

Optical Cohorence Tomography (OCT)

Serra KARAÇORLU*

Optical cohorence tomograpy (OCT) retina ve optik sinir hastalıklarının erken tanısına yönelik retina anatomisinin yüksek rezolüsyonlu enine kesitlerini elde etmek için geliştirilmiş yeni bir görüntüleme tekniğidir. Retinanın iki boyutlu görüntülerini oluşturmakta ve yaklaşık 10 μ m'lik rezolüsyon ile retina kalınlığını ölçmektedir. Mevcut diğer teknikler arka segmentin görüntülenmesinde yeterli derinlik rezolüsyonuna sahip değildir. B-scan ultrasonda görüntü rezolüsyonu 150 μ m'e kadar gerçekleşirken bu değer scanning laser oftalmoskopta 300 μ m'dir. Ultrasonik bi-omikroskopide ise görüntü rezolüsyonu 20 μ m'dir, ancak penetrasyon derinliği 4mm'ye sınırlı olduğundan arka kutbun incelenmesi mümkün olmamaktadır^{1,2,3}.

TEKNOLOJİ

OCT'nin prensipleri B-scan ultrasona benzer, ancak burada akustik yansımaların ölçülmesi yerine gözdeki çeşitli yapılardan gelen ışık dalgaları kullanılmaktadır. Farklı derinlik ve optik özellikteki retina yapılarından yansıyan ışığın zaman içindeki geçikmeleri bir "Michelson İnterferometre" ile ölçülmektedir.

Işık kaynağı olarak bir diod laser kullanılmakta ve 200 μ W gücünde ve 830nm

dalga boyunda elde edilen ışınlar fundus için emniyet sınırları içerisinde kalmaktadır. İnterferometre bu kaynaktan gelen ışınları biri referans aynasına diğeri göze yönelen iki kısma ayırır. Gözden geri gelen ışınlar retina yapılarının kalınlık ve uzaklığı hakkında bilgiler içeren çok sayıda yansımadan oluşmuştur. Referans ışını ise bilinen bir pozisyondaki bir aynadan yansımaktadır. Bu iki ışın bir detektörde birleşir ve oluştukları mesafeler ışık kaynağının kohorens uzunluğu içerisinde birbirine uygunluk gösterdiğinde interferans sinyali ortaya çıkar. Işık kaynağının kısa kohorens uzunluğu OCT görüntüleme sisteminin ideal longitudinal rezolüsyonunu sağlamaktadır. Bu rezolüsyon deneysel olarak havada 14 μ m olarak tanımlanmıştır ve hava ile dokular arasındaki farklı refraktif indeks gözününe alındığında retina için 10 μ m'lik bir rezolüsyona işaret eder.

Sistem standart bir slitlamp biomikroskopa uyarlanmıştır. Cihaz içindeki +78 D'lik bir lens sayesinde gelen ışınlar retina üzerinde odaklanır. İncelenen göz ya cihaz içindeki bir ışığa baktırılarak sabitleştirilir veya bu gözde görme çok düşükse diğer göz dışarıdaki bir ışığa yönlendirilir. Taranan retina alanı aynı anda bir kızılötesi videokamera ile izlenebilir.

Retinadaki değişik yapıların özellikleri, farklı uzaklıktaki dokulardan yansıyan ışık za-

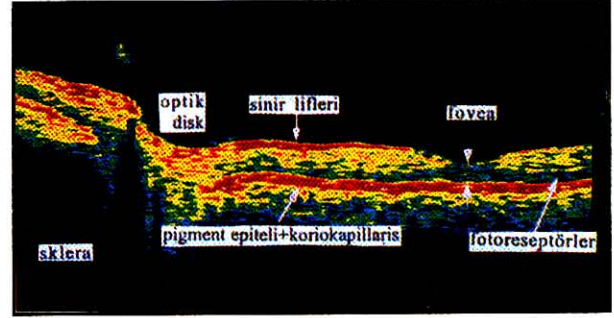
* Doç.Dr., İstanbul Retina-Maküla-Vitreus Konsültanları.

manının ölçülmesiyle tanımlanır. Böylece uzaklığa göre optik yansıtıcılığın tek boyutlu A-mod profili elde edilir. Retinanın iki boyutlu tomografik görüntüsü ise B-scan ultrasona benzer şekilde oluşturulur. Retinanın enine taranması sırasında elde edilen çok sayıda A-mod görüntü birleştirilir ve her bir OCT tomografi yaklaşık 25 sn elde edilen 100 kadar A-mod taramadan oluşur. Elde edilen OCT görüntülerinde maviden siyaha kadar olan koyu renkler düşük optik yansıtıcılığı temsil ederken kırmızı ve beyaz gibi parlak renkler yüksek optik yansıtıcılığa işaret etmektedir.

Bu teknik ile prob göze temas etmemekte ve hastaya çok az rahatsızlık verilmektedir. Genellikle pupillanın genişletilmesi daha başarılı sonuçlar vermektedir. Kısa kohorent ışık sayesinde diğer görüntüleme metodlarına göre çok daha yüksek bir rezolüsyon sağlanmaktadır. Ancak vitreus hemorajisi veya kornea ödemi gibi ortam opasiteleri göze gelen ve geri yansıyan ışığın azalmasına yol açmaktadır^{1,4,5,6}.

NORMAL FUNDUS GÖRÜNTÜSÜ

Sağlıklı bir maküla ve optik sinirden elde edilen görüntü Şekil-1'de izlenmektedir. Fovea karakteristik çukurluğu ile kolayca farkedilir. Normal bir gözde santral foveanın kalınlığı $147\pm 17\mu\text{m}$ 'dir. Fovea çukurluğunun önünde arka hyaloid mavi renkli düşük yansıtıcılıkta kısmen ayırt edilebilir. Retinanın iç yüzündeki yüksek yansıtıcılıkta kırmızı renkli tabaka sinir lifleri tabakasını temsil eder. Retinanın orta tabakaları orta derecede yansıtıcılığa sahiptir. Bunun arkasındaki koyu renkli tabaka ise fotoreseptör dış segmentlerine aittir. Hemen gerisindeki yüksek yansıtıcılıkta ve yaklaşık $70\mu\text{m}$ kalınlığındaki



Şekil 1

Normal fundusun OCT görüntüsü

kırmızı renkli tabaka retina pigment epiteli ve koriokapillaris işaret eder. Işığın retinadan geçerken uğradığı zayıflamalar nedeniyle derin koroid ve skleradan gelen yansımalar azdır ve burası koyu renkli görülür. Aynı resimde optik diske ait çukurluk da farkedilmektedir. Normal anatomiden bilindiği üzere sinir liflerinin kalınlığı optik diske yaklaştıkça artmaktadır. Disk bölgesindeki sinir lifleri tabakasının azalmış yansıtıcılığının nedeni bunların OCT ışığına göre eğimli bir yön almalarıdır. Retina kan damarları tomografide altındaki dış retina tabakalarında gölgelenmeye sebep olarak ayırt edilebilir.

SAYISAL GÖRÜNTÜ İŞLEM TEKNİKLERİ

Bu sistemde tomografların çok kısa sürede elde edilmesi sayesinde hastanın gözünü oynatmasının yol açabileceği etkiler ortadan kalkmıştır. Çeşitli tarama şekilleriyle fundus anatomisini elde etmek mümkündür. Sistem otomatik olarak retina ve sinir lifleri tabakasının kalınlığını ölçmektedir. Fovea ve optik diski içeren papillomaküler eksen boyunca yapılan taramalarla anatomik özellikleri içeren tomograflar elde edilebilir. Makülanın incelenmesinde farklı yerlerden geçen seri şekilde sagittal kesitler oldukça yararlıdır. Foveadan geçen radyal taramaların kul-

lanılmasıyla retina kalınlık haritası yapılabilir. Optik disk, peripapiler bölge ve retina sinir lifleri tabakasının görüntülenmesinde 2 tip tarama kullanılmaktadır. Optik disk merkezinden geçen radyal kesitler anatomik özellikleri gösterir. Optik sinir etrafında kon-sanktrik halka şeklindeki taramalar ise papilla çevresinde sinir lifleri kalınlık haritası oluşturur.

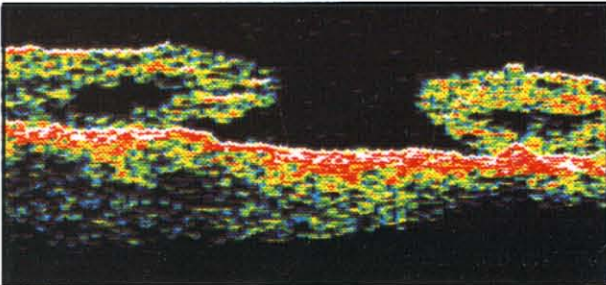
ÖN SEGMENTİN GÖRÜNTÜLENMESİ

OCT ile kornea kalınlığını ölçmek ve kornea epiteli de dahil olmak üzere yüzey profilini görüntülemek mümkündür. Ayrıca ön kamara derinliği, ön kamara açısı ve iris kalınlığı ölçülebilir. Bir çalışmada dana gözünde soğuk ile oluşturulan geri dönüşümlü kataraktöz değişiklikleri görüntülemek mümkün olmuştur. Bu teknoloji ile nonkontakt biometri ve intraoküler tümörlerin tanı ve takibi yapılabilir⁷.

MAKULA HASTALIKLARINDA OCT

Makula Delikleri

OCT ile elde edilen bilgiler makula deliği patogenezinin anlaşılmasını kolaylaştırır. Tam kalınlıkta makula deliklerinin kısmi kalınlıkta delik, yalancı delik ve makula kistlerinden ayırt edilmesinde OCT'nin enine kesitleri oldukça yararlıdır. Bu metodla makula delikleri



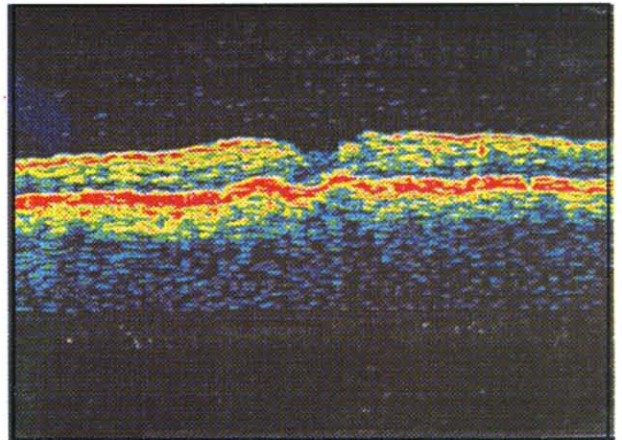
Şekil 2.

Evre 4 makula deliğinin OCT görüntüsü

sınıflandırabilir, delik çapı ölçülerek çevredeki makula ödemi değerlendirilebilir (Şekil-2) Evre 1 deliklerin veya foveaya tutunan kısmi arka vitreus dekolmanı olan gözlerin tanımlanması idyopatik unilateral makula deliği olan hastaların diğer gözünde delik olma riskinin belirlenmesinde yardımcıdır. Bir çalışmada diğer gözlerin %21'inde vitreofoveal patoloji tespit edilmiştir. Vitreofoveal anomalilerin mevcudiyeti klinik seyrin tanımlanmasında ve cerrahi adaylarının belirlenmesinde yardımcıdır. Ayrıca makula deliği cerrahisinden sonra anatomik sonuçların değerlendirilmesinde de yararlıdır⁸.

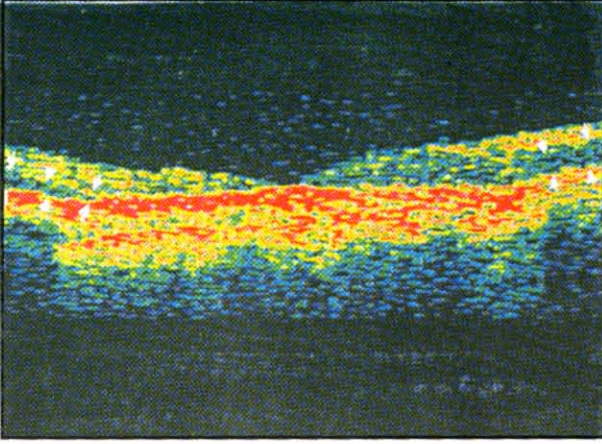
Yaşa-bağlı Makula Dejeneresansı

OCT noneksudatif ve eksudatif yaşa-bağlı makula dejeneresansının farklı lezyonlarının ayırt edilmesinde yardımcı olabilir. Drusen pigment epiteline işaret eden yüksek yansıtıcılıktaki kırmızı tabakada fokal elevasyonlara yol açmakta, geografik atrofide ise ışığın ince retina tabakalarından kolayca geçmesi nedeniyle koroidden geri yansıma artmaktadır (Şekil-3a,b). Hiperpigmentasyon bölgelerinde ise pigment epitelinden yansıma artarken gerideki koroidde hafifçe gölgelenme



Resim3a

Pigment epitelinde fokal elevasyonlar şeklinde beliren drusen

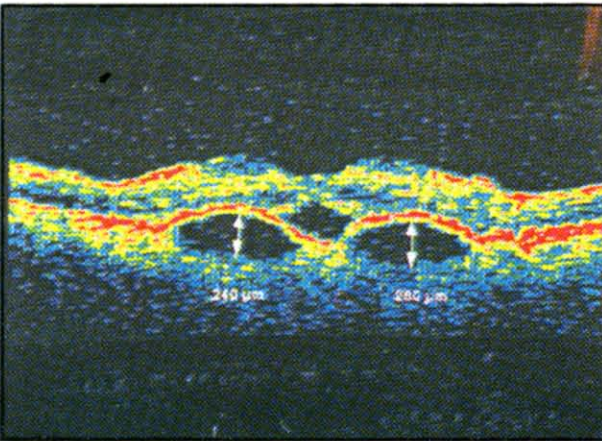
**Resim3b**

Sensoryel retina atrofisi nedeniyle ışık penetrasyonunun ve koroid yansıtıcılığının arttığı geografik atrofi

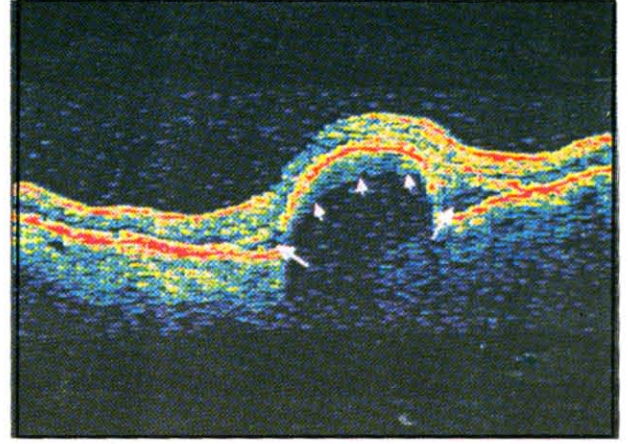
olmaktadır.

Retina pigment epitelinin seröz dekolmanları nörosensoryel retinanın seröz dekolmanlarından pigment epiteline ait yüksek yansıtıcılıktaki tabakanın elevasyonu ile kolayca ayırt edilebilir. Subretinal sıvı pigment epiteli ve sensoryel retina arasında yansıtıcılığı olmayan bir boşluk olarak farkedilebilir. Hemorajik pigment epiteli dekolmanında ise dekolle pigment epitelinin hemen altındaki orta derecedeki yansımalar hemoraji nedeniyle penetrasyonun tam olmamasına bağlıdır (Şekil-3c,d).

Koroid neovaskülarizasyonu pigment epi-

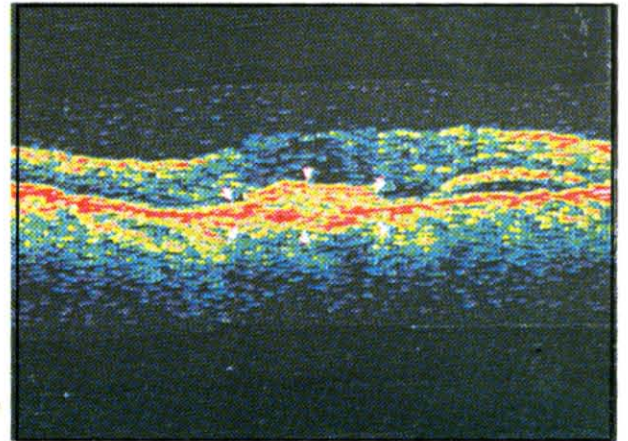
**Resim3c**

İki seröz pigment epiteli dekolmanı ve üzerinde sensoryel retinanın seröz dekolmanı

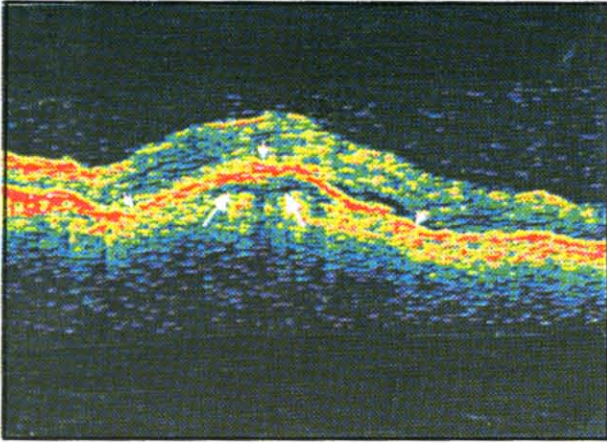
**Resim3d**

Hemorajik pigment epiteli dekolmanı (küçük oklar hemoraji nedeniyle ışık penetrasyonunun tam olmadığı bölgeye işaret etmekte)

teli ve koriokapillarisine işaret eden tabakanın kalınlaşması ve parçalanmasıyla ayırt edilir. Sınırları belirgin klasik koroid neovaskülarizasyonunda bu yansıma fusiform bir kalınlaşma şeklindedir. Fibrovasküler pigment epiteli dekolmanında dekolle pigment epiteli ve koroid arasında orta derecede bir geri yansıtıcılık, bunun üzerindeki pigment epitelinde elevasyon ve bunları ayıran belirgin bir bölge görülür. Sınırları belirgin olmayan gizli koroid neovaskülarizasyonunda artmış koroid yansıtıcılığının sınırları görülemez, üzerindeki sensoryel retinada ödem ve kistik değişiklikler izlenebilir. Bazı gizli koroid neovaskülarizasyon

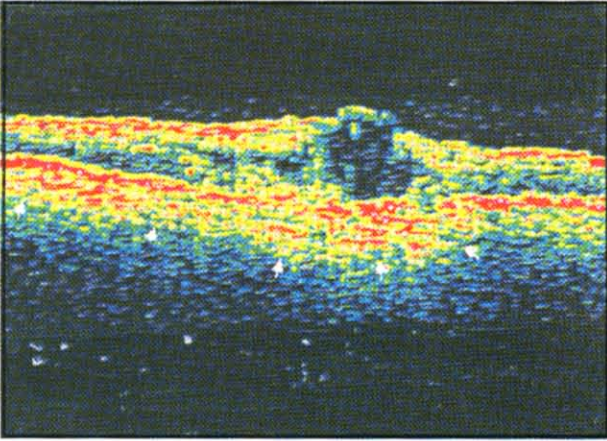
**Resim4a**

Sınırları belirgin klasik koroid neovaskülarizasyonu



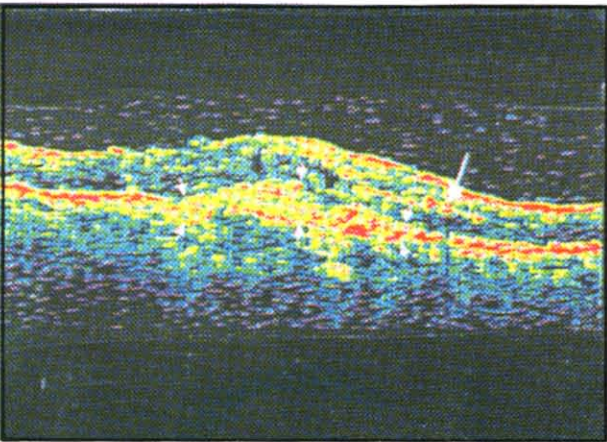
Resim4b

Fibrovasküler pigment epiteli dekolmanı (orta derece yansıtıcılıkta bir bölge üzerinde pigment epitelinin elevasyonu görülmekte)



Resim4c

Sınırları belirgin olmayan gizli koroid neovaskülarizasyonu (oklar artmış koroid yansıtıcılığına işaret etmekte)



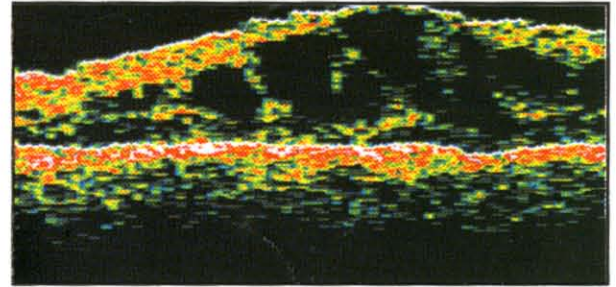
Resim4d

Pigment epiteli ve koriokapillaris sınırları belirgin kalınlaşma şeklinde sınırları belirgin gizli koroid neovaskülarizasyonu

yonunda ise bu kalınlaşma daha belirgindir (Şekil-4a,b,c,d)⁹.

Makula Ödemi

Diabet, ven tıkanıkları, üveit, epiretinal membran ve katarakt ekstraksiyonundan sonra görülen makula ödemindeki OCT görünümü etyolojiye ait histopatolojik karakteristiklere uymaktadır. Yansıtıcılığın azaldığı ve retinanın kalınlaştığı intraretinal alanlar olarak izlenir. Nörosensoryel retinadaki yuvarlak, optik olarak boş bölgeler kistik makula ödeminde görülür (Şekil-5). Retina distorsiyonu ise retina



Resim5

Kistoid makula ödemi

konturunun enine kesitlerinin düzensizleşmesi ile tanımlanabilir.

Sinir lifleri ile pigment epiteli+koriokapillaris tabakalarına ait iki yüksek yansıtıcılıkta sınırları belirgin kırmızı tabaka arasından retina kalınlığının ölçülmesi oldukça kolaydır. OCT retina kalınlaşmasındaki küçük değişikliklere slitlamp biomikroskopiden daha hassastır. Ayrıca diabetik retinopatide laser tedavisinden sonra makula ödeminin gerilediği ve kalınlaşmanın azaldığı OCT'de kolayca gösterilebilir¹⁰.

Santral Seröz Korioretinopati

OCT santral seröz korioretinopatideki seröz retina dekolmanının miktarını objektif olarak belirleyebilir ve slitlamp biomikroskopide göz-

den kaçan dekolmanları tespit edebilir. Sensoryel retina ve pigment epiteli arasında yansıtıcılığı azalmış bölge nörosensoryel retina dekolmanına işaret eder. Subretinal sıvının gerilediği belirli aralıklarla yapılan tetkiklerle gösterilebilir¹¹.

Epiretinal Membranlar

Epiretinal membranlar OCT'de retina yüzeyinde yüksek yansıtıcılıkta bir doku olarak görülür. Buradaki görüntülerine göre epi-retinal membranlar, fokal yapışma noktalarıyla retinadan kısmen ayrılan membranlar veya hiçbir ayrılma olmadan retinaya tümüyle yapışık membranlar olarak ikiye ayrılabilir. Tümüyle yapışık membranlar yalancı makula deliği ile birliktedir. Bazı tümüyle yapışık membranlar farkedilmeyebilir. OCT epi-retinal membran cerrahisinin preoperatif ve post-operatif değerlendirilmesinde yararlı olacak önemli anatomik bilgiler verir¹².

GLOKOMDA OCT

OCT ile optik sinir etrafında halka tarzında tarama yaparak retina sinir lifleri tabakasının kalınlığını objektif olarak ölçmek mümkündür. Bu ölçülen sinir lifleri tabakası kalınlığının optik sinirin fonksiyonel durum ile yüksek oranda ilişkili olduğu görme alanı ölçümleriyle tespit edilmiştir.

Bir çalışmada OCT'deki sinir lifleri kalınlığı ile görme alanı kayıpları arasındaki ilişkinin optik disk çukurluğu ve nöroretinal rim alanı ile görme alanı kayıpları arasındaki ilişkiden daha kuvvetli olduğu gösterilmiştir. Sinir lifleri tabakasının kalınlığı glokomatöz gözlerde özellikle alt kadranda normal gözlere nazaran daha incedir. Optik sinir çevresinde

konsantrik halka şeklindeki taramalarla sinir lifleri tabakasının kalınlığını topografik olarak görüntülemek mümkündür¹³.

DİĞER OPTİK SİNİR HASTALIKLARINDA OCT

OCT ile akut veya kronik papilödem ile optik atrofide sinir lifleri kalınlığı ölçülebilir. Akut papilödemde disk öne doğru kabarmıştır. ve sinir liflerinin kalınlığı artmıştır. Kronik papilödem ve optik atrofide ise sinir lifleri incelmıştır.

Kongenital optik pit seröz makula dekolmanı veya skizis şeklinde makula ayrışmasına neden olabilir. Makula dekolmanında OCT görünümü optik olarak boş seröz sıvının üzerindeki sensoryel retinada elevasyon şeklindedir. Skiziste ise retinada ayrılma ve dış ve iç retinayı birleştiren dikey köprüler görülür¹⁴.

OCT günümüzde retina anatomisini in vivo olarak değerlendirmede en hassas araçtır. OCT'nin enine kesitleri çeşitli retina hastalıkları, glokom ve diğer optik sinir hastalıklarının tanı ve izlenmesinde oldukça yararlıdır. Ayrıca 10µm'lik görüntü rezolüsyonu ile objektif kalınlık ölçümleri sağlar. Bugün için OCT fundus fotografisi ve anjiografisinin tamamlayıcı bir rol oynamaktadır. ancak bazı hastalıklarda potansiyel olarak bu testlerin yerini alabilir.

KAYNAKLAR

1. Huang d, Swanson EA, Lin CP, Schuman JS, Stinson WG, Chang W, Hee MR, Flotte T, Gregory K, Puliafito CA, Fujimoto JG. Optical coherence tomography. Science 1991;254:1178-81.
2. Pavlin CJ, Harasewicz K, Sherar MD, Foster FS. Clinical use of ultrasound biomicroscopy. Ophthalmology 1991;98:287-95.
3. Bille JF, dreher AW, Zinser G. Scanning laser to-

mography of living human eye. In Masters BR, ed. *Noninvasive Diagnostic Techniques in Ophthalmology*. New York: Springer-Verlag, 1990;chap.28.

4. Swanson EA, Izatt FA, Hee MR, Huang D, Lin CP, Schuman JS, Puliavito CA, Fujimoto JG. In vivo retinal imaging by optical coherence tomography. *Opt Lett* 1993; 18:1864-66.

5. Swanson EA, Huang D, Hee MR, Fujimoto JG, Lin CP, Puliavito CA. High-speed optical coherence domain reflectometry. *Opt Lett* 1992;17:151-53.

6. Hee MR, Huang D, Swanson EA, Fujimoto JG. Polarization sensitive low-coherence reflectometer for birefringence characterization and ranging. *J Opt Soc Am B* 1992;9:903-8.

7. Izatt JA, Hee MR, Swanson EA, Huang D, Lin CP, Schuman JS, Puliavito CA, Fujimoto JG. Micronscale resolution imaging of the anterior eye in vivo with optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol* 1994;112:1584-89.

8. Hee MR, Puliavito CA, Wong C, Duker JS, Reichel E, Schuman JS, Swanson EA, Fujimoto JG. Optical coherence tomography of macular holes. *Ophthalmology* 1995; 102:748-56.

9. Hee MR, Baumal CR, Puliavito CA, Duker JS, Reichel E, Wikins JR, Coker JG, Schuman JS, Swanson

EA, Fujimoto JG. Optical coherence tomography of age-related macular degeneration and choroidal neovascularization. *Ophthalmology* 1996;103:1260-70.

10. Hee MR, Puliavito CA, Wong C, Duker JS, Reichel E, Rutledge BK, Schuman JS, Swanson EA, Fujimoto JG. Quantitative assessment of macular edema with optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol* 1995;113:1019-29.

11. Hee MR, Puliavito CA, Wong C, Duker JS, Reichel E, Rutledge BK, Schuman JS, Swanson EA, Fujimoto JG. Optical coherence tomography of central serous chorioretinopathy. *Am J Ophthalmol* 1995;120: 65-74.

12. Wikins JR, Puliavito CA, Hee MR, Duker JS, Reichel E, Coker JG, Swanson EA, Schuman JS, Fujimoto JG. Characterization of epiretinal membranes using optical coherence tomography. *Ophthalmology* 1996; 103:2142-51.

13. Schuman JS, Hee MR, Puliavito CA, Wong C, Pedut-Kloizman S, Lin CP, Hertzmark E, Izatt JA, Swanson EA, Fujimoto JG. Quantification of nerve fiber layer thickness in normal and glaucomatous eyes using optical coherence tomography: a pilot study. *Arch Ophthalmol* 1995;113:586-96.

14-Rutledge BK, Puliavito CA, Duker JS, Hee MR. Optical coherence tomography of macular lesions associated with optic nerve head pits. *Ophthalmology* 1996;104:7-53.