

156973

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
GÖZ HASTALIKLARI ANABİLİM DALI

**TONO-PEN VE GOLDMAN APPLANASYON TONOMETRESİ
İLE GÖZ İÇİ BASINÇ ÖLÇÜMLERİNDE KORNEA
KALINLIĞININ ETKİSİ**

Dr. Mehmet Serdar DERVİŞOĞULLARI

UZMANLIK TEZİ

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Ahmet ERGİN

KIRIKKALE

2004

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
GÖZ HASTALIKLARI ANABİLİM DALI

Göz Hastalıkları Anabilim Dalı uzmanlık programı çerçevesinde yürütülmüş olan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından **UZMANLIK TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi:01/03/2004

İmza

Doç. Dr. Ahmet ERGİN

Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi

Göz Hastalıkları AD

Jüri Başkanı

İmza

Yrd. Doç. Dr. Pelin TANER

Kırıkkale Üniversitesi

Tıp Fakültesi

Göz Hastalıkları AD

Üye

İmza

Yrd. Doç. Dr. Cengiz

AKARSU

Kırıkkale Üniversitesi

Tıp Fakültesi

Göz Hastalıkları AD

TEŞEKKÜR

Tez hazırlama aşamasında ve önceki eğitim sürecinde, tüm bilgi ve deneyimlerini bizlere sunan bölümümüz öğretim üyelerine, birlikte çalışmaktan zevk duyduğum değerli arkadaşlarıma ve her konuda yardımlarını esirgemeyen, tüm tıp fakültesi akademik ve idari kadrosuna teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Dervişoğulları M. S., Tono-Pen ve Goldman applanasyon tonometresi ile göz içi basınç ölçümlerinde kornea kalınlığının etkisi, Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Göz Hastalıkları Anabilim Dalı Uzmanlık Tezi, Kırıkkale , 2004

Değişen kornea kalınlıklarında, applanasyon tonometrelerinin doğru olmayan sonuçlar vermesi, pek çok araştırmaya konu olmuştur. Bu çalışmada, değişik kalınlıktaki normal kornealarda, Tono-Pen ve Goldman applanasyon tonometresi (GAT) ile yapılan göz içi basınç (GİB) ölçümlerini karşılaştırdık. Çalışmaya sadece sağ gözler dahil edildi. İki yüz elli beş hastanın normal kornealarından, Tono-Pen ve GAT cihazları ile ölçümler yapıldı. Daha sonra, ultrasonik pakimetre ile santral kornea kalınlıkları (SKK) ölçüldü.. Her iki cihazın ölçümlerinin, kornea kalınlığından etkilendiği görüldü. SKK artışı ile birlikte, Tono-Pen'in GİB ölçümlerinde 0,18mmHg/10µm ve GAT 'ın GİB ölçümlerinde 0,16 mmHg/10µm artış görüldü. Tono-Pen ölçümlerinin, GAT ölçümlerine göre daha yüksek olduğu görüldü ($p<0,05$). Bu, Tono-Pen'in kornea kalınlığının artışından biraz daha fazla etkilendiğini gösterdi ki teorik olarak, Tono-Pen'in GAT'a göre daha küçük bir alandan GİB ölçümü yapması nedeni ile kornea kalınlığından daha az etkileneceği düşünülmüştü.

Anahtar Kelimeler: Tono-Pen, Goldman applanasyon tonometresi, göz içi basınç, santral kornea kalınlığı

ABSTRACT

Dervişoğulları M.S, Effect of corneal thickness on intraocular pressure measurements with the Tono-Pen and Goldman applanation tonometer, Kırıkkale University Medical Faculty Department of Ophthalmology, Specialty Thesis, Kırıkkale, 2004

Incorrect values of applanation tonometers according to varying corneal thickness were investigated many times. We aimed to compare intraocular pressure (IOP) measurements of the Tono-Pen and Goldman applanation tonometer (GAT) in eyes with normal corneas of various thicknesses. IOP was measured with a Tono-Pen and GAT respectively in 255 patients eyes with normal corneas. Only the right eyes were analyzed for statistical purposes. Central corneal thickness (CCT) was measured using an ultrasonic pachymeter after all IOP determinations had been made. With both instruments IOP varied with CCT. Readings with Tono-Pen showed a mean increase in IOP with increasing CCT of 0,18 mmHg/10 μ m and an increase of 0,16 mmHg/10 μ m with the GAT. The Tono-Pen consistently recorded comparatively higher IOPs than the GAT ($p < 0,05$). The Tono-Pen is more affected by CCT when used to measure IOP in eyes with normal corneas. This is contrary to expectations, based on the theory that Tono-Pen is least affected by the CCT because of smaller applanation area it needs.

Key Words: Tono-Pen, Goldman applanation tonometer, intraocular pressure, central corneal thickness

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISATMALAR	ix
ŞEKİLLER	x
TABLolar	xi
GİRİŞ	1
GENEL BİLGİLER	4
2.1. Anatomi	4
2.1.1.Kornea	4
2.1.2. Ön Kamara Ve Ön Kamara Açısı	5
2.2. Fiziyojji	5
2.2.1.Kornea	5
2.2.2.Aköz hümör	7
2.3. Tonometri	7
2.4. Kornea Kalınlığı Ölçümü	10
GEREÇ VE YÖNTEM	13
3.1. Olguları Çalışmaya Dahil Etme Kriterleri	13
3.2. Goldman Applanasyon Tonometresi İle Ölçüm Yöntemi	13
3.3. Tono-Pen İle Ölçüm Yöntemi	14
3.4. Santral Kornea Kalınlığı Ölçüm Yöntemi	14

3.5. İstatistikî Değerlendirme

Yöntemleri	15
BULGULAR	16
TARTIŞMA	21
SONUÇ VE ÖNERİLER	26
KAYNAKLAR	28



SİMGELER VE KISALTMALAR

GİB	göz içi basınç
GAT	Goldman applanasyon tonometresi
SKK	santral kornea kalınlığı
mm	milimetre
D	dioptri
Å	angström
µm	mikrometre
mmHg	milimetre cıva
µl/cm ²	mikrolitre / santimetrekare
mm ²	milimetrekare
m/s	metre / saniye
hücre/mm ²	hücre / milimetrekare
%	yüzde
m	metre
NaKATPaz	sodyum potasyum atpaz
SD	Standart deviasyon
g	gram

TABLÖLAR

Tablo	Sayfa
4. 1. Cinsiyete göre Tono-Pen (mmHg), Goldman applanasyon tonometresi (mmHg) ve Santral kornea kalınlığı (μm) değerleri.	16
4. 2. Ölçümlerin önce Tono-Pen veya önce Goldman applanasyon tonometresiyle yapılması arasında istatistikî olarak anlamlı farklılık saptanmadı (Tablo 3)($p>0,05$).	20



ŞEKİLLER

Şekil	Sayfa
4. 1. Tono-Pen ve Goldman applanasyon tonometresi ölçüm farkları (mmHg) görülmektedir. Farkların büyük kısmı ± 1 mmHg sınırlarındadır.	17
4. 2. Tono-Pen (mmHg) ile kornea kalınlığı (μm) karşılaştırılmasına ait regresyon eğrisi görülmektedir. Burada regresyon denklemi: $y = 6,812 + 0,018x$ olup y değeri, Tono-Pen ile ölçülen GİB, x değeri ise santral kornea kalınlığını gösterir ($r^2 = 0,041$).	18
4. 3. Goldman applanasyon tonometresi (mmHg) ile kornea kalınlığı (μm) karşılaştırılmasına ait regresyon eğrisi görülmektedir. Burada regresyon denklemi: $y = 7,448 + 0,016x$ olup y değeri, GAT ile ölçülen GİB, x değeri ise santral korneal kalınlığı gösterir ($r^2 = 0,038$).	19
4. 4. Santral kornea kalınlığının dağılımı(μm). Ölçümlerde 451.60-650 μm aralığında Santral kornea kalınlığı ortalaması ($\pm\text{SD}$) değeri 547,83 ($\pm 34,50$) μm idi.	20

GİRİŞ

Glokom , vasküler ve mekanik faktörlere bağlanan mekanizmalarla oluşan, optik sinir başı hasarı ve görme alanı defekti ile karakterize bir oküler hastalıktır. Göz içi basınç (GİB) yüksekliği bilinen en önemli risk faktörüdür ve dünyada önlenabilir körlük nedenleri arasında, ön sıralarda yer almaktadır (1). Patogenezde, gözün kan akımı, optik disk yapısı ve gangliyon hücre dejenerasyonu da önemlidir ancak, hastalığın tanısında ve tedavisinde en çok üzerinde durulan faktör GİB'dir ve GİB'in düşürülmesinin, glokom ilerlemesini durdurduğu veya yavaşlattığı pek çok çalışmada gösterilmiştir (1-6).

GİB ölçümünde kullanılan pek çok yöntem vardır. Düzgün kornea yüzeylerinden yapılan GİB ölçümlerinde, tarihsel süreçle birlikte Schiötz indentasyon tonometresi, Goldman applanasyon tonometresi (GAT), *McKay-Marg* tonometresi, nonkontakt ve kontakt pnömotometreler gibi (7-9) pek çok cihaz gündeme gelmiştir. Bunların arasından sadece *McKay-Marg* tonometresi, skar, ödem veya cerrahiye bağlı düzensiz kornea yüzeylerinden ölçüm yapabilmektedir (7,9-14). Fakat günümüzde üretilmemektedir.

1957 yılında Goldman'ın İmbert- Fick kanununa göre geliştirdiği GAT, o tarihten bu yana, GİB ölçümünde altın standart olarak kabul edilmiştir (15). Bu kanuna göre, su dolu elastik bir kürenin, örneğin bir balonun duvarını düzleştirmek için yapılan basınç, uygulanan gücün uygulama alanına bölünmesine eşittir. Aslında bu kanun, korneanın mükemmel elâstikiyette, ince ve uygulanan güce karşı, iç basınç gücünden başka güçle karşı koymayan bir yapı olduğunu kabul etmektedir. Goldman ve Schmidt , cihazın kalibrasyonunu standart kornea kalınlığına göre (520 μm) yapsalar da, teorik olarak kornea kalınlık değişikliklerinden etkilenebileceğini belirtmişlerdir (15,16). Bu cihazla yapılan GİB ölçümlerini etkileyebilen pek çok faktör vardır (17). Ölçüm kesinliğinin, büyük oranda uygun ölçüm tekniği uygulanmasıyla artacağı düşünülmektedir (18).

GAT' in olumsuz yönlerine gelince, düzgün olmayan yüzeylerden ölçüm yapamaması yanında, kornea kalınlığını sabit olarak kabul edilerek

geliştirilen bu cihazın, bu değerin üstündeki kalınlıklarda yüksek, altındaki kalınlıklarda düşük ölçümlere neden olabildiği de öne sürülmüş (19-32); hatta korneal kalınlıktaki 0,1 mm değişiklik için, 1 ile 6,8 mmHg arasında düzeltmeler yapılması önerilmiştir (21-24).

Miyop hastalarda yüksek olan glokom prevalansı (33,34) ve son yıllarda kornea kalınlığında değişiklik yapan refraktif cerrahi prosedürlerindeki artış, GİB ve kornea kalınlığı arasındaki ilişkiyi daha önemli hale getirmiştir (35,36). Kornea kalınlığında ırk (37), yaş ve cinse bağlı farklılıklar (38-40) yanı sıra santral kornea kalınlığı (SKK) ile kornea kurvaturu (17) ve GİB ile kurvatur (41) ilişkileri üzerinde de durulmaktadır. Medeiros ve ark., otomatize perimetri ile, erken glokomatöz defekt izlenen oküler hipertansif olguların, defekt izlenmeyenlere göre daha düşük SKK değerlerine sahip olduklarını göstermişlerdir (42,43). SKK, oküler hipertansiflerin primer açık açılı glokom geliştirmelerinde bir risk faktörüdür (44).

Bu bağlamda, son yıllarda kornea yüzey düzensizliklerinden ve kalınlığından daha az etkilendiği düşünülen, Tono-Pen gibi cihazların kullanımı gündeme gelmiştir. Tono-Pen, mekanik enerjinin elektrik enerjisine çevrilmesini ifade eden *McKay-Marg* prensibine göre çalışmaktadır (45-47). Ölçüm alanı çapı 3,06mm olan GAT'a göre daha küçük bir alandan (1,02 mm), 10 µm gibi küçük bir transdüser hareketi ile ölçüm yapmaktadır ve dolayısıyla kornea kalınlığından daha az etkilenebileceği düşünülebilir. Cihazın olumlu yönleri, taşınabilir olması ve hızlı ölçümler yapabilmesi nedeniyle kornea düzensizliği, kapak ödemi, dar kapak aralığı olan olgularda, infantlarda, küçük çocuklarda, yatalak veya tekerlekli sandalyedeki hastalarda, baş tremoru veya nistagmusu olan hastalarda GİB ölçümleri gibi durumlarda daha kolay ölçüm yapılabilmesidir (48,49).

SKK, fotografik, speküler mikroskopik veya ultrasonografik yöntemlerle ölçülebilmektedir (50-54). Ultrasonik pakimetri, optik pakimetriye göre daha güvenilir, kesin, gözlemcinin tekrarlayan ölçümlerinde ve değişik gözlemciler arasındaki değişkenliğin daha az olduğu yöntemdir (51-53).

Çalışmamızın amacı kornea kalınlığının, GAT ve Tono-Pen cihazlarının ölçümlerinde farklılığa neden olup olmadığını araştırmaktır.

Hipotezimize göre yüzey gerilim güçleri oküler rijiditeye bağılı güçleri etkisizleştirmekte ve kornea kalınlığı, Tono-Pen ve GAT ile yapılan GİB ölçümlerinde fark oluşturmamaktadır.



GENEL BİLGİLER

2. 1. Anatomi

2. 1. 1. Kornea

Kornea, göz yuvarlağının 1/6 ön kısmını oluşturan, şeffaf ve damarsız bir yapıdır. Sferik yapısı öne doğru eliptikleşir. Ön çapı, horizontal 12 mm; vertikal 11 mm'dir. Arka yüzeyde ise her iki çapı ortalama 11,8 mm 'dir. Kalınlığı merkezde 0,52 mm, periferde doğru 0,6-0,7 mm ' dir. Merkezî 1/3 kısmına optik zon denir.

Ön radius kurvaturu 7,8 mm iken, arka kurvatur 6,8 mm'dir. Korneanın refraktif gücü ön yüzeyde +48,8 D, arka yüzeyde -5,8 D ve toplamda +43 D'dir. Yeni doğanda, kornea çapı 10 mm'dir ve erişkin çaplarına 2 yaşlarında ulaşır (55,56).

Dıştan içe 5 tabakadan oluşur:

- I – Epitel
- II – Bowman zarı
- III – Stroma
- IV – Descemet zarı
- V – Endotel

Prekorneal gözyaşı tabakası, Meibomian, Zeiss ve Moll bezlerinin oluşturduğu lipid, ana ve yardımcı bezlerden salgılanan aköz ve konjunktiva Goblet hücrelerinden salgılanan müsin tabakalarından oluşur. Göz yaşı, düzgün bir yüzey oluşturarak yüzeyel kayganlığı oluşturur, epitelin beslenmesini ve atıkların uzaklaştırılmasını sağlar ve bazı antibakteriyel ajanları da içerir (57).

Kornea kalınlığının %10'unu oluşturan epitel tabakası, keratinize olmayan çok katlı epiteldir. Tek katlı bazal kolumnar tabaka, 2-3 katlı kanatsız hücreler ve 2 tabaka yüzeyel yassı hücrelerden oluşur. Bazal membran kalınlığı 500 Å' dur. Epitelde sinir lifleri de vardır. Bowman membranı 8-14 µm kalınlığında hücre içermeyen, travmaya dirençli bölgedir (58).

Kornea kalınlığının %90'ına yakını, stroma tabakası oluşturur ve bu tabakanın %78'i sudur. Yapısının %80'i kornea yüzeyine paralel, tekdüze,

200-300 lamelli, 250 Å çaplı kollajen fibrillerden oluşur. Yüzde on beş ara maddesi, glikozaminoglokanlardan (keratan ve kondroidin sülfat) oluşur. Ara madde kollajen fibrillerinin düzenliliğini sağlar. Stromada kollajen ve hücre dışı matriksi yapan, gerektiğinde göç edip fibroblastlara dönüşen keratositler de bulunur (55-58).

Descemet zarı, 10Å kalınlığındadır ve tek sıralı altıgen hücrelerden oluşan endotel tarafından oluşturulur. Endotel, doğumda 10 µm kalınlığında olup, küboid hücrelerden oluşur, daha sonra yassılaşılarak 4 µm'ye kadar incilir. Hücre sayısı, doğumda 3500-4000 hücre/mm² olup, 20 yaşından sonra her yıl yaklaşık %0,52'si yok olarak, erişkin yaşlarda 2500-3000 hücre/mm² 'ye düşer (59). Endotel tabakasında mitotik aktivite yoktur, yok olan hücrelerin yerini tekrar düzenlenen diğer hücreler doldurur. Sitoplazmalarında bol mitokondri, endoplazmik retikulum ve Golgi cisimleri görülür. Bu elemanlar, yoğun aktif taşıma süreçleri için gerekir. Endotelde, desmozomal bağlantılar yoktur, suyun ve küçük molekül maddelerin geçişine izin veren ve fazla sıkı olmayan birleşim alanları vardır.

2. 1. 2. Ön kamara ve ön kamara açısı

Ön kamara, önde kornea, arkada ise iris diyaframı ve pupil ile sınırlanmıştır. Periferde ön kamara açısını kaplar. Ön kamara derinliği, değişkendir. Yeni doğanda daha fazladır. Afaklarda ve miyoplarda derin, hipermetroplarda ise dardır. Normal emetrop bir kişide merkezde 3 mm derinliğindedir. Merkezde en derin olup iris kökünde en sığdır (60). Ön kamara, arka kamaradaki silyer epitelden salgılanan aköz hümör ile doludur. Ön kamara açısı, iris kökü ve kornea periferi tarafından oluşturulup, aköz hümör drenajındaki en etkin yoldur.

2. Fizioloji

2. 2. 1. Kornea

Kornea kalınlığında en etkili kavram, stroma hidrasyonudur. Bu, stromanın tuttuğu suyun niceliğini yansıtır ve normalde %78'dir (61). Hidrasyonun artışı ve azalması ile kalınlık arasında, doğrusal bir ilişki

mevcuttur. Korneanın saydamlığı için, hidrasyonun devamlı ayarlanması gerekmektedir.

Kornea hidrasyonu, çeşitli mekanizmalar ile ayarlanır:

1 – Stromanın şişmeye eğilim basıncı:

Stromadaki kollajen fibriller arasında bulunan proteoglikanlar, molekül yapılarında bulunan polielektrolitlere yüksek miktarda su bağlayabilirler. Proteoglikanlar eksi yükleriyle, birbirlerini iterler. Donnan zar dengesine göre kationlar, su çekerek, moleküler yapılarına su moleküllerini bağlayıp hacimlerini artırırlar.

Herhangi bir nedenle, endotel veya epitel zedelenir, stroma direkt su ile temasa geçerse, proteoglikanlarda hacim genişlemesi nedeni ile stromada şişme oluşur. Stromanın şişmeye eğilim basıncının normal değeri 50-60 mmHg'dır.

2 – Epitel ve endotel bariyerleri:

Elektrolitlerin difüzyonuna karşı en büyük direnç, özellikle yüzeyel tabakalarda fazla olmak üzere, epiteldir. Epitel hücreleri, birbirleri ile oldukça sıkı bağlarla bağlanmıştır. Endotel ise sıvı akışından çok, iyon akışına önemli direnç gösterir. Endotel hücreleri arasında, epitelden daha az sayıda bağlantı köprüleri vardır. Bu bağlantılar ile sıvı difüzyonuna, az da olsa direnç gösterir. Epitelin iyonlara geçiş direnci, endotel ve stromanın yaklaşık 200 katıdır. Epitelin bu direncine rağmen, dış ortamdaki zedeleyici olabilen unsurlarla yüz yüze oluşu, bu bariyerin dezavantajıdır.

3 – Endotel pompa:

Endotel, stroma hidrasyonunu sabit tutmak için, NaKATPaz pompasıyla aktif taşıma yaparak, stromadan ön kamaraya sodyum ve su pompalar. İyon taşınması ozmotik bir gradient oluşturur, stromanın şişme basıncını dengeler. İyon beraberinde $6,7 \mu\text{l}/\text{cm}^2$ su pompalar. Endotel hücre sayısı azalmasıyla, pompalama işlevi de azalır.

4 – Buharlaştırma ve göz içi basıncı:

Kornea hidrasyonuna etkisi oldukça sınırlıdır. Bu etki sonucunda kornea, özellikle öğle saatlerinde, geceden daha incedir. Gözyaşından suyun buharlaşması, göz yaşının hipertan olmasına yol açar.

GİB 55 mmHg'yı aştığında kornea ödemi oluşur. (60,61)

2. 2. 2. Aköz hümör

Aköz hümör, siliyer cisim epitelinden, aktif iyon transportu ve arka kamara ile siliyer cisim arası hidrostatik ve onkotik basınç gradiyenti uyarınca salgılanır. Aköz hümör dolaşımı, şeffaflığı için damarsız olması gereken, kornea ve lensi besler, ikisi arasında refraktif indeksi 1,33 olan şeffaf ortam oluşturup, göz optik sisteminin de bir parçasını meydana getirir. Arka kamaraya salgılanan aköz, lens etrafından dolaşır, pupil boşluğundan ön kamaraya geçer ve gözü iki temel yolla terkeder. Bunlardan biri trabeküler ağ, *Schlemm* kanalı, toplayıcı kanallar, aköz venler ve episkleral dolaşımı takip ettiği, trabeküler yoldur. Diğer yol ise, iris kökü, uveal ağ ve siliyer kas ön yüzünden, kas lifleri arası bağ dokuya, oradan da suprakoroidal boşluğa ve sklera dışına geçtiği uveoskleral yoldur. İkinci yol gençlerde %30, yaşlılarda %10 akımdan sorumludur (62). Kornea, iris damarları veya vitreoretinal yüzden önemli sıvı akışı yoktur, iyon akışı olabilir (63).

2. 3. Tonometri

Tonometre, gözün fizik özelliklerinden yararlanarak, gözü kanüle etmeden basınç ölçen cihazdır. İdeal tonometre, göze zarar vermeden ve basıncını değiştirmeden, kesin ve tekrarlanabilir ölçümler yapabilmelidir.

Normal kornea, düzgün yapılı kollajen tabakası ve kaygan ara maddesi nedeni ile, düzleştirmek veya çöktürmek için çok az güç gerektiren yapıdadır. Dokunun rezistansı tamamen ihmal edilemese de, ön kamaradaki basıncı gösterebilmesi yönünden kornea, uygun bir dokudur.

GİB ölçümündeki tarihsel gelişmelere bir göz atarsak, oküler basıncın parmakla ölçülmesi, ilk defa 1862 yılında *British Medical Association* toplantısında William Bowman tarafından gösterildi. İlk cihazla ölçüm çabaları, Von Graefe tarafından (1862) gösterildi. Daha sonra Donders, 1863-1868 yıllarında kendi kliniğinde bir takım denemeler gerçekleştirdi. Adolf Weber, 1867 yılında indentasyon fikrini ortaya koydu. Maklakof, 1885 yılında applanasyonu uyguladı (64). Birkaç yıl sonra da İmbert ve Fick,

applanasyon konusunda çalışmalar yaptılar. Yirminci yüz yıl başlarına gelindiğinde parmakla ölçüm, halen en güvenilir yöntem olarak biliniyordu. Schiotz'un 1905 yılında sunduğu indentasyon tonometrisi, kısa sürede kabul gördü. Goldman, Schmidt, Perkins ve Maurice, 1950'li yıllarda applanasyon konusunda uygulamalar yaptılar. Tono-Pen'in ilk modeli, 1980'li yılların sonlarında kullanıma sunuldu.

Tonometreleri, basitçe şu şekilde sınıflayabiliriz:

I-İnvaziv cihazlar (iğne, kanül, transsensörler)

II-Noninvaziv cihazlar:

i-Gözle temas edenler:

A-Statik:

Applanasyon tonometrileri (Goldman, MacKay-Marg, Tono-Pen, Maklakof cihazları)

Indentasyon tonometrileri (Schiotz)

B-Dinamik cihazlar: Ballistik ve vibrasyon tonometrileri

ii-Gözle temas etmeyenler: (Air Puff tonometer)

Günümüzde GAT, GIB'i en kesin ölçtüğü düşünülen cihazdır. İçe doğru göz yaşı yüzey gerilimi ve dışa doğru kornea rijiditesinin oluşturduğu güçlerin birbirini etkisizleştirdiği, düzleştirilen optimal kornea alanının bulunması fikrine dayanır. Goldman, araştırmaları sonucunda, 3,06 mm çapında ($7,35\text{mm}^2$), desigram olarak uygulanan gücü, mmHg olarak basınca eşitlemiştir. Daha sonra bu tonometrenin, *Draeger* ve *Perkins* gibi taşınabilir çeşitleri de yapılmıştır.

GAT, plastik biprizme bağlı ağırlık balansından oluşur. Ucu korneaya değdiğinde düzleştirilen alan, biprizmler tarafından iki yarım daireye ayrılır. Bu yarım daireler, mavi ışıkla ve floresein damlatılmış gözde, rahat görülür. Uygulayıcı , kontrol düğmesini çevirerek, yarım halkaların iç kenarlarının birbiri ile ucuca geldiği değeri belirler. Sıfır ile 70 mmHg arasında GIB ölçümü yapabilmektedir.

Applanasyon tonometrisi ile GIB ölçümü, Imbert-Fick prensibine dayanır. Bu prensibe göre sıvı dolu bir kürenin basıncı, kürenin yüzeyini

düzleştirmek için gereken güç hesaplanarak ölçülebilir (22). Bu kanunun geçerli olabilmesi için korneanın ince, esnek bir yapı olarak kabul edilip yüzey gerilimlerinin göz ardı edilmesi gerekir. Goldman, kornea rijiditesi ve yüzey gerilimi karşıt güçlerini İmbert-Fick prensibi formülüne eklemiştir:

$$P + E = W/A - S$$

Burada P applanasyon anındaki GİB, E kornea deformasyonunun elastisite modülü, W tonometrenin uyguladığı güç, A tonometrenin korneaya temas ettiği alan ve S ise kornea yüzey geriliminin çekiş gücüdür. Goldman, applanasyon tonometresini kornea rijiditesi ve yüzey geriliminin birbirini sıfırlayacağı 3,06 mm çaplı uç kullanarak ve tonometrenin uyguladığı 0,1 g güç 1 mmHg GİB'e denk düşecek şekilde tasarlamıştır. Goldman, GAT ile yapılan ölçümlerde kornea rijiditesine bağlı etkinin, kornea yüzey gerilim güçleri tarafından tolere edileceğini düşünmüştür fakat en kesin ölçümlerin 520 µm kalınlıkta yapılacağını belirtip, Schmidt ile birlikte anormal kornea kalınlıklarının ölçümlerini etkileyebileceğini de belirtmişlerdir(15).

Tono-Pen taşınabilir, pille çalışan, gerilmeye duyarlı solid mikro transdüser içeren cihazdır. On sekiz cm uzunluğunda, 2 cm genişliğindedir ve yaklaşık 60 gr ağırlığındadır. GİB'i, MacKay-Marg tonometrisine benzer şekilde ölçer (45-47). Paslanmaz çelik probun santralinde 1,02 mm çaplı parça, ölçümü yapacak duyarlı kısma bağlıdır. Bunu 3,22 mm çapında sabit bir anulus çevreler. Santral parça anulusdan 5 µm kadar dışarıdadır. Bu parça korneayı düzleştirdiğinde, önce yükselme, sonra düzlük, sonra tekrar yükselme şeklinde tipik voltaj değişikliği oluşur. Korneadan çekildiğinde ise, bu voltajın ayna benzeri oluşur. Gövdedeki mikroişlemci, voltaj değişikliğini güçlendirir, sayısal bilgiye çevirir ve yorumlar. Düzgün yapılı 4 ölçüm dalgasını kaydedip, ortalamasını alır, likid kristal ekrana istatistik güvenilirliğini de belirterek (%5, %10, %20, >%20) yansıtır. Cihaz ölçüm içi açıldığında, ölçüme hazır olduğunu belirten 'bip' sesi, başarılı ölçüm sonrasında tekrar duyulur. Ayrıca her geçerli ölçümde kısa bir 'klik' sesi duyulur. Sonuçlar, ekranda 20 saniye kadar kalır, daha sonra ekran,

kendiliğinden kapanır. Tono-Pen, 5-80 mmHg arasında ölçümler yapabilmektedir

2. 4. Kornea Kalınlığı Ölçümü

Kornea kalınlığının ölçülmesi, kalınlaşmanın arka yüz kökenli olması ve stromal hidrasyonun endotel tarafından düzenlenmesi sebebiyle, endotel işlevinin bir göstergesidir.

Kornea kalınlığını ölçen cihazlara, pakimetre denir. Radyal keratotomide de kullanılan pakimetre, subklinik minimal ödemin saptanmasında önemlidir. Ayrıca korneal greftlemede, kontakt lens uygulamalarında, keratokonus tedavisi takibinde, Fuch's endotelial distrofinde, herpetik keratit takibinde, siprofloksasin gibi çeşitli ilaçların kornea toksisitesi tayininde ve günümüzde refraktif laser uygulamalarından önce de kullanılmaktadır (65-67).

Yüksek değerler, endotel disfonksiyonunun bir göstergesidir. Normal GİB'de kornea, 0,65-0,70 μm kalınlığa ulaştığında epitelyal ödem oluşmaz, görme etkilenmez ve semptomlar oluşmaz.

Von Bahr, 1948 yılında, optik pakimetreyle kornea kalınlığını ölçmüştür. Bu sistemde, speküler mikroskopta oluşan hava-epitel ve kornea-ön kamara refleleri arası mesafe, kornea kalınlığını vermektedir (68).

Optik pakimetrelerin kullanım zorluğu, tekrarlanma güçlüğü, ameliyat sırasında ölçüm alamaması gibi nedenlerle ultrasonik pakimetreler tasarlanmış ve kullanıma girmiştir.

Ultrasonik pakimetrelerde 1630-1940 m/s ses dalgaları kullanılır. Bu hızla 0,22 saniyede 10 ölçü ve 1 μm 'e kadar rezolüsyonla, hızlı ve seri değerlendirmeler yaparlar (69).

Kornea kalınlığını çeşitli faktörler etkiler:

- Gün içi değişimler: Korneanın hidrasyonu, uykuda iken en fazla, öğleden sonra saat 2-4 arası en azdır ve dolayısıyla bu saatlerde en incedir (69).
- Kişiyeye bağlı nedenler: Martola ve ark., 50 yaşından büyüklerde periferik korneanın daha fazla incelendiğini göstermişlerdir (70).

Alsbirk ve ark., 40 yaş üzerindeki erkeklerin kornealarının kadınlardan daha ince olduğunu ve kornea kalınlığında 0,019 mm bir azalma olduğunu saptamıştır (71).

- Çevresel ve irksal etkenler: İklim etkilerinin vurgulandığı bir çalışmada, kentte yaşayanların kornealarının kırdı yaşayanlara göre 0,015 mm daha kalın olduğu bulunmuştur (71).
- Refraksiyon: Kornea kalınlığı ile refraktif bozukluklar arasında, ilişki olmadığını gösteren çalışmalar mevcuttur (72,73).
- Biyometrik parametreler: Ön kamara derinliği, kornea çapları, lens kalınlığı ve aksiyel uzunluklarla arasında bir ilişki saptanmamıştır (74).
- Göz içi basıncı: Oküler hipertansiyonda, applanasyon tonometrisiyle yapılan ölçümlerde normal gruptakilerden istatistikî farklılıklar bulunmuş, glokomlularda ise, normal gruptakilere benzer sonuçlar saptanmıştır (75).
- Kornea eğriliği: Santral kornea ne kadar kalınsa, periferik kornea da o kadar kalın ve santral kornea kurvaturu ne kadar dikse, periferik korneada o kadar dik kurvaturludur (70).
- Endotel: Endotel hücre yoğunluğu 500 hücre/mm² seviyesine kadar olan değerlerde, kornea hidrasyonu bozulmaz. Katarakt cerrahisi geçirenler ve endotel hastalığı olanlar dışında, kornea kalınlığı ve endotel hücre yoğunluğu arasında ilişki yoktur (76).
- Ön kamaraya olan her müdahalede, endotel etkilenir. Bu etkilenme, ameliyat süresiyle ve manipülasyon teknikleri ile doğrudan ilişkilidir. Ameliyat sırasında, endotel bağlantıları hasarlanıp, pompa ve bariyer fonksiyonları bozulur, hasarın derecesine göre ödem oluşur (77). Viskoelastik maddelerin kullanıma girmesiyle ve gelişen cerrahi tekniklerle, ödem oranları sürekli azalmaktadır. Ön kamaraya verilen havanın ve uygun olmayan sıvıların, endotele zararı vardır. İntrakapsüler katarakt ekstraksiyonu, fakoemülsifikasyon cerrahilerinde ve özellikle ön kamara göz içi lensi uygulanan olgularda endotel kaybı, planlanmış

ekstrakapsüler katarakt ekstraksiyonu ve arka kamara göz içi lens implantasyonu uygulanan olgulara göre daha fazladır (76).



GEREÇ VE YÖNTEM

3. 1. Olguları Çalışmaya Dahil Etme Kriterleri:

Çalışma için, Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurulu' nun onayı (karar tarihi:14.01.2004 ve karar no:2004/06) alındıktan sonra, her katılımcıya, Bilgilendirme ve Olur formu onaylatıldı.

Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Göz Hastalıkları polikliniğine başvuran olgular arasından, 2 D'den az sferik ve 1 D'den az astigmat kırma kusuru olanlar seçildi. Seçilenlerden intraoküler cerrahi hikayesi ve tek taraflı anoftalmisi veya herhangi kornea patolojisi ve skarı olmayan, ön segment inflamasyon bulguları göstermeyen, kontakt lens kullanmayan, ölçüm sırasında göz bebekleri ilaçla genişletilmiş olmayan, ölçümlerde uyum zorluğu çekmeyen ve çalışmaya katılmaya gönüllü 255 katılımcı, prospektif olarak çalışmaya dahil edildi. Katılımcıların her iki gözüne, sırası ile, görme keskinliği, kırma kusuru tashihi , biyomikroskopi ve göz dibi muayeneleri yapıldı. Katılımcıların yaş ve cinsiyetleri kaydedildi. Katılımcıların yaşları, 10 ile 80 arasında değişmekteydi (ortalama 40,86) ve 109'u erkek, 146'sı kadındı. Tüm muayenelerde, önce sağ göz değerlendirildi. Tüm muayene ve ölçümler, 09:00-14:00 saatleri arasında yapıldı.

3. 2. Goldman Applanasyon Tonometresi İle Ölçüm Yöntemi:

GAT'ın, GİB'i düşürüp, Tono-Pen'le ölçülebilecek düşük değerlere yol açma ihtimaline karşı, önce 128 katılımcıya GAT ile GİB ölçümü muayenesi uygulandı. GAT (Zeiss Co,Zürich,İsviçre) ile ölçümler, hasta Zeiss biyomikroskoba başını yaslamış, 6 m uzaktaki bir hedefe bakarken, primer pozisyonda, her iki göz alt konjunktiva keselerine birer damla %0,25 floresein içerecek şekilde hazırlanmış, %0,45 oksibuprokain hidroklorid (Benoxinate, Alcon Couvreur,Puurs,Belçika) ve floresein (Fluoroscite %10, Alcon,Texas,ABD) karışımı damlatıldıktan sonra yapıldı. Katılımcılardan gözlerini oynatmamaları, kırpmamaları ve burunlarından düzenli nefes almaları istendi. Mavi ışık sonuna kadar açıldı ve horizontal düzlemde göz ile 45 derece açıya getirildi. Deneyimli uygulayıcı tarafından, 1mmHg sınırı

içinde 3 ölçüm yapılarak aritmetik ortalamaları alındı. Çalışmada, yıllık kalibrasyonu düzenli yapılan aynı GAT kullanıldı.

3. 3. Tono-Pen İle Ölçüm Yöntemi:

Daha sonra Tono-Pen (Tono-Pen XL, Mentor Ophthalmics, CA, ABD) cihazı ile, GİB ölçümleri tekrarlandı. Tono-Pen ile ölçümler, hasta oturur durumda, 6 m uzaktaki hedefe bakarken, primer pozisyonda, her iki göz alt konjunktiva keselerine birer damla %0,45 oksibuprokain hidroklorid damlatıldıktan sonra yapıldı. Her hasta için, transdüser üzerine yeni lateks membran (Mentor OcuFilm Tip Covers) yerleştirildi. Tono-Pen aktive edilip 'bip' sesi duyulduktan sonra, transdüser ucu kornea ile temas ettirildi. Ölçüm yapan kişi, eliyle hastanın yanağından destek almaktaydı. Başarılı ölçümü gösteren 'bip' sesi gelene kadar, transdüser ucu korneaya nazikçe, tekrar tekrar, en az 1 saniye beklenecek temas ettirildi. Likid ekrandaki sonuç güvenilirliği % 5 olan iki ölçüm sonucu alınana kadar işlem tekrarlandı.

Tono-Pen ile GİB ölçümlerinin tümü, aynı uygulayıcı tarafından, aynı cihazla yapıldı. Çalışmaya başlamadan önce, 50 hastada Tono-Pen ile ölçüm pratiği yapıldı. Tono-Pen, üretici firma önerileri doğrultusunda, her sabah kalibre edildi. Tono-Pen veya GAT ile yapılan ölçüm sonrasında diğer cihazla ölçüm, tekrarlayan tonometrilere güvenli süre olarak önerilen, 15 dakika sonra yapıldı (78).

3. 4. Santral Kornea Kalınlığı Ölçümü:

Her iki yöntemle GİB ölçümleri tamamlandıktan sonra, ultrasonik pakimetre cihazı (Optikon 2000 S.p.A, Roma, İtalya) ile santral kornea kalınlığı (SKK) ölçüldü. Alt konjunktiva keselerine birer damla %0,45 oksibuprokain hidroklorid damlatıldıktan sonra, hasta 6 m uzaktaki hedefe bakarken, primer pozisyonda, prob korneaya dik şekilde tutularak, dilate edilmemiş pupil merkezinden 3 ölçüm yapılarak, ortalamaları alındı. Kuruluşu önlemek için, katılımcıdan ölçümler arasında gözlerini kırpması istendi. Tono-Pen ve pakimetre ölçümlerinin tümü, aynı kişi tarafından yapıldı.

Diğer 127 katılımcıda ise GİB önce Tono-Pen ile ölçülüp, daha sonra Tono-Pen sonucuna göre aldatici ölçümler yapılmaması için, Tono-Pen ölçümünden habersiz deneyimli bir diğer uygulayıcı tarafından GAT ile ölçüm (yine üç ölçüm ortalaması) yapıldı. Pakimetri ise, Tono-Pen ölçümlerini yapan uygulayıcı tarafından yapıldı. Tono-Pen, sonuçları yoruma ve yönlendirmeye yer bırakmayacak şekilde vermektedir. GAT ile yapılan ölçümlerde ise, aynı gözde, farklı gözlemciler hatta aynı kişi tarafından yapılan ölçümlerde, fark olabilmektedir (4). Bu yüzden Tono-Pen'den sonra GAT ile yapılacak ölçümü, Tono-Pen sonucundan habersiz ikinci bir kişinin yapması gerektiği düşünöldü.

Ölçümler her iki gözde yapılip, çalışmaya sadece sağ gözler dahil edildi .Ölçümler kornea teması ile yapıldığından, olası komplikasyon kornea epitelinin zedelenip, enfeksiyona meyil yaratması ve sonuçta keratit oluşabilmesidir.

3. 5. İstatistikî Değerlendirme Yöntemleri:

İki cihaz ölçümleri arası %2 farkı göstermek için, alfa değeri (güven aralığı) 0,05 ve çalışmaya katılan olgu sayısı 255 olduğunda, çalışmanın gücü %80 olarak belirlendi.

Her iki cihaza ait GİB ölçüm değeri, Student t testi ile karşılaştırılarak değerlendirildi. Her iki cihazın ölçüm ortalamalarının, kornea kalınlığıyla ilişkisini belirlemek amacıyla, basit lineer regresyon analizi yapılip (Tono-Pen veya GAT ile yapılan GİB ölçümü bağımlı, kornea kalınlığı bağımsız değişken olarak alındı), regresyon denklemleri bulundu. SKK'deki 10 µm artışta, ölçülen GİB değeri ne kadar artış olacağı, Tono-Pen ve GAT cihazlarının her biri için, grafiklerden hesaplandı. Bu istatistikî değerlendirme için SPSS Ver. 11.0 (SPSS Inc.,Chicago, ABD) bilgisayar programı kullanıldı. $P < 0,05$ değeri, istatistikî açıdan anlamlı kabul edildi.

BULGULAR:

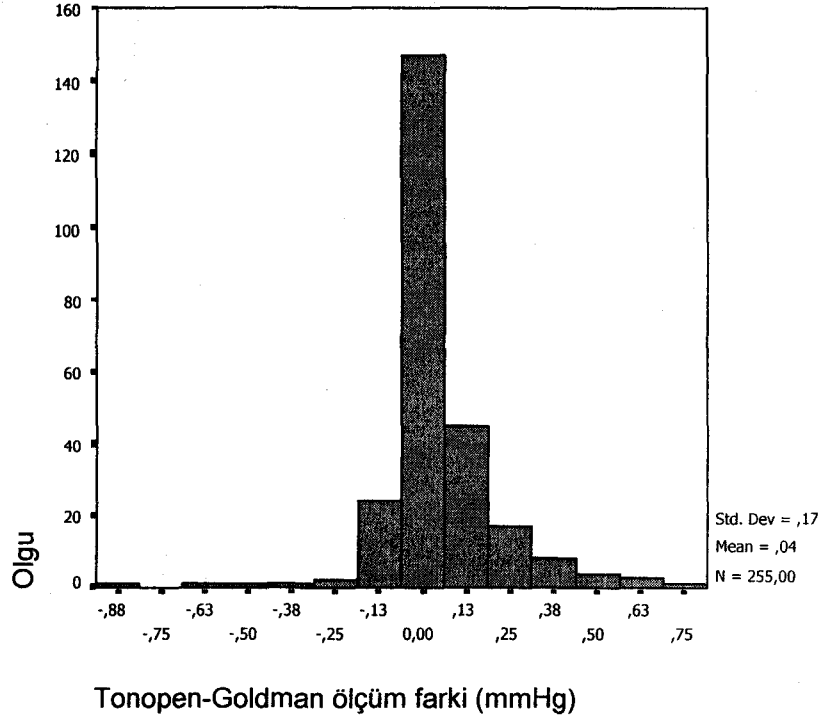
Cinsiyete göre. Tono-Pen ($p=0,352$), GAT ($p=0,203$) ve SKK ($p=0,734$) ölçümlerinde, istatistikî olarak anlamlı bir farklılık yoktu ($p>0,05$) (Tablo 4. 1.).

Tablo 4. 1. Cinsiyete göre Tono-Pen (mmHg), Goldman applanasyon tonometresi (mmHg) ve Santral korneal kalınlık (μm) değerleri.

Cinsiyet	Tono-Pen	Goldman Applanasyon Tonometresi	Santral Kornea Kalınlığı	Yaş
Erkek (n=108)	16,72 \pm 3,15	15,87 \pm 3,18	550,36 \pm 34,16	41,45 \pm 15,99
Kadın (n=147)	16,72 \pm 3,02	16,26 \pm 2,98	545,98 \pm 34,75	40,43 \pm 14,33

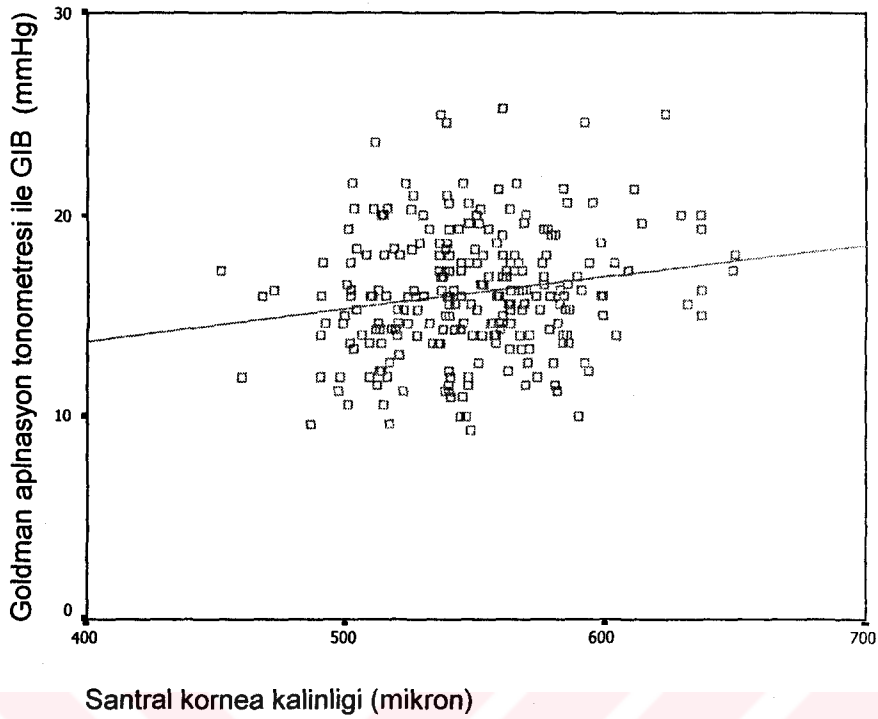
Tono-Pen ve GAT kullanılarak, toplam 255 değer saptandı. Ölçümlerde, Tono-Pen'in ölçümleri ortalaması(\pm SD), 16,71(\pm 3,09) iken (8-30 mmHg) ve GAT ölçümleri ortalaması(\pm SD) 16,10(\pm 3,07) olarak saptandı (9-26mmHg). İki cihaz arası ölçüm farklılığı, istatistikî olarak anlamlıydı ($p<0,05$) ve Tono-Pen ölçümleri daha yüksekti .

Tono-Pen ve GAT ölçümleri farklarının %60'ı, 1mmHg sınırları içindeydi (Şekil 4. 1.).



Şekil 4. 1. Tono-Pen ve Goldman applanasyon tonometresi ölçüm farkları (mmHg) görülmektedir.

Tono-Pen ile kornea kalınlığı karşılaştırılmasına ait noktasal dağılım grafiği ve regresyon eğrisine göre. regresyon denklemi, $y=6,812+0,018x$ ($r^2: 0,041$) olup burada y =Tono-Pen ile ölçülen GİB, x =SKK değeridir. Yani kalınlıktaki 10 μm artışta, Tono-Pen ile yapılan GİB ölçümünde 0,18mmHg artış gözlenmektedir (Şekil 4. 2.).

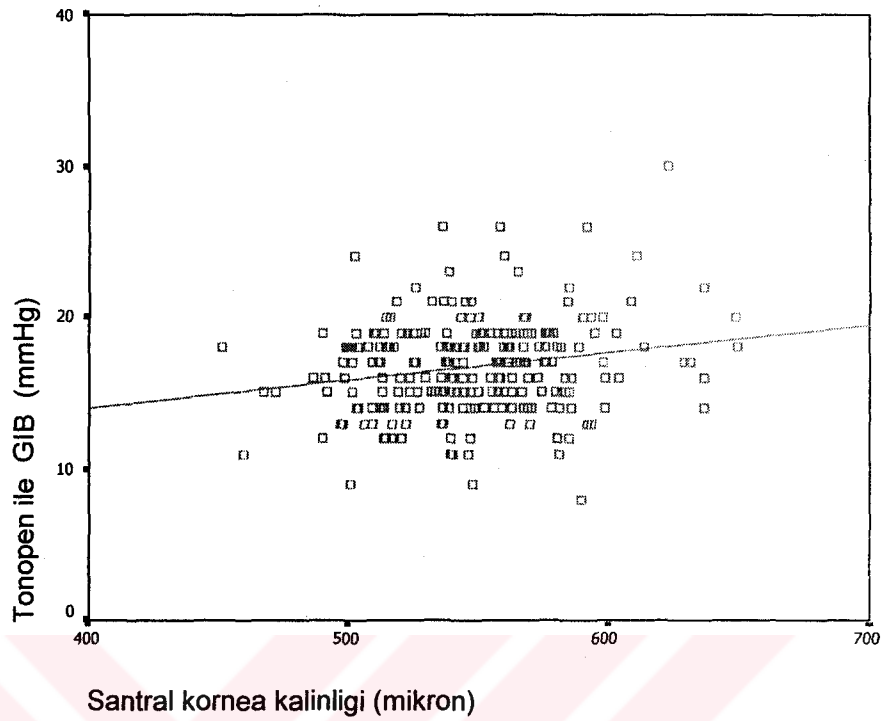


Santral kornea kalınlığı (mikron)
Şekil 4. 3. Goldman applanasyon tonometresi ile santral kornea kalınlığı karşılaştırılmasına ait regresyon eğrisi görülmektedir.

Lineer regresyon analizi sonuçlarına göre GAT, kornea kalınlığından daha az etkilenmektedir (10 μm kornea kalınlığı artışında Tono-Pen ile 0,18, GAT ile 0,16 mmHg artış gözlenmektedir).

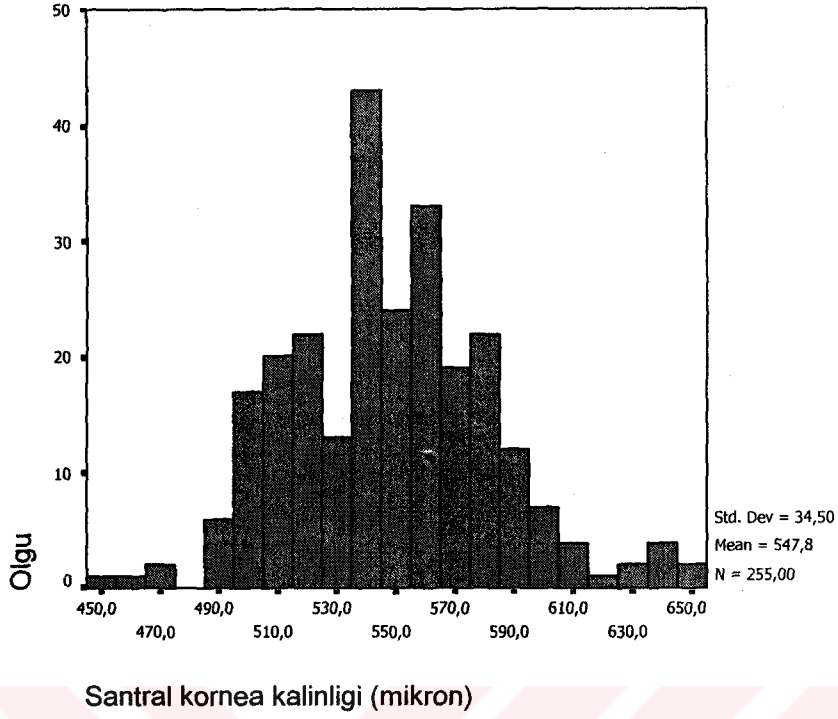
Tablo 4. 2. ile Şekil 4. 1., 4. 2. ve 4. 3.'te, Tono-Pen ölçümlerinin, GAT ölçümlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu ölçüm farklılığı, istatistikî olarak da anlamlıdır ($p < 0,05$).

Ölçümlerde 451.60 - 650 μm aralığında SKK ortalaması ($\pm\text{SD}$) değeri 547,83 ($\pm 34,50$) μm idi (Şekil 4. 4.).



Şekil 4. 2. Tono-Pen ile korneal kalınlık karşılaştırılmasına ait regresyon eğrisi görülmektedir.

GAT ile kornea kalınlığı karşılaştırılmasına ait noktasal dağılım grafiği ve regresyon eğrisine göre regresyon denklemi, $y=7,448+0,016x$ ($r^2=0,032$) olup burada y =GAT ile ölçülen GİB değeri ve x =SKK değeridir. Kalınlıktaki 10 μm artışta, GAT ile yapılan GİB ölçüm değeri 0,16 mmHg artmaktadır (Şekil 4. 3.).



Şekil 4. 4. Santral kornea kalınlığının dağılımı(µm).

Ölçümlerin önce Tono-Pen ($p=0,411$) veya önce GAT'la ($p=0,579$) yapılması arasında istatistikî olarak anlamlı farklılık saptanmadı (Tablo 4. 2.).

Tablo 4. 2.

	Önce Tono-Pen ile ölçülen grup	Önce GAT ile ölçülen grup
GAT (mmHg)	16,63±3,20	15,56±2,84
Tono-Pen (mmHg)	16,96±3,24	16,48±2,89

TARTIŞMA

Glokom, körlüğün en önemli nedenlerindendir ve güncel olarak kabul edilen tek tedavisi GİB'in düşürülmesi olduğundan, GİB'in doğru değerlendirilmesi gereklidir. Bu nedenle, GİB ölçümünde kullanılan çeşitli cihazların, gerçek GİB değerlerine yakın ölçüm yapıp yapmadıkları ve birbirleri ile korelasyonları, her zaman araştırma konusu olmuştur.

Günümüzde GAT, GİB ölçümünde altın standart olarak kabul edilmektedir. GAT ile ölçüm sonuçlarını etkileyebileceği düşünülen pek çok faktör tanımlanmıştır (15, 79). Kornea rijiditesinin belirleyicisi olan kornea kalınlığındaki değişimlerin, ölçümleri etkileyeceği yönünde görüşler bildirilmiştir (17-24). İnvaziv GİB ölçüm yöntemlerinin kullanıldığı bazı çalışmalarda, kornea kalınlığı artışı ile birlikte, applanasyon yöntemiyle elde edilen değerlerin, normalden saptıkları görülmüştür (21,22). Aynı yazarlar, kornea kalınlığındaki 70 µm değişiklik için, 1,3 ile 3,5 mmHg düzeltme önermişlerdir. GAT ile ölçülen GİB değerlerinde, kornea kalınlığına göre düzeltme öneren başka yazarlar da mevcuttur (21,26). Fakat bu çalışmalar, küçük gruplarda yapılmıştır ve her olguda aynı kesinlikte sonuçlar verecekleri konusu şüphelidir.

Recep ve ark., nonkontakt tonometrelerin de kornea kalınlığından etkilendiğini göstermişlerdir (80). Feltgen ve ark., manometrik ölçümlerle applanasyon tonometresi ölçümlerini kornea kalınlığına göre karşılaştırdıkları çalışmalarında, Tono-Pen ve Perkins applanasyon tonometresi ölçüm sonuçlarının, manometrik ölçümlerle korele olduğunu belirtip, herhangi düzeltmeye gerek duymamışlardır (81).

GAT ile Tono-Pen'in ilk örneğinin (Tono-Pen-1) karşılaştırılması, 1987 yılında Minckler ve ark. tarafından gerçekleştirilmiş, Tono-Pen'in yüksek GİB değerlerinde daha yüksek, düşük GİB değerlerinde daha düşük değerler gösterdiğini bildirmişlerdir (82). Bordon ve ark, Tono-Pen-2 (ikinci kuşak Tono-Pen) ve Perkins applanasyon tonometresi ölçümleri arasında, istatistikî olarak anlamlı bir farklılık saptamamışlardır (83). Hessemer ve ark., Tono-Pen-1 ile manometrik ölçümleri karşılaştırmış ve Tono-Pen'in 17mmHg altı değerlerde daha düşük, üzerinde ise daha yüksek değerler gösterdiğini

belirtmişlerdir (84). Foster ve ark.'nın, fakoemülsifikasyon uyguladıkları 23 gözde yaptıkları çalışmalarında, Tono-Pen ile, manometrik ölçümlere göre ortalama 2 mmHg(-8 ile +4 arasında) sapma gözlenmiştir. Fakat bu sapma kornea kalınlığıyla ilişkilendirilememiştir (85). Tavşan ve ratlarda yapılan benzer çalışmalarda da yaklaşık aynı sonuçlar bildirilmiştir (86,87). Eisenberg ve ark., Tono-Pen'in laboratuvar koşullarında gayet iyi ölçüm yaptığını, fakat intraoküler ölçümlerle karşılaştırdıklarında, ölçüm değerlerinin kesinliğinde azalma saptadıklarını belirtmişlerdir (88). Feltgen ve ark., manometrik ölçümlerle applanasyon tonometresi ölçümlerini kornea kalınlığına göre karşılaştırdıkları çalışmalarında, Tono-Pen ve Perkins applanasyon tonometrelerinin birbiriyle korele olduğunu ve ölçüm sonuçlarının kornea kalınlığından etkilenmediğini bildirmişlerdir (81).

Kornea kalınlığının, oküler hipertansif hastalarda normalden yüksek, normotensif glokomlu olgularda ise daha düşük olduğu gösterilmiştir (24,25,29-31,34). Ayrıca, psödoeksfolyatif glokomlu olgularda korneanın daha ince olduğu da gösterilmiştir (32).

Bu bulgular ışığında, artmış kornea kalınlıklarında yanlış yüksek veya azalmış kalınlıklarda yanlış düşük GİB değerlerinin saptanmasından kaçınmak için, GİB ölçen cihazların kornea kalınlığından asgari etkilenip, gerçek GİB değerlerine yakın ölçümler yapmaları gerekliliği gündeme gelmiştir. Artmış GİB'in, kornea kalınlığını arttıracak yönünde görüşler de mevcuttur (29). Miyop olgularda, ekzimer laser fotorefraktif keratektomi sonrası kornea kalınlığı azalmasına bağlı olarak, cerrahi sonrası GİB ölçümlerinde cerrahi öncesine göre değişimler saptandığı bilinmektedir (89,95). Miyop hastalarda artmış glokom insidansı (96) ve günümüzde miyoplara uygulanan refraktif cerrahideki artış düşünülürse, bu durumun ne kadar önemli olduğu görülmektedir.

Daha önceki bazı çalışmalarda, Tono-Pen'in göz bankasından elde edilen gözlerde kesin ölçümler yaptığı gösterilmiştir (97-100). Fakat in vivo yapılan çalışmalarda, Tono-Pen ve GAT ölçümlerinin klinikte kabul edilemeyecek kadar uyumsuz olduğunu düşündüren bazı veriler saptanmıştır. Örneğin Tono-Pen'in 30 mmHg üzerinde yapılan ölçümlerde

kesin olmayan sonuçlar verdiği (100), gün içi GİB değişimlerini yansıtmadığı (99) ve glokom tanı ve takibinde kullanılabilecek kadar kesin ölçümler yapmadığı (48,98) yönünde sonuçlar bildirilmiştir. Tono-Pen ve GAT karşılaştırılmasında, bir çalışmada 270 gözün %39'unda(101), bir başka çalışmada 142 gözün %33'ünde(102) Tono-Pen değerlerinde ± 3 mmHg fark gözlenmiştir. İn vitro çalışmalardaki yanlılığın, prekorneal göz yaşı filminin, canlı kornea epitelinin, normal kornea kalınlık ve rijiditesinin, kapak ve ekstraoküler kas fonksiyonunun, akkomodasyonun, dalgalanan kan basıncının, nabız ve respirasyonun hatta hasta anksiyetesinin olmaması ile ilgili olduğu düşünülmüştür (103-106).

Kliniğimizde gerçekleştirdiğimiz çalışmada, Tono-Pen ve GAT ile basınç ölçümleri arasında bulduğumuz farklılık, istatistikî olarak anlamlı olmasına rağmen bu farkın %60'ı 1mmHg sınırları içerisinde ki bu ardarda GAT ölçümlerinde veya GAT ile ölçüm yapan değişik gözlemciler arasında karşılaştığımız fark sınırlarıdır (107). Örneklem büyüklüğümüz ve standardize ettiğimiz ölçüm prosedürlerimiz, istatistikî belirsizliğe izin vermemiştir.

Tono-Pen'in daha küçük bir alandan ölçüm yapması nedeni ile kornea kalınlığından daha az etkilenebileceği düşünülse de (95), uyguladığımız lineer regresyon analizi sonucunda Tono-Pen'in kornea kalınlığından daha az etkilendiği yönünde veri elde etmedik. Hatta kalınlık arttıkça, Tono-Pen ile hafifçe daha yüksek değerler gözlemledik ve 10 μ m kalınlık artışında Tono-Pen ile 0,18, GAT ile 0,16 mmHg artışlar saptadık. Daha önce Dohadwala ve ark.'nın Tono-Pen'in değişik kornea kalınlıklarındaki ölçümlerini değerlendiren çalışmalarında, 10 μ m kornea kalınlığı artışında erkeklerde 0,29mmHg, kadınlarda 0,12mmHg GİB artışları bildirilmiştir (108). Bhan ve ark. ise, Tono-Pen ve GAT'ın kornea kalınlığıyla ilişkilerini araştıran çalışmalarında sırasıyla 0,10 mmHg/10 μ m ve 0,23 mmHg/10 μ m GİB artış değerleri elde etmişlerdir (109). Çalışmamızda, cinsiyete göre Tono-Pen, GAT ve SKK değerlerinde istatistikî olarak anlamlı farklılık gözlemlemedik.

Astigmatizm, refraksiyon ve görme keskinliğinin kornea kalınlığını etkilemedikleri bilinmektedir (110). Kornea kurvaturunun, GİB ölçümlerini etkilediğini öne süren yazarlar olmuştur (111). Fakat daha geniş serilerde

yapılan çalışmalarda, bu etkinin ihmal edilebilecek kadar düşük olduğu gösterilmiştir (112-114). Bu nedenle çalışmamızda kornea kurvaturunu değerlendirmeye almadık.

Çalışmamızda GİB değerlerimizi alt gruplara ayırmamakla birlikte , ölçümlerimizi rutin göz muayenesi için göz polikliniğine başvuran hastalarda ve çoğunu 11-20 mmHg sınırları içerisinde gerçekleştirdik ve bu sınırlarda Tono-Pen ölçümleri ortalamasının GAT ölçümlerine göre yüksek olduğunu gözlemledik. Ölçümlerimizi manometrik ölçümlerle karşılaştırmadık fakat günümüzde, manometrik ölçümlerin bile bazı dezavantajları olduğu, uygulanan parasentezin ön kamara yapısı ve volümünde, aköz üretiminde, endotelial fonksiyonlarda ve göz ısısında değişikliklere yol açmaları nedeniyle kesin sonuçların şüpheli olduğu düşünülmektedir (107).

Tono-Pen'in GAT'a göre üstün özellikleri, hafif, taşınabilir, uygulamanın kolay ve çabuk öğrenilebilir olması yanında daha küçük bir yüzeyden ölçüm yapabilmesi sayesinde kornea düzensizliği, dar kapak aralığı, ölçüme koopere olamayan vakalar, yatan ve pediatrik hastalarda daha kolay ölçüm yapabilmesidir. Tono-Pen ile yapılan ölçümün sonucu, likid kristal ekrana yansır ve yoruma açık değildir. Ayrıca her kullanımda değiştirilen lateks tipler, özellikle postoperatif olgularda sterilizasyon açısından ve oküler veya sistemik enfeksiyonlarda (hepatit, HIV, prionlara bağlı hastalıklarda) kullanılabilmesi yönünden avantajdır. Cihazın kornea patolojilerinde kullanımı birkaç yönden önemlidir: Kornea ödemi, skar, band keratopati (115) gibi GAT 'ın ölçüm yapamadığı durumlarda kullanılıp, optik sinir başı ve görme alanının görülemediği durumlarda glokomatöz hasar hakkında bilgi verebilir. Ayrıca penetran keratoplasti, epikeratofaki gibi durumlarda GİB'in ameliyat sonrası erken dönemlerde değerlendirilmesine yardımcı olur (104). Tono-Pen'in manometrik ölçümlerle korele oluşunu gösteren çalışmalar da mevcuttur (84). Tono-Pen'in lateks koruyucusunun yol açtığı lateks allerjisi bildirilmiştir ve ölçüm öncesi sorgulanmalıdır (116).

Taşınabilir başka tonometreler de mevcuttur. Schiotz tonometresi ile ölçümler hastayı daha rahatsız edici olmakta ve değerler gözün elastik özellikleri ve kornea kurvaturundan etkilenebilmektedir (117). *Draeger, Kowa*

ve *Perkins* tonometreleri ile ölçümler daha kesin olmakla birlikte, nitelikli ölçümler için deneyim kazanmak gerekir (118-120). *McKay-Marg* tonometresi de daha kesin ölçümler verebilmektedir fakat taşınması daha zordur ve artık üretilmemektedir (45-47). Ultra applanasyon tonometresi, EMT 20 ve CAT-100 tonometreleri, klinikte kullanılabilir kadar güvenilir bulunmamıştır(121-123).

Glokomda tedaviye başlama kararını vermek yönünden optik disk görünümü ve görme alanının değerlendirilmesi, kornea kalınlığının değerlendirilmesinden çok daha önemlidir. Glokomda kornea kalınlığı ölçümünün, klinikle saptanan GİB değerinin uyumsuz olduğu durumlarda veya tedaviye başlandıktan sonra hedef GİB değerlendirilmesi esnasında kullanılması daha akla yatkın görünmektedir.

Özet olarak, Tono-Pen ölçümlerinde karşılaştığımız hafif yüksek değerler, Tono-Pen'in yukarıda saydığımız özellikleri nedeni ile klinik olarak sorun yaratacak gibi görünmemektedir. GAT, GİB ölçümünde halen altın standart olmasına ve en çok tercih edilen tonometre olarak kullanılmasına rağmen (124) Tono-Pen'in taşınabilir olması, kornea patolojilerinde ve hayvan deneylerinde kullanılabilmesi ve sterilite özellikleri, üstün özellikleridir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmamızda, Tono-Pen ile yaptığımız ölçümlerin ortalaması, GAT 'a göre yüksekti ve bu farklılık, istatistikî olarak anlamlıydı. Fakat farkların %60'ı ± 1 mmHg sınırlarındaydı ki bu GAT ile ardarda yapılan ölçümlerde veya GAT ile ölçüm yapan değişik gözlemciler arasında saptanabilen fark sınırları içerisindeydi ve klinik kullanımda soruna yol açmayacağı düşünüldü.

Çalışmamız sonucunda Tono-Penin kornea kalınlığından daha az etkilenmediği görüldü. İki cihaz da kalınlık artışı ile birlikte yükselen ölçüm değerleri verdiler.

Tono-Penin GAT'a göre üstün özellikleri hafif, taşınabilir, uygulamanın kolay ve çabuk öğrenilebilir olması yanında daha küçük bir yüzeyden ölçüm yapabilmesi sayesinde kornea düzensizliği, dar kapak aralığı, ölçüme koopere olamayan vakalar, yatan ve pediatrik hastalarda daha kolay ölçüm yapılabilmesidir. Tono-Pen ile yapılan ölçümün sonucu, likid kristal ekrana yansır ve yoruma açık değildir. Ayrıca her kullanımda değiştirilen lateks tipler, özellikle postoperatif olgularda sterilizasyon açısından ve oküler veya sistemik enfeksiyonlarda kullanılabilmesi yönünden avantajdır. Cihazın kornea patolojilerinde kullanımı birkaç yönden önemlidir: Kornea ödemi, skar, band keratopati gibi GAT 'ın ölçüm yapamadığı durumlarda kullanılıp, optik sinir başı ve görme alanının görülemediği durumlarda glokomatöz hasar hakkında bilgi verebilir. Ayrıca penetran keratoplasti, epikeratofaki gibi durumlarda GİB'in ameliyat sonrası erken dönemlerde değerlendirilmesine yardımcı olur.

Glokomda tedaviye başlama kararını vermek yönünden optik disk görünümü ve görme alanının değerlendirilmesi, kornea kalınlığının değerlendirilmesinden çok daha önemlidir. Glokomda kornea kalınlığı ölçümünün, klinikle saptanan GİB değerinin uyumsuz olduğu durumlarda veya tedaviye başlandıktan sonra hedef GİB değerlendirilmesi esnasında kullanılması daha akla yatkın görünmektedir.

GAT, GİB ölçümünde halen altın standart olmasına rağmen Tono-Pen'in taşınabilir olması, kornea patolojilerinde ve hayvan deneylerinde kullanılabilmesi ve sterilite özellikleri, üstün özellikleridir.

Bulgularımız ışığında, oküler hipertansiyon ve normotensif glokom olgularında, GİB ölçümleri yanında kornea kalınlığının da mutlaka değerlendirilmesi gerektiği sonucuna vardık. Ayrıca Psödoeksfoliatif glokom olguları ve klinik bulgularla GİB değerlerinin uyumlu olmadığı olgularda da kornea kalınlığının mutlaka ölçülmesi gerektiğini düşünüyoruz.

Gelecekte, GİB ölçerken aynı anda kornea kalınlığını da ölçüp gereken düzeltmeyi yapan cihazların tasarlanacağını düşünüyoruz.

Özetle:

- 1- Kornea kalınlığının, GAT üzerindeki etkisi kompleks bir durumdur.
- 2- Üç mmHg altındaki farklar klinik olarak önemli görünmemektedir çünkü bu değer, aynı veya farklı gözlemcilerin GAT ile aynı gözde aynı anda ölçebildikleri fark değeridir.
- 3- Santral kornea kalınlığı, glokomatöz hastalıkları normotensif, primer açık açılı veya oküler hipertansiyon gibi alt gruplara ayırmak için kullanılmamalıdır. Glokom tanı ve ayırıcı tanısında optik disk başı değişiklikleri, görme alanı değişiklikleri hatta karotis renkli dopler ultrasonografi ve kranial görüntüleme yöntemleri çok daha önemlidir.
- 4- Santral kornea kalınlığının değerlendirilmesi, klinik bulgularla saptanan GİB arasında uyumsuzluk olduğu zaman önem kazanabilir.
- 5 -Miyoplarda glokom insidansı artmıştır ve laser öncesi ve sonrasında GİB ölçümleri mutlaka alınmalıdır.

KAYNAKLAR:

- 1- Katz LJ, Spaeth GL, Cantor LB, Poryzees EM, Steinmann WC.
Reversible optic disc cupping and visual fiels improvement in adults with glaucoma. Am J Ophthalmol 1989;107:485-492.
- 2- O'Brein C, Schwartz B, Takamoto T, Ching Wu D. Intraocular pressure and the rate of visual fiel loss in chronic open-angle glaucoma. Am J Ophthalmol 1991;111:491-500.
- 3- Collaborative Normal- Tension Glaucoma Study Group. The effectiveness of intraocular pressure reduction in the treatment of normal-tension glaucoma. Am J Ophthalmol 1998;126:498-505.
- 4- Heijl A, Leske MC, Bengston B,. Reduction of intraocular pressure and glaucoma progression: Results from the Early Manifest Glaucoma trial. Arch Ophthalmol 2002;120:1268-1279.
- 5- The AGIS investigators. The Advanced Glaucoma Intervention Study (AGIS):7. The relationship between control of intraocular pressure and visual field deterioration. Am J Ophthalmol 2000;130:429-440.
- 6- Kass MA, Heuer DK, Higginbotham EJ. The Ocular Hypertension Treatment Study: A Randomized study determines that topical ocular hypotensive medication delays or prevents the onset of primary open-angle glaucoma. Arch Ophthalmol 2002;120:701-713.
- 7- Kaufman HE, Wind CA, Waltman S. Validity of MacKay-Marg applanation tonometer in patients with scarred irregular corneas. Am J Ophthalmol 1970;69:1003-1007.
- 8- Inler MS, Robbins RG. Intraocular pressure by non-contact tonometry with and without soft contact lens. Arch Ophthalmol 1987;105:1358-1359.
- 9- West CE, Capella JA, Kaufman HE. Measurement of intraocular pressure with a pneumatic applanation tonometer: Am J Ophthalmol 1972;72:505-509.
- 10- Irvine AR, Kaufman HE. Intraocular pressure following penetrating keratoplasty. Am J Ophthalmol 1969;68:835-844.

- 11-McMillan F, Forster RK. Comparison of McKay-Marg, Goldman and Perkins tonometers in abnormal corneas. *Arch Ophthalmol* 1975;93:420-424.
- 12-Kaufman HE. Pressure measurement: Which tonometer? *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1972;11:80-85.
- 13-Wind CA, Irvine AR. Electronic applanation tonometer in corneal edema and keratoplasty. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1969;8:620-624.
- 14-Tierney JP, Rubin ML. A clinical evaluation of the electronic applanation tonometer. *Am J Ophthalmol* 1966;62:263-271.
- 15-Goldman H, Schmidt T. Uber applanationstonometrie. *Ophthalmologica* 1957;134:221-242
- 16-Goldman H. Schmidt T. Weiterer Beitrag zur Applanationstonometrie. *Ophthalmologica* 1961;141:441-456.
- 17-Whitacre MM, Stein R. Sources of error with use of Goldman-type tonometers. *Surv Ophthalmol* 1993;38:1-30.
- 18-Dielemans I, Vingerling JR, Hofman A, Groebe DE, DeJong PTVM. Reliability of intraocular pressure measurement with the Goldman applanation tonometer in epidemiological studies. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1994;232:141-144.
- 19-Hansen FK. A clinical study of the normal human central corneal thickness. *Acta Ophthalmol* 1971;49:82-89.
- 20-Hansen FK, Ehlers N: Elevated tonometer readings caused by a thick cornea. *Acta Ophthalmol Scand* 1971;49:775-778.
- 21-Ehlers N, Bramsen T, Sperling S. Applanation tonometry and central corneal thickness. *Acta Ophthalmol Scand* 1975;53:34-43.
- 22-Whitacre MM, Stein RA, Hassanein K. The effect of corneal thickness on applanation tonometry. *Am J Ophthalmol* 1993;115:592-596.
- 23-Johnson M, Kass MA, Moses RA, Grodzki WJ. Increased corneal thickness stimulated elevated intraocular pressure. *Arch Ophthalmol* 1978;96:664-665.
- 24-Argus WA. Ocular hypertension and central corneal thickness. *Ophthalmology* 1995;102:1810-1812.

- 25-Copt RP, Thomas R, Mermoud A. Corneal thickness in ocular hypertension, primary open-angle glaucoma and normal tension glaucoma. Arch Ophthalmol 1999;117:14-16 .
- 26-Stodtmeister R. Applanation tonometry and correction according to corneal thickness. Acta Ophthalmol (Copenh) 1998;76:319-324.
- 27-Bron AM, Creuzot-Garcher C, Goudeau-Bouthillon S, D'Athis P. Falsely elevated intraocular pressure due to increased corneal thickness. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 1999;37:220-224.
- 28-Mishima S. Corneal thickness. Surv Ophthalmol 1968;13:57-96.
- 29-Herndon LM, Choudri SA, Cox T, Damji KF, Shields MB, Allingham RR. Central corneal thickness in normal, glaucomatous and ocular hypertensive eyes. Arch Ophthalmol 1997;115:1137-1141.
- 30-Matsumoto T, Makino H, Arai M, Matsumura H, Uozato H, Saishin M. Corneal configuration as an interfering factor in intraocular pressure values in primary open angle glaucoma and ocular hypertension. Jpn J Clin Ophthalmol 1998;52:177-182.
- 31-Brubaker RF. Tonometry and corneal thickness. Arch Ophthalmol 1999;117:104-105.
- 32-Shah S, Chatterjee A, Mathai M. Relationship between corneal thickness and measured intraocular pressure in a general ophthalmology clinic. Ophthalmology 1999;106:2154-2160.
- 33-Mitchell P, Hourihan F, Sandbach J. The relationship between glaucoma and myopia: the Blue Mountains Eye Study. Ophthalmology 1999;106:2010-2015.
- 34-Perkins ES, Phelps ES. Open angle glaucoma, ocular hypertension, low-tension glaucoma and refraction. Arch Ophthalmol 1991;109:1464-1467.
- 35-Mardelli PG, Piebenga LW, Whitacre MM, Siegmund KD. The effect of excimer laser photorefractive keratectomy on intraocular pressure measurements using Goldman applanation tonometer. Surv Ophthalmol 1997;42:945-949.
- 36-Rashad KM, Bahnassy AA. Changes in intraocular pressure after laser in situ keratomileusis. J Refract Surg 2001;17:420-427.

- 37-Shimmyo M, Ross AJ, Moy A, Mostafavi R. Intraocular pressure, Goldman applanation tension, corneal thickness and corneal curvature in caucasians, asians, hispanics and african americans. *Am J Ophthalmol* 2003;136:603-613.
- 38-Eyesteinsson T, Jonasson F, Sasaki H. Central corneal thickness, radius of corneal curvature and intraocular pressure in normal subjects non-contact techniques: Reykjavik Eye Study. *Acta Ophthalmologica Scand* 2002;80:11-15.
- 39-Foster PJ, Bassanhu J, Alsbirk PH, Munkhbayar D, Uranchimeg D, Jonson GJ. Central corneal thickness and intraocular pressure in Mongolian population. *Ophthalmology* 1998;105:969-973.
- 40-Wolfs RC, Klaver CC, Fingerling JR, Grobee DE, Hoffman A, deJong PT. Distribution of central corneal thickness and its association with intraocular pressure: Rotterdam Study. *Am J Ophthalmol* 1997;123:767-772.
- 41-Mark HH. Corneal curvature in applanation tonometry. *Am J Ophthalmol* 1973;74:223-224.
- 42-Medeiros FA, Sample PA, Weinreb RN. Corneal thickness measurements and visual function abnormalities in ocular hypertensive patients. *Am J Ophthalmol* 2003;135:131-137.
- 43-Medeiros FA, Sample PA, Weinreb RN. Corneal thickness measurements and frequency doubling perimetry abnormalities in ocular hypertensive eyes. *Ophthalmology* 2003;110:1902-1907.
- 44-Gordon MO, Beiser JA, Brandt JD. The Ocular Hypertension Treatment Study: Baselin factors that predict the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2002;120:714-720.
- 45-MacKay RS, MargE:Fast,automatic,electronic tonometers based on exact theory. *Acta Ophthalmol* 1959;37:495-507.
- 46-MacKay GS, Marg E, OechsliR:Automatic tonometer with exact theory and various biological applications. *Science* 1960;131:1668-1669.

- 47-Moses RA, Marg E, Oechsle R: Evaluation of the basic validity and clinical usefulness of the McKay-Marg tonometer. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1962;1:78-85.
- 48-Higginbotham EJ. Clinical evaluation of the Oculab Tono-Pen. *Am J Ophthalmol* 1988;105:101.
- 49- Hines MW, Jost BF, Fogelman KL. Oculab Tono-Pen, Goldman applanation tonometry and pneumatic tonometry for intraocular pressure assessment in gas-filled eyes. *Am J Ophthalmol* 1989;107:67-72.
- 50-Gordon A, Bogges EA, Molinari JF. Variability of ultrasonic pachimetry. *Opt Vis Sci* 1990;67:162-165.
- 51-Giasson C, Forthomme D. Comparison of central corneal thickness measurements between optical and ultrasound pachymeters. *Opt Vis Sci* 1992;69:236-241.
- 52-Salz JJ, Azen SP, Berstein J, Caroline P, Villasenor RA, Shanzlin DJ. Evaluation and comparison of sources of variability in the measurement of corneal thickness with ultrasonic and optical pachymeters. *Ophthalmic Surg* 1983;14:750-754.
- 53- Olsen T, Ehlers N. The thickness of human cornea as determined by a specular method. *Acta Ophthalmol* 1984;62:859-871.
- 54-Wheeler NC, Morantes CM, Kristensen RM, Pettit TH, Lee DA. Reliability coefficients of three corneal pachymeters. *Am J Ophthalmol* 1992;113:645-651.
- 55-Solomon EP, Schmidt RR, Adragna PJ. Human senses in *Human Anatomy and Physiology*. 1990, Saunders College Publishing. Vol.1 Part17 p560-570.
- 56-Bengisu Ü. Kornea, Göz Hastalıkları. 1998 Palme Yayıncılık Ankara Sayfa 69-72.
- 57-Vaughan D: Cornea. In *general Ophthalmology*. Ed. by Vaughan D, Asbury TY, Tabara KF, 1993 Appleton And Lange. Lebanon p104-107.
- 58-Kanski JJ: The cornea and sclera. In *clinical ophthalmology* ed. By Kanski JJ 1993, Butterworth-Heinemann Oxford sayfa 87-93.
- 59-Tuft SJ, Coster DJ. The corneal endothelium. *Eye* 1990;4:389-424.

- 60-Rohen JW. Anatomy of the aqueous outflow channels. In Glaucoma Ed. By Cairns JE. Grune&Stratton.1986,vol.1 part 14 sayfa 277-297.
- 61-Dohlman CH. The Cornea, physiology of the cornea 1984 sayfa 3-11.
- 62-Townsend DJ,Brubaker RF. Immediate effects of epinephrine on aqueous formation in the normal human eye as measured by fluorophotometry. *Invest Ophthalmol Vis Sci*1980;19:256-260.
- 63-Billa, Philips i. Uveoskleral drainage of aqueous humour in human eyes. *Exp Eye Res* 1971;21:275-278.
- 64-Maklakoff. L'Ophthalmotonometrie. *Arch Ophthalmol*1885;4:159.
- 65-O'Brien WJ, Guy J, Taylor JL. Pathogenesis of corneal edema associated with herpetic eye disease. *Br J Ophthalmol* 1990;74:723-730.
- 66-Stevens S, Fouraker BD, Jensen HG. Intraocular safety of ciprofloxacin. *Arch Ophthalmol* 1991;109:1737-1743.
- 67-Mishima S, Hedbys B. Measurement of corneal thickness with the Haag-Streit pachymeter. *Arch Ophthalmol* 1968;80:710-713.
- 68-Nissen J, Hjortdal J. A clinical comparison of optical and ultrasonic pachymetry. *Acta Ophthalmol* 1991;69:659-663.
- 69-Kremer FB, Walton P, Gensheimer G. Determination of corneal thickness using ultrasonic pachymetry *Ann Ophthalmol* 1985;17:506-507.
- 70-Martola EL, Baum JL. Central and peripheral corneal thickness. *Arch Ophthalmol* 1968;79:28-30.
- 71-Alsbirk PH. Corneal thickness, age variations, sex difference and oculometric correlatios: Environmental and genetic factors. *Acta Ophthalmol* 1978;56:95-113.
- 72-Tomlinson A. A clinical study of central and peripheral thickness and curvature of the human cornea. *Acta Ophthalmol* 1972;50:73.
- 73-Hansen FK. A clinical study of the normal human central corneal thickness. *Actya Ophthalmol* 1971;49:82-89.
- 74-Ehlers N, Hansen FK, Aesved H. Biometric correlations of corneal thickness. *Acta Ophthalmol* 1975;53:652-659.

- 75-Cox T, Damji K, Shields MB. Central corneal thickness in normal, glauomatous and ocular hypertensive eyes. *Arch Ophthalmol* 1997;115:1137-1141.
- 76-Amon M, Menapace R, Scheidel W. Results of corneal pachimetry after small incision hydrogel lens implantation and scleral step incision PMMA lens implantation following phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 1991;17:466-469.
- 77-Tuft SJ, Coster DJ. The corneal endothelium *Eye* 1990;4:389-424.
- 78-Recep ÖF, Hasiripi H, Vayisoğlu E. Accurate time interval in repeated tonometry. *Acta Ophthalmol Scand* 1998; 76:603-605.
- 79-Whitacre MM, Stein R. Sources of error with use of Goldman –type tonometers. *Surv Ophthalmol* 1993;38:1-30.
- 80-Recep ÖF, Hasiripi H, Çağıl N, Sarikatipoğlu H. Relation between corneal thickness and intraocular pressure measurement by noncontact and applanation tonometry. *J Cataract Refract Surg* 2001;27:1787-1791.
- 81-Feltgen N, Leifert D, Funk J. Correlation between central corneal thickness, applanation tonometry and intracameral readings. *Br J Ophthalmol* 2001;85:85-87.
- 82-Minckler DS, Baerveldt G, Heuer DK, Quillen-Thomas B, Walonker AF, Weiner J. Clinical evaluation of Oculab Tono-Pen. *Am J Ophthalmol* 1987;104:168-173.
- 83-Bordon AF, Katsumi O, Hirose T. Tonometry in pediatric patients:A comparative study among Tono-Pen, Perkins and Schiötz tonometers. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 1995;32:373-377.
- 84-Hessemer V, Rössler R, Jacobi K. Comparison of intraocular measurements with the Oculab Tono-Pen vs manometry in humans shortly after death. *Am J Ophthalmol* 1988;105:678-682.
- 85-Foster PJ, Wong JS, Wong E. Accuracy of clinical estimates of intraocular pressure in Chinese eyes. *Ophthalmology* 200;107:1816-1821.
- 86-Mermoud A, Baerveldt G, Minckler DS, Lee MB, Rao NA. Intraocular pressure in Lewis rats. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1994;35:2455-2460.

- 87-Mermoud A, Baerveldt G, Minckler DS, Lee MB, Rao NA. Measurement of rabbit intraocular pressure with the Tono-Pen. *Ophthalmologica* 1995;209:275-277.
- 88-Eisenberg DL, Sherman BG, McKeown CA, Scuman JS. Tonometry in adults and children:a manometric evaluation of pneumotometry, applanation and Tono-Pen in vitro and in vivo. *Ophthalmology* 1998;105:1173-1181.
- 89-Schipper I, Senn P, Niesen U. Are we measuring the right intraocular pressure after excimer laser photorefractive keratectomy in myopia? *Klinisc Monatsbl Augenheilkd* 1995;206:322-324.
- 90-Chatterjee A, Shah S, Bessant DA, Naroo SA, Doyle SJ. Reduction in intraocular pressure after excimer laser photorefractive keratectomy:correlation with pretreatment myopia. *Ophthalmology*1997;104:355-359.
- 91-Emara B, Probst LE, Tingey DP. Correlation of intraocular pressure and central corneal thickness in normal myopic eyes and after laser insitu keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 1998;24:1320-1325.
- 92-Mardelli PG, Piebenga LW, Whitacre MM. The effect of excimer laser photorefractive kreatectomy on intraocular pressure using the Goldman applanation tonometer. *Ophthalmology* 1997;104:945-949.
- 93-Rosa N, Cennamo G, Breve MA. Goldman applanation tonometer after myopic photorefractive keratectomy. *Acta Ophthalmol Scand* 1998;76:550-554.
- 94-Abbasoğlu ÖE, Bowman RW, Cavanagh HD. Reliability of intraocular pressure measurements after myopic photorefractive keratectomy. *Ophthalmology* 1998;105:2193-2196.
- 95-Garzozi HJ, Chung HS, Lang Y, Kagemann L, Harris A. Intraocular pressure and photorefractive keratectomy: acomparison of threee different tonometers. *Cornea* 2001;20:33-36.
- 96-Mitchel P, Hourihan F, Sandbach J. The relationship between glaucoma and myopia: the Blue Mountains Eye Study . *Ophthalmology* 1999;106:2010-2015.

- 97-Boothe WA, Lee DA, Panek WC, Pettit TH. The Tono-Pen: a manometric and clinical study. *Arch Ophthalmol* 1988;106:1214-1217.
- 98-Lim JI, Blair NP, Higginboham EJ, Farber MD, Shaw WE, Garretson BR. Assessment of intraocular pressures in gas-containing eyes. *Arch Ophthalmol* 1990;108:648-688.
- 99-Mendelsohn AD, Forster RK, Mendelsohn SL. Comparative tonometric measurements of bank eyes. *Cornea* 1987;6:219-225.
- 100- Moses RA, Arnzen RJ. Instantaneous tonometry. *Arch Ophthalmol* 1983;101:249-252.
- 101- Farrar SM, Miller KN, Shieds MB, Stoup CM. An evaluation of the Tono-Pen for the measurement of diurnal intraocular pressure. *Am J Ophthalmol* 1989;107:411-416.
- 102- Kao SF, Lichter PR, Bergstrom TJ, Rowe S, Musch DC. Clinical comparison of the Oculab Tono-Pen to the Goldman applanation tonometer *Ophthalmology* 1987;94:1541-1544.
- 103- Holladay JT, Allison ME, Prager TC. Goldman applanation tonometry in patients with regular corneal astigmatism *Am J Ophthalmol* 1983;96:90-93.
- 104- Armaly MF, Rubin ML. Accommodation and applanation tonometry *Arch Ophthalmol* 1961;65:415-423.
- 105- Rootman DS, Insler MS, Thompson HW, Parelman J, Poland D, Unterman S. Accuracy and precision of the Tono-Pen in measuring intraocular pressure after keratoplasty and epikeratophakia and in scarred corneas. *Arch Ophthalmol* 1988;106:1697-1700.
- 106- Khan J, Davis M, Graham CE, Trank J, Whitcre M. Comparison of Oculab Tono-Pen readings obtained from various corneal and scleral locations. *Arch Ophthalmol* 1991;109:1444-1446.
- 107- Franzco GAL, Khaw PT, Ficker LA, Shah P. The corneal thickness and intraocular pressure story: where are we now? *Clin Exp Ophthalmol* 2002;30:334-337.

- 108- Dohadwala AA, Munger R, Damji KF. Positive correlation between Tono-Pen intraocular pressure and central corneal thickness. *Ophthalmology* 1998;105:1849-1854.
- 109- Bhan A, Browninig AC, Shah S, Hamilton R, Dave D, Dua HS. Effect of corneal thickness on intraocular pressure measurements with the pneumotonometer, Goldman applanation tonometer and Tono-Pen. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43:1389-1392.
- 110- Ehlers N, Hansen FK. Further data on biometric correlations of central corneal thickness. *Acta Ophthalmol* 1876;54:774-778.
- 111- Tomlinson A, Leighton DA. Ocular dimensions in low tension glaucoma. *Br J Ophthalmol* 1972;56:97-101.
- 112- Mark HH. Corneal curvature in applanation tonometry. *Am J Ophthalmol* 1973;76:223-224.
- 113- Morad Y, Sharon E, Hefetz L, Nemet P. Corneal thickness and curvature in normal-tension glaucoma. *Am J Ophthalmol* 1998;125:164-168.
- 114- Matsumoto T, Makino H, Uozato H, Saishin M, Miyamoto S. The influence of corneal thickness and curvature on the difference between intraocular pressure measurements obtained with a non-contact tonometer and those with a Goldman applanation tonometer. *J Jpn Ophthalmol Soc* 200;104:317-323.
- 115- Azuara-Blanco A, Bhojani TK, Sarhan AR, Pillai CT, Dua HS. Tono-pen determination of intraocular pressure in patients with band keratopathy or glued cornea. *Br J Ophthalmol* 1998;82:634-636.
- 116- Bergwerk KL, Kodsi S. Lateks allergy associated with the lateks cover on the Tono-Pen. *Am J Ophthalmol* 1999;127:91.
- 117- Frenkel RP, Hong YJ, Shin DH. Comparison of the Tono-Pen to the Goldman applanation tonometer. *Arch Ophthalmol* 1988;106:750-753.
- 118- Pohjola S, Niiranen M. Clinical evaluation of the Draeger applanation tonometer. *Acta Ophthalmol* 1968;46:1159-1164.
- 119- Perkins ES. Hand-held applanation tonometer. *Br J Ophthalmol* 1965;49:591-596.

- 120- Merrit JC, Whitaker R, Alexander M. Comparison of slit-lamp applanation tonometers. *Am J Ophthalmol* 1972;74:505-508.
- 121- Tran HD, Berent PA, Kaufman HE. Comparison of the Ultra electronic applanation tonometer with the *McKay-Marg* tonometer: A study on human eyes with abnormal corneas. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1982;20:28.
- 122- Gelatt KN, Gum GG, Barrie KP: Tonometry in glaucomatous globes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1981;20:683-688.
- 123- Gelatt KN, Glenwood GG. Evaluation of electronic tonometers on rabbit eye. *Am J Vet Res* 1981;42:1778-1781.
- 124- Wessels IF, Oh Y. Tonometer utilisation, accuracy and calibration under field conditions. *Arch Ophthalmol* 1990;108:1709-1712.

