

# BÖLÜM 1

## KORNEA ANATOMİSİ, OPTİĞİ VE GEOMETRİSİ

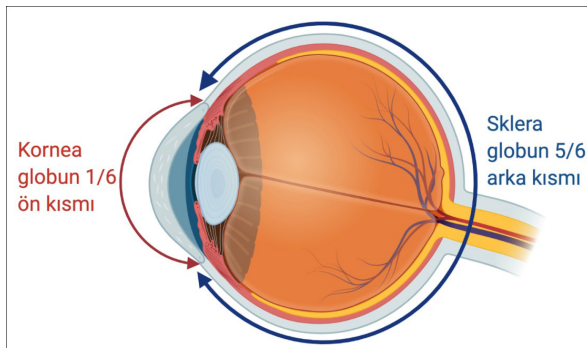
Dr. Nilüfer YEŞİLİRMAK

### Kornea Anatomisi

Kornea, göz küresinin dış fibröz katının ön 1/6'sını oluşturan, gözün ön yüzünün merkezini kaplayan şeffaf, damarsız bir dokudur (Şekil 1.1). Korneanın temel amacı yapısal bir bariyer görevi görerek gözü ve göz içindeki yapıları korumaktır (1). Ayrıca kornea, gözün en yüksek kırma gücüne sahip dokusudur, gözün toplam kırma gücünün yaklaşık üçte ikisine (40-44 D) katkıda bulunur ve gözyaşı filmi ile birlikte göze uygun ön kırma yüzeyi sağlar.

Kornea yatay olarak 11-12 mm ve dikey olarak 9-11 mm çapındadır. Kornea çapı erkeklerde 11,04-12,50 mm, kadınlarda ise 10,7-12,58 mm arasında değişmektedir (2). Kornea dışbükey ve asferik olup ön eğriliği 7,8 mm ve arka eğriliği ise yaklaşık 6,5 mm'dir. Kornea kalınlığı merkezden periferde doğru kademeli olarak artar (3). Normal gözlerde santral kornea kalınlığı 551 ile 565 µm arasında, periferik kornea kalınlığı ise 612 ile 640 µm arasında değişmektedir (4). Kornea kalınlığı üst kadranda alt kadrana kıyasla, nazal kadranda ise temporal kadrana kıyasla daha kalındır. Kalınlıktaki bu değişiklik, periferik stromadaki kollajen miktarındaki artıştan kaynaklanmaktadır. **Tablo 1.1**'de normal korneanın anatomik ve optik indeksleri gösterilmektedir.

Kornea, hücreli ve hücreli olmayan bileşenlerden oluşmaktadır. Hücreli bileşenler epitel hücreleri, keratositler ve endotel hücrelerini içerirken, hücreli olmayan bileşenler kollajen ve glikozami-



Şekil 1.1: Göz anatomisinin şematize edilmiş görüntüsü

Tablo 1.1: Normal korneanın anatomik ve optik indeksleri

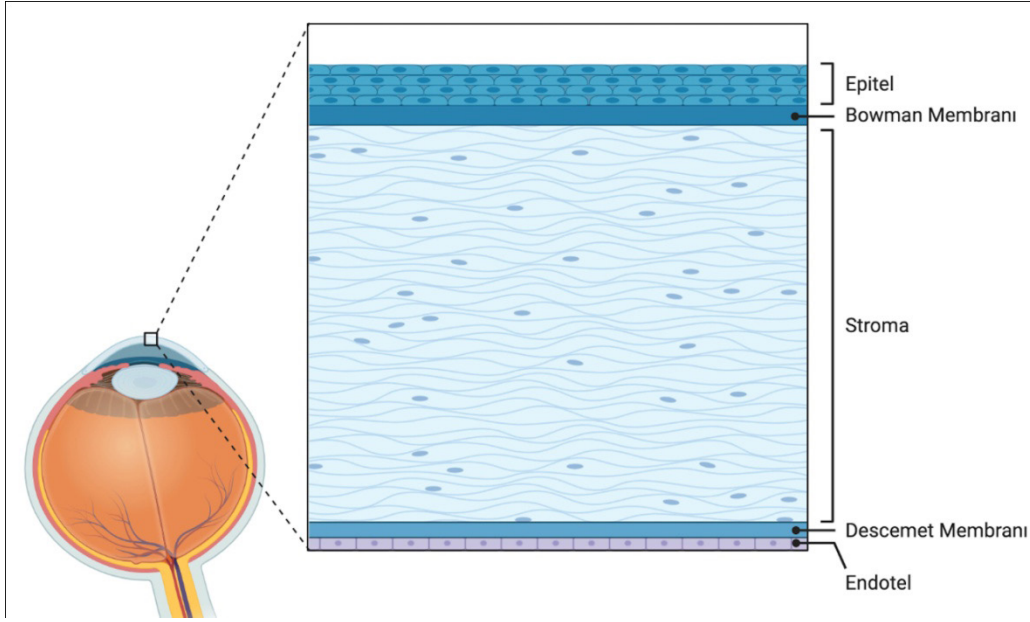
	Refraktif indeks
Kornea	1,376
Standart keratometrik indeks (SKI)	1,337
Kornea epiteli	1,401
Ön korneal stroma	1,380
Arka korneal stroma	1,373
Merkezi eğrilik yarıçapı (mm)	
Ön korneal yüzey	7,8 (7,0-8,6)
Arka korneal yüzey	6,7
Diyoptrik güç (D)	
Ön korneal yüzey	49,50
Arka korneal yüzey	-6,00
Net korneal güç	43,50 (39-48)
Kalınlık (mm)	
Santral kornea	0,56
Periferik kornea	1,20
Kornea epiteli	0,06

noglikanları içerir. Epitel hücreleri epidermal ektodermden köken alırken, keratosit ve endotel hücreleri, nöral krestten köken alırlar. Korneanın tabakaları dıştan içe doğru epitel, Bowman tabakası, stroma, Descemet membranı ve endotel olarak sıralanır (Şekil 1.2). Son zamanlarda iyi tanımlanmış olan hücresiz bir kornea tabakası, pre-Descemet (Dua) tabakası 6. tabaka olarak konumlandırılmaktadır ve lameller cerrahilerin gelişmesiyle birlikte daha da dikkatleri çeker hale gelmiştir (5).

### Korneanın Tabakaları

#### Kornea Epiteli:

Kornea epiteli yüzey ektoderminden 5.-6. gebelik haftaları arasında oluşmaktadır. Epitel hücrelerinin involüsyon, apoptozis ve deskuamasyona uğrayan 7-10 günlük ömürleri vardır (6). Kornea epiteli yü-

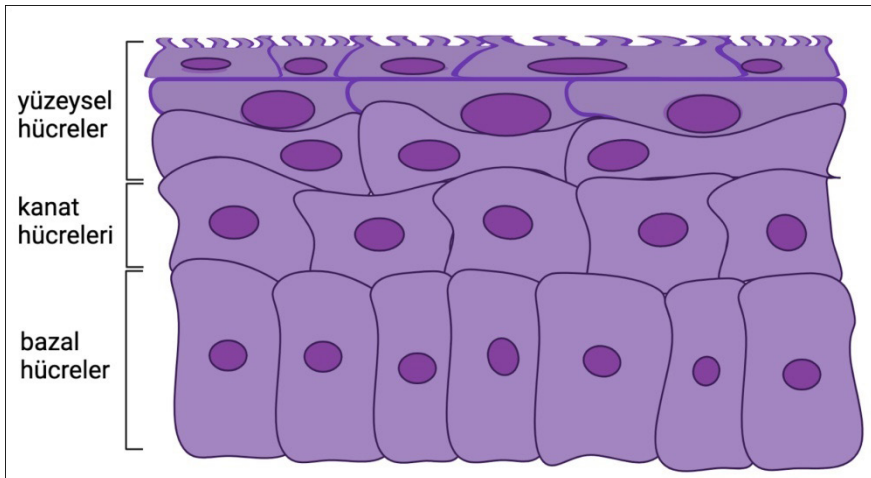


Şekil 1.2: Kornea tabakalarının şematize edilmiş görüntüsü

zeyin düzgünlüğünü sağlamak için tek tip keratini-ze olmayan çok katlı yassı epitelden oluşmuştur ve yaklaşık 50 µm kalınlığındadır (7). Oldukça düzgün bir şekilde yüzeysel hücreler, kanat hücreleri ve bazal hücreleri 5-6 katmanlı epitelyal yapıyı oluştururlar (Şekil 1.3). Yüzeysel hücreler, 2-3 katmanlı, 2-6 µm kalınlığında, 40-60 µm çapa sahip düz çokgen hücrelerden oluşmaktadırlar. Yüzeylerinde yüzey alanını arttıran mikrovilluslar bulunmaktadır. Mikrovilluslar aynı zamanda lipid ve glikoprotein içeren 7 µm kalınlığında olan koruyucu gözyaşı tabakasının tutulmasına yardım ederler. Yüzeysel hücreler arasındaki sıkı bağlantıları ise desmozomlar sağlamaktadırlar (7). Kanat hücreleri 2-3 katmanlıdır ve 64-k dalton keratin eksprese ederler. Bazal hücreler ise küboidal veya kolumnar olmak üzere tek katmanlı

yapıyı oluştururlar. Bazal hücreler bol organelle sahip olup mitotik olarak aktiftirler ve kanat ve yüzeysel hücrelerin de kaynağıdır. Limbustaki pluripotent kök hücrelerinden mitozla çoğalarak oluşurlar ve oluştuktan sonra kornea merkezine doğru ilerlerler (8). Dönüşüm süreleri yaklaşık 7-14 gündür.

Desmozomlar, epitel hücrelerini birbirine yapışık tutmak için tüm epitel hücrelerinin yan zırları boyunca bulunurlar. Bazal hücreler ise hemidesmozomal sistem ile alttaki bazal membrana bağlanırlar (Şekil 1.4). Güçlü bağlanma, epitelin alttaki katmanlardan ayrılmasını engellemektedir. Bu bağlanmanın anormalliği kornea erozyonlarına ve iyileşmeyen epitel defektlerine neden olmaktadır. Sıkı bağlantılar (tight junctions), epitelin apikal hücrelerinin sadece yan duvarında bulunur ve hücreler arasında yüzeysel



Şekil 1.3: Kornea epitelinde yer alan hücrelerin şematize edilmiş görüntüsü

# BÖLÜM 2

## TOPOGRAFI VE TOMOGRAFI SİSTEMLERİ İLE SIK KULLANILAN CİHAZLAR

Doç. Dr. Başak BOSTANCI

2. BÖLÜM

Korneal görüntüleme teknolojileri, özellikle refraktif cerrahi uygulamalarının hızlı gelişimine paralel olarak ilerlemiş ve korneanın pratik ve doğru şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamışlardır. Bu kitap bölümünün amacı, kornea ve oküler yüzeyin değerlendirilmesi için kullanılmakta olan korneal topografi ve tomografi tekniklerini gözden geçirerek, bu tekniklerin klinik kullanımları hakkında güncel bilgileri sunmaktır.

### Tarihçe

Topografi, Yunanca bir yeri tanımlamak anlamına gelen “yerleştirmek” (topo) ve “yazmak” (graphein) kelimelerinden türetilmiştir ve genellikle dünyanın yüzey şekli veya gök cisimlerinin incelenmesiyle ilgili bir terim olarak kullanılmaktadır. Tomografi ise Yunanca “kesmek” (tomos) ve “yazmak” kelimelerinden meydana gelir. Örneğin, bilgisayarlı tomografi, bir iç organın kesitlerinin görüntülenmesine ve bu sayede 3 boyutlu incelenmesine olanak sağlayan cihaza verilen isimdir. Bu sebeple korneal topografi terimi, korneanın ön yüzey özelliklerini gösteren cihazlar için, korneal tomografi ise korneanın ön ve arka yüzeylerinin incelenmesini, dolayısı ile üç boyutlu değerlendirilmesini sağlayan cihazlar için kullanılmalıdır.

17. yüzyılın başlarında Schiener, mermerlerin kornea üzerindeki yansımaları gözlemleyerek kornea topografisinin öncülü olabilecek bir yöntemi ortaya atmıştır (1). Ardından Portekizli bir göz doktoru ve mikrobiyolog olan António Plácido da Costa, kornea şeklinin daha hassas değerlendirilmesi için tasarladığı elde taşınabilir bir cihaz olan ilk Placido cihazını tanıtmıştır (2). Bugün kullanılmakta olan ve “Topografi” olarak adlandırılan bilgisayar yardımıyla kornea yüzey analizleri de halen benzer bir prensip ile çalışmakta ve eş merkezli siyah ve beyaz halkaların korneanın dışbükey ön yüzeyinden yansımaları görüntüleyerek, bu halkaların büyüklük ve distorsiyonuna göre kornea yüzeyinin değerlendirilmesini sağlamaktadır (3,4), (Şekil 2.1). Kornea yüzeyindeki sayısız noktanın bu yöntem ile harita mühendisli-



Şekil 2.1: Placido halka sistemini kullanan Zeiss Atlas 9000 Korneal topografi sistemi

ğinde kullanılan tekniklere benzer şekilde kantitatif olarak analiz edilmesi sonucu, renk kodlu haritalar ve indeksler geliştirilmiş ve pek çok kornea hastalığının tanı ve takibinde gerçek bir devrim meydana gelerek, refraktif cerrahi hastalarının taranması ve cerrahi prosedürlerin sonuçlarının değerlendirilmesi sağlanmıştır (5,6).

Tablo 2.1: Günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olan topografi yöntemleri

Teknoloji	Prensip	Örnek Topograflar
Placido halka	Geniş konlu cihazlar	CSO Sirius+ * Oculus Keratograph 5M Topcon KR-1W Zeiss Atlas Ziemer Galilei *
	Küçük konlu cihazlar	Medmont E300 Optikon Keratron
Renkli ışık yayan diod	Speküler yansımaların rekonstrüksiyonu	i-Optics Cassini i-Optics Cassini Ambient

\*Topografi ve tomografiyi aynı anda yapabilen cihazlar

## Korneal Topografi ve Tomografi Yöntemleri

Çağdaş Placido-disk topografi cihazlarını, küçük konlu (yakın) veya büyük konlu (uzak) sistemler olarak sınıflandırmak mümkündür (7), (Tablo 2.1). Küçük konlu topografi cihazları daha fazla veri noktasından faydalanır (ort. 100.000) ve bu nedenle daha hassas ölçümler sunabilirler (0.01 D'ye varan). Ancak bu cihazlar daha kısa bir çalışma mesafesine ihtiyaç duyarlar ve bu durum da derin orbital hasta-larda ölçüm alınmasını zorlaştırabilir. Büyük konlu cihazlar ise ölçümler için daha fazla aydınlatmaya ihtiyaç duyarlar ve korneanın daha az bölümünden ölçüm alabilirler. Bunun yanı sıra odaklanma hatalarına da daha az duyarlıdırlar. Tüm Placido cihazlarının dezavantajı korneanın yalnızca ön yüzeyinin değerlendirilmesine olanak tanımaları ve korneanın arka yüzey değerlendirilmesinin önemli olduğu ek-tatik durumlarda yetersiz kalmalarıdır. Placido tabanlı topografların diğer dezavantajları da çalışma meka-nizmaları gereği, korneal apeks hakkındaki bilgileri doğrudan değil enterpolasyon yöntemi ile hesaplayarak sunmaları ve skew ışın hatasına (skew ray error) açık olmalarıdır (8,9).

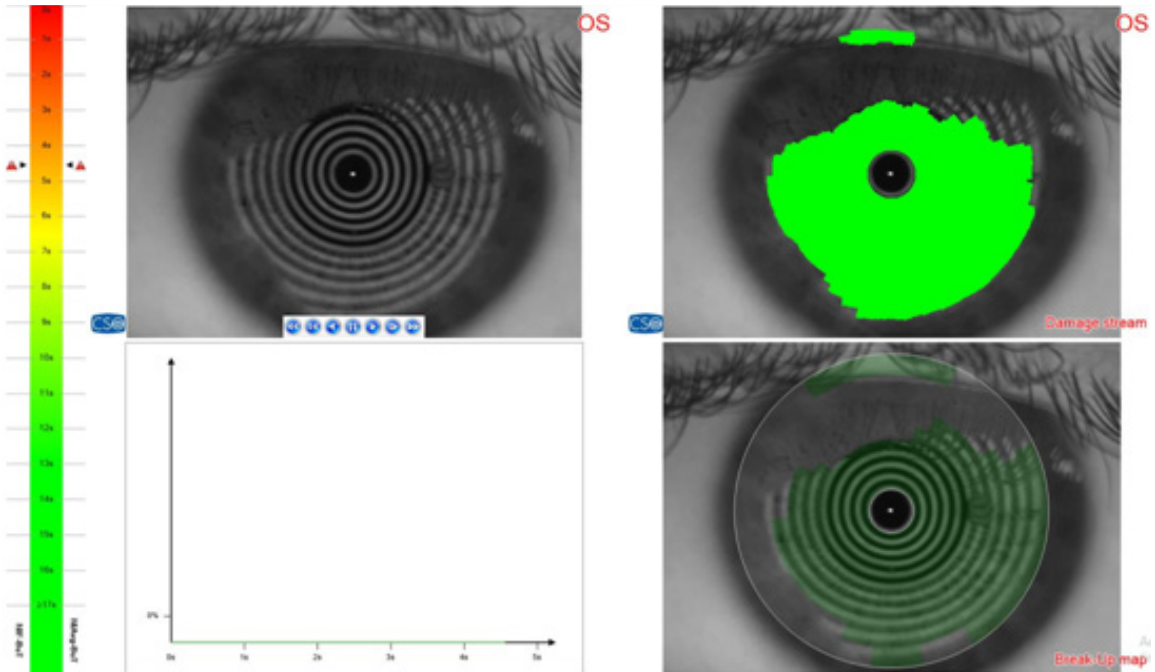
Kornea topografları, kornea değerlendirilmesinin yanı sıra gözyaşı filminin non-invazif değerlendirmesi için de kullanılabilirler. Günümüzde, Oculus Keratograph 5 M cihazı (K5 M; Oculus GmbH, Wetzlar, Almanya) gözyaşı filmini analiz etmek için en yaygın kullanılan araçlardan biridir (10). Placido

halka özelliği bulunan ve daha ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılacak olan Sirius topografi cihazı içerisinde de gözyaşının ilk kırılıma uğradığı zaman ve ortalama gözyaşı kırılma zamanlarını değerlendiren bir yazılım bulunmaktadır (Şekil 2.2).

Tüm bunlara ek olarak, kornea topografisini aberrometri ile birleştiren cihazlar da mevcuttur. Bunların en bilinen örneği, iTrace (Tracey Technologies, Houston, TX, ABD) ve OPD-scan'dir (Nidek CO. Tokyo, Japonya), (11,12). Bu cihazlarda kornea topografisi ve wavefront haritası beraber değerlendirilebilir. Ayrıca, bahsedilen bu cihazlar, yakın ve uzakta sferosilindirik kırma kusurlarının saptanmasını da sağlarlar.

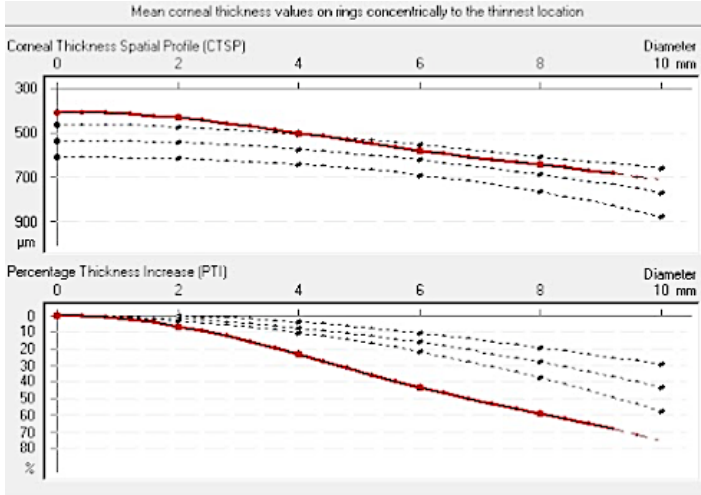
Placido dışındaki görüntülerin kornea yüzeyine yansıtılmasıyla da topografik görüntüler hesaplanabilir. Belin ve ark. "PAR Korneal Topografi Sistemi" adını verdikleri bir sistem ile kornea yüzeyine yansıtılan bir ızgarayı analiz ederek topografik harita üretmeyi başarmışlardır (13). Bu yöntem aynı zamanda rasterstereografi denilen ve elevasyon haritası çıkarmayı sağlayan bir metodun öncüsüdür.

Günümüzde ticari olarak mevcut olan bir başka kornea topografisi yöntemi de renkli LED kornea topografisidir. Cassini (i-Optik, Hague, Hollanda) kornea topografisi, 679 renkli noktanın speküler yansımalarının rekonstrüksiyonuna dayalı olarak kornea şeklini analiz eder (14). Bu yaklaşımın Placido tabanlı sistemlere göre avantajı, bozuk kornea yüzeylerinin de uygun bir şekilde görüntülenebilmesini sağ-



Şekil 2.2: Sirius topografi cihazı içinde yer alan invazif olmayan gözyaşı kırılma zamanı ekranı





halkalarını temsil eder. Dikey eksen, korneal kalınlık boyutsal profil grafiğinde kornea kalınlığını ve kalınlık artış yüzdesi grafiğinde ise kalınlık artışı yüzdesini temsil eder. Kırmızı eğri ölçüm yapılan korneayı temsil eder. Siyah noktalı eğriler, iki standart sapma için genel normal popülasyondaki ortalama normatif verilerdir (Şekil 4.20).

### Paternler

Hem korneal kalınlık boyutsal profili hem de kalınlık yüzdesi artış grafiğinin normal modeli, normatif siyah noktalı eğrilerin seyrini takip eden (ancak bunun içinde olması gerekmeyen) kırmızıyla çizilen eğri bir çizgidir. Başka bir deyişle, eğrinin şekli kademeli bir artış göstermelidir. Bu konuda referans 6 mm bölgedir. Eğri bu bölgeden önce saparsa anormal kabul edilir. Anormal paternler şunlardır:

**Hızlı eğim:** Kırmızı eğri 6 mm'lik bölgeden önce sapar. Yüksek potansiyelli ve ektatik kornealarda görülür (Şekil 4.21).

**S-şekli:** Kırmızı eğri aşağı ve yukarı eğimlidir. Bu, 6 mm'lik bölgeden önce veya sonra olabilir. Ektatik kornea ve yüksek potansiyelli kornealarda görülebilir (Şekil 4.22).

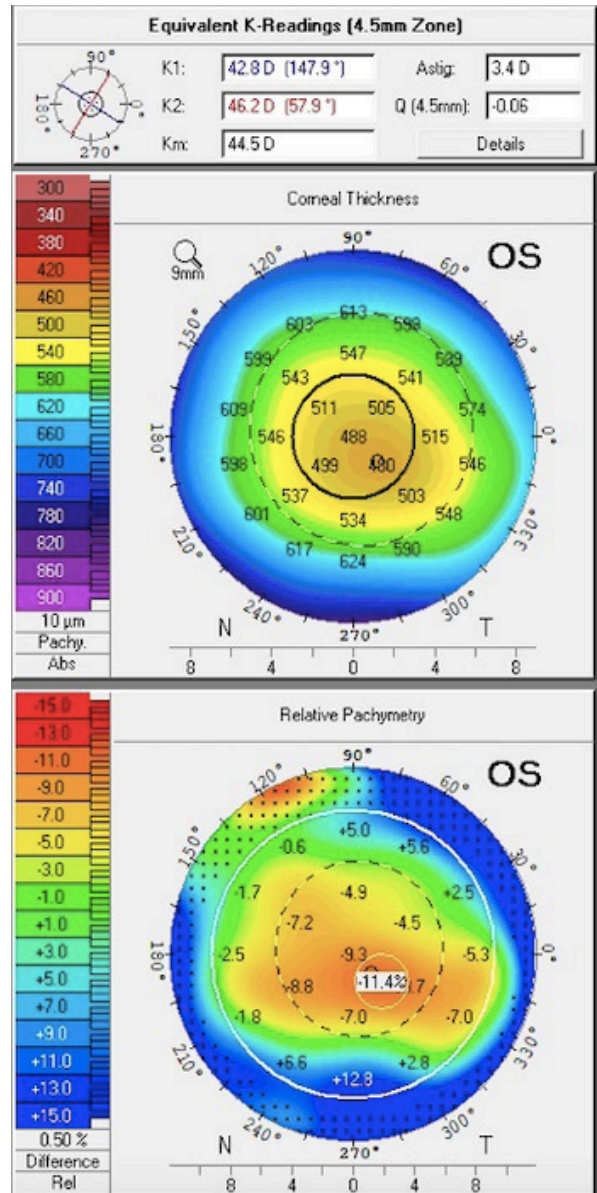
**Düz eğim:** Fuchs endotelial distrofisi ve kornea guttata gibi hastalıklı kalınlaşmış kornealarda görülür.

**Ters eğim:** Pellucid marjinal dejenerasyonunun ayırt edici özelliğidir. Ancak, her pellucid marjinal dejenerasyonda bu model yoktur.

### Pakimetrik Progresyon İndeksi

Pakimetrik progresyon indeksi (PPI) kalınlık/konum ilişkisi olarak açıklanabilir, en ince noktadan

**Şekil 4.22:** Keratokonus olgusunda Pentacam topografi cihazı ile elde edilen kalınlık yüzdesi artış grafiğinde 6 mm noktasından önce izlenen S şekli görüntüsü.



**Şekil 4.23:** Keratokonuslu bir olguya ait korneal pakimetri ve rölatif pakimetri haritaları (Pentacam). Üstteki korneal kalınlık haritasında santraldeki ince alanlara uyan bölgede rölatif pakimetri haritası normatif verilerden sapmayı göstermektedir.

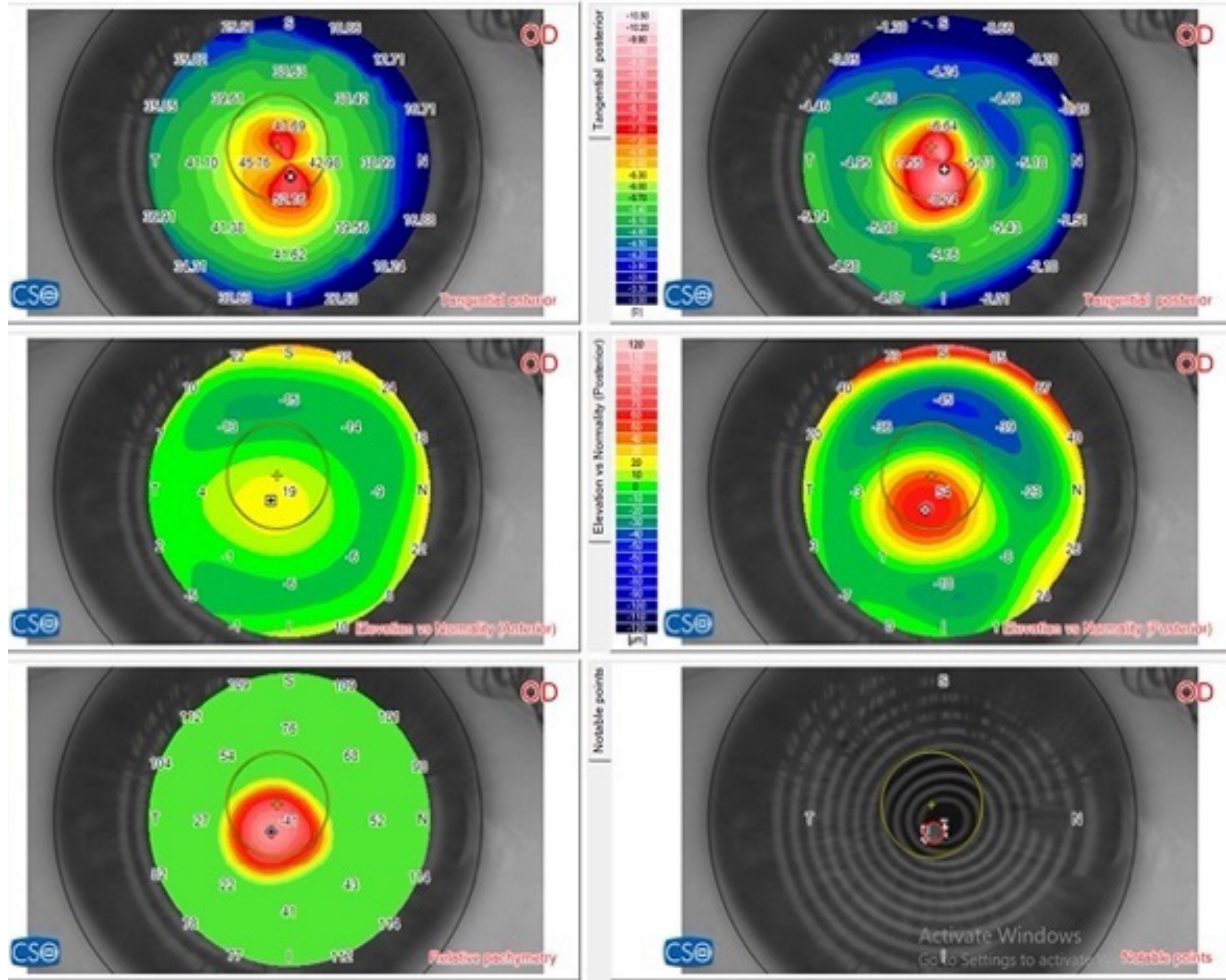
başlayarak tüm hemimeridyenler için hesaplanır. Bu hesaplama için, korneanın her noktasındaki en inceden en kalına doğru artış, ortalama bir normal popülasyon veritabanı ile karşılaştırılır. Normal kornealar tipik olarak 1,2'den düşük bir ortalama ilerleme indeksine sahiptir. PPI'nin normal ortalama değeri 0,8-1,1'dir. Ortalama <0,8 olduğunda kornea ödemi, kornea guttata ve Fuchs' endotelyal distrofisinde olduğu gibi kornea kalınlaşmıştır. Ortalama  $\geq 1,2$  olduğunda ise kornea büyük olasılıkla anormaldir ve ektazik olabilir.

### Rölatif Pakimetri

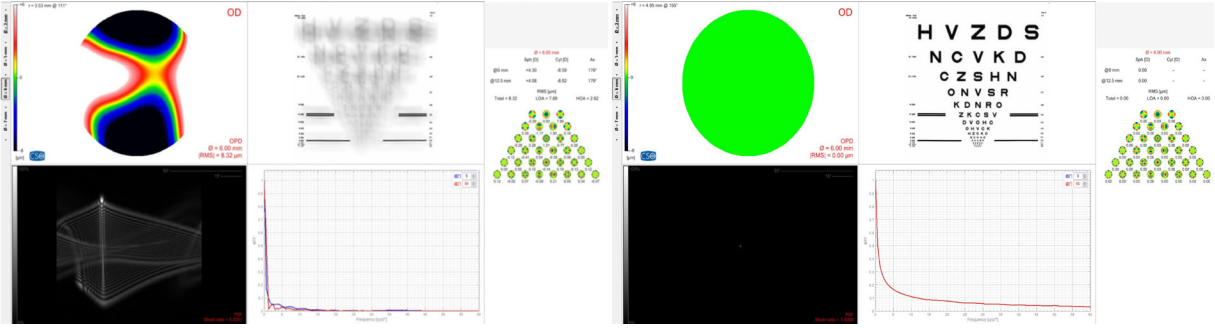
Bu haritanın prensibi, yükseklik haritasının prensibine çok benzer. Yükseklik haritasında, kornea bir referans yüzeye göre ölçülür. Göreceli pakimetride, korneanın kalınlık haritası, normal popülasyondaki

standart bir normatif kalınlık haritası ile karşılaştırılır. Göreceli pakimetri yüzde değerleri olarak görünür (Şekil 4.23,24). Standart haritadaki benzer alanlardan daha kalın alanlar pozitif değerlerle gösterilecektir ve bunun tersi de geçerlidir. Örneğin: +7 ve +9 değerleri standart haritadan sırasıyla %7 ve %9 daha kalındır ve değerler negatif olduğunda bunun tersi de geçerlidir. Genel olarak, -5 ile -8 arasındaki alanlar şüphelidir, -8'den küçük alanlar (örn.-10) anormaldir ve genellikle ektatik hastalıklar ile karşılaştırılır. Bu haritanın üç ana uygulaması vardır:

1. Refraktif cerrahi için yapılan çalışmalarda (Şekil 4.25).
2. Ektatik hastalıkları taklit eden durumlardan ayırt etmede
3. Holladay Raporunda



Şekil 4.24: En alt solda, Keratokonus hastasına ait rölatif pakimetri haritası (Sirius).



**Şekil 5.18:** Sirius topografi cihazından alınan optik kalite görüntülemesinde solda bir keratokonus hastasına ait diyagramlar yer alırken, sağdaki diyagramlarda aynı hastaya skleral kontakt lens uygulaması sonrasında meydana gelen optik kalitedeki dramatik düzelme görülmektedir.

pupil çapında elde edilir. Bu değerden daha dar ve daha geniş pupil çaplarında ise görüntü kalitesi daha bozuk olacaktır (Şekil 5.19).

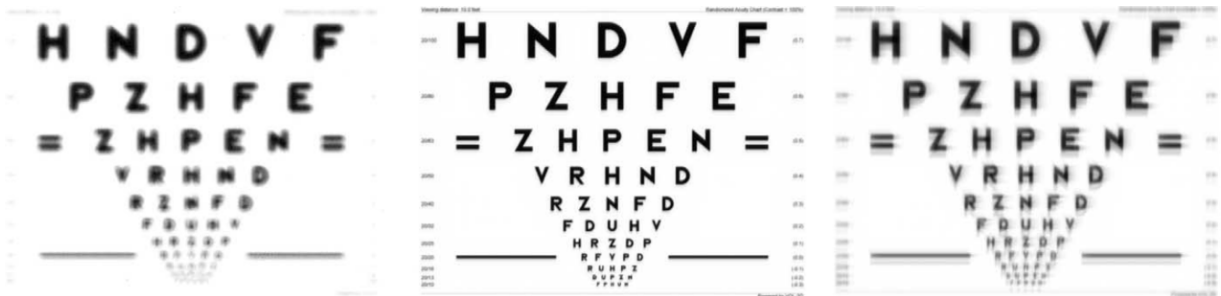
### Oküler Aberasyon Ölçümünü Etkileyen Faktörler

Korneal topografi cihazı veya oküler aberasyon cihazları ile yapılan wavefront ölçümlerini etkileyen bazı faktörler bulunmaktadır. Bunları sıralayacak olursak;

- **Yaş:** Yaşla beraber hem korneal hem de lentiküler faktörlere bağlı olarak oküler aberasyonlarda artış görülmektedir. Nitekim, genç yaşta korneal ve internal aberasyonlar arasında birbirini etkisiz hale getiren bir denge mevcuttur ve bu durum yaşla beraber sferik ve koma benzeri aberasyonlardaki artış ile beraber bozulmaktadır. Bu değişimden temelde kristalin lenste meydana gelen değişiklikler sorumludur. Kristalin lens gençlerde negatif sferik aberasyona sahiptir. Yaşla beraber lensteki değişimler nedeniyle gözün negatif sferik aberasyon değeri azalmakta hatta pozitif hale gelmektedir. Bu durum kontrast duyarlılıkta ve görsel kalitede azalma ile sonuçlanmaktadır. Ayrıca yaşla beraber kornea kurvatüründe artış

ve arka yüzey asferitesinde azalma meydana gelmektedir (22).

- **Pupil Boyutu:** Hem sferik hem de polikromatik aberasyonlar korneal ve lentiküler nedenlere bağlı olarak pupil genişledikçe artış göstermektedir. Normal emetrop bir göz için ideal pupil boyutu 3-3.2 mm olup daha küçük pupil çapı varlığında açıklığın kenarından kaynaklanan difraksiyon nedeniyle oküler aberasyonda artış meydana gelmektedir (23).
- **Akomodasyon:** Gözün uyum refleksi sırasında kristalin lensin şeklinde meydana gelen değişiklikler *defokus*, *astigmatizm* ve *sferik* aberasyon katsayılarını etkilemektedir; ancak bu değişim miktarı genellikle görüntü kalitesini bozacak düzeyde değildir (24).
- **Oküler patolojiler:** Optik aks üzerindeki korneal, lentiküler veya vitreus opasiteleri genel olarak yüksek sıralı aberasyonların birçoğunda artışa neden olmaktadır.
- **Geçirilmiş oküler cerrahiler:** İntraoküler lens cerrahisi ve keratorefraktif cerrahiler oküler aberasyon profilinde oldukça belirgin değişimlere neden olmaktadır.



**Şekil 5.19:** Normal bir göze ait retinal görüntü kalitesinin simülasyonu: Solda pupil çapı 1 mm iken görsel kalitesinin difraksiyon nedeniyle bir miktar bozulduğu izlenmektedir. Ortada difraksiyon ve aberasyonlar arasındaki ideal dengenin sağlandığı ve bu nedenle en net retinal görüntü kalitesinin elde edildiği 3 mm'lik pupil çapındaki görme kalitesi gösterilmiştir. Sağda ise pupil çapı 6 mm olan ve yüksek sıralı aberasyonlar nedeniyle bir miktar bozulmuş olan görüntü kalitesi simülasyonu yer almaktadır.



Ancak tahmin edileceği üzere bu parametrelerden pupil boyutu, akomodasyon gibi lentiküler ve postlentiküler faktörler korneal topografi cihazı ile alınan korneal wavefront ölçümlerini etkilemezler. Çünkü korneal topografi cihazı ile yapılan korneal wavefront analizleri temelde korneanın ön ve arka yüzeyinden elde edilen elevasyon verilerinin işlenmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır.

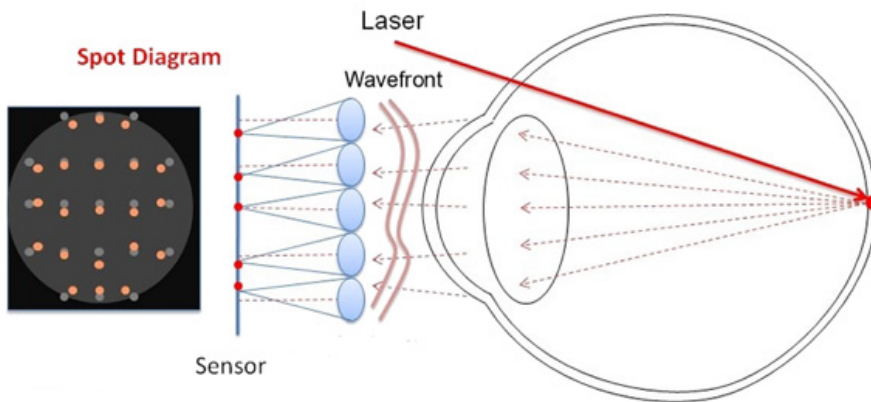
### Korneal Aberasyon ve Oküler Aberasyon Kavramları

*Korneal aberasyonların* klinik pratikteki karşılığı *oküler aberasyonlardan* farklıdır ve tam olarak birbirinin yerine kullanılamazlar. Ancak oküler aberasyonların görme kalitesi üzerine etkili olan ve klinik açıdan önemli kısmı çok büyük oranda kornea kaynaklı olduğundan; korneal wavefront ölçümleri ile görme keskinliğinin taklit edilmesi, MTF, PSF gibi parametreler eşliğinde gözün optik kalitesi hakkında yeterli veri elde edilebilmektedir. Bu sayede korneal wavefront ortadan kaldıran tedavilerin sonuçları görsel iyileşme açısından öngörülebilir hale gelmektedir (25). Ancak yine de internal aberasyona neden olan kristalin lens ya da vitreus seviyesinde opasite varlığı durumlarında bu ölçümlerin doğruluk payı azalmaktadır. Korneal wavefront analizinde 3 mm ile 8 mm arasında tercih edilen pupil boyutuna göre analiz yapılabilmektedir. Hali hazırda birçok korneal topografi cihazında hastanın *skotopik*, *mezopik* ve *fotopik* koşullarda pupil boyutunu değerlendirmeyi sağlayan *pupillografi* modülü de bulunmaktadır.

Herhangi bir optik sistemdeki aberasyonları ölçmek için farklı fizik prensipleri ile çalışan birden fazla yöntem vardır. Oküler aberasyonları ölçmek için en yaygın kullanılan tekniklerden biri *Hartmann-Shack* prensibidir (26). Buna göre retinadan

yansıyarak gözü terk eden ışınlar aberometri cihazı tarafından 2 farklı lens düzleminde, farklı desenlere transfer edildikten sonra analiz edilir ve böylece oküler wavefronttaki sapma miktarı tespit edilmiş olur (Şekil 5.20).

Bir diğer yaygın yöntem ise *ray-tracing* olarak adlandırılır. Bu yöntemde ise gözün optik aksına paralel tek bir ince lazer ışını gönderilir ve retina üzerindeki noktasal dağılım paterni milisaniyeler içinde analiz edilir (27). Böylece gözün wavefront deseni ortaya çıkarılır. Ancak topografi temelli korneal aberasyon ölçümünde tamamen farklı bir teknik kullanılır. Topografi cihazları direkt olarak retinadan gelen ışınları değerlendirmek yerine *korneal elevasyon haritalarından* yola çıkarak korneal wavefrontu hesaplar. Marcos ve ark. Optik Yol Farkı (OPD; Optical Path Difference) kavramı ile korneal aberasyon ölçüm prensibini şematize etmişlerdir (28). Buna göre eğer korneanın şekli düzgün ve internal aberasyonlar önemsiz derecede az ise, foveadan yansıyan ışınlar korneayı terk ettikten sonra da düzgün bir wavefront oluşturmaktadırlar. Ancak kornea eğimi normalden daha dik olduğunda bu dikleşme miktarının mikrometre cinsinden üçte biri kadar mesafede korneal wavefront düzleminde de sapma olduğu tespit edilmiştir. Korneal elevasyon miktarına göre belirlenen ve *3'ler kuralı* olarak adlandırılan bu fenomen neticesinde meydana gelen ideal wavefront düzlemindeki sapma miktarına OPD denilmektedir ve RMS birimi olarak ölçülmektedir (Şekil 5.21). Bu prensibe göre, spesifik bir aberasyonu düzeltmek için korneal kurvatürde ne kadar değişim yapılması gerektiği veya gerekli olan stromal incelme miktarı hesaplanabilmektedir. Dolayısı ile bu prensip kişiye özel ya da *wavefront-kılavuzlu* korneal tedavilerin de temelini oluşturmaktadır. Korneal topografi cihazlarından elde edilen Zernike Polinomal açılımının ta-



**Şekil 5.20:** Hartmann-Shack prensibinin şematize edilmiş görüntüsü. Buna göre, göz içerisine optik aks dışından gönderilen lazer ışınının retinal düzlemden yansıyarak oluşturduğu spot diyagramı cihaz içerisindeki sensör tarafından analiz edilerek wavefront haritası şeklinde raporlanır.



Dr. Züleyha YALNIZ AKKAYA, Dr. Koray BUDAK

Topografi sistemlerindeki gelişmelere bağlı olarak LASIK sonrası ektazi yıllar içinde 30. 000 gözün analizine göre %0,03'e kadar düşmüş olmasına rağmen refraktif uygulamaların sağlam göze yapılması ve hasta beklentisinin yüksek olmasından dolayı refraktif cerrahi sonrası gelişebilecek komplikasyonlardan ve dolayısıyla da medikolegal sorunlardan kaçınmak oldukça önemlidir (1). Bu nedenle refraktif cerrahinin en ciddi geç dönem komplikasyonu olan ektaziden kaçınmak için kornea topografisi ile erken keratokonus ve ektazi geliştirme riski olan hastalar tespit edilmelidir.

Ektazi genellikle LASIK sonrası görülse de daha seyrek olarak yüzeysel ablasyonlarını takiben de görülebilmektedir. Son yapılan meta-analiz çalışmasına göre preoperatif risk faktörü olmayan olgularda post-LASIK ektazi 90/100.000, post-PRK ektazi 20/100.000 post-SMILE ektazi ise 11/100.000 oranlarında görülmektedir (2). SMILE ektazi gelişimi açısından en düşük orana sahip olsa da FDA onayı aldıktan sonra yapılan vakaların tümünün rapor edilmediği düşünülünce SMILE sonrası ektazi insidansının daha yüksek olması olasıdır.

Keratokonusun 1935-1982 yılları arasındaki kayıtlara göre ABD'deki prevalansı 1:2000'dir (3). Ancak günümüzde teknolojik gelişmeler sayesinde keratokonusa erken evrede tanı konmaktadır. Son yıllarda yapılan bir araştırmaya göre Hollanda'daki prevalans 1:375'tir.[4]2003'te yayınlanan bir makaleye göre refraktif cerrahi öncesi keratokonus oranı 13:1392 olarak bildirilmiştir (5).

Normal insanların kornealarının 1/3'ünde az miktarda asimetri mevcut olduğu bilinmektedir (6). Bu nedenle güç haritalarında şüpheli bulgular olmasına rağmen normal olan hastalar ayırt edilerek onlara refraktif cerrahi şansı verilmelidir. Bilgihan ve ark. yaptıkları bir çalışmada preoperatif dönemde inferiora dikleşme bulunan 6 hastada PRK'dan ortalama 44,5 ay sonra ektazi gelişmediğini bildirmişlerdir (7). Bir başka çalışmada ise LASIK yapılan 9700 göz arasında birden çok risk faktörüne sahip olan 7 gözde ektazi gelişmezken ameliyat öncesi risk faktörü bulunmayan 3 gözde ise ektazi gelişmesi üzerine ektazi

gelişiminde farklı parametrelerin de rolü olabileceği şeklinde yorum yapılmıştır (8).

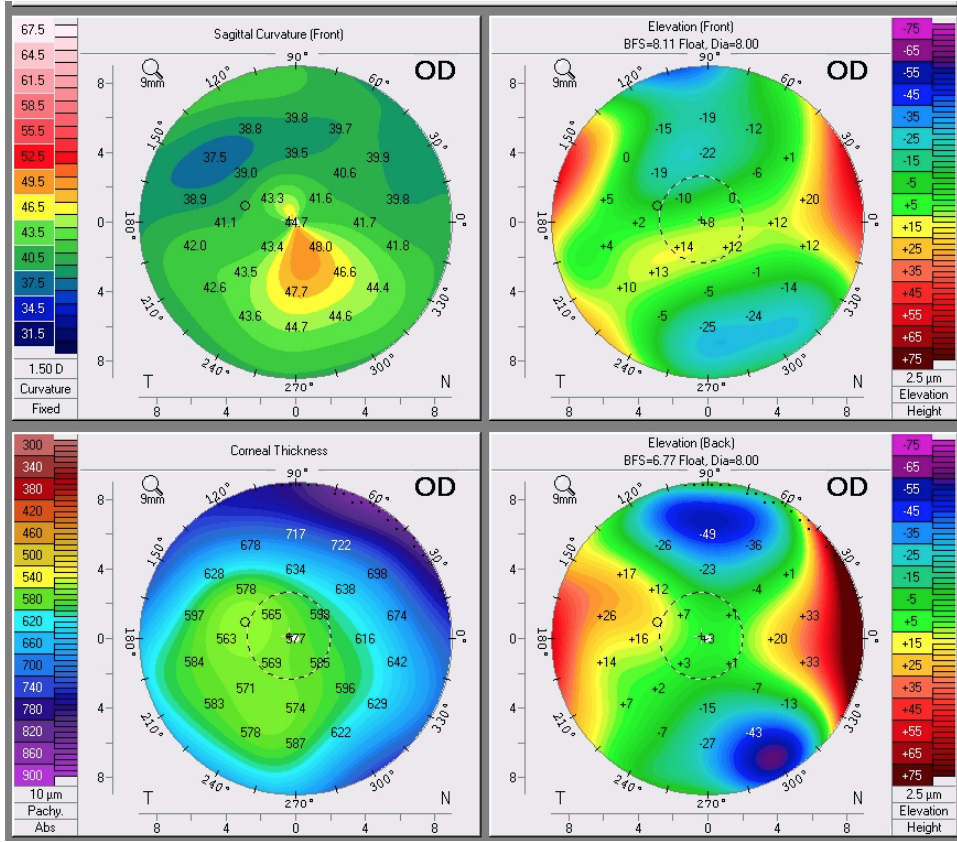
Refraktif cerrahi öncesi preoperatif dönemde, korneada skar dokusu (Şekil 8.1) gibi düzensiz astigmatizmaya neden olan diğer nedenlerin de tanınması önemlidir. Kontakt lense bağlı korneada gelişen 'warp'ın tespit edilmesi ve "warp" düzeldikten sonra çekimlerin tekrar edilmesi önemlidir.

Preoperatif dönemde, erken keratokonusu, refraktif cerrahi sonrası ektazi geliştirme riski olan hastaları, korneada "warp", diğer irregüler astigmatizma nedenlerini ve atipik topografik bulgulara sahip normal korneaları ayırt etmek için topografi-tomografi sistemlerini kullanmak elzemdir. Doğrudan kornea eğimini ölçen topografiler, yüksekliği değerlendiren tomografiler, ön segment OKT ve epitel haritası, çok hızlı frekanslı ultrason, biyomekanik ölçümler ve wavefront analizini kapsayan multimodal değerlendirmeler bu açıdan en iyisidir. Ancak topografi-tomografi sistemleri en yaygın kullanılan ve elzem olan cihazlardır.

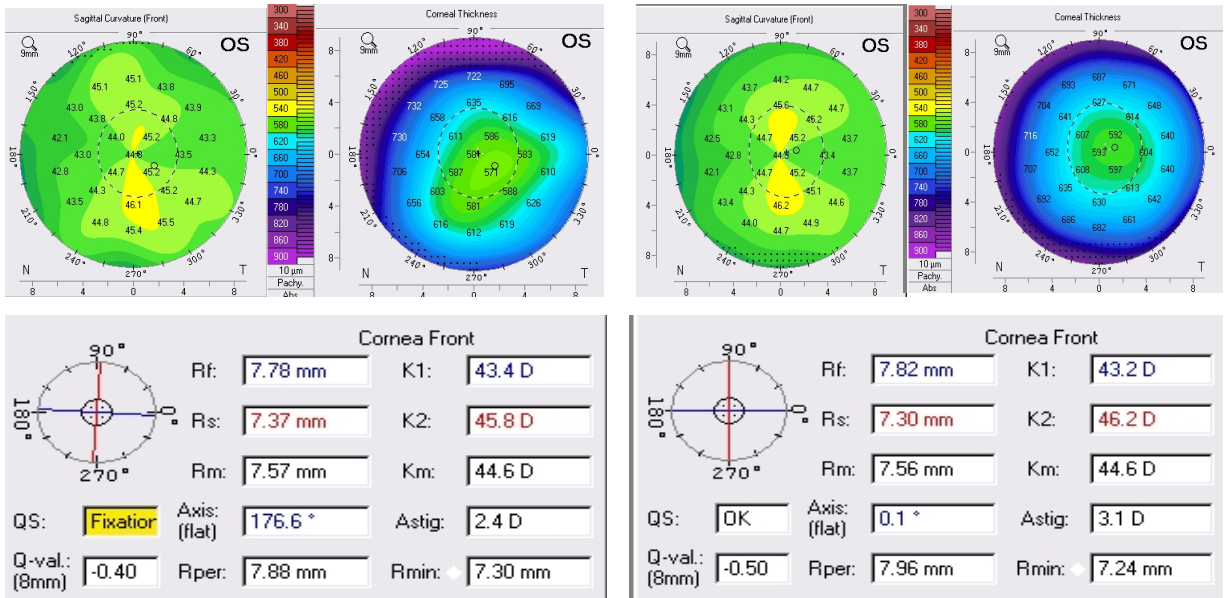
### Artefaktlar

Bir topografi haritasının doğru olarak değerlendirilebilmesi ve farklı zamanlarda çekilen haritaların karşılaştırılabilmesi için öncelikle yapılan çekimlerin güvenilir olması gerekir. Çekimler sırasında yapılan hatalar bazı artefaktlara neden olabilir. Hizalama ve odaklama hataları normal korneanın topografisini olduğundan farklı gösterir. Hasta bakışını hedefe tam olarak fikse etmeli ve cihaz göze merkezlenmeli ve odaklanmalıdır. Hizalamadaki ufak hatalar irregülarite ve asimetrik paternlere neden olabilir (9). Şekil 8.2 ve 3'te bakışını hedefe yönlendirmesi gerekirken aşağıya yönlendiren iki hastanın aksiyel/sagittal güç haritasında asimetrik papyonun doğru fiksasyonla simetrik papyon şeklini aldığı görülmektedir.

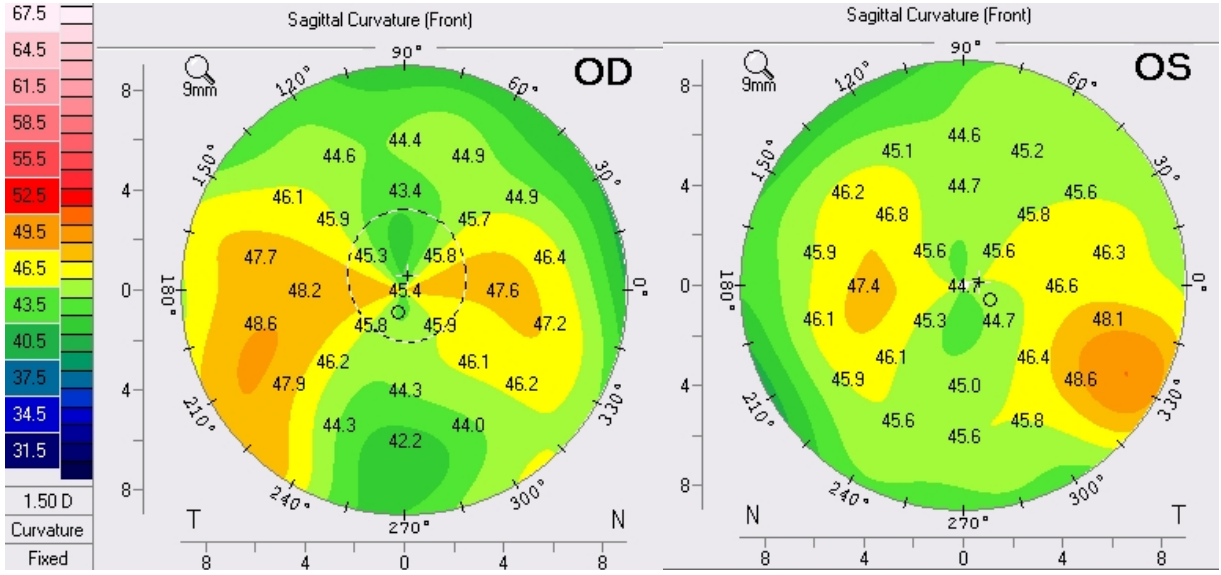
Yansıma prensibiyle çalışan videokeratoskoplarda görüntü gözyaşının yüzeyinden yansıdığından haritanın doğru olarak oluşturulabilmesi için gözyaşı yüzeyi düzgün olmalıdır (10). Gözyaşı düzensizliğinin olduğu bölgeden olan yansımaların kalitesi düşse-



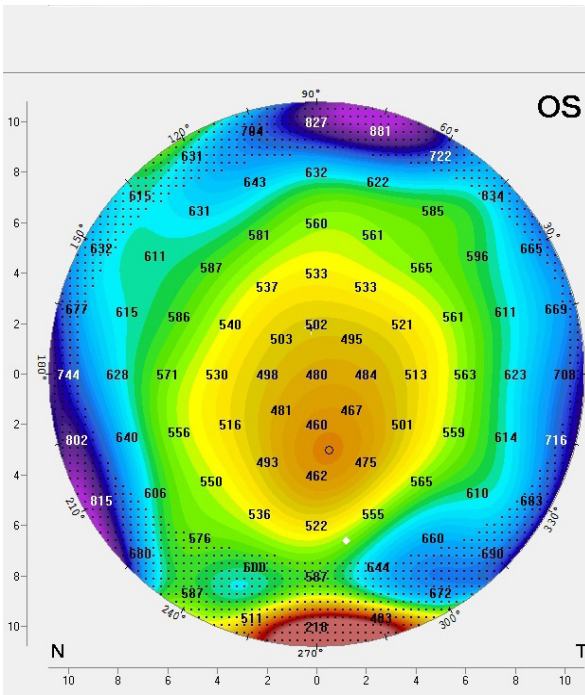
**Şekil 8.1:** Dörtlü harita görüntüsü (Pentacam). Ön stromal skar nedeniyle üst temporaldeki düzleşmeye eşlik eden alt nazale doğru dikleşen asimetrik papyon şekli ön elevasyon haritasında minimal yükselme olsa da arka elevasyon haritası normaldir.



**Şekil 8.2:** Aynı hastaya ait ardışık iki çekime ait görüntüler (Pentacam). Soldaki topografide hastanın hatalı fiksasyon yaptığı sıarı ile işaretli QS değerinden anlaşılmaktadır. Hasta doğru fiksasyon yaptığında papyon simetrik papyon şeklini almaktadır. Kalınlık haritasındaki halkalar da düzelmektedir.



**Şekil 8.18:** Ön aksiyel / sagittal topografi haritaları (Pentacam). Kurala aykırı astigmatizmanın şekli yatay papyondur. Yatay papyonun uçlarının inferiora doğru sarkması PMD başlangıcını temsil edebilir.



**Şekil 8.19:** Pellucid marjinal dejenerasyonlu bir olguya ait korneal pakimetri haritası (Pentacam). Bu olgularda merkezi kısımdaki incelmeye ilave olarak genelde inferiora limbustan 1 mm uzaklıkta ikinci bir incelmeye noktası vardır.

geridir (19). Santral K değerinin 47,2 D'den yüksek, I-S değerinin 1,2'den yüksek olması, SRAX'ın 21°den yüksek olması keratokonus hastalarının %98'ni ayırt etmektedir (19). KISA değeri merkezi Keratometrik güç, I-S değeri, SRAX (dik radyal aksın relatif eğimi/

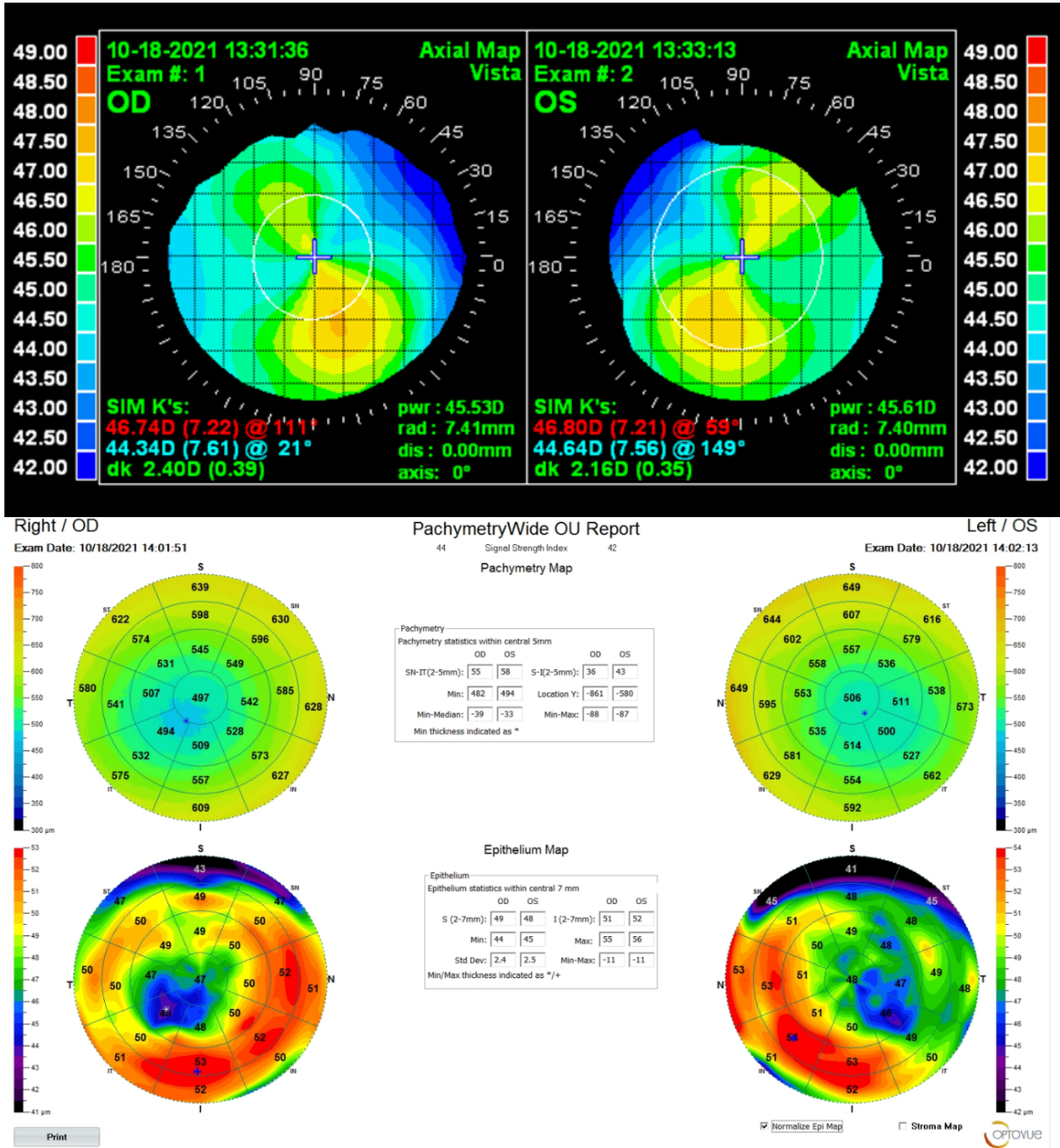
skewed radial axis), keratometrik Astigmatizmadan elde edilir.

Ardından Rabinowitz ve Rasheed olgularının %99,6'sında doğru tanının konmasını sağladığı bildirilen KISA% indeksini geliştirmişlerdir. Bunun hesaplanmasında KISA'nın hesaplanmasında kullanılan parametreler ek olarak modifiye Rabinowitz-McDonnell (K değeri ve I-S değeri) ve Maeda-Klyce (keratokonus tahmin indeksi [KCI] ve KCI%) indeksi kullanılmıştır (20).

Erken keratokonusu koni tepesindeki epitel incelmesi ve koni tabanındaki epitel kalınlaşması şeklinde kendini gösteren epitel şekillenmesi nedeniyle ön yüzeydeki dikleşme maskelenmektedir. OKT temelli cihazlarla epiteldeki bu değişikliklerin erken keratokonus tanısında kullanılabileceği (Şekil 8.20) ve Epitel Patern Standart Deviasyonun (PSD) en yararlı parametre olduğu rapor edilmiştir (21).

Orta ve ileri keratokonusun topografik bulguları tipik iken (Şekil 8.21) normal kornea ile erken keratokonus arasında keskin bir sınır yoktur ve farklı çalışmalarda çeşitli parametreler için çeşitli farklı 'cut off' değerler tespit edildiğinden erken keratokonusun tanısını koymak zor olabilmektedir. Ektazi risk faktörü bulunduğu halde ameliyat sonrasında ektazi geliştirmeyen hastalar olduğu gibi risk faktörü olmadığı halde ektazi gelişen hastalar da vardır. Lazer refraktif cerrahi sonrası ektazi riski geliştirme riski olan olguları belirleyen ideal bir yöntem henüz yoktur. Bu nedenle hikâyeyi derinleştirerek ve diğer muayene bulgularıyla birlikte değerlendirme yaparak karar verilmelidir (16, 22).





**Şekil 8.20:** Korneal epitel kalınlık haritaları (Optovue). Sağ ve sol gözün alt temporalinde ada şeklinde epiteldeki incelleme mavi renkle kodlanmıştır.

Keratokonus hastalarında aile hikayesi %5-25 pozitif olduğundan refraktif cerrahi aday bireyin aile hikayesi mutlaka sorgulanmalıdır (23). Çevresel faktörler arasında göz kaşımının keratokonusu indüklediği klasik bir bilgidir. Son yıllarda ise yüzüstü uyumaya bağlı göze basının da keratokonusa neden olduğu ile ilgili giderek artan sayıda makale yayınlanmaktadır (24). Bu nedenle göz kaşıma ve yüzüstü yatma hikaye alırken sorgulanmalıdır.

Muayeneye inspeksiyonla başlanmalı, Down sendromu, Marfan sendromu, atopik dermatit gibi

fenotipik özelliklere dikkat edilmelidir. Muayenenin devamında keratokonus ve post-LASIK ektazili olguların yarıya yakınında gevşek göz kapağı sendromu olduğu rapor edildiğinden kapaklar bu açıdan muayene edilmelidir (25). Biyomikroskopik muayenede kornea keratokonus lehine olan bulgular açısından incelenirken, kurala aykırı astigmatizmada inferior limbuse 1 mm uzaklıkta incelleme olup olmadığına slıt ışıkla bakılmalıdır. Eşlik eden alerjik reaksiyon açısından tarsal konjonktivaya bakılmalıdır. Fundus muayenesi preoperatif değerlendirmenin vazgeçil-

# BÖLÜM 14

## KONTAKT LENS UYGULAMALARINDA TOPOGRAFI

Dr. Sibel KOCABEYOĞLU, Dr. Özlem DİKMETAŞ

Görme keskinliğinin arttırılması amacıyla kontakt lens (KL) kullanımına karar verilmesi durumunda, iyi bir görme keskinliğinin yanı sıra hastanın konforu ve iyi bir kornea uyumu da hedeflenmelidir. Bu amaca ulaşabilmek ancak KL muayenesinde son teknolojileri bilinçli bir şekilde kullanarak ve uygulama tekniklerini dikkate alarak mümkün olabilecektir. KL'lerin kullanıma girdiği ilk yıllarda görme kalitesini daha iyi arttıran ancak kornea üzerine olumsuz etkileri olabilen polimetilmetakrilat (PMMA) KL'ler kullanılırken, günümüzde korneaya uyumu daha iyi olan yumuşak ve rijit gaz geçirgen KL'ler geliştirilmiştir.

Kontakt lens uygulamaları sırasında keratometri kullanımı ve korneanın 3,06 mm'lik santralinden elde edilen K değerleri hastanın ortalama kornea eğriliği ile uyumlu olabilmektedir ancak merkezi kornea dışında kalan düzensizlikler korneal floresein paterninde bozulmaya veya KL'den beklentileri karşılamada yetersiz kalmaya neden olmaktadır. Yanlış KL uygulamaları da çok ciddi korneal hasarlara ve hasta konforsuzluğuna yol açabilmektedir. Bu nedenle kornea periferi hakkında da bilgi sahibi olmamızı sağlayan kornea topografi sistemlerinin kullanımı günümüzde KL pratiğinde hayli önem kazanmıştır.

### Normal Kornea

Daha önceki bölümlerde detaylı olarak anlatıldığı üzere, normal korneanın şekli asferiktir (1). Santral 6mm'lik kısım korneal kep olarak bilinen sferik kısımdır. Korneal kurvatur korneanın periferine doğru düzleşmektedir. Bu nedenle kornea prolat asferik bir yüzeydir. Ön kornea yüzeyi santralde vertikal kadranda biraz daha dik olup prolat asfer yapıya sahiptir (2). Bu prolat yapı sferik aberasyonları azaltmaktadır. Asferik yapı, optik olarak faydalı olmakla birlikte uygulanacak KL'lerin yapısını daha karmaşık hale getirebilmektedir. Bunun sonucu olarak KL'ler; santral optik bölümleri ile lensin hareket ve pozisyonu için önemli olan periferik bölümlerinden oluşmaktadır (3). Normal bir popülasyonda kornea boyutu ile kornea şekilleri (astigmatizma, kapakların etkisi ve

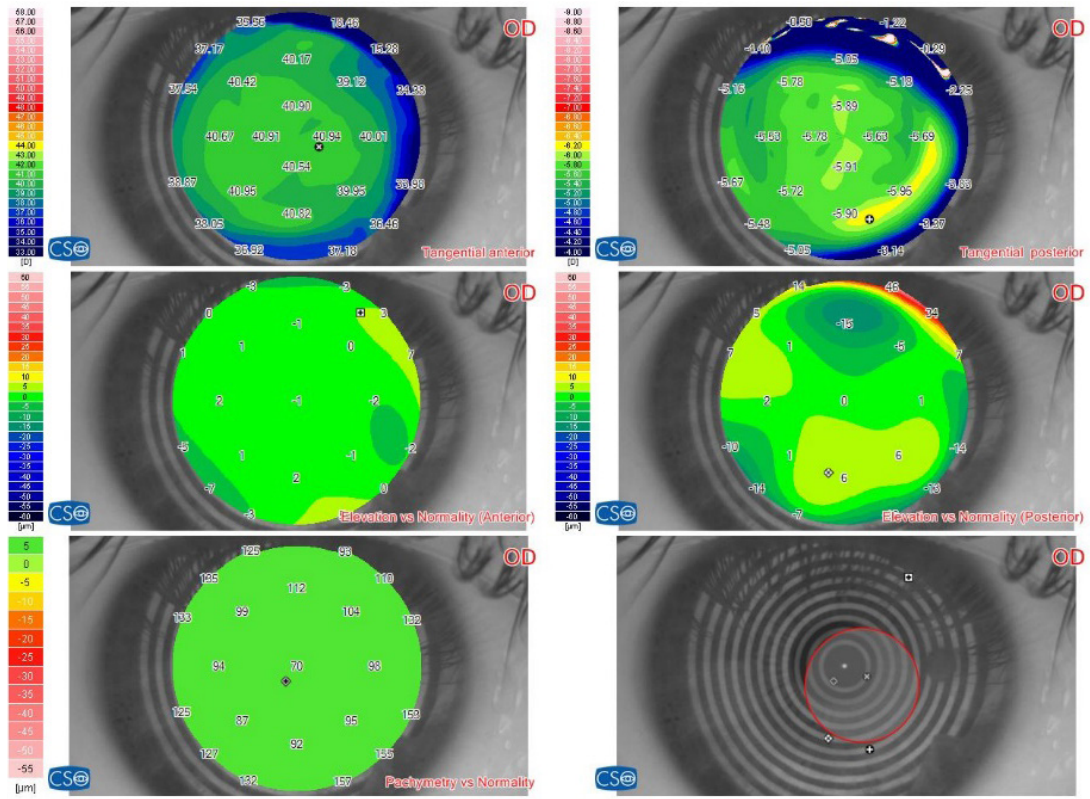
diğer nedenlere bağlı olarak) bireyler arasında ciddi değişkenlik gösterebilmektedir. Korneal topografi KL uygulaması sırasında korneadaki bu farklılıkları göstermek için klinik pratiğimizde oldukça önemli bir yere sahiptir (Şekil 14.1).

### Kontakt Lensler, Tipleri ve Dizaynları

Kontakt lensler ilk kez 1950'lerde kullanılmaya başlandığında kornea ön yüzeyi ile KL arka yüzeyi arası kurvatur eğimi kavramı ortaya çıkmıştı (4). İlk üretilen KL'ler PMMA materyalinden üretilmiş olup uzun dönemde oksijen geçirgenliği yetersiz olduğundan günümüzde artık tercih edilmemektedirler (4). Sert materyallerin yüksek oksijen geçirgenliği ile birleşmesi rijit gaz geçirgen lensler ile olmuştur. Bu KL'ler düzenli ve düzensiz astigmatizmanın düzeltilmesinde hayli etkili olmaktadır (4-7). 1970'li yıllarda yumuşak KL'lerin üretilmesi ile KL pratiğimiz ciddi anlamda değişime uğramıştır. Oküler enfeksiyonlar açısından risk taşımalarına rağmen yumuşak KL'ler kullanım kolaylığı ve rahatlığı nedeniyle günümüzde sıklıkla tercih edilmektedirler (8-10).

Geleneksel yöntemlerle KL uygulaması halen altın standart olsa da, yeni kornea topografi sistemleri ile gerçek kornea şekline ulaşabiliyor olması nedeniyle KL uygulamalarında topografik analizlerin de kullanımı uygun lensi bulmada oldukça fayda sağlamaktadır (5, 6). Kornea topografisi ön korneal yüzeyin konfigürasyonu hakkında daha detaylı bilgi vermesinin yanı sıra, rijit gaz geçirgen KL'lerin arka yüzey tasarımlarının standart değerler dışında da üretiliyor olmasını ve irregüler kornealara da uygulanabiliyor olmasını sağlamaktadır (7).

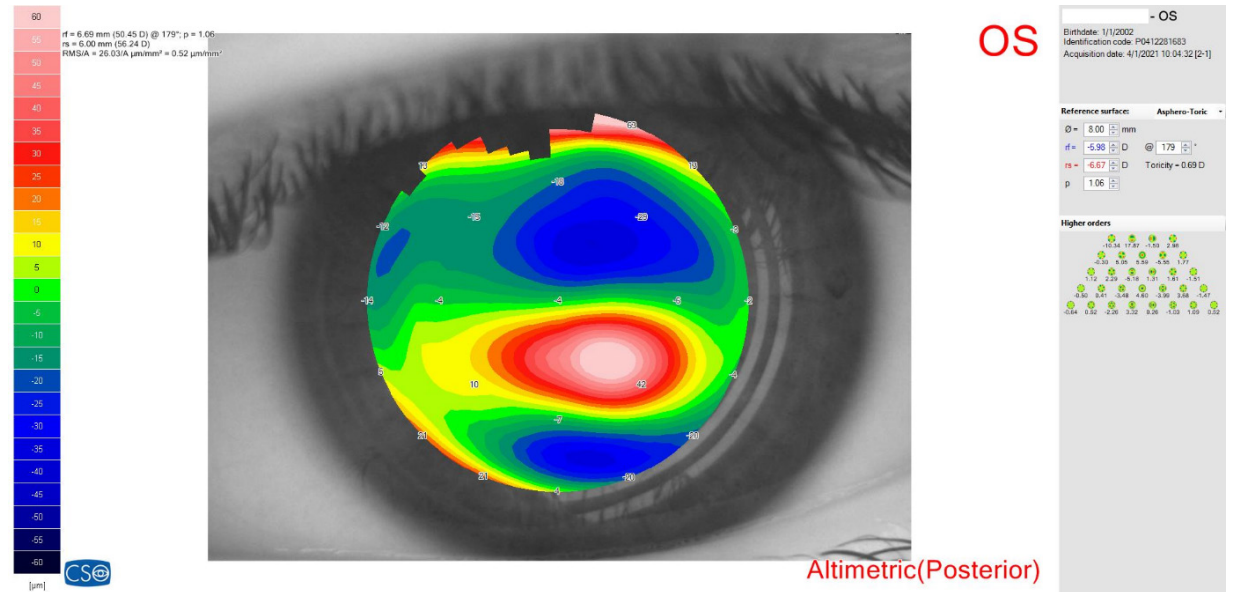
Son yıllarda KL tasarımlarında da önemli gelişmeler yaşanmıştır. Bunlar, kenar kalkıklığının azalması ile hasta konforunun artması ve oksijen geçirgenliği yüksek olan materyallerin kullanılması ile arka optik zon çapının da daha iyi ayarlanarak, pupil örtme veya irregüler kornealarda yüzey stabilitesinin artması şeklindedir (7, 11, 12). Bir KL'nin arka yüzeyinin şekli KL'nin temel eğimini tanımlar. Temel eğim, ikiveya daha fazla farklı radiusun kom-



Şekil 14.1: Normal bir korneaya ait korneal topografi görünümü (Sirius).

pozisyonu olarak oluşturulmaktadır (3). Kontakt lensin santral zonu, arka optik radiusun kurtatürünü tanımlamakta olup optik olarak oldukça fazla öneme sahiptir. Periferik zonlar korneanın prolat şeklinin akomodasyona olan etkisinden dolayı daha düz kurtatürüdür. Kenar kalkıklığı arka optik radiustan bağımsız olabilir (6). Kontakt lensin temel eğrisi ve kor-

nea arası ilişki torik veya bifokal KL'ler gibi özellikli KL'lerin ayarlanmasında komplike bir hal almaktadır. Son dönemlerde KL uygulamalarında kullanılan topografi sistemleri lens arka yüzey uyumunu ve aynı zamanda periferik uyumu değerlendirmeyi de kolaylaştırmaktadırlar (Şekil 14.2), (7, 11, 12).



Şekil 14.2: Kontakt lens uygulamaları sırasında posterior korneanın ve aberasyonların korneal topografi yardımı ile değerlendirilmesi (Sirius).