



Koroid ve Optik Koherens Tomografi

The Choroid and Optical Coherence Tomography

Taha Sezer, Muhammet Altınışık, İbrahim Arif Koytak, Mehmet Hakan Özdemir
Bezmialem Vakıf Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göz Hastalıkları Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Öz

Koroid gözdeki en vaskülarize dokudur ve santral seröz retinopati, yaşa bağlı maküla dejenerasyonu ve dejeneratif miyopi gibi sık görülen koryoretinal hastalıkların patofizyolojisinde önemli rol oynar. Sınırlı çözünürlük ve tekrarlanabilirlik nedeniyle indosiyanin yeşili anjiyografi ve ultrasonografi gibi geleneksel yöntemlerle koroidin niceliksel olarak değerlendirilmesi güçtür. Optik koherens tomografi (OKT) teknolojisindeki gelişmeyle birlikte günümüzde koroidin detaylı bir şekilde görüntülenmesi mümkündür. Koroid kalınlığının ölçülebilmesi koroidteki normal ve patolojik süreçlere yönelik araştırmalara yön vermiştir. Bu çalışmanın amacı OKT kullanılarak yapılan koroid incelemesi üzerine güncel literatürü derlemektir.

Anahtar Kelimeler: Koroid, optik koherens tomografi, yaşa bağlı maküla dejenerasyonu, santral seröz retinopati, dejeneratif miyopi

Summary

The choroid is the most vascular tissue in the eye and it plays an important role in the pathophysiology of various common chorioretinal diseases such as central serous retinopathy, age-related macular degeneration and degenerative myopia. Quantitative assessment of the choroid has been quite challenging with traditional imaging modalities such as indocyanine green angiography and ultrasonography due to limited resolution and repeatability. With the advent of optical coherence tomography (OCT) technology, detailed visualization of the choroid in vivo is now possible. Measurements of choroidal thickness have also enabled new directions in research to study normal and pathological processes within the choroid. The aim of the present study is to review the current literature on choroidal imaging using OCT.

Keywords: Choroid, optical coherence tomography, age-related macular degeneration, central serous retinopathy, degenerative myopia

Giriş

Koroid ilk olarak 17. yüzyılda histolojik olarak incelenen, daha sonra günümüze kadar çeşitli yöntemlerle görüntülenmeye çalışılan, vaskülarize ve pigmente bir dokudur. Ön tarafta ora serratadan, arka tarafta optik sinir başına kadar uzanır. Histopatolojik incelemelere göre ön tarafta ortalama 0,15 mm, arka tarafta ise ortalama 0,22 mm kalınlığa sahip olan koroid dokusu, anatomik olarak önde iris ve ortada siliyer cisim ile devamlılık gösteren uveal traktusun arka kısmını oluşturur. Koroid retinadan skleraya doğru sırası ile Bruch membranı, koryokapillaris, orta büyüklükte koroid damarları ve büyük koroid damarlarından oluşmaktadır.¹

Yapısal ve fonksiyonel olarak sağlam bir koroid dokusunun retina fonksiyonları için hayati bir önemi vardır. Retinanın 2/3 iç

kısımının beslenmesinden santral retinal arter sorumlu iken, dış 1/3 kısmının beslenmesinden koroid damar yapısı sorumludur. Anormal koroid kan akımı, retinada fotoreseptör fonksiyon bozukluğuna ve ölümüne neden olmaktadır.² Nitekim bu öneminden dolayı santral seröz retinopati (SSR), yaşa bağlı maküla dejenerasyonu (YBMD), patolojik miyopi, Vogt-Koyanagi-Harada (VKH) gibi birçok hastalığın patofizyolojisinde hayati roller üstlendiği gösterilmiştir.^{3,4,5,6} Dolayısı ile koroidteki değişikliklerin net ve doğru bir şekilde tanımlanması birçok arka segment hastalığının doğru değerlendirilmesini sağlayacaktır. Fakat koroid dokusundaki yapılar retinada olduğu gibi belirli bir düzende katmanlar halinde dizilmediği ve retinadaki gibi farklı yansıma özelliklerine sahip olmadığı için uzun bir süre retina gibi detaylı değerlendirilmesi mümkün olamamıştır.

Koroid Görüntüleme Yöntemleri

Son zamanlara kadar koroidin değerlendirilmesinde in-vitro şartlarda histolojik çalışmalar; in-vivo şartlarda ise indosiyanın yeşili anjiyografisi (İSYA), lazer Doppler flowmetre ve ultrasonografi kullanılmıştır.^{7,8} Histolojik çalışmalar damarsal yapıların tonusunun korunmadığı şartlarda yapıldığı için, yapılan incelemeler hastalıkların patofizyolojisini anlamada çok sınırlı kalmıştır. Cansız bir gözde koroid sönmekte ve gerçek kalınlığının çok daha altında ölçülmektedir. Yine damar tonusuna etki edecek bir çok faktörün histolojik kesitlerde etkisinin olmayacağı düşünüldüğünde in-vitro şartlardaki değerlendirmenin yetersiz kalacağı anlaşılmaktadır.

İSYA, retina pigment epitelinin (RPE) altındaki koroid damarlarını ve koroid kan akımının görüntülenmesini sağlamaktadır. İSYA'nın, koroid neovaskülarizasyonlarının (KNV) detaylarını göstermede ve koroidal poliplerinin teşhisinde fundus floresein anjiyografiye (FFA) göre daha üstün olduğu gösterilmiştir. Ayrıca İSYA'da daha uzun dalga boyu ile çalışıldığı için kan, eküda ve pigment epitel dekolmanı (PED) gibi durumlarda, bu yöntem alttaki lezyonların daha iyi görüntülenmesine de imkan vermektedir.^{9,10}

Lazer Doppler flowmetre ise; optik sinir başındaki, iristeki ve subfoveal koroid dokusundaki kan akımına ait hemodinamik parametreleri değerlendirmemizi sağlayan invaziv olmayan bir tanı yöntemidir. Bunu; belirli bir volümde hareket eden eritrositlerin ortalama hızını ve sayısını tespit ederek yapmaktadır. Nitekim bu teknik sayesinde diyabetik retinopati, YBMD ve retinitis pigmentosa gibi hastalıklarda koroid sirkülasyonunun azaldığı gösterilmiştir.^{11,12}

Ultrasonografi gözün ön tarafındaki opasiteler nedeniyle arka kutbun değerlendirilemediği durumlarda önemli bir tanı aracı olarak kullanılmıştır. Özellikle koroid ve retinadaki kalınlaşmaları ve tümörleri tespit etmeye olanak sağlamıştır. Fakat görüntü çözünürlüğünün düşük olması, koroidteki küçük değişiklikleri tespit etmeyi oldukça zorlaştırmıştır. Yine çözünürlüğünün düşük olması nedeniyle koroid gibi nispeten ince bir dokunun da ölçümlerinde ideal bir yöntem değildir.¹³

Uzun yıllardır kullanılan bu üç teknik de koroidal damar anormalliklerini ve kan akımındaki değişiklikleri tespit etmemizi sağlamasına rağmen, hiçbirisi retina pigment epitelinin ve koroid tabakalarının anatomisi hakkında in-vivo kesitsel görüntüler elde etmemizi sağlayamamış, gerçek koroid kalınlığı ve morfolojisi hakkında yeterli bilgiler verememiştir.

Nispeten yeni bir yöntem olan optik koherens tomografi (OKT) ise ultrasona benzer şekilde ancak ondan çok daha yüksek çözünürlüklü olarak, retinada enine kesitsel görüntüler elde etmemize olanak sağlamıştır. OKT teknolojik olarak bir parsiyel koherens interferometredir. 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, lazer kaynağından sağlanan belli bir dalga boyundaki ışıktır. OKT'nin temel prensibi B-tarayıcı ultrasona benzer, ancak burada kullanılan aracı ses değil ışıktır.¹⁴

İlk OKT teknolojisi olan time domain (TD) OKT'de ışık kaynağından gönderilen ışık, ışın ayırıcı (beamsplitter) olarak adlandırılan yarısaydam bir aynadan geçmektedir. Bu aynada ışın demeti ikiye ayrılarak yarısı dedektöre olan mesafesi bilinen ve bu mesafe değiştirilebilen bir referans aynasına, diğer yarısı ise göze gönderilmektedir. Referans aynasından ve farklı yansıma özelliğine sahip oküler yapılardan yansıyan ışınlar arasındaki zamansal farka göre dokunun tomografik kesiti oluşur. Referans aynanın uzaklığı değiştirilerek dokudan yansıyan ışığın yapısı değerlendirilir. En gelişmiş ve son üretilen TD-OKT cihazı olan Stratus OKT ile saniyede ortalama 400 A-tarama yapılarak, 10 µm çözünürlükte görüntülerin elde edilmesi başarılmıştır.¹⁵

Günümüzde rutin pratikte kullanılan OKT teknolojisi olan spektral domain (SD) OKT'de ise TD'den farklı olarak referans aynası kullanılmamakta, dokunun farklı katmanlarından yansıyan ışın demeti yüksek hızlı bir spektrometre tarafından tek seferde algılanmakta ve bir Fourier dönüştürücüsüne aktarılmaktadır. Bu yüzden SD-OKT'lere Fourier-domain OKT de denilmektedir. SD-OKT'lerde dokudan yansıyan ışını algılamada spektrometre kullanıldığı için saniyede 20.000-52.000 A-tarama yapılabilmiş ve 5 µm çözünürlükte görüntülerin elde edilmesi başarılmıştır.¹⁶

OKT'de görüntü kalitesini ifade etmede sinyal/gürültü (signal to noise) oranı kullanılmaktadır. Koroid, düşük sinyal/gürültü oranı olan TD-OKT ile görüntülenememektedir. RPE tabakası ışığa karşı hiper-reflektiftir ve ışığın koroide ulaşmasını engellemektedir. Buna bağlı olarak koroidin derin tabakalarından geri sinyal alınamamaktadır. TD-OKT'lerin görüntü çözünürlüğünün azlığı da koroidin detaylı görüntülenmesine imkan vermemektedir. SD-OKT ise koroid görüntülenmesinde TD-OKT'ye göre daha avantajlı olmasına rağmen koroidosktral bileşkeye kadar görüntü alınamamaktadır. Çünkü koroidin posterior yerleşimi ve OKT'de kullanılan ışığın dalga boyunun koroidi penetre edecek düzeyde uzun olmaması ve yine aynı şekilde RPE'nin yüksek yansıtıcılık özelliği bu teknikte de koroidin tamamının görüntülenmesine engel olmuştur. Koroidi görüntülemek için gereken ışığın dalga boyu 1060 nm olması gerekirken, OKT cihazlarında kullanılan ışığın dalga boyu 800 nm'dir. Işığın dalga boyu arttırıldığında ise görüntünün çözünürlüğü düşmekte ve kalite azalmaktadır. Bu gibi kısıtlamalardan dolayı gelişmiş SD-OKT cihazları ile dahi koroidin tamamını yüksek çözünürlüklü bir şekilde görüntülemek arttırılmış derinlik görüntüleme (ADG) özelliğine sahip OKT teknolojisi geliştirilene kadar mümkün olmamıştır.¹⁷

Arttırılmış Derinlik Görüntüleme-Optik Koherens Tomografi

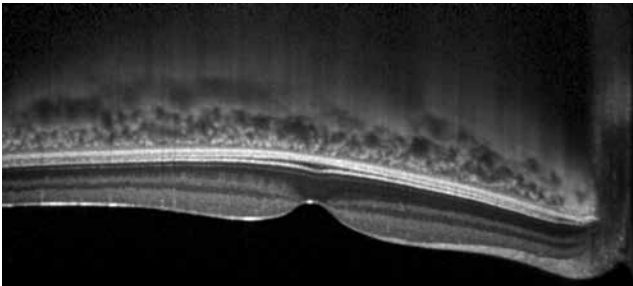
Standart SD-OKT cihazlarında doku derinlikleri interferans spektrumunda değişik frekanslar şeklinde kodlanır. Doku derinliği arttıkça derin doku katmanlarından yansıyan ışık ekoları, "zero delay" (sıfır gecikme) hattı denilen ekoların analiz edildiği dedektöre daha uzak mesafeden gelir. Daha uzak mesafeden gelen bu ışık yansımalarını, düşük sinyal gücüne ve yüksek frekansa sahip oldukları için, spektrometre ayırt edemez. Sonuçta standart

OKT tekniğinde “zero delay” hattına yakın olan retina yapıları, uzak olanlara göre daha yüksek sinyallere sahip olduğu için retina ve vitreoretinal bileşkenin görüntüleri yüksek sensitivitede gösterilirken, koroide doğru bu sensitivitede azalır. Bunu aşmanın iki yöntemi vardır; birincisi, spektrometrenin yüksek frekansları algılayabilecek şekilde sensitivitesini arttırmak, ikincisi “zero delay” hattındaki kameranın piksel sayısını arttırmak. Fakat bu yöntemler standart OKT görüntülerinde rezolüsyonu arttıramaz ve istenilen görüntü kalitesi elde edilemez. Dolayısı ile koroidi görüntülemek için daha spesifik protokoller uygulanmalıdır. Bu protokollerden biri aynı retina bölgesinden birden fazla görüntü alıp, sinyal/gürültü oranını arttırıp, alınan görüntüleri birleştirip ortalama bir görüntü elde etmektir. Birçok SD-OKT cihazına bu yöntem yazılım olarak eklenmiştir. Cihazın çeşidine göre 8-100 arası görüntü alınarak birleştirme işlemi yapılmaktadır. Aynı zamanda ve aynı yerden görüntü alarak, görüntü kalitesini ve sinyal gücünü arttırmak için göz hareket takip sistemleri geliştirilmiştir. Fakat bu protokolle de koroid için istenilen kalitede görüntü elde etmek mümkün olmamıştır.¹⁴

Diğer bir protokol, SD-OKT cihazlarının teknik bir özelliğinin fark edilmesi ile ortaya çıkmıştır. SD-OKT, “zero delay” hattındaki ışık ekolarının pozitif veya negatif olduğunu ayırt edemez. Bu yüzden eğer bir retinal yapı “zero delay” hattına yaklaşırsa belli bir noktadan sonra, pozitif ekolar negatif ekolara dönüşür. Bu durumda dedektör ekoları algılayarak görüntüyü oluşturur fakat “zero delay” hattında bir ayna varmış gibi ters bir görüntü elde edilir. Eğer cihazı göze biraz daha yaklaştırsak, SD-OKT koroidin görüntüsünü ters bir görüntü olarak ekranda yakalayacaktır (Resim 1). Koroid “zero delay” hattına yaklaştığı için de sinyal gücü yüksek, frekansı düşük ekolar elde edilecek ve koroid görüntüsünün çözünürlüğü artacaktır. Bu teknik ilk defa Spaide ve ark.¹⁸ tarafından ADG şeklinde tanımlanmıştır ve bu yöntem yazılım olarak SD-OKT cihazlarına eklenmiştir.

Arttırılmış Derinlik Görüntüleme-Optik Koherens Tomografide Çekim Tekniği

ADG-OKT görüntüleme tekniği SD-OKT cihazlarında donanımsal bir değişiklik gerektirmemektedir. Yöntem daha



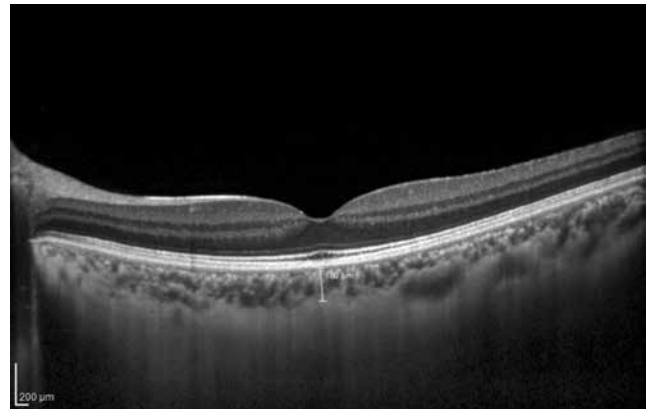
Resim 1. Arttırılmış derinlik görüntüleme-optik koherens tomografi modu kullanılmadan yapılan optik koherens tomografi çekiminde koroidin görüntüsünün ters bir görüntü olarak ekranda oluştuğu görülmektedir. Çekim bir spektral domain-optik koherens tomografi olan Spectralis (Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany) ile yapılmıştır

önce de tarif edildiği üzere koroid tabakasının “zero delay” hattına yaklaşmasını sağlayacak şekilde cihazın optik sisteminin daha arkada odaklanması ve elde edilen görüntülerin yazılımsal olarak işlenmesinden ibarettir. Dolayısıyla yazılımında ADG-OKT modu olan veya bunun için yazılımı güncellenmiş bir cihazda koroid görüntülemesi yapmak için cihazın kullanıcı arayüzünde ADG-OKT modunun seçilmesi yeterlidir. Sonrasında standart makül çekimlerinde olduğu gibi hastadan hedef ışığına bakması istenir ve çekim gerçekleştirilir. Çekim öncesinde pupilin genişletilmesine gerek yoktur.

ADG-OKT ile koroid görüntülemesi tekniğinin klinik pratiğe yansıyan en faydalı uygulaması koroid kalınlığının tespiti. Bu ölçüm şu an için tüm cihazlarda manuel olarak gerçekleştirilmekte, buna rağmen ölçümler arası (intervisit), ölçücüler arası (interobserver) ve cihazlar arası (intersystem) uyumluluğu çok iyi, yüksek güvenilirlikte ölçümler elde edilebilmektedir. Güncel uygulamada en sık kullanılan ölçüm subfoveal koroid kalınlığıdır. Bunun tespiti için uygulama arayüzündeki kaliper (pergel) aracı kullanılarak retina pigment epitelinin dış sınırı ile skleranın iç sınırını birleştiren bir çizgi çizilir. Bu çizginin fovea konturuna teğet geçen hayali doğruya tam dik olmasına dikkat edilmelidir. Aynı araç yardımıyla koroid tabakasının farklı noktalardaki kalınlığının ölçümü de mümkündür.

Arttırılmış Derinlik Görüntüleme-Optik Koherens Tomografi ve Normal Koroid Dokusu

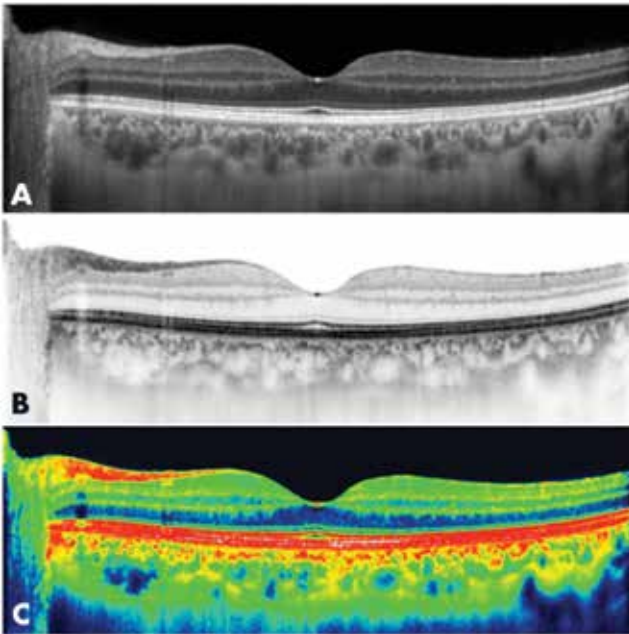
Normal koroid kalınlığı ilk olarak Spectralis (Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany) cihazı ile Margolis ve Spaide¹⁹ tarafından ve Cirrus HD-OKT (Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA, USA) cihazı ile Manjunath ve ark.²⁰ tarafından tanımlanmıştır. Koroid kalınlığı dik olarak RPE'nin hiper-reflektivitesinin dış kenarı ile koroid-sklera bileşkesinin iç kenarı arasında kalan mesafenin manuel olarak ölçülmesi ile bulunmaktadır (Resim 2). Bazı gözlerde koroid sklera bileşkesini tespit etmek mümkün olmayabilir. Bu nedenle mümkün olduğu kadar net görüntülerin alınması önerilir. Ayrıca beyaz üzerine siyah OKT görüntülerinin siyah üzerine beyaz ya da renkli



Resim 2. Normal bir gözde foveadan yapılan koroid kalınlığı ölçümü görülmektedir. Koroid kalınlığı dik olarak retina pigment epitelinin hiper-reflektivitesinin dış kenarı ile koroid-sklera bileşkesinin iç kenarı arasında kalan mesafenin manuel olarak ölçülmesi ile bulunmaktadır

OKT görüntülere tercih edilmesi önerilir (Resim 3). Yapılan incelemeler sonucunda koroid, fovea altında en kalın ve temporale göre nazal retinada daha ince olarak bulunmuştur. Foveadan uzaklaştıkça koroid kalınlığı incelmektedir. Foveanın altında koroidin en kalın olmasının sebebi foveadaki retina hücrelerinin yüksek oksijen gereksiniminin karşılanabilmesidir. Fovea altı koroid kalınlığı Spectralis ile yapılan çalışmada $287 \pm 76 \mu\text{m}$ (30 hasta, 54 göz); Cirrus ile yapılan çalışmada $272 \pm 81 \mu\text{m}$ (34 hasta, 34 göz) olarak bulunmuştur. Her iki grupta da koroid kalınlığı yaşla negatif korelasyon göstermiştir.²⁰ Yani yaşlanmayla birlikte koroid kalınlığı incelmektedir. Ancak normal gözdeki koroid kalınlığı ve yaşlanmanın koroid kalınlığına etkisi üzerine daha geniş seriler içeren çalışmalar yapıldıkça incelenmenin niteliksel değeri konusunda daha net bilgiler elde edileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca aynı kişide dahi anlık ölçümlerde koroid kalınlığının değişebileceği bilinmektedir.²¹

Bir tekniğin kullanımında olması gereken temel faktörler tekniğin tekrarlanabilir olması ve güvenilir olmasıdır. ADG-OKT tekniğinde koroid kalınlığı ölçümleri otomatize değil manuel olarak yapılmaktadır. Ikuno ve ark.²² ADG-OKT ile normal koroid kalınlığının manuel ölçümünün güvenilirliği ve tekrarlanabilirliği konusunda çalışmışlardır. Bu çalışmada 10 gönüllünün koroid kalınlığı 6 kişi tarafından 4 ay ara ile iki defa ölçülmüştür. Ölçen kişiler arasında korelasyon $0,970$ (%95 CI, $0,948-0,985$) olarak bulunmuştur. Tek olgudaki ölçümler arası korelasyon ise $0,893$ (%95 CI, $0,864-0,916$) çıkmıştır. Cirrus, Spectralis ve Optovue RTVue (Optovue, Inc, Fremont, CA, USA) ile yapılan karşılaştırmalı bir çalışmada da koroid dokusunun 5 farklı bölgesindeki kalınlık, üç farklı cihaz ile ölçülmüştür. Sonuçta ölçümler arasında çok güçlü bir korelasyon olduğu gösterilmiştir ($p < 0,0001$).²³

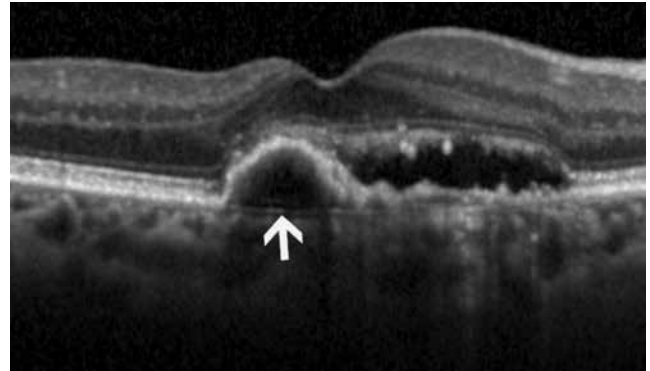


Resim 3. Koroid görüntülemeye beyaz üzerine siyah optik koherens tomografi görüntülerinin (A) siyah üzerine beyaz (B) ya da renkli (C) optik koherens tomografi görüntülere tercih edilmesi önerilir

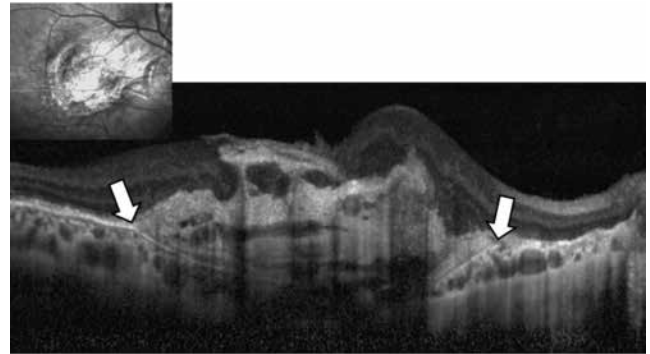
Koroid patolojilerini doğru analiz edebilmek için normal koroid kalınlığı yanında, ADG-OKT'deki normal koroid morfolojisi de bilinmelidir. Kırk iki olguyu içeren bir çalışmada bütün olgularda kase şeklinde koroid-sklera bileşkesinin olduğu, %98,8 olguda koroid damarlarının nazal-temporal aksta dağıldığı ve büyük koroid damarlarının subfoveal koroid kalınlığının %80'ini oluşturduğu gösterilmiştir.²⁴

Normal bir gözde RPE'nin hemen altındaki koroidin yüzeysel ilk tabakası olarak kabul edilen Bruch membranını görmek en azından günümüzün OKT teknolojisinde mümkün değildir. Bu dokuya ait yansıma, RPE'ye ait kuvvetli yansımadan ayırt edilemez. Ancak RPE'nin Bruch membranından ayrıldığı gözlerde (örneğin YBMD ya da SSR nedeniyle PED geliştiğinde) Bruch membranı hafif hiper-reflektif özellikte ince bir çizgi olarak görülür (Resim 4). Temelinde kollojen doku hastalığı olduğu bilinen ve Bruch membranına ait histolojik değişikliklerin uzun yıllardır bilindiği anjioid streak olgularında da ADG-OKT ile Bruch membranında kalınlaşma ve Bruch'a ait hiper-reflektif çizgilerde kırılma gösterilmiştir (Resim 5). Hipotoni makülopatisinde de ADG-OKT ile Bruch membranındaki katlanma net bir şekilde gösterilmiştir (Resim 6).²⁵

Bruch membranının altında seyreden koroidin kapiller damar ağı (koryokapillaris) günümüz OKT teknolojisinde görülememektedir. Ancak onun hemen altında seyreden orta büyüklükte damar yapıları (koroidin arteriol ve venülleri) RPE



Resim 4. Pigment epitel dekolmanı izlenen bir yaşa bağlı maküla dejenerasyonu hastasındaki Bruch membranı ok ile gösterilmiştir



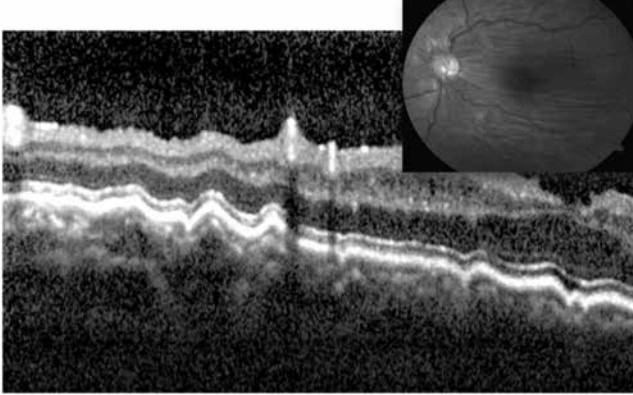
Resim 5. Anjioid streak olgusunda Bruch membranında kalınlaşma ve Bruch'a ait hiper-reflektif çizgilerde kırılma görülmektedir

tabakasına ait hiper-reflektif çizginin hemen altında seyreden 2-4 sıralı küçük hiper-reflektif noktalar olarak görülür (Resim 7). Bu tabakaya bazı kaynaklarda Sattler tabakası da denilmektedir. Bunlar genellikle RPE altındaki ilk 20-30 mikronluk koroid alanında dizilim göstermektedirler.²⁵ Daha derinde ise koroidin en büyük damarları olan arter ve venlere ait yansımalar yuvarlak ya da oval şekilde seçilebilir (Resim 8). Bu tabaka Haller tabakası olarak da isimlendirilir.

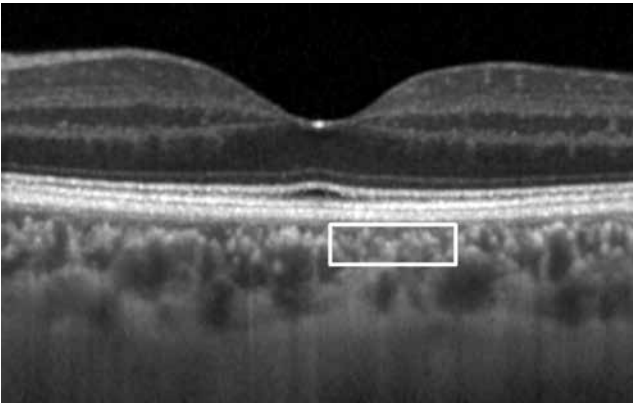
Arttırılmış Derinlik Görüntüleme-Optik Koherens Tomografi ve Koryoretinal Hastalıklar

Santral Seröz Koryoretinopati

SSR, nörosensöriyel retinanın eksüdatif dekolmanı ile karakterize genellikle genç erkeklerde görülen bir hastalıktır. Hastalığın akut döneminde OKT'de retina altı sıvı birikimi ve PED görülmektedir. İSYA çalışmaları SSR'de koroid damarlarındaki hiperpermeabilitenin, FFA'da görünen RPE sızıntılarına göre, beklenenden çok daha fazla arttığını göstermiştir. Koroid damarlarındaki bu geçirgenlik artışının ve RPE bariyerindeki bozulmanın hastalık patofizyolojisinde önemli rol oynadığı düşünülmektedir.²⁶



Resim 6. Hipotoni makülopatisinde arttırılmış derinlik görüntüleme-optik koherens tomografi ile Bruch membranındaki katlanma görülmektedir

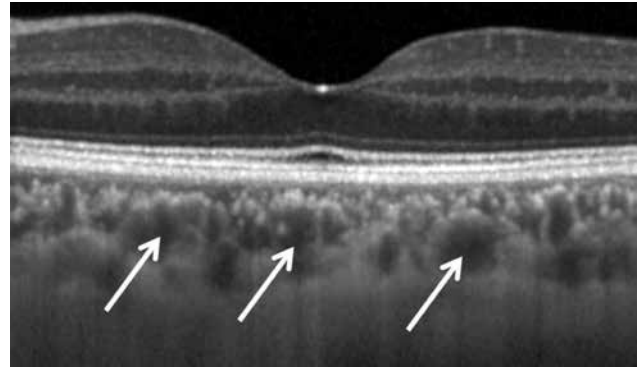


Resim 7. Retina pigment epiteli tabakasına ait hiper-reflektif çizginin hemen altında seyreden 2-4 sıralı küçük hiper-reflektif noktalar koroide ait orta büyüklükteki damar yapılarını temsil etmektedir (kare içinde). Bazı kaynaklarda bu tabaka Sattler tabakası olarak geçer

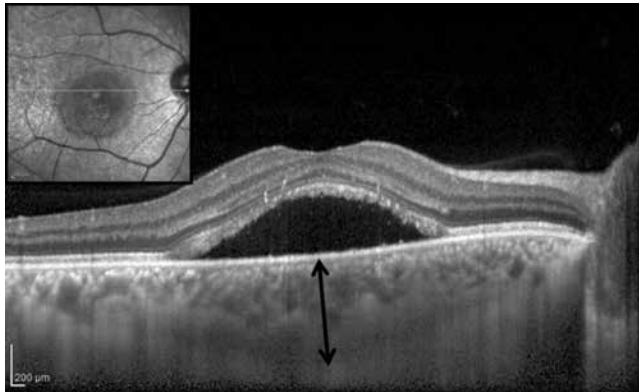
SSR'de primer patoloji koroidte olduğu için özellikle ADG-OKT hastalığın teşhisinde son derece önemlidir. ADG-OKT ile yapılan çalışmalarda SSR hastalarında koroid kalınlığında anlamlı bir artış olduğu tespit edilmiştir (Resim 9).²⁷ Aynı zamanda tek taraflı SSR olgularında etkilenmeyen gözde de koroid kalınlığında artış olduğu gösterilmiştir.²⁸ Bu bulguya dayanarak SSR'de koroid damarlarında bilateral hidrostatik basınç artışı olabileceği ileri sürülmüştür. Kronik SSR hastalarında, fotodinamik tedavi ve lazer fotokoagülasyon uygulamaları karşılaştırılmış, fotodinamik tedavinin koroid kalınlığında azalmaya neden olduğu fakat lazer fotokoagülasyonun böyle bir etkisinin olmadığı yine ADG-OKT ile gösterilmiştir.²⁹ Sonuçta ADG-OKT; seröz retina dekolmanı ile ortaya çıkan olguların SSR ile ayırıcı tanısında ve SSR olgularının tedavi takibinde kullanılabilecek bir yöntem olarak yerini almıştır. Ayrıca kanımızca SSR'ye yatkınlık gösterebilecek hastaların tespitinde de ADG-OKT verileri önemlidir. Bu tip hastaların tespiti SSR atağını provake edebilecek faktörler konusunda hastayı uyarmak açısından oldukça önemlidir.

Yaşa Bağlı Maküla Dejenerasyonu

YBMD özellikle gelişmiş ülkelerde 60 yaş üstü görme kaybının en önemli nedenlerinden birisidir.³⁰ OKT günümüzde YBMD hastalarının teşhisinde, tedavi kararında ve takibinde



Resim 8. Koroidteki arter ve venler ok ile işaretlenmiştir. Koroidin en büyük damarlarından oluşan bu bölgesi Haller tabakası olarak da isimlendirilmektedir



Resim 9. Santral seröz retinopatili gözde koroidin oldukça kalın olduğu görülmektedir. Foveadan yapılan ölçümde koroid kalınlığı 542 mikrondur

en sık kullanılan görüntüleme yöntemidir. OKT ile YBMD hastalarındaki retina ve RPE tabakasındaki değişiklikler detaylı bir şekilde tespit edilebilmekte ve hastalığın alt tiplerinin dahi tanınması sağlanmaktadır. Günümüzde SSR'de olduğu gibi YBMD'de de hastalıktan sorumlu primer dokunun koroid olduğu görüşü yaygın şekilde kabul görmektedir. Bu nedenle YBMD hastalarında ADG-OKT ile koroidin incelenmesi çok büyük öneme sahiptir. Bu konuda literatürde yüzlerce çalışma mevcuttur.

YBMD'de pratik açıdan ADG-OKT'nin en önemli kullanım alanı polipoidal koroidal vaskülopati (PKV) olgularının tanınmasıdır. ADG-OKT ile yapılan birçok çalışmada PKV'de diğer YBMD alt gruplarına göre daha fazla subfoveal koroidal kalınlık tespit edilmiştir (Resim 10).³¹ Koroidteki bu kalınlık artışı, orta ve büyük koroidal damarların genişlemesine veya İSYA ile gözlenen koroidal damarsal geçirgenliğin artmasına bağlı olarak gelişmektedir. Bu OKT bulgusu son derece önemlidir. Çünkü ülkemizde tam olarak görülme sıklığı bilinmeyen PKV hastalarının günümüzde YBMD'deki standart tedavi olarak kabul edilen anti-vasküler endotel büyüme faktörü (anti-VEBF) enjeksiyonlarına dirençli olduğu bilinmektedir. PKV, FFA ile teşhis edilememektedir; PKV'deki polipoidal yapılar İSYA gibi zor ve pahalı bir yöntemle teşhis edilebilmektedir. Bu nedenle YBMD hastalarında izlenen kalın koroid mutlaka akla PKV varlığını getirmelidir. Ayrıca OKT kesitlerinde PED'ye benzeyen ancak PED'den daha sivri RPE yükselteleri ve birbirine komşu RPE düzensizlikleri varlığı da PKV teşhisini destekleyen son derece önemli OKT bulgularıdır.²⁵

ADG-OKT'nin YBMD'de sağladığı bir başka avantaj PED içeriğini inceleme olanağı vermesidir. Spaide³² tarafından 22 olguda yapılan bir çalışmada anti-VEBF tedavi sonrası PED'lerin içinde hiper-reflektif bir yapının kaldığı gösterilmiş, bunun KNV olduğu ve PED'lerin bu KNV'den geliştiği ileri sürülmüştür. Yine ADG-OKT sayesinde anti-VEBF tedavisi uygulanan YBMD hastalarındaki koroid kalınlığı değişimleri tespit edilmiştir.³³ Bu çalışmalar özellikle coğrafik atrofi gelişimi gibi bir yan etkinin tartışıldığı dönemde anti-VEBF enjeksiyon tedavi protokollerini yönlendirici nitelikler taşıyabilir.

ADG-OKT verileri temel patolojinin ileri derecede atrofik koroid olduğu "yaşa bağlı koroid atrofisi" olarak isimlendirilen

antitenin de tanınmasını sağlamıştır. Yaşa bağlı koroid atrofisi, ileri derecede ince koroid (yüksek miyopi olmadan), senil sklerotik glokom, maküladaki pigmenter değişiklikler ve uzak görmeye göre ciddi şekilde etkilenmiş yakın görme ile karakterize bir patolojidir. Genellikle 70-80'li yaşlarda izlenen bu tablonun teşhisinde en önemli tanı yönteminin ADG-OKT olduğu unutulmamalıdır.⁴

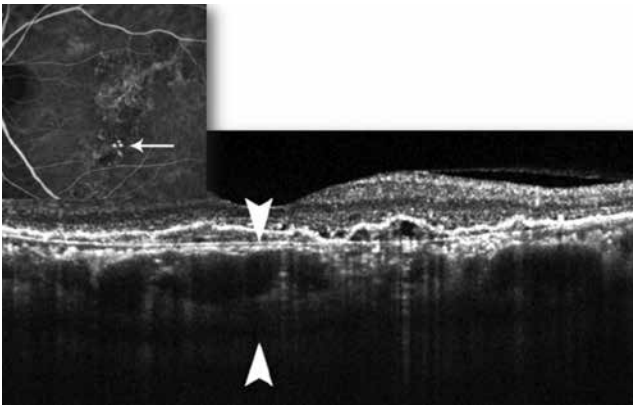
Dejeneratif Miyopi

Miyopi, göz küresinin uzunluğu ile optik kırma gücü arasında uyumsuzluğunun neticesi olarak ortaya çıkan bir refraksiyon kusurudur. Dejeneratif miyopi ise gözdeki progresif uzamaya sklera ve koroidteki incelmeye ile retina ve RPE'deki dejeneratif değişikliklerin eşlik ettiği patolojik bir durumdur. Bu gözlerde maküler KNV ve retina dekolmanı sıklıkla gözükmemekte ve ciddi görme kayıplarına neden olabilmektedir.³⁴

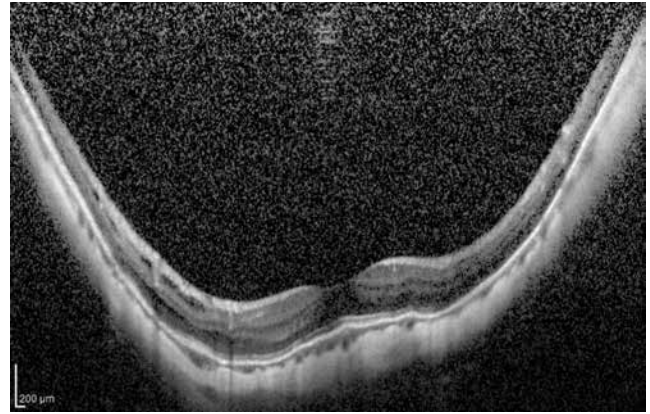
Dejeneratif miyopik gözlerde en önemli OKT bulgusu ileri derecede ince koroidtir (Resim 11). Fujiwara ve ark.³⁵ ADG-OKT ile yaptıkları çalışmada yüksek miyopi olgularında koroid kalınlığının anlamlı şekilde düşük olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda bu çalışmaya göre koroid kalınlığı; yaş, refraktif kırma kusuru ve KNV varlığı ile negatif korelasyon göstermektedir. Miyopik KNV'lerdeki KNV'nin, YBMD'deki KNV'lere göre daha az sızıntıya neden olması ve daha az tedavi girişimi ile tedavi edilebilmesi KNV'yi besleyen koroidal damar sisteminin atrofik olmasından kaynaklanmaktadır. Yine bu nedenle miyopik KNV'lerde YBMD olgularına göre çok daha az miktarda retina altı birikim olmaktadır. Bu da miyopik KNV'lerde OKT'nin aktiviteyi gösterme yeteneğini azaltmaktadır.²⁵

Glokom

ADG-OKT, glokomun vasküler patogenezi aydınlatmak için önemli bir tanı yöntemidir. Hem maküler koroid incelemesi, hem de peripapiller koroid incelemesi bu patogenezi araştırmak için kullanılmaktadır. Normal peripapiller maküler kalınlık ölçümleri yapılan çalışmalar sonucunda alt kadrana göre, nazal kadranda temporal kadrana göre anlamlı olarak ince bulunmuştur.³⁶



Resim 10. Polipoidal koroidal vaskülopati olgusunda kalın koroid görülmektedir



Resim 11. -14.00 dioptri kırma kusuru tespit edilen bir göze ait dikey optik koherens tomografi kesitinde ileri derecede ince koroid dokusu görülmektedir

Maul ve ark.³⁷ yaptıkları çalışmada ADG-OKT kullanarak ölçtükleri koroid kalınlığı ile yaş, aksiyel uzunluk ve sinir lifi tabakası gibi parametreler arasında ilişki olup olmadığını araştırmışlardır. Sonuç olarak glokom şüphesi bulunan ve glokom tanısı konulmuş hastaların peripapiller ve maküler koroid kalınlıkları arasında anlamlı fark bulunmamıştır. Bunun gibi birçok çalışma glokomun koroid kalınlığına etkisi olmadığını göstermiştir.^{38,39,40}

Ağır görme alanı ve retina sinir lifi tabakası kaybı olan glokomlu hastalarda maküladaki koroid kalınlığında anlamlı değişimin olmaması glokom ile maküler koroid arasında ilişki olmadığı yönündeki görüşü desteklemektedir. Özellikle tek gözü glokomlu olan olgularda da iki gözün maküla koroid kalınlıkları arasında fark olmaması sistemik faktörlerin elimine edilmesini sağlamaktadır.

Diyabetik Retinopati

Klinik tecrübelerimiz koroid vaskülopatisinin diyabetik retinopati patogenezindeki önemli etkenlerden biri olduğunu düşündürmektedir. Diyabetik gözlerde yapılan bazı histopatolojik çalışmalarda koroid anomalileri, koriokapillaris tikanıklıkları, KNV, koroid anevrizması gibi çeşitli koroid patolojileri gösterilmiştir.⁴¹

Özellikle tip 2 diyabette retinopati evresinden bağımsız olarak tüm gözlerde koroid kalınlığında inceltme tespit edilmiştir.⁴² Bu da daha önceden lazer Doppler flowmetri ve İSYA ile gösterilen koroidal kan akım hızındaki azalmayı desteklemektedir.⁴³ Koroid kalınlığının azalması retina dokularındaki hipoksi nedeniyle olabilir; çünkü koroid retinanın dış tabakalarını ve RPE'yi besleyen en önemli damarsal yapıdır.

Vogt-Koyanagi-Harada Sendromu

Özellikle arka segmentin değerlendirilmesinin zor olduğu üveitli olgularda OKT girişimsel olmayan bir değerlendirme imkanı sağlamaktadır ve bu nedenle SD-OKT günümüzde üveit hastalarının değerlendirilmesinde giderek daha fazla taraftar kazanmaktadır.⁴⁴

VKH, melanositlere karşı gelişen otoimmünite ile ilişkili bilateral granülatöz panüveittir. Ön ve arka üveitin bilateral olarak görüldüğü ve eksüdatif retina dekolmanının eşlik ettiği bir üveit tablosudur.⁴⁵ VKH'li hastalarda koroidte kalınlık artışı görülmüştür; bu muhtemelen inflamatuvar süreç ile birlikte eksüstasyondan kaynaklanmaktadır.⁴⁶ Özellikle steroid uygulanan VKH'li gözlerde koroid kalınlığının 2 hafta içerisinde anlamlı bir şekilde azaldığı gösterilmiştir.⁴⁷ VKH'li hastalarda koroid kalınlığının incelenmesi, tedavinin etkinliğinin değerlendirilmesi ve nükslerin takibinde önemlidir.

Sonuç

ADG-OKT tekniği, SD-OKT cihazları ile koroidi in vivo, basit, tekrarlanabilir, çözünürlüğü yüksek, girişimsel olmayan bir şekilde kesitsel olarak görüntülememize imkan vermiş, birçok patolojideki koroid değişikliklerini daha iyi

anlamamızı sağlamıştır. Fakat bu tekniğin bazı eksik yönleri de mevcuttur. Henüz koroid ölçümünün otomatize yapılmasını sağlayan bir yazılım geliştirilmemiş olması, tekniğin en büyük eksiklerindendir. Manuel ölçüm hem zaman almakta, hem de hatalara neden olabilmektedir. Aynı anda, aynı yerden görüntü aldığımızdan emin olmak için OKT cihazında göz hareketi takip sisteminin bulunması gerekmektedir. ADG-OKT'lerin bir diğer eksik yönü de özellikle ortam opasiteleri bulunan bazı gözlerde nispeten net retina imajı alınmasına karşılık, koroid değerlendirmesinde koroid-sklera bileşkesinin net olarak görülememesidir.

Koroid görüntülemesi için swept source OKT, Doppler OKT, uzun dalga boylu SD-OKT, doğrudan OKT gibi hem yazılımsal, hem donanımsal yenilikler getiren yeni teknoloji arayışları devam etmektedir ve bu konu güncelliğini uzun bir dönem daha koruyacaktır.

Hakem Değerlendirmesi: Editörler kurulu ve Editörler kurulu dışında olan kişiler tarafından değerlendirilmiştir.

Yazarlık Katkıları

Konsept: Taha Sezer, Muhammet Altınışık, İbrahim Arif Koytak, Mehmet Hakan Özdemir, Dizayn: Taha Sezer, Muhammet Altınışık, İbrahim Arif Koytak, Mehmet Hakan Özdemir, Veri Toplama veya İşleme: Taha Sezer, Muhammet Altınışık, Analiz veya Yorumlama: Mehmet Hakan Özdemir, İbrahim Arif Koytak, Literatür Arama: Taha Sezer, Muhammet Altınışık, Mehmet Hakan Özdemir, Yazan: Mehmet Hakan Özdemir, Taha Sezer, Muhammet Altınışık.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Finansal Destek

Yazarlar tarafından finansal destek almadıkları bildirilmiştir.

Kaynaklar

1. Ryan SJ. Retina. 4th ed. Vol 1. Philadelphia, PA: Elsevier Mosby; 2006.
2. Cao J, McLeod S, Merges CA, Luty GA. Choriocapillaris degeneration and related pathologic changes in human diabetic eyes. Arch Ophthalmol. 1998;116:589-597.
3. Gemenetzi M, De Salvo G, Lotery AJ. Central serous chorioretinopathy: an update on pathogenesis and treatment. Eye (Lond). 2010;24:1743-1756.
4. Spaide RF. Age-related choroidal atrophy. Am J Ophthalmol. 2009;147:801-810.
5. Nishida Y, Fujiwara T, Imamura Y, Lima LH, Kurosaka D, Spaide RF. Choroidal thickness and visual acuity in highly myopic eyes. Retina. 2012;32:1229-1236.
6. Hosoda YI, Uji A, Hangai M. Relationship between retinal lesions and inward choroidal bulging in Vogt-Koyanagi-Harada disease. Am J Ophthalmol. 2014;157:1056-1063.
7. Gugleta K, Orgül S, Flammer I, Gherghel D, Flammer J. Reliability of confocal choroidal laser Doppler flowmetry. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2002;43:723-728.
8. Brown JS, Flitcroft DI, Ying G, Francis EL, Schmid GE, Quinn GE, Stone RA. In vivo human choroidal thickness measurements: Evidence for diurnal fluctuations. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2009;50:5-12.
9. Spaide RF, Yannuzzi LA, Slakter JS, Sorenson J, Orlach DA. Indocyanine green videoangiography of idiopathic polypoidal choroidal vasculopathy. Retina. 1995;15:100-110.

10. Yannuzzi LA. Indocyanine green angiography: a perspective on use in the clinical setting. *Am J Ophthalmol*. 2011;151:745-751.
11. Falsini B, Anselmi GM, Marangoni D, D'Esposito F, Fadda A, Di Renzo A, Campos EC, Riva CE. Subfoveal choroidal blood flow and central retinal function in retinitis pigmentosa. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011;52:1064-1069.
12. Pemp B, Schmetterer L. Ocular blood flow in diabetes and age-related macular degeneration. *Can J Ophthalmol*. 2008;43:295-301.
13. Malhotra A, Minja FJ, Crum A, Burrowes D. Ocular anatomy and cross-sectional imaging of the eye. *Semin Ultrasound CT MR*. 2011;32:2-13.
14. Wong IY, Koizumi H, Lai WW. Enhanced depth imaging optical coherence tomography. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging*. 2011;42 Suppl:S75-84.
15. Sull AC, Vuong LN, Price LL, Srinivasan VJ, Gorczynska I, Fujimoto JG, Schuman JS, Duker JS. Comparison of spectral/Fourier domain optical coherence tomography instruments for assessment of normal macular thickness. *Retina*. 2010;30:235.
16. Adhi M, Duker JS. Optical coherence tomography-current and future applications. *Curr Opin Ophthalmol*. 2013;24:213-221.
17. de Boer JF, Cense B, Park BH, Pierce MC, Tearney GJ, Bouma BE. Improved signal-to-noise ratio in spectral-domain compared with time-domain optical coherence tomography. *Opt Lett*. 2003;28:2067-2069.
18. Spaide RF, Koizumi H, Pozzoni MC. Enhanced depth imaging spectral-domain optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol*. 2008;146:496-500.
19. Margolis R, Spaide RF. A pilot study of enhanced depth imaging optical coherence tomography of the choroid in normal eyes. *Am J Ophthalmol*. 2009;147:811-815.
20. Manjunath V, Taha M, Fujimoto JG, Duker JS. Choroidal thickness in normal eyes measured using Cirrus HD optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol*. 2010;150:325-329.
21. Usui S, Ikuno Y, Akiba M, Maruko I, Sekiryu T, Nishida K, Iida T. Circadian changes in subfoveal choroidal thickness and the relationship with circulatory factors in healthy subjects. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012;53:2300-2307.
22. Ikuno Y, Maruko I, Yasuno Y, Miura M, Sekiryu T, Nishida K, Iida T. Reproducibility of retinal and choroidal thickness measurements in enhanced depth imaging and high-penetration optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011;52:5536-5540.
23. Branchini L, Regatieri CV, Flores-Moreno I, Baumann B, Fujimoto JG, Duker JS. Reproducibility of choroidal thickness measurements across three spectral domain optical coherence tomography systems. *Ophthalmology*. 2012;9:119-123.
24. Branchini LA, Adhi M, Regatieri CV, Nandakumar N, Liu JJ, Laver N, Fujimoto JG, Duker JS. Analysis of choroidal morphologic features and vasculature in healthy eyes using spectral-domain optical coherence tomography. *Ophthalmology*. 2013;120:1901-1908.
25. Özdemir H, Arf S, Karaçorlu M. Makiüla hastalıklarında optik koherens tomografi. *Güneş Tıp Kitabevi* 2014.
26. Gemenetzi M, De Salvo G, Lotery AJ. Central serous chorioretinopathy: an update on pathogenesis and treatment. *Eye (Lond)*. 2010;24:1743-1756.
27. Imamura Y, Fujiwara T, Margolis R, Spaide RF. Enhanced depth imaging optical coherence tomography of the choroid in central serous chorioretinopathy. *Retina*. 2009;29:1469-1473.
28. Maruko I, Iida T, Sugano Y, Ojima A, Sekiryu T. Subfoveal choroidal thickness in fellow eyes of patients with central serous chorioretinopathy. *Retina*. 2011;31:1603-1608.
29. Maruko I, Iida T, Sugano Y, Furuta M, Sekiryu T. One-year choroidal thickness results after photodynamic therapy for central serous chorioretinopathy. *Retina*. 2011; 31:1921-1927.
30. The Beaver Dam Eye Study. Klein R, Klein BE, Linton KL. Prevalence of age-related maculopathy. *Ophthalmology*. 1992;99:933-943.
31. Koizumi H, Yamagishi T, Yamazaki T, Kawasaki R, Kinoshita S. Subfoveal choroidal thickness in typical age-related macular degeneration and polypoidal choroidal vasculopathy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2011;249:1123-1128.
32. Spaide RF. Enhanced depth imaging optical coherence tomography of retinal pigment epithelial detachment in age-related macular degeneration. *Am J Ophthalmol*. 2009;147:644-652.
33. McDonnell EC, Heussen FM, Ruiz-Garcia H, Ouyang Y, Narala R, Walsh AC, Sadda SR. Effect of anti-VEGF treatment on choroidal thickness over time in patients with neovascular age-related macular degeneration. *Eur J Ophthalmol*. 2014;24:897-903.
34. Curtin BJ, Karlin DB. Axial length measurement and fundus changes of the myopic eyes. *Am J Ophthalmol*. 1971;71:42-53.
35. Fujiwara T, Imamura Y, Margolis R, Slakter JS, Spaide RF. Enhanced depth imaging optical coherence tomography of the choroid in highly myopic eyes. *Am J Ophthalmol*. 2009;148:445-450.
36. Ho J, Branchini L, Regatieri C, Krishnan C, Fujimoto JG, Duker JS. Analysis of normal peripapillary choroidal thickness via spectral domain optical coherence tomography. *Ophthalmology*. 2011;118:2001-2007.
37. Maul EA, Friedman DS, Chang DS, Boland MV, Ramulu PY, Jampel HD, Quigley HA. Choroidal thickness measured by spectral domain optical coherence tomography: factors effecting thickness in glaucoma patients. *Ophthalmology*. 2011;118:1571-1579.
38. Jonas JB, Steinmetz P, Forster TM, Schlichtenbrede FC, Harder BC. Choroidal thickness in open-angle glaucoma. *J Glaucoma*. 2015;24:619-623.
39. Hosseini H, Nilforushan N, Moghimi S, Bitrian E, Riddle J, Lee GY, Caprioli J, Nouri-Mahdavi K. Peripapillary and macular choroidal thickness in glaucoma. *J Ophthalmic Vis Res*. 2014;9:154-161.
40. Jonas JB. Glaucoma and choroidal thickness. *J Ophthalmic Vis Res*. 2014;9:151-153.
41. Hidayat AA, Fine BS. Diabetic choroidopathy. Light and electron microscopic observations of seven cases. *Ophthalmology*. 1985;92:512-522.
42. Unsal E, Eltutar K, Zirtioğlu S, Dinçer N, Özdoğan Erkul S, Güngel H. Choroidal thickness in patients with diabetic retinopathy. *Clin Ophthalmol*. 2014;8:637-642.
43. Schocket LS, Brucker AJ, Niknam RM, Grunwald JE, DuPont J, Brucker AJ. Foveolar choroidal hemodynamics in proliferative diabetic retinopathy. *Int Ophthalmol*. 2004;25:89-94.
44. Gupta V, Gupta A, Gupta P, Sharma A. Spectral-domain cirrus optical coherence tomography of choroidal striations seen in the acute stage of Vogt-Koyanagi-Harada disease. *Am J Ophthalmol*. 2009;147:148-153.e2.
45. Bordaberry MF. Vogt-Koyanagi-Harada disease: diagnosis and treatments update. *Curr Opin Ophthalmol*. 2010;21:430-435.
46. Nakayama M, Keino H, Okada AA, Watanabe T, Taki W, Inoue M, Hirakata A. Enhanced depth imaging optical coherence tomography of the choroid in Vogt-Koyanagi-Harada disease. *Retina*. 2012;32:2061-2069.
47. Maruko I, Iida T, Sugano Y, Oyama H, Sekiryu T, Fujiwara T, Spaide RF. Subfoveal choroidal thickness after treatment of Vogt-Koyanagi-Harada disease. *Retina*. 2011;31:510-517.