



TC
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
GÖZ HASTALIKLARI ANABİLİM DALI

**MİDRİYAZİS VE MİYOZİS İLE GÖZÜN ÖN SEGMENT
YAPILARINDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLER, BU
DEĞİŞİMLERİN AKOMODASYON MEKANİZMASINDAKİ
ROLLERİ**

Dr. Özgür Bülent TİMUÇİN

UZMANLIK TEZİ

BURSA - 2008



TC
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
GÖZ HASTALIKLARI ANABİLİM DALI

**MİDRİYAZİS VE MİYOZİS İLE GÖZÜN ÖN SEGMENT
YAPILARINDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLER, BU
DEĞİŞİMLERİN AKOMODASYON MEKANİZMASINDAKİ
ROLLERİ**

Dr. Özgür Bülent TİMUÇİN

**Danışman:
Doç. Dr. Mehmet BAYKARA**

BURSA - 2008

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	3
TÜRKÇE ÖZET.....	4
İNGİLİZCE ÖZET.....	6
GİRİŞ.....	8
Genel Bilgiler.....	9
GEREÇ ve YÖNTEM.....	27
BULGULAR.....	32
TARTIŞMA ve SONUÇ.....	42
KAYNAKLAR.....	50
TEŞEKKÜR.....	59
ÖZGEÇMİŞ	60

ÖZET

Akomodasyon sırasında ön segment yapılarında meydana gelen değişiklikler tartışmalıdır. Biz bu çalışmada akomodasyonun ön segment yapılarında oluşturduğu değişiklikleri duyarlı bir ölçüm yöntemi olan Pentacam® (Oculus Inc., Almanya) cihazıyla incelemeyi amaçladık.

Bu çalışma, yaşları 7 ile 25 yıl arasında değişen ve sağlıklı gözleri olan 40 gönüllü bireyi içerdi. Akomodasyonun sağlanması için, her iki göze de kolinerjik bir ajan olan %4'lük pilokarpin hidroklorür, akomodasyonu ortadan kaldırmak için anti-kolinerjik bir ajan olan %1'lik siklopentolat hidroklorür damlatıldı. Bazal durumda ve ilaçlar damlatıldıktan 60 dk sonra, Pentacam cihazıyla çeşitli korneal parametreler (ön/arka aksiyel ve tanjansiyel kurvatür, ortalama keratometri, kornea kalınlığı, kornea hacmi), ön kamara derinliği ve pupil çapı ölçüldü. Böylece her iki göze ait, üç farklı durumda toplam 240 ölçüm elde edildi. Bu ölçümlerle elde edilen veriler istatistiksel olarak karşılaştırıldı.

Kırk bireyin 22'si kadın, 18'i erkekti; ortalama yaşları 15.1 ± 3.9 yıldır. İki grup arasındaki karşılaştırmalarda, midriyatik siklopentolat uygulanan gözlerde miyotik pilokarpin uygulanan gözler ve ilaçsız bazal duruma kıyasla, ortalama keratometri, ön/arka merkez aksiyel kurvatür ve kornea ön yüzey astigmatizma değerlerinde anlamlı azalma, ön kamara derinliği, kornea tepe noktası kalınlığı, pupil merkez kalınlığı, en ince kornea yeri kalınlığı, kornea hacmi ve pupil çapı değerlerinde anlamlı artış vardı (Mann-Whitney U testi, $P < 0,05$). Ön/arka tanjansiyel kurvatür değerlerinde ise anlamlı farklılık saptanmadı (Kruskal Wallis testi, $P > 0,05$).

Akomodasyon sırasında ön kamara derinliği ve pupil çapında anlamlı azalma mevcuttur. Akomodasyonun yol açtığı korneal parametre değişikliği saptanmadı.

Anahtar Kelimeler: akomodasyon, korneal kurvatür, korneal kalınlık, miyozis, midriyazis

SUMMARY

CHANGES OCCURRED IN THE ANTERIOR SEGMENT OF THE EYE DURING MIOSIS AND MYDRIASIS, THE ROLES OF THESE CHANGES IN ACCOMMODATION PROCESS

Changes occurred in anterior segment structures during accommodation are controversial. In this study we aimed to assess the changes occurred in anterior segment structures due to accommodation, with a sensitive measurement method, the Pentacam® (Oculus Inc., Germany).

This study included 40 volunteers with healthy eyes, whose ages varied between 7 – 25 years. In order to obtain accommodation 4% pilocarpine hydrochloride, a cholinergic agent, was administered and in order to inhibit accommodation 1% cyclopentolate hydrochloride was administered to both eyes. Various corneal parameters (front/back axial and tangential curvature, mean keratometry, corneal thickness, corneal volume), anterior chamber depth and pupil diameter were measured with the Pentacam at baseline and 60 minutes after administrations of drugs. A total of 240 measurements of both eyes were thus obtained in three different conditions. Data obtained from these measurements was statistically compared.

Twenty-two of 40 individuals were female and 18 were male; their mean ages were $15,1 \pm 3,9$ years. In comparing between two groups, cycloplegic mydriatic eyes compared to accommodated miotic eyes and baseline had a significant reduction in mean keratometry, axial curvature of the anterior/posterior cornea and anterior corneal surface astigmatism readings and had a significant increase in anterior chamber depth, corneal vertex point thickness, pupil center thickness, thinnest corneal point thickness, pupil diameter and corneal volume readings. (Mann-Whitney U test, $P < 0,05$). No significant difference was found in tangential curvature of the anterior/posterior cornea readings (Kruskal Wallis test, $P > 0,05$).

A significant reduction was evident in anterior chamber depth and pupil diameter during accommodation. No significant corneal parameter changes were detected resulting from accommodation.

Key words: accommodation, corneal curvature, corneal thickness, miosis, mydriasis

GİRİŞ

Akomodasyon sırasında gözde meydana gelen değişiklikler tartışmalıdır. Bazı yazarlara göre sadece kristalin lenste değişiklik olur (1-3). Diğer yazarlar ise kornea topografisinde de değişiklik olduğunu öne sürmektedir (4,5). Akomodasyonun kornea ve diğer ön segment yapılarında uyardığı değişiklikleri belirlemek için yapılan önceki çalışmalar özellikle korneal topografisiyle ilgili ölçüm tekniklerinin yetersizliğinden dolayı sınırlı kalmıştır. Kornea ve ön segmentin diğer yapıları üzerinde keratometre ve fotokerotoskop kullanılarak yapılan çalışmalarda çelişkili sonuçlar elde edilmiştir (6-8).

Bazı yazarlar akomodasyon sırasında kornea topografisinde değişiklik olmadığını öne sürmektedirler(1-3). Buna karşılık diğer yazarlar, keratometri ile akomodasyon sırasında korneada tanjansiyel eğrilikte artma ve temel kornea meridyenlerinden en az birinde topografik farklılıklar saptamıştır (4,9). Yasuda ve ark. da akomodasyon sırasında korneal kurvatürde dikleşmenin arttığını savunmaktadırlar. (5,10). Schachar ise tam aksine AKM sırasında korneanın düzleştiğini öne sürmektedir (11).

Pentacam (Oculus Inc, Almanya) dönen Scheimpflug kamera kullanarak gözün ön segmentini görüntülemeye yarayan bir korneal topografi cihazıdır. Döner kamera gözün ön segmentine ait aynı anda çok sayıda kesit görüntü alabilmektedir (12 – 50 adet). Aynı sistem korneanın nonkontakt kalınlık ölçümlerini de yapmaktadır. Bu aletle korneal kalınlık (KK), kornea tepe noktası (KTN) , pupil merkezi ve korneanın en ince olduğu yer (EİK) ölçümleri yapılabilir. Pentacam santral KK ölçümünde ultrasonik pakimetriden daha hassas biçimde ölçüm yapılabilir (12-16). Pentacam yeni bir cihaz olduğu için üzerinde birçok güvenilirlik çalışması yapılmıştır(12-23). Bu cihazla yapılan santral KK ve ön kamara derinliği (ÖKD) ölçümleri çok güvenilir biçimde saptanmıştır (12-23). Buna karşın diğer ön segment yapılarıyla ilgili güvenilirlik çalışmaları yoktur.

Akomodasyon sırasında ön segment derinliği, açı değişimleri, lens kalınlığı gibi bilinen değişimlerin yanında göreceli olarak daha ufak

değişimlerin saptanması keratometre veya fotokerotoskop gibi aletlerle sınırlı kalmaktadır. Akomodasyon sırasında ön segment yapılarında özellikle korneada meydana gelen şekil değişikliği tartışmalıdır. Bu tartışmalara katkıda bulunmak için ön segment yapılarında oluşan değişiklikleri duyarlı bir ölçüm yöntemi olan Pentacam cihazıyla belirlemeyi amaçladık.

GENEL BİLGİLER

Akomodasyonun Tanımı

Kırılma kusuru olmayan bir gözde sonsuzdan gelen ışınlar retinada odaklaşır. Cisim 6 metreden yakına geldiğinde görüntü retinada odaklaşmaz. Odaklaşma işleminin oluşması için kırıcı gücün artması gerekir. Bu işlem için uzaklık ayarlaması yapılmasına akomodasyon denir.

Bilim adamlarının 400 yıldan fazladır ilgisini çeken akomodasyon ilk defa 1619 da Scheiner'in aktif bir odaklanma mekanizmasının varlığından bahsetmesi ile başlamıştır (24,25). Descartes ise doğru bir tahmin ile bu odaklanma yeteneğinin göz içindeki kristalin lensin şekil ve güç değişikliğiyle oluşabileceğini öne sürmüştür. Bu doğru tahmini bilimsel olarak doğrulamak için dört yüzyıl kadar beklemek gerekmiştir. 1855 yılında Helmholtz kendi adıyla anılan akomodasyon teorisini ortaya atmıştır (26,74). Gullstrand, Glasser ve ark. deneysel modellerde bu kuramı destekleyen kanıtları sunmuşlardır (27,28) .

Akomodasyon Mekanizmasında Rol Alan Anatomik Yapılar

Lens

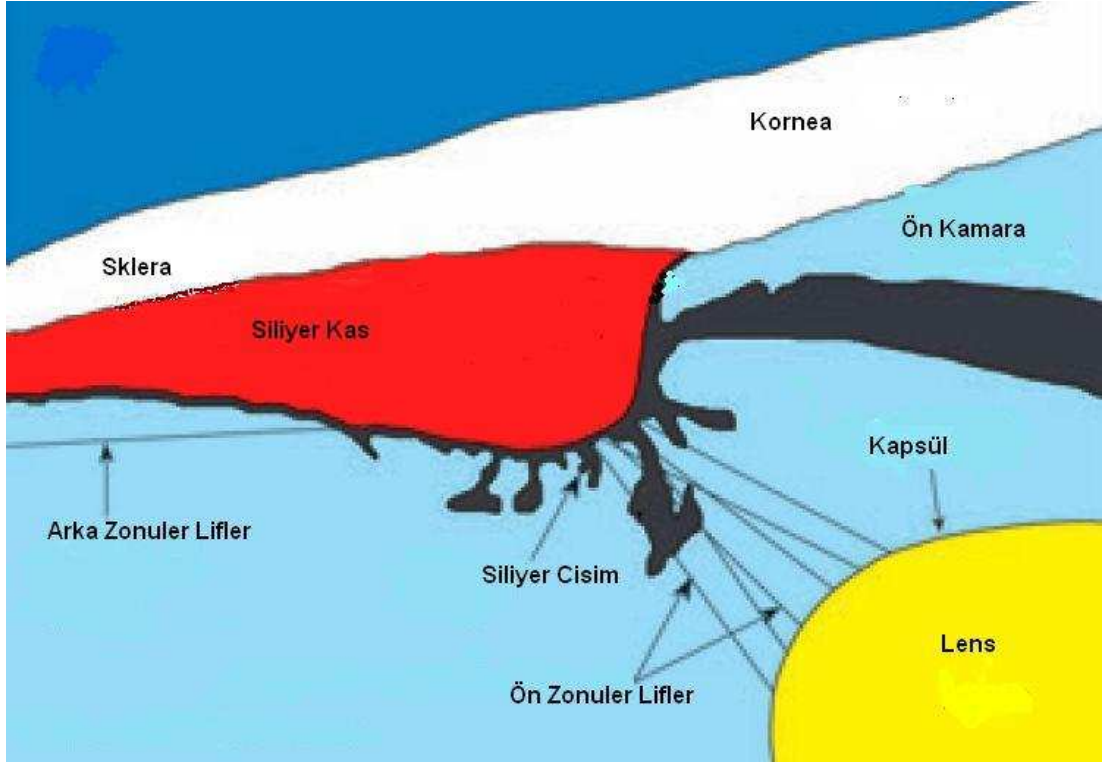
Ektodermal bir dokudur. Embriyonun daha 4 mm olduğu evrede lens plağından gelişmektedir. Doğumda ekvatoryal çap lensin 4 mm'lik kalınlığından 1,7 kat daha fazladır. Hayatın ilk iki dekadı boyunca merkez lens kalınlığı azalır daha sonra tekrar artar. Ekvatoryal çap doğumdan hemen sonra artış içindedir. İkinci on yıla kadar hızlı büyüme gösterir. İkinci on yıldan sonra lensin büyümesi yavaşlar. Dördüncü on yıla gelinmesiyle birlikte lensin ekvatoryal çapı kalınlığı 4,1 mm olan lensten 2,2 kat daha fazladır (29-33).

Lens %65 su, %35 protein içermektedir. Şeffaf olup vücutta bulunan protein yoğunluğu en yüksek organdır. Lens hücreleri az miktarda organel içermektedir. Aynı boyutlarda yüksek düzeyde organize olmuş hücre dışı aralığın olmadığı bir yapıdır (34,35). Lensin şeklindeki değişiklik siliyer kas kasılması ile oluşan kuvvetin sonucu gerçekleşmektedir.

Lens Zonülleri

Lens zonülleri esnek yapıdadır. Kolajen ve elastik liflerden oluşmuştur (36). Lens mikrofibrillerden bir ağ oluşturmaktadır (37). Ekvatoryal zonüller 5 ile 15 mm uzunluğundadır. Arka ve ön zonüllerin uzunluğu ekvatoryal zonüllerden 10 kat daha fazladır. Ekvatoryal zonüller siliyer cismin pars pilikatasının ön kısmından siliyer uzantılar arasındaki vadilerden köken alarak lensin ekvatoryal kenarına yapışmak üzere uzanırlar (38,39). Ön ve arka zonüller pars plana üzerinde ortak bir yerden köken alırlar(38,39). Zonüller siliyer cismin siliyer uzantılarının yüzünde merkeze doğru ilerleyerek kapsüldeki yapışma yerlerine uzanırlar(38,39). Ön ve arka zonüler liflerin köken aldıkları yerden kapsüldeki yapışma yerine doğru kavisli uzanımını bu zonülleri siliyer cisim tabanına bir nevi giriş gibi sabitleyen kısa gerginleştirici zonüller sağlamaktadır (39,40). Ön zonüler lifler pars pilikataya doğru ilerlerken ekvatoryal zonüller arasından geçerler. Bazı araştırmacılara göre

ön ve arka zonüller lensi desteklerken ekvatoryal zonüller lensin optik gücünü sağlamada aktif parça gibi görünmektedir (41-47) (Şekil 1).

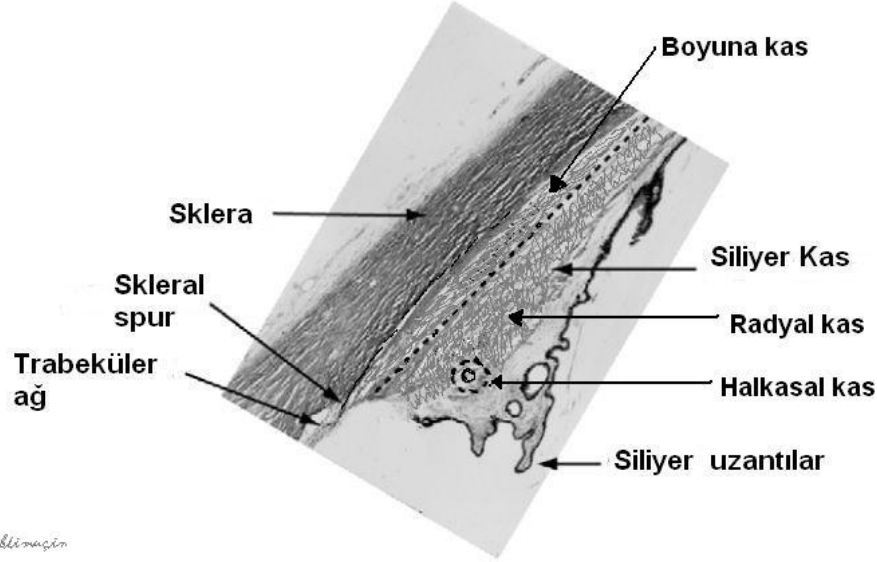


Şekil 1. Akomodasyona katılan yapıların şematik çizimi

Siliyer kas

Akomodasyon mekanizmasında siliyer kasın önemli yeri vardır. Siliyer kas siliyer cisim içinde yer almaktadır. Histolojik olarak kas lifleri 3 kısımda incelenmektedir: boyuna, radyal ve halkasal kas lifleri (Şekil 2). Fonksiyonuna göre boyuna ve radyal kas lifleri alt gruplara ayrılabilir. Fonksiyonel olarak 5 parçada çalışan siliyer kas, hareketiyle ekvatoryal zonüller üzerinde sinerjistik gerilim oluşturmakta ve lensin kalınlaşmasını sağlamaktadır. Siliyer kas lifleri eş zamanlı skleral mahmuz üzerinde gerilimi artırıp aksi yönde pars planayı öne doğru hareket ettirmektedir. Pars

plananın öne doğru hareketi ön ve arka zonüller üzerindeki gerilimi azaltmaktadır (43-47).



Şekil 2. Siliyer kasın histolojik kesiti. Histolojik olarak kas lifleri üç kısımda incelenmektedir: boyuna, radyal ve halkasal kas lifleri.

1. Boyuna Kas

Boyuna kas lifleri pars planadan skleral mahmuza uzanım gösterirler (Şekil 5). Bu lifler skleranın alt yüzüne paralel yerleşiktir. Ön ve arka boyuna kas lifleri terimi aynı anatomik kas grubunun fonksiyonel farklılığını belirtmek için kullanılmaktadır.

İşlevi:

Ön boyuna kas lifleri kasın ön fonksiyonel kısmını oluşturmaktadır. Boyuna kasın bu kısmı skleraya bitişik paralel yerleşiktir. Bu lifler kasıldığı zaman skleral mahmuzu arkaya doğru çeker. Trabeküler ağ açılır. Boyuna kasın arka lifleriyle zıt yönlerde etkileşime girer.

Boyuna kasın arka lifleri ise arka fonksiyonel ünitedir. Bu segment pars planaya yapışır. Akomodasyon ile kasıldığında pars planayı öne doğru çekerler. Bu yerleşimdeki işleviyle aynı kaynağı paylaşan ön ve arka zonüllerin gevşemesine olanak tanır. Maksimum akomodasyon sırasında

zonüler liflerin gevşemesi ve kıvrımlaşmasıyla lens yeterli kalınlığa ulaşmaktadır (47,48).

2. Radyal Kas

Radyal kas lifleri boyuna kas liflerinin altında yerleşiktir. Halkasal liflerin önünden radyal olarak skleral mahmuza doğru uzanırlar. Ön ve arka radyal kaslar aynı anatomik yapının fonksiyonel olarak farklı bölümleridir.

İşlevi:

Ön radyal lifler radyal kasın ön fonksiyonel parçasıdır. Radyal kasın bu kısmı halkasal lifler ile ön boyuna kasın alt yüzüne yapışıktır. Akomodasyon sırasında bu lifler skleraya doğru kasılırlar. Bu şekilde anatomik olarak görülebilen bir kavite oluştururlar (49).

Arka radyal lifler, siliyer kasın arka fonksiyonel kısımlarıdır. Kasın bu segmenti halkasal kas lifleri ile arka boyuna kas liflerinin alt yüzeyi arasında uzanmaktadır. Arka radyal lifler akomodasyon sırasında kasılarak pars planayı öne doğru çekerler. Ön ve arka zonüllerin öne doğru yer değiştirmesine de yardımcı olurlar.

3. Halkasal Kas

Halkasal kas lifleri fonksiyonel ve anatomik bir halka oluştururlar. Ön ve arka radyal kasların içe doğru birleşme yerinde yerleşiktir. Bu birleşme yerinde sağlam bir kenetlenme mevcuttur.

İşlevi:

Halkasal kas fiksasyonu sağlamak için izometrik bir şekilde kasılır. Bu fiksasyon noktası radyal kasların da aynı zamanda çekici güçlerinin odak yeridir. Kasın bu izometrik kasılması sağlam bir halka oluşturur.

Nöral Kontrol

Akomodasyon kontrolü için bilinen supranükleer bağlantılar azdır. "Yakın görme üçlüsü" 'nün (akomodasyon, konverjans, miyozis) nöral mekanizması, pupiller ışık reaksiyonu ve oküler motor sistemin yolları kadar

iyi anlaşılammıştır. Akomodasyonun frontal korteksten kaynaklandığı, retinal bulanık görüntünün oksipital korteksi uyardığı ve oksipitotektal traktüsler yoluyla düzeltildiği düşünülmektedir. Akomodasyonu kontrol eden kortikal bölgelerin görme sinyallerini birleştiren ve gözlerin fiksasyon hareketlerini kontrol eden 18. ve 19. bölgeler ile bu bölgeleri Edinger-Westphal (EW) nükleusuna bağlayan internal kortikotektal trakt olduğu düşünülmektedir. Edinger-Westphal nükleusundaki parasempatik nöronların çoğu siliyer innervasyonla ilgilidir. Siliyer gangliyonda siliyer cisimi innerve eden hücrelerin iris sfinkterini innerve eden hücrelere oranı 30:1'dir. Akomodasyon olayında parasempatik innervasyon sempatik innervasyondan 10 misli daha etkilidir. Sempatik liflerin siliyer cisimi direk olarak mı innerve ettiği yoksa arteriyolar kasılmayla siliyer cisim kitlesini azaltarak mı zonüller gerilimi azalttığı tartışmalıdır (50-52).

Siliyer kasın kasılması Edinger –Westphal nükleusundan başlayan 3. kafa çifti siniriyle taşınan parasempatik lifler tarafından sağlanmaktadır (53-56). Her ne kadar bazı hafif destekleyici inhibitör sempatik fonksiyonun varlığını bildiren çalışmalar bildirilmişse de sempatik sistemin akomodasyon mekanizması üzerindeki rolü halen tartışılmaktadır (57-60-64) (Tablo 1). Yakın cevabın nöral temeli Mays ve Gamlin tarafından çalışılmıştır (65,66).

Akomodasyon birimi lens, zonüler lifler, siliyer cisim, algılayıcı organ ve korteksten oluşmuştur. Retina, görüntü bulanıklığını fark eder. Retina bu bilgiyi merkezi alıcıya gönderir. Bu bilgi ekstraoküler kaslardan da gelen verilerle birleşir, değerlendirilir ve değişen uyarılar gözdeki akomodasyon birimlerine geri gönderilir. Bu olayın tamamı, basit reflekslerden farklı olarak dikkat, hafıza, soyutlama ve motivasyon gerektirir (50,67,68).

Tablo 1. Siliyer kas ve iriste bulunan reseptörler

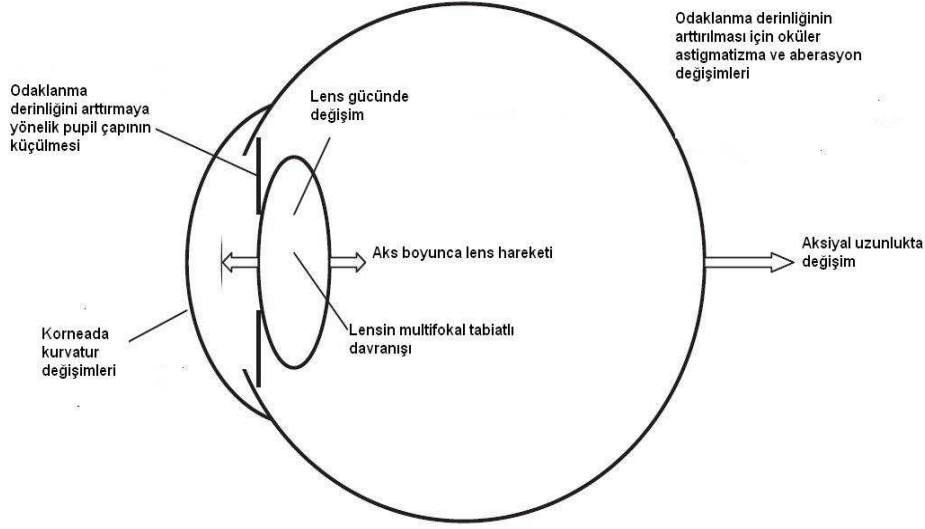
Otonom sistem	Reseptör tipi	Reseptör alt tipleri	İris/siliyercisminde reseptör dağılımı	Pupil büyüklüğü ve akomodasyona etki
Parasempatik sistem	Muskarinik	M1 M2	İris sfinkter siliyer kas siliyer epitelyum	Siliyer kas kasılması (akomodasyonda artış) İris sfinkter kasın kasılması (miyozis)
		M2	Siliyer kasın boylamasına kısmı, irisin kavşak öncesi ve Trabeküler ağ kısımlarında	
		M3	İris sfinkteri, siliyer kas,siliyer cisim ve trabeküler ağ reseptörlerinin %60-75'ini oluşturur	
Sempatik sistem	Beta adrenoseptörler	Beta1	Siliyer kastaki tüm beta adrenoseptörlerin %10'unu oluşturur	Siliyer kasta gevşeme (akomodasyonda azalma) Pupil büyüklüğüne etkisi az
		Beta2	Siliyer kasın radyal ve halkasal kısımlarında İris/siliyer cismin tüm beta adrenoseptörlerinin %90'ını oluşturur Siliyer kas (%40) siliyer uzantılar (%30) ~ iris (%30) Az miktarda iris sfinkter kasında	
	Alfa adrenoseptörler	Alfa 1	Kan damarları ve irisin dilate eden radyal kasları Az miktarda alfa1 reseptörü siliyer kasta	İris dilatör kaslarında kasılma (midriyazis) Damarsal etki siliyer hacim değişikliğine yol açmakta (akomodasyonda hafif azalma)
		Alfa2	İris dilatör ve sfinkter kaslarında eşit miktarda bulunur Çok az miktarda siliyer kasta bulunabilir	

Kaynak:van Alphen, 1976; Nathanson, 1984; Wax ve Molinoff, 1987; Zetteström ve Hahnenberger, 1988(61-64)

Akomodasyon Mekanizmaları

Teknolojideki gelişmeler akomodasyon mekanizmasının incelenmesini kolaylaştırmıştır. Akomodasyon mekanizmasını anlama serüveninin başında gözün temel optik yasalarına uyduğunun fark edilmesi gelmektedir (24). Lens şeklindeki herhangi bir değişikliğin akomodasyon ile sonuçlandığının görülmesi ve akomodasyon sırasında sferik aberasyonların (negatif değişim) göz içine doğru yönelim gösterdiği durumların yine lens şeklinde değişimle birlikteliğinin gözlemlenmesi akomodasyon mekanizmasının anlaşılması için milât olmuştur (69). Bugün için akomodasyon mekanizmasının genel hatlarında görüş birliği sağlanmış olsa da özellikle yaş ile birlikte akomodasyon büyüklüğünün azalması, oküler yapılarıdaki yaşa bağlı değişimlerin olaya katılımı, normal akomodasyon mekanizmasına kornea, sklera, koroid gibi dokuların katkısı gibi konularda karanlık noktalar varlığını devam ettirmektedir.

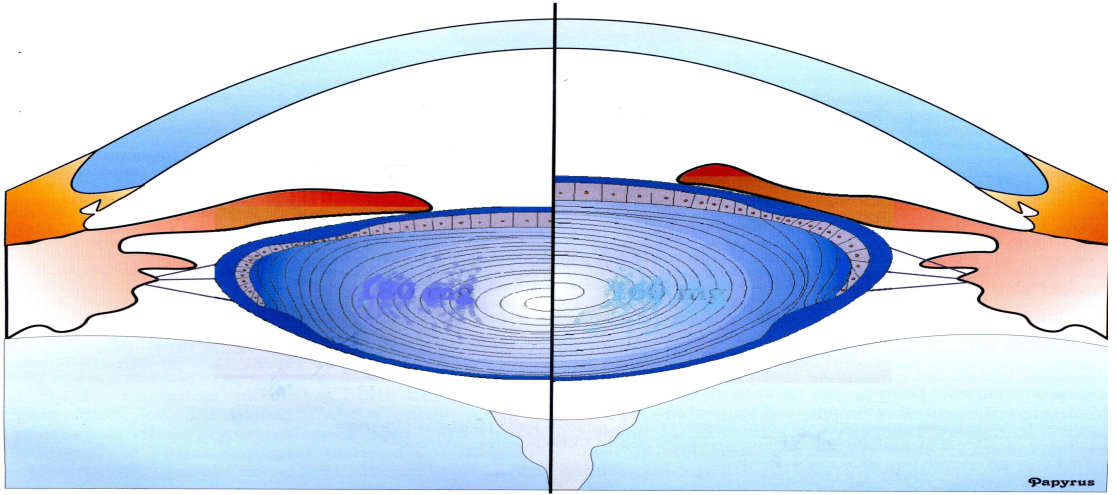
Gözün odaklanma fonksiyonu sırasında birçok anatomik bileşenin aktif rol aldığı söylenebilir. Aktif rol olarak korneada kurvatür değişimi, kristalin lensin kalınlaşması, lensin aksiyel düzlemde hareket etmesi ve aksiyel uzunluk değişimi sayılabilir (Şekil 3). Pasif değişim olarak, odaklanma derinliğinin artırılmasını sayabiliriz. Pasif değişimler aktif değişimleri bazen gereksiz kılabilen fonksiyona sahiptirler. Bir başka deyişle lens kalınlığında artış olmadan yakın görmenin gerçekleşmesi mümkündür ve bu olay birçok yazar tarafından bildirilmiştir (26,53,54,70-73). Örneğin 4 diyoptrilik bir akomodasyonun sağlanabilmesi için korneal kurvatürde 0,7 mm'lik azalma veya aksiyel uzunlukta 1,5 mm civarında artma diğer optik parametrelerde sabitlik sağlamakla mümkündür.



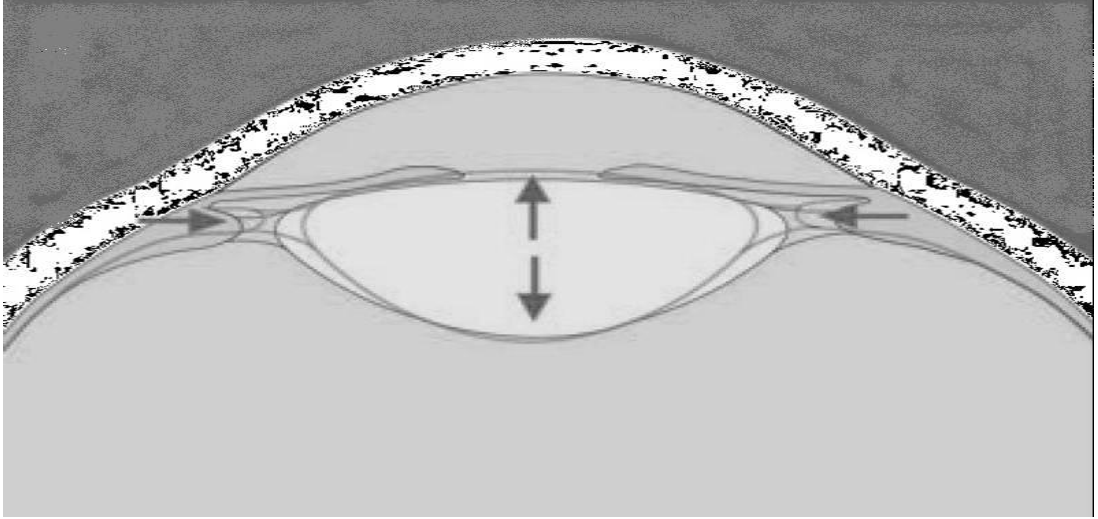
Şekil 3. Gözün odaklanma fonksiyonunda ileri sürülen bazı mekanizmalar

Hedefe odaklanma kabiliyeti anlamına gelen akomodasyon için tarif edilen modellerin çoğu Helmholtz'un akomodasyon teorisi üzerine kurulmuştur (74). Son yıllarda yapılan çalışmalarda temelde Helmholtz teorisi belirleyicidir. Akomodasyonla ilişkili lens dışındaki göz içi yapılarının akomodasyon sırasındaki değişimleri üzerindeki belirsizlik halen devam etmektedir. Dolayısıyla akomodasyon mekanizmasını bütünüyle açıklayabilmiş bir teorinin varlığı bugün için tartışmalıdır.

Helmholtz, akomodasyonu açıklayan teorisinde, siliyer kas kasılmasıyla kasın iç çapının azaldığını, azalan çap ile beraber zonüllerde gevşeme oluştuğunu, zonüllerin gevşemesinin ise lensi daha yuvarlak getirerek santral lens kalınlığını arttırdığını savunur (74). Helmholtz, teorisinde lenste kalınlaşmanın sadece ön yüzeyde olduğunu öngörmüştür (74). Bugün lens arka yüzeyinde de görece az da olsa geriye doğru bombeleşme olduğu bilinmektedir (Şekil 4,5).



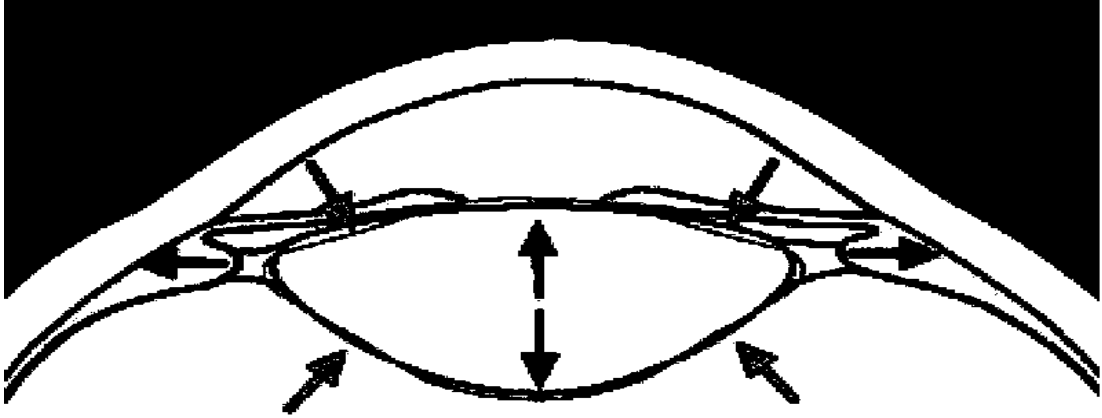
Şekil 4. Helmholtz tarafından tanımlanan akomodasyon mekanizmasının şematik görünümü. Helmholtz siliyer kas kasılmasıyla zonüllerin gevşediğini ve kristalin lensin kalınlığının arttığını öne sürmektedir. Akomodasyon sırasında arka lens yüzeyinde yer değiştirmenin olmadığına dikkat ediniz. (Prof. Dr. Hikmet Özçetin'in izniyle Katarakt ve Cerrahisi. 1. baskı 2005. sf 27'den alıntıdır.)



Şekil 5. Şematik diyagram Helmholtz'un teorisinin modifiye edilmiş halidir. Son deneysel çalışmalarda gösterildi ki siliyer kas kasılmasıyla artan lens kalınlığına hem ön hem arka kapsül bombeleşerek cevap vermektedirler.

Tscherning siliyer kastaki kasılmanın zonüller liflerde gevşeme yapmadığını aksine ekvator da gerginliği artırarak akomodasyon sırasında lens periferinin düzleşmesini uyardığını savunmaktadır (46). Tscherning

lensin periferinde düzleşme olurken santral kısmında aksiyel düzlemde gücünü arttırmak için öne doğru bombeleştiğini savunmuştur. Tscherning bir bakıma ön lentikonus diyebileceğimiz öngörüsünü korteks ve nükleusun birtakım mekanik özelliklerine bağlamaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Şematik gösterimi görülen Schachar teorisinde siliyer cisim kasılmasıyla ön ve arka zonüler lifler gevşemektir. Ekvatoryal zonüler lifler ise siliyer kasın radyal liflerinin çekim kuvvetiyle gergin hale gelmektedir. Gergin ekvatoryal zonüllerin lens periferine uyguladığı mekanik çekme gücüyle lens periferinde incelmeye olurken eş zamanlı lens santralinde bombeleşme ortaya çıkmaktadır.

Yakını görebilmek için lenste gerekli güç ve şekil değişikliklerini sağlıklı bir göz nasıl başarmaktadır? Klasik görüş olan lens ve kapsülünün elastik doğası ilk Helmholtz tarafından dile getirilmiştir (26,27, 54,75,76). Gullstrand, Fincham, Weale, Fisher ve birçok araştırmacı tarafından tanımlanan, lens şeklini üzerindeki elastik olan kapsülü ile sağladığı kuramı ise bugün için en yaygın teoridir (28,77-81).

Siliyer cisim tek bir ünite gibi davranır. Siliyer cisim meridyonel, radyal ve halkasal kaslar olmak üzere lifler içerir (78,79). Halkasal lifler siliyer cismin serbest ucunda iris kökünün hemen arkasında dairesel yerleşiktir. Uzağa

bakış sırasında akomodasyon gevşediğinde kasın apeksine yerleşik siliyer kas halka çapı görece genişler. Ön zonüler lifler arka zonüler liflerin çekimiyle gergin haldedir. Ön zonüler liflerdeki gerginlik, kapsül üzerinde kuvvetli bir radyal kuvvet uygulayarak lensi germektedir.

Akomodasyon sırasında siliyer cismindeki kasılma ile siliyer kasın öne ve görme aksına doğru hareketi siliyer halkanın çapını azaltır. Böylece arka zonüler lifler üzerindeki gerginlik azalmış olur. Siliyer cismindeki kasılma ön zonüler lifler üzerindeki çekimin azalmasına ve gevşemesine yol açarak lens kapsülü üzerindeki kuvvetin azalmasını sağlar. Kristallin lens bu haliyle yakını görebilmek için daha güçlü haline doğru yeni şekil alır.

Akomodasyon mekanizmasında koroid tarafından sağlanan elastik güçler de rol alır (28). Siliyer kasın kasılmasına bağlı çekim kuvveti elastik koroidte gerginliğe yol açarak retinanın öne doğru çekilmesine katkıda bulunur (82-85). Akomodasyon sonlandırıldığında bu gerilim kuvvetleri siliyer kasın gevşemesine yardımcı olur. Zonüler liflerin eski hallerine dönmelerini sağlar. Sonuç olarak koroide ait bu elastikiyet özelliği akomodasyonun tamamlanması için gereken zamanı azaltır.

Bazı yazarlar iris ve vitrenin akomodasyonda önemli olabileceğini ileri sürmüşlerdir (86-89). Aniridik kişiler ve vitrektomize gözlerde akomodasyonun varlığı, iris ve vitrenin akomodasyon mekanizmadaki rollerinin daha alt basamaklarda kaldığını düşündürür (77).

Oftalmofakometri ve ultrasonografi ile yapılan birçok çalışma korneal kurvatür veya aksiyel uzunlukta akomodasyon ile ortaya çıkan değişimlerin dikkate alınacak kadar önemli olmadığı sonucunu vermiştir (90-92). Buna rağmen halen akomodasyon mekanizmasında korneal kurvatür değişimlerinde bazı tartışmalı noktalar varlığını devam ettirmektedir (4,10,75,93,94). Bugün için kesin olarak bilinen şudur ki insandaki akomodasyonun temel sorumlusu kristallin lensin gücünde oluşturduğu değişimdir. Bununla beraber lenste meydana gelen hafif aksiyel hareketin ise yakını görmeye katkısı bulunmaktadır.

Akomodasyon boyunca lensteki çap değişimi lensin n yüzü için daha büyüktür (92,95-98). Büyüklüğün muhtemel sebebi olarak gerilim kuvvetlerinin n zonüler liflerde daha büyük ve n lens kapsülünün daha kalın olması gösterilmektedir (98). Böylece lens kapsülü üzerinde daha büyük kuvvet oluşmaktadır. Lensin arka yüzeyindeki yer değişim miktarı daha düşük düzeylerde dir. Bunun sebebi vitre tarafından direnç ile karşılaşması veya lensin n yüzeyinin öne doğru geniş hareketi olabilir (73,99-101). Bu hareketler birleştirildiğinde aksiyel kalınlığın artışı ve lensin merkez kısmının öne doğru yer değiştirmesi görülür (73,99-101). Temel görüş lens aksiyel kalınlığının akomodasyonda artışının çapında azalmayla birlikte olduğu şeklinedir (102,103). Scheimpflug fotoğraflama yöntemi akomodasyon sırasında lensin aksiyel uzunluğundaki artışın bütünüyle nükleustan kaynaklandığını, n ve arka kortikal kısımların uzunluğunun hemen hemen sabit kaldığını göstermiştir (95,99,104).

Schachar lens ekvatorundaki gerginlik yapan kuvvetlerin akomodasyon sırasında arttığını dolayısıyla lensin şeklinin Tscherning'in ne sürdüğü şekle yakın olduğunu öne sürer (46,105,106). Schachar, Rohen ile aynı görüşleri paylaşmaktadır (40). Bu görüşe göre 3 grup zonüller lif bulunmakta, ekvatoryal olmayan 2 grup lensin bombeliğini sağlamakta, ekvatoryal grup ise lens periferini düzleştirici etki göstermektedir. Bu hipotez ile ilgili itirazlarda en önemli kanıt, lensin akomodasyon sırasında aksiyel uzunluğu artarken çapının artmayıp azaldığının gösterilmiş olmasıdır (28,73,99-103). Ayrıca akomodasyon sırasında kapsülde buruşmanın arttığı gösterilmiştir (77). Yine son çalışmalar ile akomodasyon sırasında lensin n kapsülünün düzenli kremsiliğinin korunduğu, Schachar ve Tscherning `in ne sürdüğü kompleks yapıya değişmediği gösterilmiştir (46,105). Ayrıca Schachar, Judge ve Flavell tarafından öne sürülen akomodasyon modelinin matematiksel modeli ise Burd, Huang ve Huang tarafından eleştirilmektedir. (107,108).

Akomodasyonun Diğer Bileşenleri

Akomodasyon mekanizmasının diğer bileşenleri Heath tarafından tanımlanmıştır (109).

1.Refleks Akomodasyon: İki diyoptri içinde yakından görülmesi istenen nesnenin retinal görüntüsünü netleştirmek için devreye girer. Fakat birçok çalışma sağlıklı deneklerin retinanın bu netleştirme için refleks davranışında retinada net görüntü elde edilemediğini, hafif görüntüde bulanıklığın devam ettiğini bildirmektedir (110).

2.Proksimal veya Psişik Akomodasyon: Nesnenin yakın olduğu bilgisinin harekete geçirdiği akomodasyondur.

3.Konverjans Akomodasyonu: Nesnenin her iki göz tarafından farklı algılanması füzyon ile önlenmektedir (111). Beyin nesnenin tek görüntü haline gelmesi için akomodasyonu başlatabilmektedir.

4.Tonik Akomodasyon: Herhangi bir görsel uyarı olmadığı durumlarda bile gözde mevcut olan hafifçe myopik refraksiyon düzeyi gösteren bazal lens tonusu olarak tarif edebiliriz. Karanlığa bakarken, boş veya herhangi bir görsel objenin olmadığı ortamda tespit edilebilir. Ölçüm yapan aletlerin tercih ettiği odaklanma düzeyidir (112-114) (Cihaz myopisi).

5.Gönüllü Akomodasyon: Birçok kimse istemli olarak yakın görme düzeyini değiştirebilmektedir. Heath bu durumu proksimal akomodasyon içinde değerlendirmiştir (109). Heath istemli akomodasyonun kişinin objenin yakın olduğunu bilmesiyle ilişkili bir durum olduğunu düşünmektedir.

Presbiyopi

Akomodasyon büyüklüğünde yaş ile birlikte görülen tedrici azalmayı ifade eder. Uzun yıllar hipermetrop ve presbiyopi etkileri birbirleri ile karıştırılan durumlar olmuştur (70). Her ne kadar presbiyopi tanımı yaparken başlangıcını kesin tarif eden bir açıklama üzerinde ittifak edilmiş olmasa da ölçülen objektif akomodasyon büyüklüğünün 3 diyoptrinin altına düştüğü durumlar için kullanılması uygundur (115). Geçen yüzyıl boyunca yaş ile azalan amplitüt üzerine sayısız çalışma yapılmıştır. Sübjektif ölçülen amplitüt

değerleri odaklanma derinliği yüzünden objektif ölçümlerden hafif daha yüksek çıkmıştır (116-118). Uzun takipli çalışmalarda objektif amplitüt büyüklüğünün doğrusal olarak azalıp 50 yaş gibi 0'a düştüğü gösterilmiştir (117,118). Akomodasyon amplitüt büyüklüğündeki azalma kişiler arasında coğrafya veya yaşanan bölgenin sıcaklığı ile farklılık gösterebilmektedir (117,119-121).

Akomodasyonun Engellenmesinde Siklopentolat Kullanımı

Siklopentolat pupili büyütme yanında akomodasyon felci de oluşturduğu için oftalmoloji pratiğinde sıklıkla kullanılmaktadırlar. Parasempolitik (anti kolinerjik) bir ilaç olan siklopentolat muskarinik tipteki kolinerjik reseptörleri bloke ederek iris sfinkteri gibi alıcı organlar üzerindeki parasempatik tonusu ortadan kaldırır veya azaltır. Siklopentolat iris sfinkter kası üzerinden parasempatik tonusu kaldırarak sempatik etkinliği arttırdığından midriyazis yapar. Yüzde 0,1'lik siklopentolatın midriyatik etkinliği %10'luk fenilefrin ile karşılaştırılabilir düzeydedir (122). Siliyer kas gevşer, siliyer kasa ilintili ön ve arka zonüllerin gerilerek lensin düzleşmesi sağlanır. Sonuçta lensin bombeliği ve kırıcılığı azalır. Yakın görmenin bozulduğu bu hale akomodasyon felci veya sikloplejik durum denir. Siklopentolat sentetik bir ilaçtır. Yüzde 0,5, 1 ve 2 konsantrasyonlarda kullanılır. Beş dakika arayla tekrarlanan üç uygulamadan 1 saat sonra tam akomodasyon felci oluşur. Midriyatik ve akomodasyon felci 24 saatte normale döner. Akomodasyon felci etkisi koyu renkli gözlerde daha etkindir ancak midriyatik etkisi benzer kategoride bulunan tropikamid ile karşılaştırıldığında daha zayıftır. Prematüre ve küçük bebekler özellikle merkezi sinir istemi ve kardiyopulmoner yan etkilere duyarlı olduklarından bunlarda %0,5'lik konsantrasyon tercih edilmelidir (123,124).

Akomodasyonda Pilokarpin Kullanımı

Pilokarpin parasempatomimetik bir ajan olup direkt iris sfinkteri ve siliyer kası üzerindeki kolinerjik reseptörleri uyararak miyozis ve akomodasyon spazmı yapar (125). Akomodasyonun uyarılması için %2

ve %6'lık pilokarpin konsantrasyonları kullanılmaktadır. Pilokarpin uygulandıktan sonra pupil dramatik şekilde kasılmakta, akomodasyon ölçümlerini veya Scheimpflug kamera ile lensin görüntülenmesini engellemektedir.

Pentacam® Dönen Scheimpflug Kamera

Pentacam (Oculus Inc, Almanya) dönen Scheimpflug kamera kullanarak gözün ön segmentini görüntülemeye yarayan kornea topografi cihazıdır. (Şekil 7) Dönen kamera gözün ön segmentine ait aynı anda çok sayıda kesit görüntü alabilmektedir (12 – 50 adet). Aynı sistemle korneanın nonkontakt kalınlık ölçümleri de yapılmaktadır. Merkez kornea kalınlık ölçümünde ultrasonik pakimetriden daha hassas ölçüm yapabilmektedir (12-16). Orbscan sistemiyle karşılaştırdığında korneal kalınlık ölçümleri ultrasonik pakimetri ile daha uyumlu görünmektedir (12,14,17). Yeni bir cihaz olduğundan üzerinde birçok güvenilirlik çalışmaları yapılmıştır (12-21,23).



Şekil 7. Pentacam® (Oculus Inc, Almanya) Dönen Scheimpflug Kamera

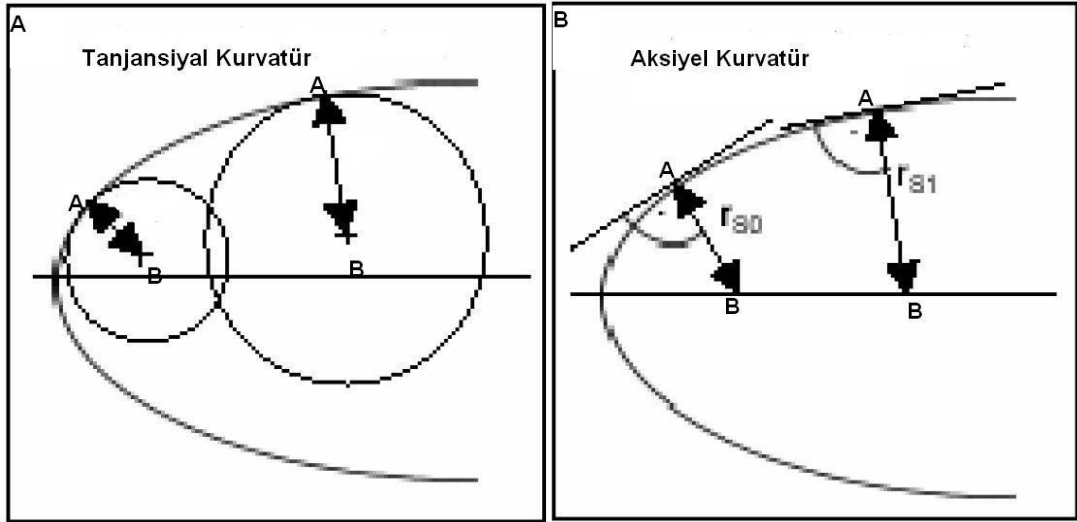
Görüntüleme çiplerinde ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler gözün ön segmentini daha duyarlı değerlendirme imkânı sunmuştur. Scheimpflug kamera tekniği kesit mavi bir ışık kullanarak kornea ve lensin görüntüsünü alabilmektedir. Pentacam ile alınan görüntülerin analiziyle katarakt, akomodasyon ile lenste şekil değişimleri, korneal hazeler korneal kurvatür ve korneal kalınlık ölçümleri yapılmaktadır (126-132). Ölçümleri görme aksının çevresinde dönerek aldığı için görüntü analiziyle üç boyutlu görüntü oluşturabilir. Noninvazif bir sistem olan Pentacam monokromatik kesit ışık kullanarak (475 nm de mavi LED) ön segment topografisini çekmektedir.180⁰ dönerek 2 saniye içinde 500 noktada ölçüm yapmaktadır.

Aksiyel ve Tanjansiyel Kurvatür

Aksiyel kurvatür hesaplaması ve bilgisayar algoritması nispeten basittir. Keratometre prensiplerine göre çalışır. Bu haritada korneanın çeşitli bölümlerindeki farklı eğrilik yarıçapları ve dolayısıyla kırma gücü hakkında genel bir fikir elde edilmektedir. Aksiyel haritalarda gösterilen herhangi bir değer o noktadaki gerçek kırma gücünü göstermez; o nokta ile kornea merkezi arasındaki bölgenin ortalama kırıcılığını gösterir. Bu da orta ve periferik bölgelerdeki değişikliklerin ihmal edilmesine yol açar. İstenen noktadaki gerçek kırma gücünü gösterememesi aksiyel haritaların önemli bir eksikliğini oluşturur. Ayrıca aksiyel haritalarda verilen kırıcılık değerleri hesaplanırken bilgisayar tarafından korneanın sferik bir yapıda olduğu varsayılmış ve eğrilik yarıçapından kırma gücü dönüşümü yapılırken gerçek kornea kırma indeksi yerine keratometrik kırma indeksi kullanılmıştır. Bulgular yuvarlatılmış olarak verildiğinden bölgesel değişikliklerin kafa karıştırıcı şekilde sunulmasına engel olmak ve nispeten homojene edilmiş bir görünüm sunabilmesinden ötürü klinikte değer bulmuştur ve genellikle kuşbakışı değerlendirme olarak düşünülebilir. Bu nedenlerle günümüzde değeri azalmıştır.

Tanjansiyel kurvatür daha sonra geliştirilen bir harita türü olup lokal yada gerçek harita olarak isimlendirilir. Burada nispeten daha uzun bir hesaplama süreci söz konusudur. Ancak bu haritalarda herhangi bir nokta

için verilen değer o noktadaki lokal eğrilik yarıçapını ve dolayısıyla kırma gücünü göstermektedir (133). Kurvatür hesaplamaları korneada her ölçüm noktasındaki her kurvatür merkezinin kameranin optik eksenine rölatif olarak ayarlanması söz konusu değildir. Bu nedenle bölgesel farklılıklar daha belirgin olarak ortaya konur. Bu haritalarda lokalize değişimler ve periferik kornea yüzey geometrisi daha iyi gösterilebilir. Bu nedenle keratokonus hastalarında, santral adacık veya desantralize ablasyon gibi refraktif cerrahi komplikasyonlarının incelenmesi ve irregüler astigmatizması bulunan gözlerde mutlaka bu tür haritalar ile değerlendirme yapılması önerilmektedir. Özellikle 4–12 mm. deki geçiş zonlarını daha doğru olarak tanımlar. Postoperatif takipte bu nedenle aksiyel haritaya göre daha değerli ve daha detaylı sonuçlar verir. Fakat bu kurvatür de aksiyel kurvatür gibi özellikle periferde doğru tahminlerde hata yapar (Şekil 8).



Şekil 8. (A) A noktasından geçen arkın oluşturduğu dairenin yarıçapı tanjansiyel kurvatürü vermektedir. (B) A noktasından teğet geçen doğrunun merkez veya optik aksa dik oluşturduğu doğrunun uzunluğu aksiyel kurvatürü vermektedir.

GEREÇ ve YÖNTEM

Yaşları 7-25 yıl arasında olan 40 (18 Erkek,22 Kadın) sağlıklı gönüllü çalışmaya alındı. Çalışmaya alınanlar Uludağ Üniversitesi Etik Kurulundan onay alındıktan sonra Gönüllü Bilgilendirme Metnini okuyan ve kabul eden katılımcılardan oluşturuldu. Katılan çocukların velileri işlemler ile ilgili bilgilendirildi ve bilgilendirilmiş onam formları alındı.

Tüm katılımcılara aynı doktor (ÖBT) tarafından çalışma öncesi kapsamlı oküler ve sistemik hastalık sorgulaması sonrasında refraksiyon, ön segment, arka segment muayeneleri yapıldı. Muayenelerde çalışmada kullanılacak ilaçların görülmesi muhtemel yan etkilerine yönelik ilaca hassasiyet, retinal dekolman riski veya periferik retina dejenerasyonu gibi patolojilere ayrıca dikkat edildi. Herhangi bir oküler veya sistemik patolojisi olmayan gönüllüler çalışmaya dâhil edildi. Geçirilmiş göz cerrahisi, kalıtsal oküler hastalık, göz tembelliği, 2,5 diyoptrinin üzerinde sferik veya silindirik kırılma kusuru bulunması, solunum problemleri, çalışmada kullanılacak siklopentolat veya pilokarpine hassasiyet ve bu ilaçlarla etkileşime girecek sistemik veya oküler medikasyon alan kimseler çalışmadan çıkarıldı.

Çalışmaya katılan gönüllülere, dâhil olma kriterlerini sağlayanlara önce Pentacam cihazıyla her iki gözden normal kontrol durumu (KD) halinde ölçüm alındı. Daha sonra miyotik akomodasyonu uyarmak amacıyla katılımcının her bir gözüne 5' er dakika arayla üç kez %4 'lük pilokarpin hidroklorür (Pilosed®) damlatıldı. Son damladan 1 saat sonra her bir gözden Pentacam ölçümleri alındı. En az 48 saat aradan sonra katılımcı tekrar polikliniğimize çağırılarak midriyazis ve akomodasyon felcini uyarmak için her bir göze beşer dakika arayla 3 kez % 1'lik siklopentolat hidroklorür (Sikloplejin® %1'lik) damlatıldı ve 1 saat sonra Pentacam ölçümleri son kez alındı. Pentacam ölçüm kalite kriterleri sağlanamadığında yapılan ölçümler yenilendi. Pilokarpin ve siklopentolat damlatılan olgularda test öncesi ışık refleksi alınmadığına emin olduktan sonra teste başlandı.

Ölçümler ile korneal parametreler gözün kontrol hali (KD), miyotik pilokarpin uygulanan gözler (MPUG), midriyatik siklopentolat uygulanan gözler (MSUG) şeklinde gruplarda korneal parametreler (ön/arka aksiyel ve tanjansiyel kurvatür, 3 mm'lik santral korneada ortalama ön/arka keratometri (Km), kornea tepe noktası (KTN), en ince kornea (EİK) yeri kalınlığı, pupil merkezi kornea kalınlığı, kornea hacmi (KH), ön kamara derinliği (ÖKD), açığı genişliği ve pupil çapı verileri gruplandırılarak istatistiksel analize tabi tutuldu.

Çalışmaya dahil edilen 40 gönüllünün 80 gözüne Pentacam cihazı ile toplam 240 ölçüm yapıldı. Topografik analiz 199 ölçümde tamamlandı. Cihazın ölçüm kalite kriterlerini sağlayamayan 41 test çalışma dışı bırakıldı. Cihazın ölçüm kalite kriterleri gözün hareket ettirilmesi, desantralizasyon, kornea tümünden yeterli ölçüm alınamaması gibi Pentacam cihazının kendi değerlendirmeleridir. Test sırasında Pentacam® cihazının ölçüm kalite kriterlerini sağlayamamış ölçümler tekrarlandı. Bu tekrarlamalara rağmen 41 ölçüm cihaz tarafından "OK" (tamam) onayı alamadığı için çalışmadan çıkarıldı.

Ölçümler oturur pozisyonda alındı. Her ölçümde gönüllünün kafa ve çenesi Pentacam'ın uygun yerine yerleştirilerek gerekli ayarlamalar yapıldı. Tüm katılımcıların testleri gün içinde saat 10.⁰⁰ ile 16.⁰⁰ arasında en az 4 saat uyanıklık periyodundan sonra gerçekleştirildi (134). İlk ölçüm pupilin doğal halinde oda standart yapay aydınlanma (loş aydınlanma) kullanılarak gerçekleştirildi. Müteakip ölçümler de aynı oda aydınlatma düzeninde uygulandı. Katılımcının test için rahat bir şekilde tabureye oturması sağlandı. Masa yükseklik ayarı, alın ve çene yerleşkesi için ayarlamalar yapıldıktan ve hasta demografik bilgileri kaydedildikten sonra her katılımcıya ölçüm boyunca (2 saniye) gözlerini mümkün olduğunca açması, kırpmaması ve cihazın ortasındaki mavi uzun ışığın merkezinde bulunan siyah fiksasyon hedefine bakması tembihlendi. Cihazı kullanan teknisyene bağlı hataları elimine etmek için cihaz otomatik ölçüm modunda kullanıldı.

Ölçümler

Korneal kurvatür (Kku)

Pentacam korneal kurvatürü hem ön hem arka yüzeylerde ölçebilmektedir. Korneal kurvatürü limbustan limbusa ölçmekte ve otomatik olarak 1mmlik artan iç içe halkalar halinde rapor etmektedir. Her halka içinde rapor edilen kurvatür değeri halka için hesaplanan ortalama değerdir (135). Korneal kurvatür (Kku) değeri operatör tarafından istenilen noktalardan da ayrıca bakılabilmektedir. Pentacam Kku' u korneanın tepe noktasını merkez kabul ederek hesaplar. Bu hesaplamada aksiyel kurvatür bilgisini kullanmaktadır. Biz çalışmamızda Kku bilgisi için hem aksiyel hem de tanjansiyel verileri kullandık. Kku değişik şekillerde rapor edilmektedir. Bunlardan biri 3mm'lik alan içinde en düz Kku değerini gösteren K1 ile aynı alan içinde en dik Kku değerini gösteren K2 değeridir. Km bu iki değerlerin ortalamasını vermektedir. (PentacamHR Kullanma Kılavuzu). Biz çalışmamızda ön ve arka Km değerlerini kullandık. Kullanılan K1,K2,Km değerleri aksiyel kurvatür değerlerinden seçilmiştir.

Astigmatizma ve siklotorsiyon

Merkez ön yüzey korneada astigmatizma değeri ve korneal astigmatizmanın açısı değeri alınır.

Pupil

Pupil çapı 2 saniye süren ölçüm sırasında alınan görüntülerin ortalaması olarak rapor edilmektedir. Pupil merkezinin (PM) KTN'na göre x ve y kartezyen koordinatları da ayrıca rapor edilmektedir.

Korneal kalınlık (KK)

Tüm kornea yüzeyi için korneal kalınlık ölçümü yapılabilmektedir. Pentacam iç içe halkalar halinde 1 mm arayla KK ölçümlerini otomatik olarak rapor etmektedir. Teknisyen istenilen noktalarda KK değerlerine ayrıca

bakabilmektedir (PentacamHR Kullanma Kılavuzu). KK ölçümlerinde referans noktası olarak en ince kornea (EİK) kalınlığı verisi alındı. EİK referans noktalı KK analizi için cihazın korneal pakimetri ölçüm sayfasının sağ alt köşesindeki KK haritası kullanıldı. Burada EİK, 1, 3, 5 mm lik alanlardaki ortalama KK değerleri analize edildi. Ayrıca EİK yeri, KTN ve PM kalınlık ölçümleri ve bu noktaların KTN' a göre kartezyen koordinat değişimleri kaydedilerek değerlendirildi.

Korneal hacim (KH)

KTN'sını merkez kabul eden 10 mm lik çap içinde KH ölçümü yapıldı. KH sınırları içinde 10 mm'lik çap içinde ön ve arka korneal yüzeyler bulunmaktadır (PentacamHR Kullanma Kılavuzu).

Ön kamara derinliği (ÖKD)

Kornea endotelinden lensin ön yüzeyine KTN'dan geçen düzlem üzerinde ÖKD analizi yapıldı. Pentacam ayarları teknisyen tarafından kornea endoteli ile lens ön yüzeyi arasında ÖKD'ni gösterecek şekilde ayarlandı.

Pentacam ölçüm kalite kriterleri

Pentacam ekranı üzerinde "QS" sekmesine fare ile tıklandığında kalite ekranı karşımıza çıkar. Eğer "QS" alanında "OK" (kabul) görünüyorsa test başarıyla sonlandırılabilir. Bu alan kırmızı ile işaretliyse ölçümde ciddi bir hata mevcuttur ve testin tekrar yenilenmesi gerekir. Bu alandaki uyarı sarı renkli ise ölçümler dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir. Biz uygulamamızda kırmızı uyarı veren ölçümler için testi tekrarladık. Tekrar aynı rengin olduğu ölçümler değerlendirmeden çıkarıldı. Sarı uyarı veren ölçümlerde emin olduğumuz değerler ile çalışmaya devam edildi. Ölçümlerde sarı uyarı geldiği halde doğru yapılmış kabul ettiğimiz durumlar mevcuttu. Pentacam ölçüm kalite kriterlerini çalışmamıza aşağıdaki şekilde tekrar uyarladık

Kesin eleme kriterleri:

Ön kornea yüzeyi için

1. Analiz edilen alanın % 60 tan küçük olması
2. Değerli veri oranının %95 in altında olması
3. Görülemeyen segment adedinin 3 `ün üzerinde olması

Arka kornea yüzeyi için

1. Analiz edilen alanın %50den küçük olması
2. Değerli bilgi oranının %90'nın altında olması
3. Görülmeyen segment sayısının 3 ün üzerinde olması

Hareket/uyum efektleri

X-Y-Z düzlemlerinde göz, baş hareketlerini ve fiksasyon değişikliklerini değerlendiren bu alanda Pentacam cihazının kalite kriterlerini olduğu gibi uyguladık (PentacamHR Kullanma Kılavuzu). Bunun dışında ön yüzey ve arka yüzey kalite bilgileri için kesin eleme kriterleri dışındaki hatalarda gerekli görüldüğünde ölçümleri tekrarladık.

İstatistiksel analiz

Pentacam cihazından elde edilen veriler Excel (Office 2003) sayfasına yerleştirildi. İstatistiksel analiz için SPSS programı(version 10.0 for Windows, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) kullanıldı. Ortalama ve standard sapmalar her ölçüm için hesaplandı. Gruplar arası karşılaştırmalarda ANOVA, Kruskal Wallis testleri kullanıldı. Anlamlı farklılık gösteren değişkenlerde farkın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek için Mann-Whitney U testinden yararlanıldı. Grup içi yaş ve cinsiyet dağılımında Ki-kare, grafik ve tablolar için ise Excel programları kullanıldı. İstatistiksel anlamlılığı belirtmek için P değeri kullanıldı, ve en küçük anlamlılık sınırı 0.05 olarak kabul edildi.

BULGULAR

Çalışmaya sağlıklı 22 kadın, 18 erkek, toplam 40 kişi dahil edildi. Toplam 240 Pentacam korneal topografi analizi yapıldı. Kırk bir ölçüm, Pentacam ölçüm kalite kriterleri sağlayamadığında çalışmadan çıkarıldı. Erkek katılımcıların yaş ortalaması $14,3\pm 3,27$, kadın katılımcıların yaş ortalaması $14,3\pm 4,3$ olarak hesaplandı. Katılımcılar arasında yaş ve cinsiyet dağılımı yönünden istatistiksel olarak farklılık yoktu ($P>0,05$).

İlaçsız kontrol dinlenme durumu (KD), miyotik pilokarpin uygulanan gözler (MPUG) ve midriyatik siklopentolat uygulanan gözler (MSUG) olmak üzere üç grup arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptandı. (Kruskal Wallis ve ANOVA testleri, $P<0,05$). Anlamlı farklılık gösteren ön segment parametreleri 3 mm'lik ön yüzey Km ($P=0,03$), pupil çapı ($P=0,047$), astigmatizma ($P=0,01$), PM kalınlığı ($P=0,012$), KTN ($P=0,013$), EİK ($P=0,011$), KH ($P=0,01$), ÖKD ($P=0,006$), ön aksiyel Kku ($P=0,008$), arka aksiyel Kku ($P=0,032$), santral 3mm'lik alanda KH ($0,01$), 5mm'lik alanda KH ($0,021$), 7 mm'lik alanda KH ($P=0,022$), KK 3 mm'lik alanda ($P=0,09$) ve 10 mm'lik alanda KK ($P=0,038$) olarak belirlendi.

Kontrol dinlenme grubunda ortalama ÖKD $3,18\pm 0,23$ mm, MPUG' de $2,95\pm 0,27$ mm, MSUG'de ise $3,26\pm 0,2$ mm olarak hesaplandı. Ön kamara derinliği yönünden gruplar arasındaki karşılaştırmada istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulundu (Kruskal Wallis testi, $P<0,05$).

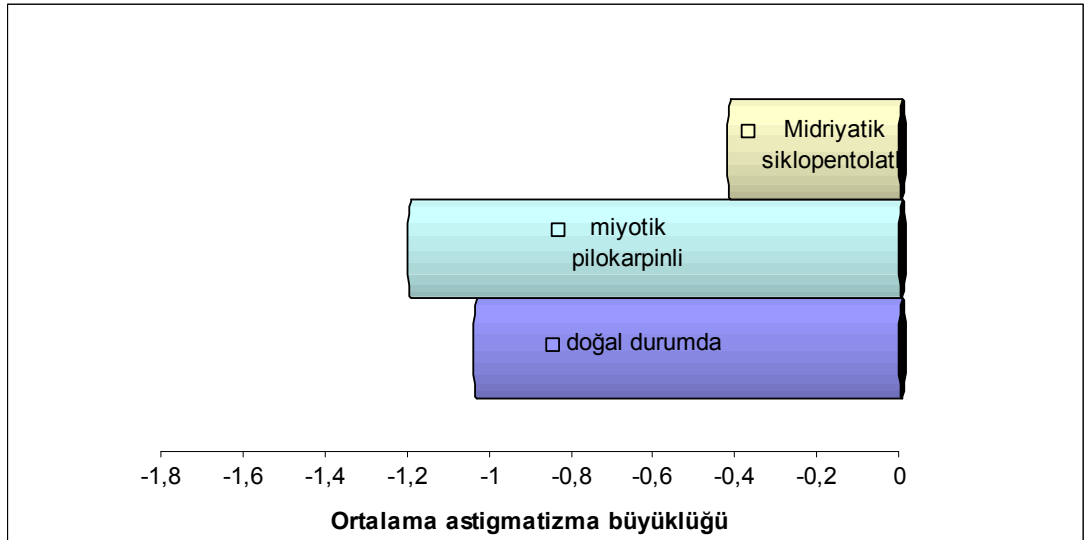
Keratometri (Km)

Ortalama ön yüzey Km, KD'da $42,93\pm 1,4$ diyoptri (D), MPUG' de $42,90\pm 1,56$ D, MSUG'de $42,06\pm 1,28$ D olarak hesaplandı. Ortalama ön yüzey Km yönünden gruplar arası ikili karşılaştırmalarda KD ve MPUG arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık yokken, KD-MSUG ($P=0,02$) ve MSUG-MPUG ($P=0,03$) arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptandı.

Ortalama arka yüzey Km KD'da $-6,12 \pm 0,2$ D, MPUG'de $-6,12 \pm 0,46$ D, MSUG'de $-6,08 \pm 0,27$ D olarak hesaplandı. Ortalama arka yüzey Km yönünden gruplar arasında ikili karşılaştırmada KD ve MPUG arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık yokken, KD-MSUG ($P < 0,05$) ve MSUG-MPUG ($P < 0,05$) arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptandı.

Astigmatizma ve siklotorsiyon

Ortalama kornea ön yüzey astigmatizma değeri KD'nda $-1,04 \pm 1,9$ D , MPUG'de $-1,20 \pm 1,6$ D, MSUG'de $-0,42 \pm 1,57$ D olarak hesaplandı. Ortalama kornea ön yüzey astigmatizma yönünden gruplar arasında ikili karşılaştırmada KD ve MPUG arasında istatistiksel anlamlı farklılık yokken ($P = 0,329$) , KD-MSUG ($P = 0,01$) ve MSUG-MPUG ($P = 0,001$) arasında istatistiksel anlamlı farklılık saptandı (Şekil 9).



Şekil 9. Pupilin doğal, miyotik pilokarpin ve midriyatik siklopentolat uygulanan gözlerdeki ortalama astigmatizma değişimi. Midriyatik siklopentolat uygulanan gözlerde anlamlı şekilde astigmatizma büyüklüğünde azalma görülmektedir ($P < 0,05$).

Katılımcıların tamamında (%100) torsiyonel göz hareketleri saptandı. Miyotik pilokarpin uygulanan gözler ve MSUG arasındaki torsiyondan kaynaklanan ön korneal astigmatizma aksındaki fark ortalama $4,2^{\circ} \pm 4,0^{\circ}$ (1° den 15° a kadar) olarak hesaplandı.

Korneal kalınlık

Ortalama KTN kalınlık değeri KD'nda $549,6 \pm 41,93$ μm , MPUG'de $541,33 \pm 62,87$ μm , MSUG'de $567,42 \pm 31,7$ μm olarak hesaplandı. Ortalama KTN kalınlık yönünden gruplar arasında ikili karşılaştırmada KD ve MPUG arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık yokken ($P=0,44$), KD-MSUG ($P=0,01$) ve MSUG-MPUG ($P=0,007$) arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptandı.

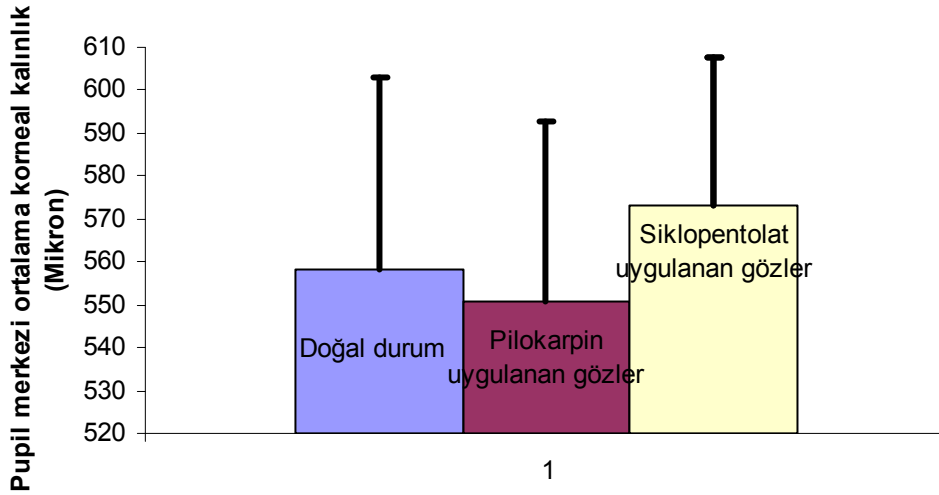
En ince kornea yeri referans alınmak kaydıyla 3 mm çaplık alanda ortalama KK değeri KD'nda $640,1 \pm 48,3$ μm , MPUG'de $628,4 \pm 55,4$ μm , MSUG'de $654,0 \pm 37,4$ μm olarak hesaplandı. Üç mm çaplık alanda ortalama KK yönünden gruplar arasında ikili karşılaştırmada KD ve MPUG arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık yokken ($P=0,3$), KD-MSUG ($P=0,02$) ve MSUG-MPUG ($P=0,005$) arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptandı.

En ince kornea yeri referans alınmak kaydıyla 5 mm çaplık alanda ortalama KK değeri KD'nda $805,3 \pm 50,1$ μm , MPUG'de $795,7 \pm 67,3$ μm , MSUG'de $827,5 \pm 49,3$ μm olarak hesaplandı. Beş mm çaplık alanda ortalama KK yönünden gruplar arasında ikili karşılaştırmada KD ve MPUG arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık yokken ($P=0,91$), KD-MSUG ($P=0,04$) ve MSUG-MPUG ($P=0,05$) arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptandı.

Pupil merkezi kalınlık ve koordinat değişimi

Ortalama PM kalınlığı KD'da $558,01 \pm 44,9$ μm , MPUG'de $550,73 \pm 42,2$ μm , MSUG'de $573,1 \pm 34,7$ μm olarak hesaplandı. Ortalama PM kalınlığı yönünden gruplar arasında ikili karşılaştırmada KD ve MPUG

arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık yokken (P=0,49), KD-MSUG (P=0,01) ve MSUG-MPUG (P=0,01) arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptandı (Şekil10).



Şekil 10. Pupil merkezi kalınlık değişimi. Siklopentolat uygulanan gözler anlamlı şekilde korneal kalınlıkta artış göstermektedir. (P<0,05)

Gruplar arasındaki karşılaştırmada PM ve EİK yerlerinin ortalama x ve y koordinat verilerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı (Kruskal Wallis testi, ANOVA testi, P<0,05).

Pupil merkezinin KTN'a x koordinatında ortalama uzaklığı sağ göz için KD'nda $-0,183 \pm 0,19$ mm , MPUG'de $-0,169 \pm 0,12$ mm, MSUG'de $-0,177 \pm 0,13$ mm olarak hesaplandı. Gruplar arasında karşılaştırmada pupil merkezinin KTN'a x koordinatında ortalama uzaklığı verilerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı (Kruskal Wallis testi, P=0,808).

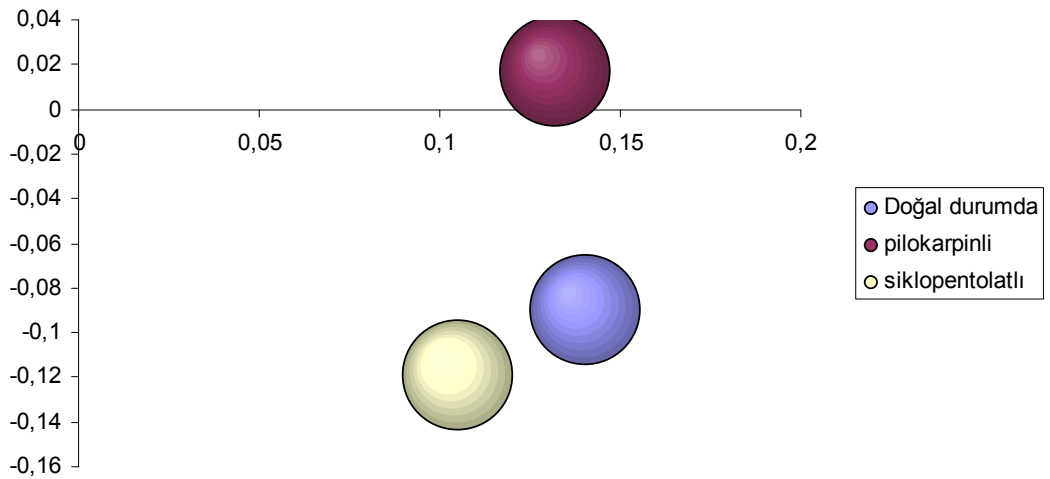
Pupil merkezinin KTN'a y koordinatında ortalama uzaklığı sağ göz için KD'nda $-0,06 \pm 0,31$ mm, MPUG'de $0,0187 \pm 0,16$ mm, MSUG'de $-0,101 \pm 0,44$ mm olarak hesaplandı. Gruplar arasında karşılaştırmada pupil

merkezinin KTN'a y koordinatında ortalama uzaklığı verilerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı (Kruskal Wallis testi, P=0,29).

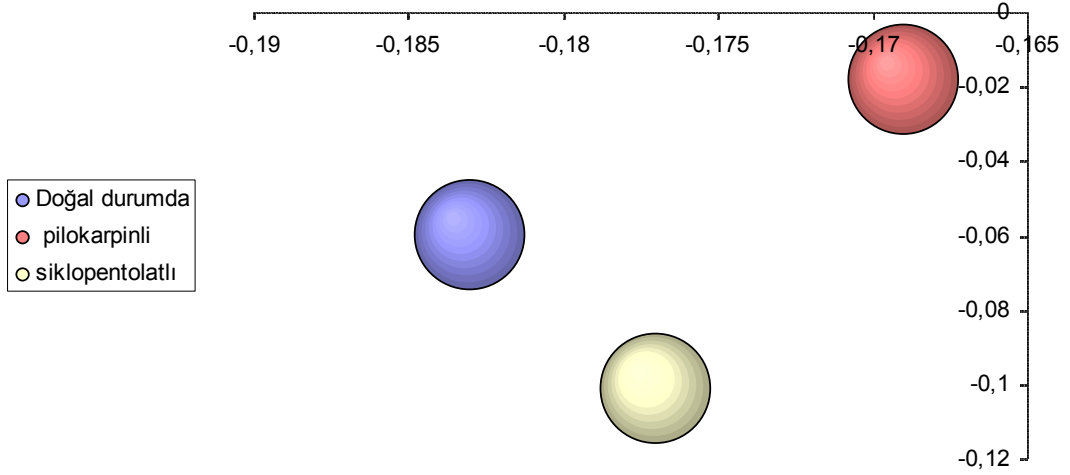
Pupil merkezinin KTN'a x koordinatında ortalama uzaklığı sol göz için KD'nda $0,141 \pm 0,15$ mm , MPUG'de $0,132 \pm 0,18$ mm, MSUG'de $0,105 \pm 0,15$ mm olarak hesaplandı. Gruplar arasında karşılaştırmada pupil merkezinin KTN'a x koordinatında ortalama uzaklığı verilerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı (Kruskal Wallis testi, P=0,62).

Pupil merkezinin KTN'na y koordinatında ortalama uzaklığı sol göz için KD'nda $-0,09 \pm 0,37$ mm, MPUG'de $0,017 \pm 0,41$ mm, MSUG'de $-0,119 \pm 0,32$ mm olarak hesaplandı. Gruplar arasında karşılaştırmada pupil merkezinin KTN'a y koordinatında ortalama uzaklığı verilerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı. (Kruskal Wallis testi, P=0,34)

Pupil merkez koordinatlarındaki farklı akomodatif düzeylerdeki değişim miktarı istatistiksel olarak anlamlılık göstermemektedir. Pupil merkez mesafeleri MPUG 'de y ekseninde KTN'a yaklaşır gibi görünse de yaklaşma miktarları grafiklerde görüldüğü gibi ihmal edilebilir düzeydedir (Şekil 11, 12).



Şekil 11. Farklı akomodatif düzeylerde ortalama pupil merkez koordinatlarındaki değişim. O noktası kornea tepe noktasını temsil etmektedir. Sol göz.



Şekil 12. Farklı akomodatif düzeylerde ortalama pupil merkez koordinatlarındaki değişim. O noktası kornea tepe noktasını temsil etmektedir. Sağ göz.

En ince kornea (EİK) kalınlığı ve koordinat değişimi

Ortalama EİK yeri kalınlığı, KD'da $548,2 \pm 43,41 \mu\text{m}$, MPUG'de $541,6 \pm 62,7 \mu\text{m}$, MSUG'de $567,3 \pm 31,5 \mu\text{m}$ olarak hesaplandı. Ortalama EİK yeri kalınlığı yönünden gruplar arasında ikili karşılaştırmada KD ve MPUG arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık yokken ($P=0,59$), KD-MSUG ($P=0,07$) ve MSUG-MPUG ($P=0,01$) arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptandı (Tablo 2).

Tablo 2. Farklı akomodatif durumlarda saptanan korneal kalınlık değerleri (μm)

	Dinlenme durumu (n=63)	Akomode gözler (n=63)	Disakomode gözler (n=70)	p değeri (dinlenme-Akomode)	p değeri (Akomode Disakom.)
Tepe noktası KK	549,6 \pm 42,9	541,3 \pm 62,9	567,4 \pm 31,7	<0,05	<0,05
En ince KK	548,2 \pm 43,4	541,6 \pm 62,7	567,3 \pm 31,5	<0,05	<0,05
Pupil merkez KK	558,0 \pm 44,9	550,7 \pm 42,2	573,1 \pm 34,7	<0,05	<0,05
1 mm çaplık alanda ortalama KK	560,6 \pm 41,9	551,4 \pm 56,3	577,4 \pm 31,9	<0,05	<0,05
3 mm çaplık alanda ortalama KK	640,1 \pm 48,3	628,4 \pm 55,4	654,0 \pm 37,4	<0,05	<0,05
5 mm çaplık alanda ortalama KK	805,3 \pm 50,1	795,7 \pm 67,3	827,5 \pm 49,3	<0,05	<0,05

KK=korneal kalınlık; n=değerlendirmeye alınan göz adedi

Korneal hacim

Üç mm çaplık alanda ortalama KH KD'da $4,0\pm 0,3 \text{ mm}^3$, MPUG'de $3,97\pm 0,3 \text{ mm}^3$, MSUG'de $4,1\pm 0,2 \text{ mm}^3$ olarak hesaplandı. Üç mm çaplık alanda ortalama KH yönünden gruplar arasında ikili karşılaştırmada KD ve MPUG arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık yokken ($P=0,34$), KD-MSUG ($P=0,01$) ve MSUG-MPUG ($P=0,01$) arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptandı.

Beş mm çaplık alanda ortalama KH, KD'da $11,7\pm 0,8 \text{ mm}^3$, MPUG'de $11,6\pm 0,9 \text{ mm}^3$, MSUG'de $12,0\pm 0,6 \text{ mm}^3$ olarak hesaplandı. Beş mm çaplık alanda ortalama KH yönünden gruplar arasında ikili karşılaştırmada KD ve MPUG arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık yokken ($P=0,47$), KD-MSUG ($P=0,02$) ve MSUG-MPUG ($P=0,02$) arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptandı.

On mm çaplık alanda ortalama KH, KD'da $60,7\pm 4,4 \text{ mm}^3$, MPUG'de grubunda $60,4\pm 5 \text{ mm}^3$, MSUG'de $62,6\pm 3,6 \text{ mm}^3$ olarak hesaplandı. On mm çaplık alanda ortalama KH yönünden gruplar arasında ikili karşılaştırmada KD ve MPUG arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık yokken ($P=0,47$), KD-MSUG ($P=0,02$) ve MSUG-MPUG ($P=0,04$) arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptandı (Tablo 3).

Tablo 3. Farklı akomodatif durumlarda saptanan korneal hacim değerleri (mm³)

	Kontrol durumu (n=63)	Miyotik pilokarpin uygulaması (n=63)	Midriyatik uygulaması (n=70)	siklopentolat	p değeri (kontrol-midriyatik)	p değeri (miyotik-midriyatik)
3 mm çaplık alanda KH	4,0±0,3	3,97±0,3	4,1±0,2		0,02*	0,01*
5 mm çaplık alanda KH	11,7±0,8	11,6±0,9	12,0±0,6		0,02*	0,02*
7 mm çaplık alanda KH	25,1±1,7	24,8±1,9	25,7±1,3		0,015*	0,02*
10 mm çaplık alanda KH	185,8±35,3	180,04±35,06	192,7±34,8		0,02*	0,04*

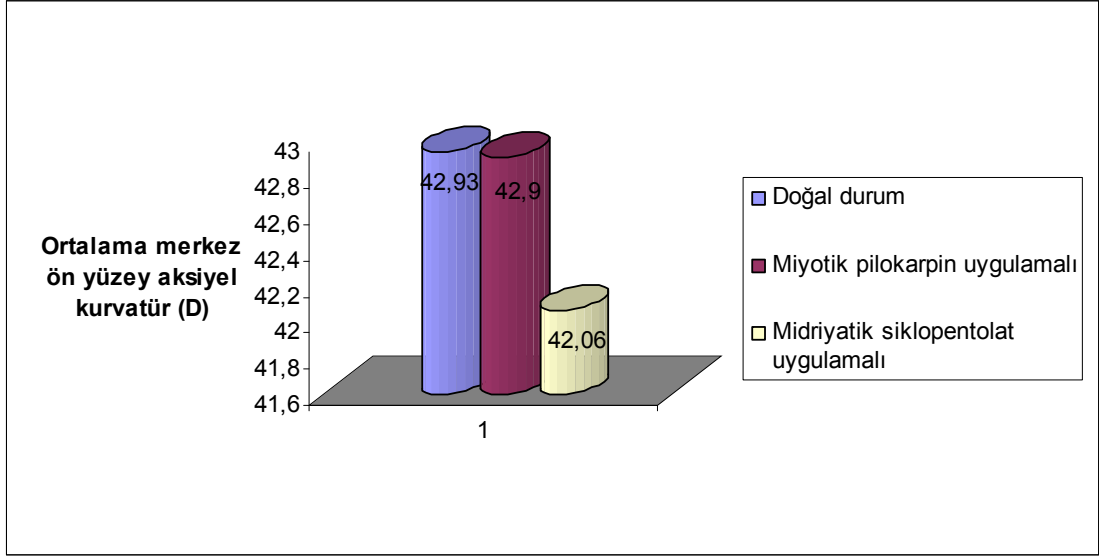
KH=korneal hacim; n=değerlendirmeye alınan göz adedi; (*)= istatistiksel olarak anlamlı, p<0,05

Pupil çapı

MPUG'de pupil büyüklüğü ortalama 2,04±0,5 mm, MSUG 'de 6,4±1,19 mm, KD'nda 3,13±0,58 olarak saptandı. Pupil büyüklüğü yönünden gruplar arasındaki karşılaştırmada istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulundu (Kruskal Wallis testi, P<0,05).

Tanjansiyel ve aksiyel kurvatür

Ortalama ön merkez yüzey aksiyel Kku KD'da 42,6±1,4 D, MPUG'de 42,9± 1,6 D, MSUG'de 41,9±1,6 D olarak hesaplandı. Ortalama ön merkez yüzey aksiyel Kku yönünden gruplar arasında ikili karşılaştırmada KD ve MPUG arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık yokken (P=0,40), KD-MSUG (P=0,02) ve MSUG-MPUG (P=0,002) arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptandı (Şekil 13).



Şekil 13. Merkez ön yüzey ortalama aksiyel kurvatür değerleri.

Merkez ön yüzey ortalama tanjansiyel Kku, KD'da $42,2 \pm 1,43$ D, MPUG'de $42,6 \pm 2,1$ D, MSUG'de $42 \pm 2,4$ D olarak hesaplandı. Gruplar arasındaki karşılaştırmada ön tanjansiyel Kku verilerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı (Kruskal Wallis testi, $P=0,73$).

Ortalama merkez arka yüzey aksiyel Kku KD'da $-5,9 \pm 0,22$ D, MPUG'de $-6 \pm 0,32$ D MSUG'de $-5,9 \pm 0,31$ D olarak hesaplandı. Ortalama merkez arka yüzey aksiyel Kku yönünden gruplar arasında ikili karşılaştırmada KD ve MPUG arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık yokken ($P=0,16$), KD-MSUG ($P=0,02$) ve MSUG-MPUG ($P=0,01$) arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptandı.

Ortalama merkez arka yüzey ortalama tanjansiyel Kku KD'da $-5,6 \pm 0,45$ D, MPUG'de $-5,7 \pm 0,3$ D, MSUG'de $-5,6 \pm 0,34$ D olarak hesaplandı. Gruplar arasındaki karşılaştırmada arka tanjansiyel Kku verilerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı (Kruskal Wallis testi, $P=0,36$) (Tablo 4).

Tablo 4. Farklı akomodatif durumlarda saptanan ortalama merkez ön/arka aksiyel ve tanjansiyel korneal kurvatür değerleri (D)

	Kontrol durumu (n=63=	Miyotik Gözler (n=63)	Midriyatik gözler (n=70)	P değeri (p<0,05)
OMÖ Aksiyel Kku	42,6±1,4	42,9±1,6	41,9± 1,6	0,004*
OMA Aksiyel Kku	-5,9± 0,22	-6 ± 0,32	-5,9± 0,31	0,032*
OMÖ Tanjansiyel Kku	42,2±1,4	42,6± 2,1	42± 2,4	0,73
OMA Tanjansiyel Kku	-5,6±0,45	-5,7±0,3	-5,6± 0,34	0,36

OMÖ=ortalama merkez ön; OMA=ortalama merkez arka; Kku=korneal kurvatür; n=değerlendirmeye alınan göz adedi; (*)= istatistiksel olarak anlamlı

TARTIŞMA VE SONUÇ

Akomodasyonun farmakolojik olarak uyarılması ile konverjansın eşlik etmediği mecburi akomodatif durum ortaya çıkmaktadır. Akomodasyon düşük düzeyde bile olsa pilokarpin kullanılarak bu düzey arttırılabilir. Akomodasyon için farmakolojik uyarı kullanılmasıyla minimal efor veya kooperasyon halinde bile akomodatif ölçümlerin yapılabilme avantajı vardır. Farmakolojik uyarı ile kooperasyonun zayıf olduğu çocukluk yaş grubunda normal akomodasyon fonksiyonunun incelenmesi gereken durumlar için daha objektif veriler elde edilebilir. Literatürde farmakolojik akomodasyon uyarı metodu akomodasyona yönelik düzeltici cerrahi girişimler ve yaşlanma ile ortaya çıkan değişiklikleri belirlemek için de önerilmiştir (136). Çalışmanın kooperasyonun zor olduğu çocukluk yaş grubunda yapılması ve proksimal/istemli akomodasyon gibi faktörlerden dolayı farmakolojik akomodasyon uyarısını tercih ettik.

Korneal kalınlık ölçümlerinde referans noktası olarak KTN'nın alınması önerilmektedir (137). Biz referans noktası olarak EİK yerini kullandık. Referans noktası olarak EİK noktasını kullanmamızın sebebi akomodasyon sırasında torsiyonel veya korneal eğiklik gibi durumlardan en az etkilenecek noktanın EİK olacağını düşünmemizdir. En ince kornea noktasının KTN'na olan x ve y koordinatlarındaki ortalama yer değişiminin istatistiksel analizinde gruplar arasında fark saptamadık ($P>0,05$).

Korneal kalınlık değişimi üzerinde birçok faktör etkili olmaktadır. (165) Kornea yaş ve myopinin artışıyla incelik (138,139). Diğer taraftan korneal kalınlık ölçümlerinde diurnal varyasyon olduğu ve sabah saatlerinde korneanın daha kalın olduğu da bilinmektedir. Bir çalışmada kornea kalınlığının gündüz saat 15⁰⁰ da en ince olduğu rapor edilmiştir (140). Çalışmamızda, çalışmaya dahil etme kriterlerinde en az 4 saat uyanıklığı esas tutmakla beraber siklopentolat ile yapılan ölçümlerde kornea kalınlığında önemli miktarda artış saptandı. Saitoh ve ark. da siklopentolat

uygulanan gözlerde KK artışı saptamıştır (141). Saitoh ve ark. korneal kalınlık artışına sebep olarak siklopentolat damlatılan gözlerin 30 dakika kadar kapalı tutulmasını göstermişlerdir (141). Bu çalışmada gözlerin 30 dakika kapatılması gibi bir uygulamaya gidilmediği halde akomodasyonun engellenmesiyle KK ve KH de artma, uyarılmasıyla KK ve KH de azalma saptadık.

Bir balonun hava ile şişirilerek iç basıncı artırıldığında balon hacmi artarken kalınlığının azalması beklenir. Balon modelinde olduğu gibi akomodasyon ile KK ve KH de azalma görülmesi için muhtemel bir mekanizma göz içi basınç değişimi olabilir. Akomodasyon ile eğer göz içi basınç yükselmesi gösterilebilirse içeriden artmış basıncın KK ve KH de azalmaya yol açabileceği öne sürülebilir. Fakat hem hayvan deneylerinde hem de insan denekler üzerinde yapılan yapay oluşturulmuş göz içi basınç yükseltmelerinde anlamlı korneal çatı değişikliği bildirilmemiştir (142-144). Buradan hareketle akomodasyon sırasında konverjansa bağlı ekstra oküler kasların göz küresi üzerindeki korneal etkilerinin de sınırlı olacağını söyleyebiliriz.

Pentacam oküler kayma, fiksasyon kaybı ve torsiyonel göz hareketlerine duyarlıdır. Ölçüm esnasında XYZ düzlemlerinde sonuçları etkileyecek baş ve göz hareketleri Pentacam cihazındaki ölçüm kalite kriterleriyle görülebilmektedir. Ayrıca Pentacam fiksasyon kaybı veya gözün uzaysal duruşundaki değişiklikleri kaydedebilir. Kornea tepe noktasına göre EİK yeri ve pupil merkez koordinatları KD, MPUG ve MSUG' de hem x koordinatında hem de y koordinatında istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermedi ($P>0,05$). Dolayısıyla yaptığımız ölçümlerde desantralizasyon ihtimali görünmemektedir. Bununla beraber MPUG ve KD arasında KK, KH, merkez aksiyel Kku gibi değerlerde istatistiksel olarak anlamlı farklılığın olmaması fakat her iki grup ile MSUG'in aralarında anlamlı farklılığın ortaya çıkması ($P<0,05$) saptanan farklılığın sebebi olarak bizi akomodasyon etkisinden uzaklaştırmıştır.

Pupil büyüklük ölçümünde Pentacam cihazı için zayıf tekrarlanabilirlik değerleri bildirilmiştir (137). Akomodasyon, konverjans ve pupil küçülmesi

beraber “yakın üçlü” şeklinde tanımlanmaktadır. Bu 3 farklı durum, birbirlerine bağlı olduğu izlenimi vermektedir. Bu beraber oluşma durumu akomodasyon ve konverjans için geçerli olsa da pupil çapındaki değişimler için geçerli değildir (111,145). Pupil çapı yakın görmede birlikte değişim gösterse de bağımsız hareket eder. Diğer bir deyişle yakın üçlünün diğer üyelerinin vaziyeti ile pozisyon almaz (146). Pupil küçülmesi her ne kadar yakın uyarıda ortaya çıktığı Scheiner tarafından 1615 de gözlemlenmişse bile bunun her zaman olmadığını kişiler arasında aynı yaş grubunda bile önemli farklar olduğunu biliyoruz (147-150). Özellikle yakın miyotik cevabın çocukluk yaş grubunda hemen hemen olmadığı bildirilmektedir (149,150). Test KD grubunda doğal pupil durumunda yapıldı. Pupil boyutu ise dinamik olup birçok faktörden etkilenebilmekte (ışık, heyecan, akomodasyon vb.) ve kompleks bir nöral mekanizma ile kontrol edilmektedir (151). Ölçümler sırasında ortam aydınlatması sabit olarak standardize edilerek katılımcıya mavi kesit ışığın içindeki siyah hedefe odaklanmaları söylenmektedir. Bu telkin ve yönlendirmelere rağmen ölçümün yapıldığı iki saniye boyunca pupiller odaklanamama veya hippus beklenebilir. Dolayısıyla bu parametrede standart sapmanın yüksekliği gruplar arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılığı etkileyebilir. Farmakolojik uyarı ile yapılan pupil büyüklüğü tayininde MPUG ve MSUG`de bu sorun yaşanmadı.

Kimi araştırmacılar korneada akomodasyonla ortaya çıkan dikleşmeyi savunmuştur (141). Bu korneal kurtatür artışının siliyer kas kasılması sonucu kasın radyal ve boyuna liflerinin eklemlendiği skleral mahmuzun korneada oluşturduğu çekimle meydana gelebileceği öne sürülmektedir (141). Siliyer kasın boyuna lifleri skleral mahmuzu skleraya paralel çekmektedir (43). Akomodasyon sırasında beliren bu kuvvetin korneal çatı üzerinde düzleştirici etkisinin daha muhtemel olduğunu öngörmekteyiz. Diğer taraftan siliyer kasın ön radyal ve halkasal liflerinin öne ve içeri doğru hareketi, korneada dikleşme fikrini destekler. Ön radyal kas liflerinin skleral mahmuz yoluyla korneada dikleşme oluşturacağı fikrini bu liflerin görece çok az hacim kaplamasından dolayı mümkün görmüyoruz. Sonuçta bu farklı güçlerin

dengeli çalıştığını ve perifer ve santral korneada dikleşmeyle sonuçlanacak çatı değişikliğine yol açmadığını öngörmekteyiz.

Yasuda ve ark. çalışmalarında Helmholtz'un akomodasyon hipotezi temelinde korneanın akomodasyon ile daha dik bir kurvatüre ulaştığını bildirmişlerdir (10). Siliyer kasın kasılma sırasındaki sentripedal hareketinin limbus yoluyla kornea üzerinde dikleştirici etkisinin olacağını öngörmüşlerdir (10). Diğer taraftan Schachar bu öngörüye siliyer kasın sentripedal hareketinin olmayacağını histolojik olarak Lutjendrejoll ve ark.'nın çalışmasını işaret ederek itiraz etmiştir (11,152). Ayrıca göz küresinin içi su dolu bir balon gibi davranıp ortadan boğumlanma gibi bir pozisyonda korneal kurvatürde dikleşmeden çok düzleşme yapacağını savunmuştur. Biz Yasuda ve ark.'nın gözün akomodasyon sırasında korneadaki santral ve perifer kalınlık ve elastikiyet farklılıklarından dolayı içi su dolu bir balon gibi davranamayacağı fikrine katılıyoruz (5). Fakat hem KD'nda hem de tam akomodasyonu hedeflediğimiz MPUG'de korneal kurvatürde MSUG'e kıyasla dikleşme saptadık. Burada akomodasyon ile korneal kurvatürün dikleşmesi hipotezini desteklemiyoruz.

Tanjansiyel kurvatür ölçüm yapılan noktadaki kurvatür değeridir. Tanjansiyel kurvatür ölçümlerinde korneadaki yerel değişimler optik akstan bağımsız olarak ölçülebilir. Aksiyel kurvatürü ise ölçüm yapılan nokta ile bu noktayı optik aksa bağlayan dikine doğrunun uzunluğu vermektedir. Ölçüm yapılan noktaya gönderilen referans ışınların bu noktayı algıladıkları düzlem aksiyel kurvatür sonuçlarında etkilidir. Ölçüm yapılan noktanın eğikliği aksiyel kurvatür ölçümünde etkilidir. Görsel akstaki değişimler bakılan noktanın cihaz tarafından algılanma parametrelerini değiştirmektedir. Tanjansiyel kurvatür hesaplamaları için korneada her ölçüm noktasındaki kurvatür merkezinin kameranın optik eksenine rölatif olarak ayarlanması söz konusu değildir. Gruplar arasında akomodasyondan kaynaklanan kurvatür değişikliği ortaya çıkıyorsa ön/arka merkez aksiyel Kku ve tanjansiyel Kku değerlerinin her ikisinde birden sinerjistik farklılık görülmesi beklenir. Çalışmamızda kurvatür farklılığını sadece ön/arka merkez aksiyel Kku değerlerinde saptadık. Aynı korneanın aynı noktasında saptanan farklı aksiyel kurvatür

değerleri kameranın optik eksenini ile korneal düzlem arasındaki pozisyon değişimine bağlı ortaya çıkabilir.

Bu çalışmada MPUG ile KD'nda olan gözler arasında korneal çatıda akomodasyon ile uyarılmış istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptamadık. Bu durum daha önce santral kornea üzerine bildirilmiş bazı çalışmalarla uyumludur (6-8). Pierscionek ve ark. santral korneal kurvatür değerinde en az bir meridyende akomodasyon ile ortaya çıkan farklılık bulmuşlardır (4). Fakat kurvatür farklılığı üzerinde akomodatif uyarı ile ortaya çıkan torsiyonel etkinin sorumlu olabileceğini düşünmektedirler (4,94,153-155). Çalışmamızda tüm katılımcılarda korneal topografiler üzerinde akomodasyon ile ortaya çıkan siklotorsiyon saptadık (%100). Bu durum bazı çalışmalarda akomodasyon ile ortaya çıkan korneal dikleşmeden sorumlu tutulmaktadır (4,155). Buehren ve ark. akomodasyonun farklı düzeylerinde ortaya çıkan astigmatizma aksındaki değişimin gözün ölçüm cihazı karşısındaki pozisyon değişikliğinden kaynaklanabileceğini düşünmüşler, uyguladıkları resantralisasyon yöntemiyle ise ortaya çıkan korneal çatı değişikliklerinin kısmen düzeldiğini bildirmişlerdir (94).

Üretici firma Pentacam ölçümlerinde Kku hesaplamalarında santralizasyon kabiliyetinin yüksekliğinin üzerinde durmaktadır. Pentacam cihazının KTN üzerinde sabit bir nokta belirleyerek, istemsiz sakkadik göz hareketlerine rağmen santralizasyonu muhafaza ettiği bilinmektedir (156). Kendi çalışmamızda KTN noktası 0 koordinat olarak alındığı halde EİK ve pupil merkez noktalarının x ve y koordinatlarında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptamadık. Korneal topografi ölçümlerinde torsiyondan kaynaklanan astigmatizma aksı değişmesi saptasak da bunun Kku üzerindeki değiştirici etkisini açıklayabilmiş değiliz. Eğer akomodasyon ile ortaya çıkan torsiyonel göz hareketleri kornea tepe noktasında yer değişikliğine yol açıyorsa Pentacam ölçümlerindeki EİK yeri ve pupil merkez koordinatlarının da (KTN'daki yer değişime bağlı olarak) yer değiştirmesi gerekir (183). Biz akomodasyon ile ortaya çıkan torsiyonel göz hareketlerinin Pentacam alıcılarıyla kornea düzlemi arasındaki pozisyondan kaynaklanan kurvatür değişiminde sadece XY düzleminde etkili olduğunu düşünmekteyiz. Tek

başına XY düzlemindeki farklılığın korneal kurvatür değişimi üzerinde etkin olduğunu düşünmüyoruz. Diğer taraftan Z düzleminde ortaya çıkmış bir değişikliğin cihazın optik aksıyla korneal düzlem arasındaki açıyı değiştireceğinden aksiyel kurvatürde farklılık oluşturacağını düşünmekteyiz. Torsiyon tanım olarak dönme ile sinonimdir (157). Gözün ön-arka aks (Z aksı) etrafında dönmesini tarif etmektedir. Bununla beraber torsiyondan kaynaklanan astigmatizma aksı farklılığı korneal topografide fark haritalarını kullanmayı anlamsız hale getirecektir. Fakat Z düzleminde korneada eğiklik oluşturacak bir durum, KTN noktası değişmese bile Pentacam`ın KH ve KK hesaplamalarında değişikliğe yol açabilir.

Buehren ve ark.`nın bildirdiği gibi akomodasyon sırasında eksiklorsiyon korneal topografilerde simetri farklılığı yapar (94). Fakat asimetri korneanın ön/arka santral 3 mm`lik Km değerinde ve merkez aksiyel ve tanjansiyel Kku değerlerinde farklılık oluşturmayacağı düşüncesindeyiz. Siklorsiyon ile görülmesi beklenen farklılık fark haritaları ve astigmatizma aksı değerlerinde ortaya çıkması beklenir.

Literatürde zayıf fiksasyonun ölçüm hatalarının potansiyel sorumlularından olduğu gösterilmiştir (158-161). Normal fiksasyon paterni mikro sakkadik hareketler veya tremor gibi minyatür göz hareketleri olarak tanımlanmaktadır (162,163). Görme keskinliğinin göz tembelliği, düzeltilmemiş kırılma kusurları gibi azaldığı durumlarda bu mikro sakkadik hareketin büyüklüğünün arttığı bilinmektedir (164).

Cihazın optik eksenini ile KTN arasındaki uyumu cihaz üzerindeki fiksasyon hedefi belirler. Bu siyah hedef halkaların ölçümün yapılan kişi tarafından net algılanması ölçüm sonuçları duyarlılığı açısından önemlidir. Gençlerde optik aks ile görsel aksın yönünün hedefe odaklanma olmadan üst üste bindiği durumlarda korneal güçte, astigmatizmada ve aksta önemli miktarda kaymalar elde edilmiştir (165). Douthwaite ve Pardhan korneanın cihazların optik aksıyla objenin bakış yönü çakışsa bile korneada eğilme ve laterale yer değiştirmenin mümkün olduğunu bildirmişlerdir (166,167). Yine Douthwaite ve Pardhan gözün optik aks üzerinde bir noktaya odaklanması halinde bile cihazın santralizasyon yapabileceğini fakat bu durumda

korneada eğim değişikliğinin oluşacağından bahsederler (167). Sonuçta zayıf fiksasyon sonucu Hubbe ve Foulks'un bildirdiği gibi cihazın optik aksıyla görsel aks arasındaki düzlem değişmekte ve farklı kurvatür değerleri elde edilmektedir (160). Çalışmamızda akomodasyon felcine bağlı yakın odaklanma zayıflığından dolayı optik aks ile görsel aks uyumu bozulabilir. Dolayısıyla MSUG'den elde edilen daha düz aksiyel kurvatür , artmış KK, artmış KH gibi verilerin fiksasyon zayıflığına bağlı hatalı göz pozisyonundan kaynaklanabilir.

Pentacam cihazının, mavi kesit içinde (LED) fiksasyon olarak kullandığı hedef 0 D olarak ayarlıdır. Diğer taraftan siklopentolat uygulanan gözlerde ise cihazın gösterdiği fiksasyon hedefi katılımcılarca akomodasyon felcinden dolayı netleştirilememektedir. Bulanık fiksasyon hedefi ise cihazın optik aksıyla katılımcının görme aksı aynı düzlemde bile olsa korneada eğiklik oluşturarak topografik ölçümleri değiştirmektedir(166). Hedefin netleştirilmesinde MPUG'de ve KD'nda sorun çıkmazken MSUG'de hedefin netleştirilememesinin kamaranın optik aksıyla korneal düzlem arasındaki açıyı değiştirebilir (160).

Sonuçlarımız arasında akomodasyonun uyarılması ile birlikte doğal durum ile karşılaştırıldığında KK ve KH de önemli miktarda farklılık saptanmadı. Diğer taraftan akomodasyonun engellenmesi ile KK ve KH' de önemli miktarda artış saptandı. Saitoh ve ark. (3) ise hem midriyatik hem miyotik halde korneada önemli miktarda kalınlık artışı bildirmişler, bu artışın mekanizmasını ise ilaç damlatılması sonrasında gözlerin 30 dakika kadar kapalı tutulmasına bağlamışlardır (141).Yasuda ve ark.'ın çalışmalarında ise KK veya KH değişimi çalışılmamıştır (10,168).

Kornea tepe noktasının tam karşısında olması gereken kamaranın optik aksı siklopentolatlı gözlerde hedef fiksasyonun görülememesinden veya netleştirilememesinden dolayı kayabilir. Dolayısıyla gözden geri alınmak üzere gönderilen kamera ışınları kornea düzleminden farklı açılardan yansyarak Pentacam cihazının ölçümlerinde değişmeye yol açabilir. Biz Gullstrand göz modelinin uygulandığı Pentacam topografi ölçüm cihazlarında aksiyel kurvatürdeki herhangi bir değişimin KK'dan bağımsız

düşünülmeyeceğini dolayısıyla hesaplamalarda göz önünde bulundurulması gerektiğini düşünmekteyiz.

Sonuç olarak gruplar arasında akomodasyon ile ÖKD ve pupil çapında istatistiksel olarak anlamlı azalma saptandı. Akomodasyonun engellendiği gözlerde ortaya çıkan aksiyel kurvatür düzleşmesi, KK ve KH artışının yetersiz fiksasyon sonucu korneal eğiklik ile oluşan ölçüm hatalarından kaynaklanabileceği düşünüldü. Korneal kurvatür değişimi dahil akomodasyon sırasında anlamlı korneal parametre değişimi saptanmadı.

KAYNAKLAR

1. Brown N. The change in shape and internal form of the lens of the eye on accommodation. *Exp Eye Res* 1973; 15: 441–459.
2. LeGrand Y. *Form and Space Vision*. M Millodot, GG Health, Translator; Bloomington (IN), Indiana Uni-versity Pres; 1967. 340 p.
3. Mandell RB, Helen RS. Stability of the corneal contour. *Am J Optom Arch Am Acad Optom* 1968;45:797–806
4. Piers'cionek BK, Popiolek-Masajada A, Kasprzak H. Corneal shape change during accommodation. *Eye* 2001; 15: 766–769.
5. Yasuda A, Yamaguchi T, Ohkoshi K Corneal steepening during accommodation, *Cataract Refract Surg*. 2004 Aug; 30(8): 1611–2.
6. Fairmaid JA. The constancy of corneal curvature: an examination of corneal response to changes in accommodation and convergence. *Br J Physiol Opt* 1959;16:2–23.
7. Löpping B, Weale RA, Changes in corneal curvature following ocular convergence. *Vision Res* 1965;5:207–15.
8. Mandell RB, Helen RS. Stability of the corneal contour. *Am J Optom Arch Am Acad Optom* 1968;45:797–806.
9. Fairmaid JA. The constancy of corneal curvature: an examination of corneal response to changes in accommodation and convergence. *Br J Physiol Opt* 1959;16:2–23.
10. Yasuda A, Yamaguchi T, Ohkoshi K. Changes in corneal curvature in accommodation. *J Cataract Refract Surg* 2003; 29:1297–1301
11. Schachar RA. Effect of accommodation on the cornea. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30:531–532
12. Lackner B, Schmidinger G, Pieh S, Funovics MA, Skorpik C. Repeatability and reproducibility of central corneal thickness measurement with Pentacam, Orbscan, and ultrasound. *Optom Vis Sci* 2005; 82: 892–899.
13. Barkana Y, Gerber Y, Elbaz U, Schwartz S, Ken-Dror G, Avni I, Zadok D. Central corneal thickness measurement with the Pentacam Scheimpflug system, optical lowcoherence reflectometry pachymeter and ultrasound pachymetry. *J Cataract Refract Surg* 2005; 31: 1729–1735.
14. O'Donnell C, Maldonado-Codina C. Agreement and repeatability of central thickness measurement in normal corneas using ultrasound pachymetry and the OCULUS Pentacam. *Cornea* 2005; 24: 920–924.
15. Buehl W, Stojanac D, Sacu S, Drexler W, Findl O. Comparison of three methods of measuring corneal thickness and anterior chamber depth (ACD). *Am J Ophthalmol* 2006; 141: 7–12
16. Uçakhan ÖÖ, Özkan M, Kanpolat A. Corneal thickness measurements in normal and keratoconic eyes: Pentacam comprehensive eye scanner versus non-contact specular microscopy and ultrasound pachymetry. *J Cataract Refract Surg* 2006; 32: 970–977
17. Amano S, Honda N, Amano Y, Yamagami S, Miyai T, Samejima, Ogata M, Miyata K. Comparison of central corneal thickness measurements by

- rotating Scheimpflug camera, ultrasonic pachymetry and scanning slit corneal topography. *Ophthalmology* 2006; 113: 937–941.
18. Khoramnia R, Rabsilber TM, Auffarth GU. Central and peripheral pachymetry measurements according to age using the Pentacam rotating Scheimpflug camera. *J Cataract Refract Surg* 2007; 33:830–836
 19. Lam AKC, Chen D. Pentacam pachometry: comparison with non-contact specular microscopy on the central cornea and intersession repeatability on the peripheral cornea. *Clin Exp Optom* 2007; 90:108–114
 20. Lackner B, Schmidinger G, Skorpik C. Validity and repeatability of anterior chamber depth measurements with Pentacam and Orbscan. *Optom Vis Sci* 2005; 82:858–861
 21. Rabsilber TM, Khoramnia R, Auffarth GU. Anterior chamber measurements using Pentacam rotating Scheimpflug camera. *J Cataract Refract Surg* 2006; 32:456–459
 22. Meinhardt B, Stachs O, Stave J, et al. Evaluation of biometric methods for measuring the anterior chamber depth in the noncontact mode. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2006; 244:559–564
 23. Elbaz U, Barkana Y, Gerber Y, et al. Comparison of different techniques of anterior chamber depth and keratometric measurements. *Am J Ophthalmol* 2007; 143:48–53
 24. Scheiner C. *Oculus Hoc Est: Fundamentum Opticum*. Oeniponti (Innsbruck): Daniel Agricola; [place unknown: publisher unknown]; 1619. p 37. German
 25. Daxecker F. Christopher Scheiner's eye studies. *Doc Ophthalmol* 1992; 81: 27–35.
 26. Helmholtz H von. *Treatise on Physiological Optics* 3rd German ed. JPC Southall, translator; Rochester: Opt Soc Am; 1924. p 143–172. Vol. I
 27. Glasser A, Kaufman PL. The mechanism of accommodation in primates. *Ophthalmology* 1999; 106: 863–872.
 28. Gullstrand, A. The mechanism of accommodation. 3rd German ed. JPC Southall translator. Rochester: Opt Soc Am; 1924, Appendix IV. p 382–415. (Helmholtz H von. *Treatise on Physiological Optics*, Vol. 1)
 29. Mann I. *The Development of the Human Eye*. New York: Grune & Stratton, Inc; 1969:46–67.
 30. Weale RA. *A Biography of the Eye: Development, Growth, Age*. London: H.K. Lewis; 1982.
 31. Zadnik K, Mutti DO, Fusaro RE, et al. Longitudinal evidence of crystalline lens thinning in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1995;36:1581–1587.
 32. Al-Ghoul KJ, Nordgren RK, Kuszak AJ, et al. Structural evidence of human nuclear fiber compaction as a function of ageing and cataractogenesis. *Exp Eye Res*. 2001; 72:199–214.
 33. Schachar RA. Growth patterns of fresh human crystalline lenses measured by in vitro photographic biometry. *J Anat*. 2005;206:575–580.
 34. Hogan MJ, Alvarado JA, Weddell JE. *Histology of the Human Eye*. Philadelphia, PA: WB Saunders Company; 1971:638–677.
 35. Kuszak JR, Zoltoski RK, Sivertson C. Fibre cell organization in crystalline lenses. *Exp Eye Res*. 2004;78:673–687.

36. Streeten BW. The nature of the ocular zonule. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 1982;80: 823–854.
37. Cain SA, Morgan A, Sherratt MJ, et al. Proteomic analysis of fibrillin-rich microfibrils. *Proteomics.* 2006;6:111–122.
38. Farnsworth PN, Burke P. Three-dimensional architecture of the suspensory apparatus of the lens of the Rhesus monkey. *Exp Eye Res.* 1977;25:563–576.
39. Stachs O, Martin H, Behrend D, et al. Three-dimensional ultrasound biomicroscopy, environmental and conventional scanning electron microscopy investigations of the human zonula ciliaris for numerical modelling of accommodation. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2006;244(7):836-844
40. Rohen JW. Scanning electron microscopic studies of the zonular apparatus in human and monkey eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1979;18:133–144.
41. Schachar RA. Is Helmholtz's Theory of Accommodation Correct? *Ann Ophthalmol.* 1999;31:10–17.
42. Abolmaali A, Schachar RA, Le T. Sensitivity study of human crystalline lens accommodation. *Comput Meth Prog Biomed.* 2006;2:45-49
43. Schachar RA, Anderson DA. The mechanism of ciliary muscle function. *Ann Ophthalmol.* 1995;27:126–132.
44. Schachar RA. Zonular function: a new hypothesis with clinical implications. *Ann Ophthalmol.* 1994;26:36–38.
45. Schachar RA. Histology of the ciliary muscle-zonular connections. *Ann Ophthalmol.* 1996;28:70–79.
46. Tscherning M. *Physiologic Optics.* Weiland C, translator; Philadelphia: Keystone; 1924. s 192–228.
47. Neider MW, Crawford K, Kaufman PL, et al. In vivo videography of the rhesusmonkey accommodative apparatus. Age-related loss of ciliary muscle response to central stimulation. *Arch Ophthalmol.* 1990;108:69–74.
48. Ludwig K, Wegscheider E, Hoops JP, et al. In vivo imaging of the human zonular apparatus with high-resolution ultrasound biomicroscopy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 1999;237:361–371. .
49. Tamm E, Croft MA, Jungkunz W, et al. Age-related loss of ciliary muscle mobility in the rhesus monkey. Role of the choroid. *Arch Ophthalmol.* 1992;110:871–876.
50. Michaels DD: *Visual Optics and Refraction.* 2nd ed. St. Louis, USA: C. V Mosby Company; 1980 :pp 268–274.
51. Glaser JS: *The pupil and accommodation.* Philadelphia: Harper and Row; 1986:15, p 3 (Duane TD, Jaeger EA, editors. *Clinical Ophthalmology.* Vol. 1)
52. Walsh FB, Hoyt WF: *Clinical Neuro-ophthalmology.* Baltimore: Williams and Wilkins Company; 1969, pp 534–539
53. Duke Elder S, Abrams D. *System of Ophthalmology.* Vol. V: *Ophthalmic Optics and Refraction.* London: Kimpton, 1970. p 153–204.
54. Atchison DA. Accommodation and presbyopia. *Ophthalmic Physiol Opt* 1995; 15: 255–272.
55. Davson H. *Physiology of the Eye,* 5th ed. London: Macmillan; 1990. p 767–782.

56. Alpern M. Accommodation. Muscular Mechanisms. New York: Academic Press, 1962. p 191– 229. (Davson H, editor. The Eye, Vol. 3)
57. Toates FM. Accommodation function of the human eye. *Physiol Reviews* 1972; 52: 828–863.
58. Gilmartin B. A review of the role of sympathetic innervation of the ciliary muscle in ocular accommodation. *Ophthalmic Physiol Opt* 1986; 6: 23–37.
59. Gilmartin B. Myopia and Nearwork. Vol. 1, Autonomic correlates of near-vision in emmetropia and myopia. London: Butterworth– Heinemann, 1998. p117–146.
60. Gilmartin B. Pharmacology of accommodative adaptation. Basel: Birkhäuser Verlag; 2000. p 141– 150. (Franzén O, Richter H, Stark L, editors. Accommodation and Vergence Mechanisms in the Visual System. Vol. 1)
61. van Alphen GW. The adrenergic receptors of the intraocular muscles of the human eye. *Invest Ophthalmol*. 1976 Jun;15(6):502-5.
62. Nathanson JA. An effective ocular hypotensive agent with selectivity for the ciliary process beta 2-adrenoceptor and with minimal cardiac side effects. *Br J Pharmacol*. 1984 Nov;83(3):821-9.
63. Wax MB, Molinoff PB. Distribution and properties of beta-adrenergic receptors in human iris ciliary body. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1987 Mar;28(3):420–30.
64. Zetterström C, Hahnenberger R. Pharmacological characterization of human ciliary muscle adrenoceptors in vitro. *Exp Eye Res*. 1988 Mar;46(3):421–30.
65. Mays LE, Gamlin PDR. Neuronal circuitry controlling the near response. *Curr Opin Neurobiol* 1995; 5: 763–768.
66. Mays LE, Gamlin PDR. Neuronal circuits for accommodation and vergence in the primate. Basel: Birkhäuser Verlag; 2000. p1–9. (Franzén O, Richter H, Stark L, editors. Accommodation and Vergence Mechanisms in the Visual System. Vol 1)
67. Duke-Elder SS, Abrams D editors: System of Ophthalmology. Vol V, ophthalmic optics and refraction: adjustment to the optical system. London, Henry Kimpton; 1970, pp161–389
68. Moses RA: Accommodation; in Moses RA, Hart WMJ (eds): Adler's Physiology of the Eye. Clinical Application. Washington, Mosby, 1987, pp 296–321
69. Young T. On the mechanism of the eye. *Philos Trans R Soc*. 1801;92:23–88
70. Levene JR. Clinical Refraction and Visual Science. London: Butterworths, 1977. p 119–140.
71. Adler–Grinberg D. Questioning our classical understanding of accommodation and presbyopia. *Am J Optom Physiol Opt* 1986; 63: 571–580.
72. Schneider H, Bacskulin A, Guthoff R. History of accommodation research. Kaden Verlag: Heidelberg, 2001. p 11–23. (Guthoff R, Ludwig K, editors. Current Aspects of Human Accommodation. Vol. 1)
73. Strenk SA, Strenk LM, Koretz JF. The mechanism of presbyopia. *Prog Ret Eye Res* 2005; 24: 379–393.

74. von Helmholtz H. Uber die akkommodation des auges. *Archiv Ophthalmol.* 1855;1: 1–74.
75. Ciuffreda KJ. Accommodation and its anomalies. Basingstoke: Macmillan; 1991. s 231–279. (Charman WN, editor. *Vision and Visual Dysfunction. Visual Optics and Instrumentation. Vol. 1*)
76. Ciuffreda KJ. Accommodation, the pupil and presbyopia. Philadelphia: Saunders, 1998. s 77–120. (Benjamin WJ, ed. *Borish's Clinical Refraction, Vol 1*)
77. Fincham EF. The mechanism of accommodation. *Br J Ophthalmol* 1937;8(Suppl):5-80.
78. Fincham EF. The changes in the form of the crystalline lens in accommodation. *Trans Opt Soc (London)* 1925; 26: 239.
79. Fincham EF. The mechanism of accommodation and the recession of the near point. Report of a Joint Discussion on Vision held at Imperial College. London: The Physical Society, 1932. s 294– 308.
80. Weale RA. Presbyopia. *Br J Ophthalmol*1962: 46: 660–668.
81. Fisher RF. The mechanics of accommodation in relation to presbyopia. *Eye* 1988; 2: 646–649.
82. Blank K, Enoch JM. Monocular spatial distortions induced by marked accommodation. *Science* 1973; 182: 393–395.
83. Hollins M. Does central human retina stretch during accommodation? *Nature* 1974; 251: 729–730.
84. Enoch JM. Effect of substantial accommodation on total retinal area. *J Opt Soc Am* 1973; 63: 899.
85. Enoch JM. Marked accommodation, retinal stretch, monocular space perception and retinal receptor orientation. *Am J Optom Physiol Opt* 1975; 52: 376– 392.
86. Weale RA. *The Senescence of Vision.* Oxford: Oxford University Press, 1992.
87. Cramer A. *Das Het Accommodatievermogen der Oogen Physiologisch Tægelicht.* Haarlem: de Erven Loosjes; 1853. German
88. Coleman DJ. On the hydraulic suspension theory of accommodation. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1986; 84: 846–868.
89. Coleman DJ. Unified model for accommodative mechanisms. *Am J Ophthalmol* 1970;69: 1063–1079.
90. Young T. On the mechanism of the eye. *Phil Trans Roy Soc* 1801; 91: 99–72. Reprinted in *Course of Lectures in Natural Philosophy and the Mechanical Arts, Vol. 2,* London: Johnson; 1807. 573–606.
91. Garner LF, Yap MKH. Changes in ocular dimensions and refraction with accommodation. *Ophthalmic Physiol Opt* 1997; 17:12–17.
92. Kirschkamp T, Dunne M, Barry J–C. Phakometric measurement of ocular surface radii of curvature, axial separations and alignment in relaxed and accommodated human eyes. *Ophthalmic Physiol Opt* 2004; 24: 65–73.
93. He JC, Gwiazda J, Thorn F, Held R, Huang W. Change in corneal shape and corneal wavefront aberrations with accommodation. *J Vision* 2003; 3; 456–463.
94. Buehren T, Collins MJ, Loughridge J, Carney LG, Iskander DR. Corneal topography and accommodation. *Cornea* 2003; 22: 311–316.

95. Koretz JF, Handelman GH, Phelps Brown N. Analysis of human crystalline lens curvature as a function of accommodative state and age. *Vision Res* 1984; 24: 1141–1151.
96. Koretz JF, Cook CA, Kaufman PL. Accommodation and presbyopia in the human eye. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1997; 38: 569–578.
97. Koretz JF, Cook CA, Kaufman PL. Aging of the human lens: changes in lens shape with accommodation and with accommodative loss. *J Opt Soc Am A* 2002; 19: 144–151.
98. Rosales P, Dubbelman M, Marcos S, van der Heijde R. Crystalline lens radii of curvature from Purkinje and Scheimpflug imaging. *J Vision* 2006; 6: 1057–1067.
99. Patnaik B. A photographic study of accommodative mechanisms: changes in lens nucleus during accommodation. *Invest Ophthalmol* 1967; 6: 601–611.
100. Drexler W, Baumgartner A, Findl O, Hitzenberger CK, Fercher AF. Biometric investigation of changes in the anterior eye segment during accommodation. *Vision Res* 1997; 37: 2789–2800.
101. Strenk SA, Strenk LA, Semmlow JL, DeMarco JK. Magnetic resonance imaging study of the effects of age and accommodation on the human lens cross-sectional area. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004; 45: 539–545.
102. Wilson, RS. Does the lens diameter increase or decrease during accommodation? Human accommodation studies: a new technique using infrared retro-illumination video photography and pixel unit measurements. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1997; 95: 261–267.
103. Brown NP. The change in shape and internal form of the lens of the eye on accommodation. *Exp Eye Res* 1973; 15: 441–459.
104. Strenk SA, Semmlow JL, Strenk LM, Munoz P, Gronland-Jacob J, DeMarco JK. Age-related changes in human ciliary muscle and lens: a magnetic resonance imaging study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1999; 40: 1162–1169.
105. Schachar RA. Cause and treatment of presbyopia with a method for increasing the amplitude of accommodation. *Ann Ophthalmol* 1992; 24: 445–452.
106. Schachar RA. Qualitative effect of zonular tension on freshly extracted intact human crystalline lenses: implications for the mechanism of accommodation. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004; 45: 2691–2695.
107. Schachar RA, Huang T, Huang X. Mathematical proof of Schachar's hypothesis of accommodation. *Ann Ophthalmol* 1993; 25: 5–9.
108. Burd HJ, Judge SJ, Flavell MJ. Mechanics of accommodation of the human eye. *Vision Res* 1999; 39: 1591–1595.
109. Heath GC. Components of accommodation. *Am J Optom Arch Am Acad Optom* 1956 33: 569–579.
110. Heron G, Charman WN, Gray LS. Accommodation responses and ageing. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1999; 40: 2872–2883.
111. Fincham, EF, Walton J. The reciprocal actions of accommodation and convergence. *J Physiol* 1957; 137: 488–508.
112. Leibowitz HW, Owens DA. New evidence for the intermediate position of relaxed accommodation. *Doc Ophthalmol* 1978; 46: 133–147

113. Rosenfield M, Ciuffreda KJ, Hung GK, Gilmartin B. Tonic accommodation—A review. 1. Basic aspects. *Ophthalmic Physiol Opt* 1993; 13: 266–284.
114. Rosenfield M, Ciuffreda KJ, Hung GK, Gilmartin B. Tonic accommodation—A review. 2. Accommodative adaptation and clinical aspects. *Ophthalmic Physiol Opt* 1994; 14: 265–277
115. Weale RA. Why we need glasses before a zimmer–frame. *Vision Res* 2000; 40: 2233– 2240.
116. Hamasaki D, Ong J, Marg E. The amplitude of accommodation in presbyopia. *Am J Optom Arch Am Acad Optom* 1956; 33: 3– 14.
117. Hofstetter HW. A longitudinal study of the amplitude changes in presbyopia. *Am J Optom Arch Am Acad Optom* 1965; 42: 3–8.
118. Ramsdale C, Charman WN. A longitudinal study of the changes in the static accommodation response. *Ophthalmic Physiol Opt* 1989; 9: 255–263.
119. Miranda MN. The geographic factor in the onset of presbyopia. *Tr Am Ophthalmol Soc* 1979; 77: 603–621.
120. Weale RA. Human ocular aging and ambient temperature. *Br J Ophthalmol* 1981; 65: 869–870.
121. Kragha IK, Hofstetter HW. Bifocal adds and environmental temperature. *Am J Optom Physiol Opt* 1986; 63: 372–376.
122. Mordi J, Tucker J, Charman WN. Effects of 0.1% cyclopentolate or 10% phenylephrine on pupil diameter and accommodation. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1986;6(2):221-7.
123. Zettertröm C A cross-over study of the cycloplegic effects of a single topical application of cyclopentolate phenylephrine and routine atropinisation for 3,5 days. *Acta Ophthalmol* 1985;63: 525 -529,
124. Zettertröm C. The effect of phenylephrine on the accommodative process in man. *Acta ophthalmol* 1984;62: 872-878,
125. Bartlett JD, Jaanus SD, Fiscella RG, Sharir M. *Clinical Ocular Pharmacology*, 4th ed. Ocular hypotensive drugs. Boston, MA, Butter worth-Heinemann, 2001; 167–218
126. Hockwin O, Lerman S, Ohrloff C. Investigation on lens transparency and its disturbances by microdensitometric analysis of Scheimpflug photographs. *Curr Eye Res* 1984; 3: 15–22.
127. Wegener A, Laser H. Image-analysis and Scheimpflug-photography in the anterior segment of the eye—a review article. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 2001; 218: 67–77. German
128. Dubbleman M, Van der Heijde GL, Weeber HA, Vrensen GFJM. Changes in the internal structure of the human crystalline lens with age and accommodation. *Vision Res* 2003; 43: 2363–2375.
129. Smith GTH, Brown NAP, Shun-shin GA. Light scatter from the central human cornea. *Eye* 1990; 4: 584–588.
130. Soya K, Amano S, Oshika T. Quantification of simulated corneal haze by measuring back-scattered light. *Ophthalmic Res* 2002; 34: 380–388.
131. van de Pol C, Soya K, Hwang DG. Objective assessment of transient corneal haze and its relation to visual performance after photorefractive keratectomy. *Am J Ophthalmol* 2001; 132: 204–210.

132. Morgan AJ, Harper J, Hosking SL, Gilmartin B. The effect of corneal thickness and corneal curvature on pneumatonometer measurements. *Curr Eye Res* 2002; 25: 107– 112.
133. American National Standards Institute. American National Standard Ophthalmics. Corneal Topography Systems Standard Terminology, Requirements. ANSI Z80.23–2007
134. Medeiros FA, Sample PA, Weinreb RN. Corneal thickness measurement and visual function abnormalities in ocular hypertensive patients. *Am J Ophthalmol* 2003; 135:131–137
135. B. Dick “Interpretation of Scheimpflug Based Anterior Segment Imaging and Mapping. *Eurotimes* 2005; 10: 51-56.
136. Kaufman PL. Scleral expansion surgery for presbyopia [guest editorial]. *Ophthalmology* 2001; 108:2161–2162
137. Shankar H, Taranath D, Santhirathelagan CS, Pesudovs K. Anterior segment biometry with the Pentacam: Comprehensive assessment of repeatability of automated measurements *J Cataract Refract Surg* 2008;
138. Chang S-W, Tsai I-L, Hu FR. The cornea in young myopic adults. *Br J Ophthalmol* 2001; 85:916–920
139. Cho P, Lam C. Factors affecting the central corneal thickness of Hong Kong-Chinese. *Curr Eye Res* 1999; 18:368–374
140. Fujita S. Diurnal variation in human corneal thickness. *Jpn J Ophthalmol* 1980; 24:444–456
141. Saitoh K, Yoshida K, Hamatsu Y, Tazawa Y. Changes in the shape of the anterior and posterior corneal surfaces caused by mydriasis and miosis. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30:1024–1030.
142. Pierscionek BK, Asejczyk-Widlicka M, Schachar RA. The effect of changing intraocular pressure on the corneal and scleral curvatures in the fresh porcine eye. *Br J Ophthalmol*. 2007 Jun;91(6):801-3. Epub 2006 Dec 6.
143. McMonnies CW, Boneham GC Corneal curvature stability with increased intraocular pressure. *Br J Ophthalmol*. 2007 Jun;91(6):801-3. Epub 2006 Dec 6.
144. Lam AK, Douthwaite WA. The effect of an artificially elevated intraocular pressure on the central corneal curvature. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1997 Jan;17(1):18-24.
145. Schor CM, Ciuffreda KJ. *Vergence Eye Movements: Basic and Clinical Aspects*. Boston: Butterworths; 1983.
146. Loewenfeld IE. *The Pupil: Anatomy, Physiology and Clinical Applications*. London: Butterworth–Heinemann; 1999. p 295–317.
147. Stakenburg M. Accommodation without pupillary constriction. *Vision Res* 1991; 31: 267–273.
148. Phillips NJ, Winn B, Gilmartin B. Absence of pupil response to blur–driven accommodation. *Vision Res* 1992; 32: 1775–1779.
149. Schaeffel F, Wilhelm H, Zrenner E. Inter–individual variability in the dynamics of natural accommodation in humans: relation to age and refractive errors. *J Physiol* 1993; 462: 301–320.
150. Wilhelm H, Schaeffel F, Wilhelm B. Experimentelle und theoretische Studien die Altersabhängigkeit der Pupillennahreaktion. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1993; 2043: 110–116. German

151. Kawasaki A, Moore P, Kardon RH. Long-term fluctuation of relative afferent pupillary defect in subjects with normal visual function. *Am J Ophthalmol* 1996; 122:875–882
152. Lutjen-Drecoll E, Tamm E, Kaufman PL. Age-related loss of morphologic responses to pilocarpine in rhesus monkey ciliary muscle. *Arch Ophthalmol* 1988; 106: 1591–1598
153. Allen MJ, Carter JH. The torsion component of the near reflex. A photographic study of the non-moving eye in unilateral convergence. *Am J Optom Arch Am Acad Optom* 1967;44:343–9.
154. Bannon RE, Near point binocular problems—astigmatism and cyclophoria. *Ophthalmic Opt* 1971;11:158–68
155. Kirschkamp T, Dunne M, Barry JC. Phakometric measurement of ocular surface radii of curvature, axial separations and alignment in relaxed and accommodated human eyes. *Ophthalm. Physiol. Opt.* 2004 24: 65 73
156. Holladay JT, Belin MW, Chayet AS, et al. Next-generation technology for the cataract and refractive surgery. *Cat Ref Surg Today Suppl.* 2005;1:1-11.
157. Davson H. *Physiology of the Eye*. 2nd edn. London: Churchill; 1963: p 227
158. Douthwaite WA, Pardhan S. Surface tilt measured with the Eye Sys videokeratoscope: influence on corneal asymmetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1998;39:1727–35.
159. Keller PR, Reid PG, van Saarloos PP. Corneal topography bow-tie pattern: artifact of videokeratoscopy? *J Cataract Refract Surg* 1997; 23:1339–44.
160. Hubbe RE, Foulks GN. The effect of poor fixation on computerassisted topographic corneal analysis. Pseudokeratoconus. *Ophthalmology* 1994;101:1745–8.
161. Mandell RB. A guide to videokeratography. *ICLC* 1996;23:205–28.
162. Riggs LA, Ratliff F. Visual acuity and the normal tremor of the eye. *Science* 1951;114:17–8.
163. Steinman RM, Haddad GM, Skavenski AA, et al. Miniature eye movement. *Science* 1973;181:810–9.
164. Westall CA, Aslin RN. Fixational eye movements and autokinesis in amblyopes. *Ophthalmic Physiol Opt* 1984;4:333–7.
165. Mandell RB, Klein SA, Chiang Y. Alignment effects in videokeratography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1995;36(4):S379.
166. William A. Douthwaite and Shahina Pardhan. Surface Tilt Measured with the EyeSys Videokeratoscope: Influence on Corneal Asymmetry. *Invest Ophthalmol Vis Set.* 1998;39:1727-1735
167. W A Douthwaite, S Pardhan, H Burek. Extent and effect of surface tilt on the data display of the EyeSys videokeratoscope. *British Journal of Ophthalmology* 1996;80:986-993
168. Yasuda A, Yamaguchi T. Steepening of corneal curvature with contraction of the ciliary muscle. *J Cataract Refract Surg.* 2005 Jun;31(6):1177-81.

TEŐEKKÖR

Bu tezin hazırlanmasında büyük desteği ve yardımları olan başta değerli hocam Doç. Dr. Mehmet Baykara olmak üzere uzmanlık eğitimim süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, görüş ve fikirleriyle beni yönlendiren tüm hocalarıma saygı ve minnetlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

12.12.1977 yılında Van'da doğmuşum. İlkokulu Van Lütfiye Binnaz Saçlı İlkokulu, ortaokulu Vangölü Anadolu Lisesi, liseyi ise Van Atatürk Lisesi'nde bitirdim. 1995 yılında başladığım Hacettepe Tıp Fakültesi'nden 2002 yılında mezun oldum. 2003 yılı Haziran ayından bu yana Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Göz Hastalıkları Anabilim Dalı'nda uzmanlık eğitimi almaktayım. 2007 yılında Fellow of European Board of Ophthalmology (Avrupa Göz Hastalıkları Uzmanı) ve International Council of Ophthalmology (Temel Bilimler, Klinik Bilimler ve Optik/Refraksiyon) sertifikalarını aldım. İngilizce bilmekteyim.