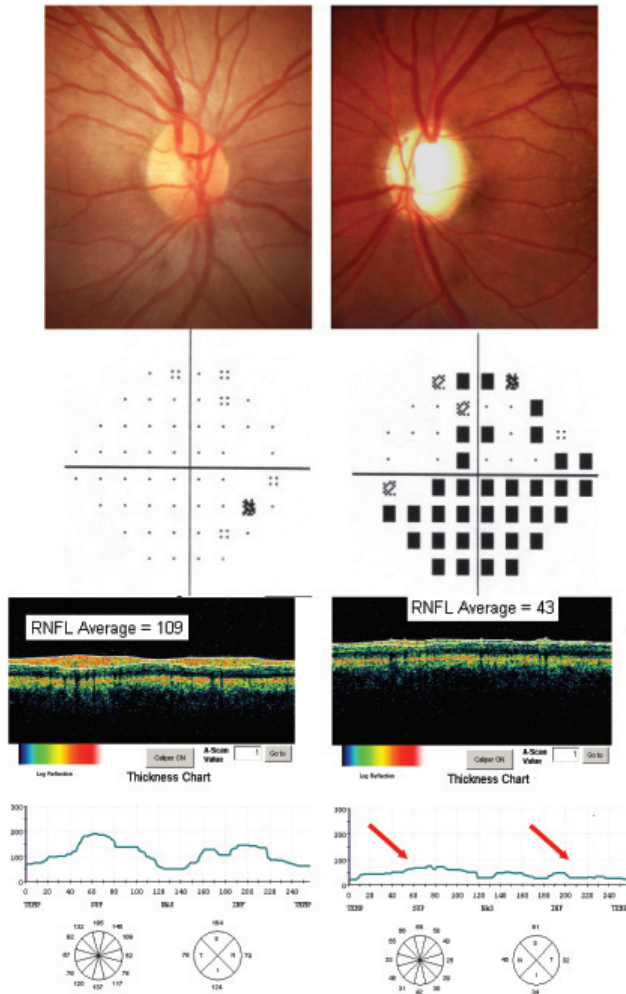
### a. Peripapiller retina sinir lif tabakası kalınlık ölçümü

Bu değerlendirmede OCT ile optik sinir çevresinde silindirik bir tarama yapılmakta, bu kesit iki boyutlu düzlemde yansıtılmaktadır. Yapılan tekrar edilebilirlik (reproducibility) 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.<sup>6,7</sup> Retina sinir lif tabakası (RSLT)



**Resim 3:** OCT 3' te 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; 12 saat kadranı, 4 kadran ve ortalama RSLT kalınlığını verecek şekilde bir grafik halinde gösterilmektedir.



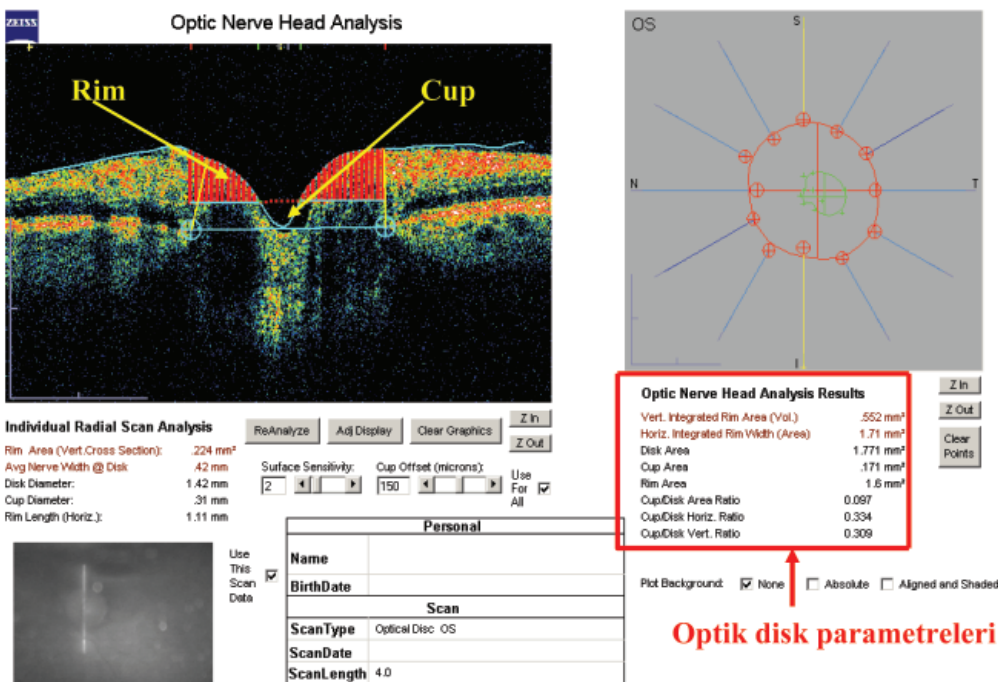


**Resim 4:** Altmış iki yaşında sol gözünde psödoeksfoliyatif glukomu olan bir hastaya ait optik disk fotoğrafları, görme alanları ve OCT peripapiller RSLT kalınlık analizi. Sol gözde ileri cupping'le uyumlu olarak altta absolü üstte relatif arkuat skotom izleniyor. OCT peripapiller RSLT analizinde sol gözde çift hörgüç dağılımının bozulduğu (kırmızı oklar) ve RSLT'nin incelendiği görülüyor.

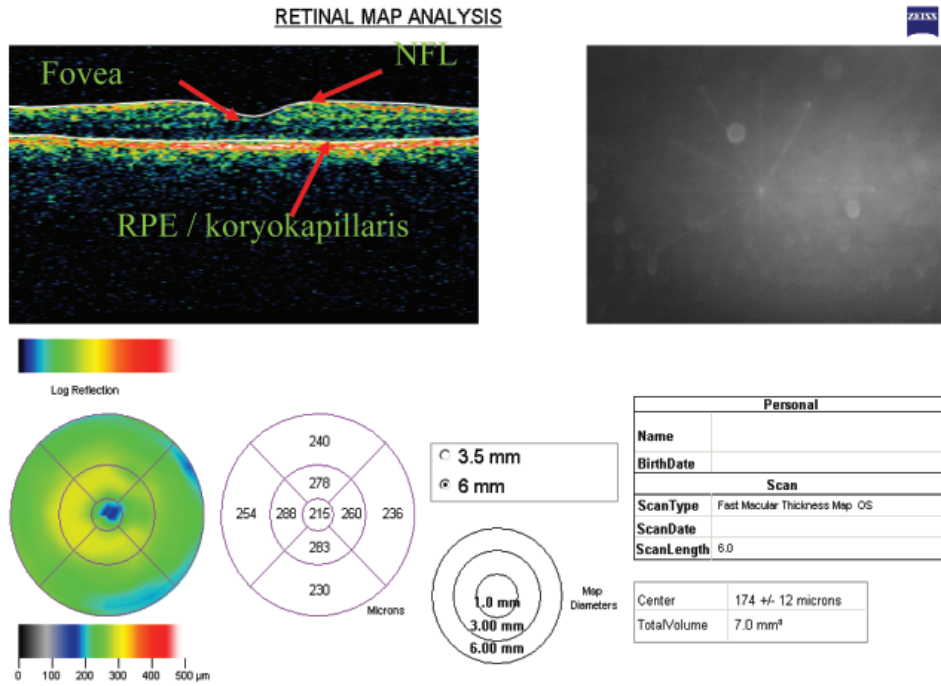
kalınlığı, kullanıcı ya da referans düzlemi ihtiyacı olmaksızın otomatik bilgisayar algoritması ile belirlenmektedir. Taramanın yapılması OCT 1-2'de 1 saniye, OCT 3'de ise 0,5 saniye sürmektedir. Ölçümler RSLT'nin optik disk çevresindeki konumuna göre bir kalınlık haritası olarak; 12 saat kadranı, 4 kadran ve ortalama RSLT kalınlığını verecek şekilde bir grafik halinde gösterilmektedir (Şekil 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.

OCT ile ölçülen RSLT kalınlığı normal ile glukomlu gözler arasında, özellikle inferior kadranda olmak üzere istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir.<sup>4</sup> OCT 1-2 ile yapılan diğer bir çalışmada da ortalama peripapiller RSLT kalınlığı 95  $\mu\text{m}$  olanların %50'sinde görme alanı kaybı saptanmıştır.<sup>8</sup> Yaşla beraber OCT ile yapılan RSLT kalınlık ölçümlerinde her 10 yıllık yaşlanma ile RSLT kalınlığında yaklaşık 1  $\mu\text{m}$ 'lik bir azalma olduğu bildirilmiştir.<sup>4</sup> Aynı çalışmada RSLT kalınlığı ile görme alanı testleri arasında da yüksek derecede korelasyon saptanmıştır. Dr. Üstündağ'ın 144'ü normal, 151'i oküler hipertansiyonlu ve 174'ü primer açık açılı glukomlu olmak üzere toplam 469 gözde OCT ile yapılan RSLT kalınlığı ile görme alanı global indeksleri arasındaki ilişkiyi değerlendirdiği çalışmada; normal ve oküler hipertansiyonlu gözler ile glukomlu gözler arasında ortalama RSLT kalınlıklarında anlamlı farklar olduğu ve OCT ile saptanan RSLT kalınlık ölçümlerinin görme alanı indeksleri ile kuvvetli korelasyon gösterdiği bildirilmiştir.<sup>9</sup>

Glukomda fokal görme alanı defektleri veya red-free fotoğraflarla saptanan fokal RSLT defektleri ile OCT peripapiller RSLT ölçümlerinde saptanan fokal defektler arasında büyük oranda korelasyon olduğu da bir yayında bildirilmiştir.<sup>10</sup>



**Resim 5:** OCT 3 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.



**Resim 6:** OCT maküla kalınlık analizi. Foveadan geçen 30 derece aralıklı 6 radyal OCT kesiti kullanılarak santral ve parasantral makülada; alt, üst, temporal ve nazalde olmak üzere 8 maküla kadranının retina kalınlıklarını gösteren topografik bir harita çıkarılmıştır.

OCT 1-2'de ortalama RSLT kalınlığı normalde 100-130  $\mu\text{m}$  arasında yer almakta, 100  $\mu\text{m}$  altındaki değerler glokom lehine, 130  $\mu\text{m}$  üzerindeki değerler ise optik sinir başı ödemi lehine değerlendirilmektedir. OCT 3'de ise RSLT kalınlığı yaşa göre oluşturulmuş bir normogram içinde gösterilerek hekime değerlendirme açısından kolaylık sağlanmıştır. Dr. Schuman ve ekibinin longitudinal OCT çalışmasında OCT 3'le yapılan ölçümlerde ortalama RSLT kalınlığı normal grupta ( $n=107$ )  $95.9 \pm 10.09 \mu\text{m}$ , erken glokom 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 anatomik yapıyla uyumlu olarak kadranlarda çift hörgüç dağılımı göstermektedir: Superior ve inferiorda kalın, nazal ve temporalde ise ince (Resim 3.). Resim 4'de tek taraflı bir psödoeksfoliyatif glokom vakasında; optik diskte artmış C/D oranı ve görme alanı defektleri ile uyumlu olarak OCT'de peripapiller RSLT kalınlığında azalma ve çift hörgüç dağılımında bozulma izlenmektedir.

Glokomda görme alanı kaybı ya da optik sinir çukurlaşması tespit edilerek glokom tanısı konduğunda %10-50 arasında RSLT kaybının çoktan geliştiğini bildirilmiştir.<sup>11</sup> Bu sebeple OCT peripapiller RSLT kalınlık analizi, sadece glokomlu hasta takibinde değil, erken tanısında da bir erken tanı aracı olarak kullanılabilir.

### b. Optik sinir başı analizi

Optik sinir merkezinden geçen 30 derece aralıklı 6 radyal OCT kesiti kullanılarak optik sinir başı ve optik sinir çukurunun topografik haritası çıkarılabilmektedir (Resim 5). 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 OCT'ye avantaj sağlamaktadır. Pigment epitelinin bulunduğu düzlemin 150  $\mu\text{m}$  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 tanısı ve takibinde çok önemli olan bu parametreler böylece objektif bir şekilde elde edilebilmektedir. OCT 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.<sup>12,13</sup> Bu iki yöntem karşılaştırıldığında optik disk kenarının kullanıcıdan bağımsız belirlenebilmesi, referans düzlemine ihtiyaç duyulmaması OCT'nin avantajları olarak göze çarparken, tekrarlanabilirliğinin HRT'ye göre düşük olması, halen onaylanmış bir normatif veri tabanının olmaması da optik disk parametrelerinin değerlendirilmesi açısından OCT'nin dezavantajları olarak kabul edilebilir.

### c. Maküla analizi

Foveadan geçen 30 derece aralıklı 6 radyal OCT kesiti kullanılarak santral ve parasantral makülada; alt, üst, temporal ve nazalde olmak üzere 8 maküla kadranının retina kalınlıklarını gösteren topografik bir harita çıkarılabilmektedir (Resim 6). Glokomda santral foveal bölgede ve maküla kadranlarında retina kalınlığında azalma olduğunu gösteren yayınlar mevcuttur.<sup>14</sup> Görme alanı defektleri ve peripapiller RSLT incelemeleriyle uyumlu olarak maküla kadranlarında da retinal inceleme olduğu gösterilmiştir.

## SONUÇ

OCT'nin Heidelberg retinal tomography, scanning laser polarimetry, pulsatil oküler kan akımı ve görme alanı gibi glokom tanısında kullanılan çeşitli yöntemleriyle karşılaştırılarak glokoma yönelik sensitivite ve spesifitesinin araştırıldığı bazı çalışmalar vardır.<sup>13,15-18</sup> Bu çalışmaların hepsinde, OCT'nin glokomlu gözleri normal gözlerden ayırt etmede en az diğer yöntemler kadar veya daha fazla spesifik ve duyarlı olduğu gösterilmiştir. OCT 3'ün son versiyonlarına, değişim analizi yazılımı eklenmiştir. Ancak, bu programın glokom progresyonunu saptamada etkinliğini araştıran bir çalışma henüz yayınlanmamıştır. OCT'nin glokom hastalarında uzun vadede görme alanı ile karşılaştırılarak glokom progresyonunu saptama yeteneğini araştırmaya yönelik yapılan önemli bir çalışma Dr. Gadi Wollstein tarafından gerçekleştirilmiştir.<sup>19</sup> Bu çalışmada, ortalama 5 yıl boyunca görme alanı ve OCT 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 OCT ile azalma saptandığı bildirilmiştir. Bu sonuç glokom takibinde, henüz fonksiyonel kayıplar ortaya çıkmadan önce OCT ile anatomik değişikliklerin ortaya konabileceğini göstermektedir. Yakında ticari olarak kullanım alanına girmesi beklenen UHR-OCT ile birlikte, test-retest değişkenliğinde sağlanacak azalmanın da glokom progresyonunu erkenden saptama konusunda glokom uzmanlarına önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak OCT, sağladığı objektif ve güvenilir peripapiller RSLT-maküla kalınlık ölçümleri ve optik disk parametreleri 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.
- 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;112:1584-1589.
- 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.
- 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, P:3-20.
- 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.
- Quigley HA, Addicks EM.: Quantitative studies of retinal nerve fiber layer defects. *Arch Ophthalmol*. 1982;100:807-812.
- Schuman JS, Wollstein G, Farra T, Aydın A, 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 tomography. *Arch Ophthalmol*. 2001;119:985-993.
- Wollstein G, Schuman JS, Price LL, Aydın A, 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.
- 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.
- 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.