

Göz İçi Basıncı Ölçüm Yöntemleri

Intraocular Pressure Measurement Methods

Şeyda KARADENİZ UĞURLU

Geliş Tarihi - Received: 30.10.2015

Kabul Tarihi - Accepted: 06.11.2015

Glo-Kat Özel Sayı 2016;11:1-6

Yazışma Adresi/Correspondence Adress:

M.D. Professor, Seyda KARADENİZ UĞURLU

Katip Celebi University Faculty of Medicine,

Department of Ophthalmology, Izmir/TURKEY

Phone: +90 532 715 61 73

E-Mail: ugurluseyda@yahoo.com

ÖZ

Körlük ve dokunmakla 'sert' olan gözler arasındaki ilişkinin saptandığı dönemden itibaren göz içi basıncının değerlendirilmesi oftalmolojinin ilgi alanı olmuştur. Günümüzde tekrarlanabilir, hassas ve gerçek (manometrik) değeri yansıtacak ideal tonometre için arayış halen devam etmektedir. Göz içi basınç değerlerinde 24 saat boyunca yaşanan değişimi saptayabilecek yeni cihaz ve ölçüm yöntemleri de geliştirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Göz içi basıncı, tonometri.

ABSTRACT

Measurement of intraocular pressure has become an area of interest in ophthalmology since the association between blindness and "hard 'eyes" has been recognized. The search for the ideal tonometer that is reproducible, precise and accurate (manometric value) is still continuing. New devices and measurement methods are being developed so as to monitor the variations in intraocular pressure over 24-hours.

Key Words: Intraocular pressure, tonometry.

GİRİŞ

Göz içi basınç (GİB) değerinin ölçülmesi girişimi 16 yüzyılda Bannister'ın bazı kör hastaların gözlerinin dokunmakla sert olduğunu tariflediğinden beri ilgi alanı olmuştur. 1862'de A. Von Graefe'nin ilk tonometreyi geliştirmesini takiben 1906'da Schiotz ve 1956'da Goldmann applanasyon tonometresi kullanıma girmiştir. Günümüzde ise 24 saat GİB ölçüm yöntemleri geliştirilmeye çalışılırken, GİB'ni doğru ve hassas bir şekilde ölçecek ideal cihaz için arayış devam etmektedir.

GİB ölçüm yöntemlerini direkt (manometri) ve indirekt (transpalpebral ve tonometri) yöntemler olarak sınıflamak mümkündür. Direkt yöntem yani manometrik yaklaşımlar doğrudan GİB değerini saptamayı sağlasa da invaziv oluşları nedeniyle klinik anlamda pratik kullanımları yoktur. Ancak geliştirilen ve geliştirilmiş birçok cihazın doğruluğunu saptamak için manometri ile karşılaştırmak yoluna gidilebilmektedir.

Transpalpebral Yöntemler

Transpalpebral olarak parmakla GİB değerlendirilme yöntemi 10. yüzyıldan beri uygulanan en basit, en ucuz, ancak en hataya açık yöntemdir. Zihinsel özürlü veya aşırı düzensiz korneası olan hastalarda kullanım alanı bulabilmektedir. Günümüzde göz kapağı üzerinden GİB ölçümü yapan cihazlar mevcuttur. Proview eye-pressure monitor göz kapağına uygulanan basıncın GİB eşit olduğu esnada, bireyin gözünde fosfen (karanlık halka etrafında parlak hale gelişmesi hali) gelişeceği esasına dayanır. Klinik çalışmalar cihazın güvenilirliğini sorgulamakta ve diğer cihazlarla uyumunun düşük olduğuna işaret etmektedir.^{1,2} Diaton ise hasta 45 derece açıyla yukarıya bakarken kapağına cihazın içindeki probun çarparak geriye sıçraması temeline dayalı bir ölçüm aracıdır. GAT ile zayıf uyum göstermekte ve değişken sonuçlar vermektedir.^{3,4}

Tonometri

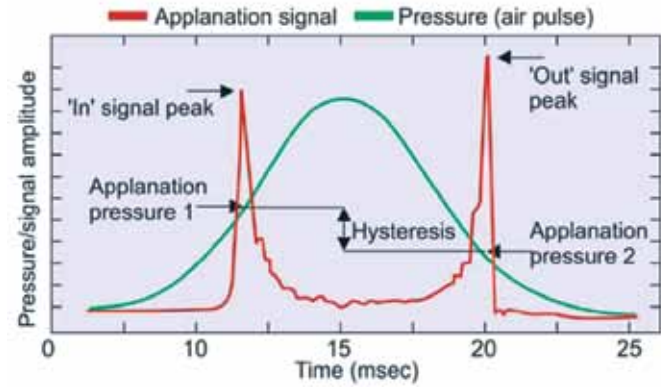
Bu başlık altında günümüzde yaygın kullanım alanı bulmuş ve farklı temel mekanizmalar ile GİB' nı değerlendiren pek çok cihaz yer almaktadır.

- Aplanasyon
- İndentasyon
- İndentasyon-aplanasyon
- Kontur uyumlu piezoelektrik sistemler
- Rebound tonometri
- 24 saat izlem yöntemleri

Aplanasyon Temelli Sistemler

Aplanasyon tonometresi İmbert-Fick kanununa dayanmaktadır. Bu kanun sonsuz incelikteki membranlardan oluşan, mükemmel elastik yapıya sahip, uniform ve homojen kürelerde, kürenin belli bir alanını düzleştirmek için gereken gücün küre içindeki sıvı basıncı ile orantılı olduğunu ifade etmektedir. Ancak gerek kornea gerekse sklera sözü edilen mükemmel özelliklere sahip olmaktan uzaktır. Dolayısıyla halen altın standart olarak kullanılan ve en yaygın ölçüm cihazı olan Goldmann aplanasyon tonometresinin (GAT)'nin ölçüm esasları temelde bu kanun ile uyumsuzdur.

Aplanasyon tonometreleri sabit alan-değişken güç uygulaması (GAT, 1956) veya sabit güç- değişken alan temelli uygulama (Maklakov tonometer, 1885) olmak üzere 2 farklı şekilde ölçüm yapmaktadır. Albrecht von Graefe'nin öğrencisi, Alexei Maklakov tarafından geliştirilen Maklakov tonometresi sabit ağırlık uygulandığında kornea üzerinde boyanan alanın değişen genişliğine göre GİB'nı değerlendirmekteydi. GAT'a göre düşük ölçüm yaptığı bilinen bu cihazın günümüzde kullanım alanı bulunmamaktadır.



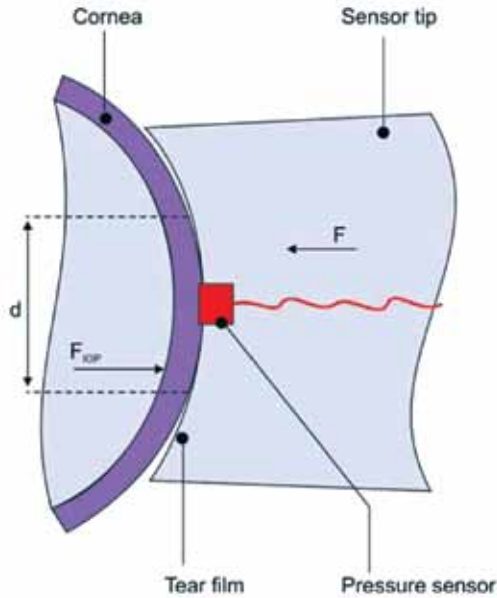
Şekil 1: Oküler respons analizör ile elde edilen basınç grafiği.

GAT ise limitasyonlarına rağmen halen referans olma özelliğini korumaktadır. Bu tonometre sabit bir alanın düzleştirilmesi esasına dayanır. 1.53 mm'lik menisküsler toplamda 3.06 mm çaplı düzleşme sağlar. Bu alan dikkate alındığında 500 mikronluk bir merkezi kornea kalınlığı (MKK) varlığında 0.1 gr güç yaklaşık olarak 1 mmHg'a eşittir. Astigmatizma, uygunsuz flöreseinin miktarı, valsalva manevrası yapılması, kapakların sıkılması, glob üzerine basınç uygulanması vb faktörler hatalı ölçüme neden olabilir.

En çok tartışılan hata faktörlerinden biri de MKK'dır. Ehlers (n=29; manometrik), Whitacre (n=15; manometrik), Doughty-Zaman (n=300, meta-analiz), Shimmyo (n=1482, retrospektif) çeşitli düzeltme formülleri geliştirilmeye çalışmışlardır.⁵⁻⁸ Toplumsal veya manometrik çalışmalardan 10 mikronluk değişimin sırasıyla 0.11-0.32 mmHg veya 0.11-0.71 mmHg arasında etkisi olduğu bildirilmiştir.⁹⁻¹³ Bu geniş aralıklar formüller aracılığıyla sağlıklı düzeltme yapılamayacağına işaret etmektedir. Zaten MKK'nın GAT ile elde edilen ölçüm hatasına katkısının bireysel olarak, hasta bazında ne oranda olduğu halen tam olarak gösterilememektedir. Özellikle kalın kornealarda hatalı hesaplama olasılığı daha da yükselmektedir.¹⁴ Var olan veriler formüller aracılığıyla düzeltme yapmanın klinik pratikte yanıltıcı sonuçlar verebileceğine işaret etmektedir.

GAT ile ilgili diğer sorunlar arasında pulsasyonla değişim, kontaminasyon riski, dezenfeksiyon ihtiyacı, yardımcı personel tarafından uygulanamaması, dijital sonuç vermemesi ve kalibrasyon ihtiyacı sayılabilir. Choudhari ve ark.,¹⁵ çalışmasında GAT'ların sadece %4'ünün uygun kalibrasyonda bulunmuş olması bu konunun önemine dikkat çekmektedir. GAT nin elde tutularak ölçüm olanağı veren tipleri de bulunmaktadır (Perkins el tonometresi, Dreager el tonometresi).

GAT düşük fiyat, basit cihaz oluşu, biyomikroskoba entegre olma özelliği, iyi inter ve intra uygulayıcı tekrarlanabilirliği ve çalışmalarda temel alınan referans araç oluşuyla günümüzde halen yaygın kullanım alanı bulmaya devam etmektedir.



Şekil 2: Dinamik kontör tonometri.

Non-Kontakt Tonometreler (air-puff)

Aplanasyon mekanizmasıyla çalışan bu cihazlar kornea apeksini düzleştiren hava akımı (milisan) ile ölçüm sağlar. Kornea düzleştikçe ayna gibi ışığı yansıtır; tam düzleştiği an ışık miktarı maksimuma ulaşır. Bu cihazlar pratik oluşları nedeniyle yaygın kullanım alanı bulmaktadırlar.

Biyomekanik özelliklerden (MKK ve oküler rigidite) ve oküler puls amplitüdünden etkilenirler; ölçüm siklusun herhangi bir aşamasında alınır. Yüksek intratest-intertest değişkenlik bildirilmektedir. Genel olarak GAT la uyumludur.¹⁶⁻¹⁸

Lokal anestezi gerektirmemesi, kontaminasyon riski olmaması, az eğitilmiş personelle kullanılabilmesi avantajları arasında sayılabilir. Elde tutulan şekilleri de mevcuttur (Keeler, Reichert vb).

Oküler Respons Analizör (ORA)

Modern bir non-kontakt tonometredir. GİB ölçümünün yanı sıra korneanın biyomekanik özelliklerini de değerlendirir. Gönderilen hava akımı önce kornea apeksini düzleştirir (aplanasyon), daha sonra korneada hafif konkavite oluşur ve tekrar geriye orijinal şeklini kazanırken ikinci bir aplanasyon aşaması ile karşılaşılır. Bu durum hidrolik bir şok emici yapının önce deforme olup, sonra orijinal şekline dönmesine benzetilebilir. Elektro-optik sensörler korneanın bu içe-dışa hareketini değerlendirir.

İlk içe aplanasyon P1, dışa aplanasyon P2 basıncı olarak saptanır. Histerezis (korneanın viskoelastik- şok emici yanıtı)= $P1-P2$; CRF (korneal resistans faktörü) = $k1(P1-0.7xP2)+k2$; GİBg (goldmann correlated)= $(P1+P2/2)$; IOPcc (corneal compensated)= $(IOPG-b)/m$ formülleriyle hesaplanırlar.¹⁹

Histerezis glokomatöz hasara maruz kalma hassasiyeti veya progresyon eğilimi hakkında yol gösterici olabilir. ORA'nın GAT'la korelasyonu iyi olup, kornea kalınlığından tamamen bağımsız olmadığı da bilinmektedir.²⁰ Cihazın kardiyak sıklık ve oküler pulsdan etkilenmesi, güvenilir sonuç için çok sayıda ölçüm gerekmesi, pahalı oluşu, çok pratik olmayışı, iyi fiksasyon ve düzgün gözyaşı filmi gerektirmesi dezavantajları arasında sayılabilir.

İndentasyon Tonometresi

Bu ölçüm yöntemi belli bir güç uygulandığında elde edilen çökertme etkisinin kürenin basıncı ile oranlı olacağı esasına dayanır. Von Graefe ilk kez 1862'de bir skaladan GİB okunabilir indentasyon tonometresini dizayn etmiştir.

Çok sayıda etken sonuçları etkileyebilmektedir. Skleral rijidite bu faktörler içinde yer almaktadır. İnce veya daha elastik duvarı olan gözlerde prob daha derine çökmektedir. Miyop gözler düşük sklera rijiditesine, hipermetrop olanlar ise daha yüksek rijiditeye sahiptir. Schiötz ve Baillart tonometresi bu grupta yer alan tonometrelerdir. Zorluklarına rağmen Schiötz tonometresi 20. yüzyılda yaygın kullanılmış, ancak son çeyrekte yerini GAT'a bırakmıştır.²¹

Aplanasyon ve İndantasyon Mekanizmalarının Beraber Olduğu Ölçüm Yöntemleri

Mac-Kay Marg Tonometresi

Tonometrenin elciğinde düz bir ayak ve ortasından uzanan bir mikro-piston vardır. Bir transdüser yoluyla pistonun yer değişikliği elektrik sinyaline çevrilir ve EKG gibi bir kayıt yapılır. Kayıt korneanın aplanasyon aşamalarını gösterir. Skar, ödem veya düzensiz korneada görece daha etkin olan bu tonometre artık üretilmemektedir.^{22,23}

Tonopen

Modern bir MacKay Marg tonometresidir. Düzleşme alanı 1.5 mm'dir. Çok küçük alanda ölçüm yaptığı için korneal hastalıklarda (band keratopati, ektatik hastalıklar, keratoplasti sonrası, keratoprotezli gözler) avantaj sağlar. Taşınabilir olması bir diğer avantajıdır. Kontakt lens üzerinden ölçüm yapılabilir.²⁴ Kornea kalınlığı ve korneal parametrelerden etkilenir. Ölçüm merkezden yapılmalıdır. Tonopen XL (4 ölçüm) ve Avia (10 ölçüm) modelleri geliştirilmiştir.

Pnömotonometre

Pnömotonometre Mackay-Marg metoduyla çalışan bir kontakt tonometredir. Yüzeyi silikon ile kaplı bir uç 5-10 saniye boyunca sürekli ölçüm alır. GAT ile benzer sorunları vardır. Genel olarak GAT'a göre 2-4 mmHg daha yüksek sonuçlar verdiği bildirilmektedir.²⁵ Bir manometrik çalışmada ise GAT'dan daha doğru sonuçlar verdiği gösterilmiştir.²⁶ Ödemli, düzensiz kornealar, lökümü olan gözlerde faydalıdır.

Rebound Tonometri (I-care)

Laboratuvar hayvanlarının GİB'nı ölçmek için geliştirilmiştir. Magnetize bir probun (1.8 mm) globa çarpmasını takiben gözlenen 'rebound' (geri tepme) hızı GİB ile orantılıdır. GİB arttıkça deselerasyon hızı artmakta, kontakt zamanı azalmaktadır. En az 6 ardışık ölçüm yapılır. En düşük ve en yüksek değerler çıkarılıp ortalama değer alınır. Topikal anestezi gerektirmemesi bir avantaj oluşturmaktadır. Özellikle yüksek GİB'lerinde GAT'a göre yüksek ölçümler vermektedir. Kardiyak siklusun herhangi bir aşamasında ölçüm aldığı için tekrarlanabilirliği GAT'a göre daha düşüktür.²⁷ Kornea kalınlığı ve biyomekanik faktörlerden etkilenir.²⁸ Ancak Chui WS ve ark. nın çalışmasında santral ve 3 mm periferden yapılan ölçüm sonuçları benzer bulunmuştur.²⁹ Çocuklar ve uyumsuz bireyler için kullanım kolaylığı sağlamaktadır. 2013- Amerikan Akademi Oftalmik Teknoloji Değerlendirme raporunda genel anestezi gerekmeden yeterli güvenilirlikte ölçüm imkanı sağladığı belirtilmektedir.³⁰ Evde hastaların ölçüm yapması için geliştirilmiş şekli bulunmaktadır.

Dinamik Kontur Tonometri (DKT)

Tonometri uygulamasında gerçek anlamda yeni bir yaklaşım olan dinamik kontur tonometri Kanngiesser ve ark.,³¹ tarafından tariflenmiştir. Pascal tonometre (Zeimer Ophthalmics, Port, Switzerland) olarak ticari şekli üretilmiştir. Tonometre kornea ile en az 5 saniye kontakt halinde olmalıdır. Basıncı saniyede 100 kez ölçülür ve diastolik sonuçlar ortalama olarak verilir. Oküler puls amplitüdü (OPA; sistolik-diastolik değer) ve kalite değeri (Q1-5) de sonuçlar içinde yer alır. Dezavantajları arasında cihazın fiyatı ve ölçüm için diğer cihazlara oranla daha fazla kooperasyon ihtiyaç duyulması sayılabilir. Ölçüm değerleri GAT'dan yüksek ve gerçek manometrik GİB'na daha yakın bulunmaktadır. Korneal kurvatürden tamamen bağımsız olmadığı, ancak daha az etkilendiği bildirilmektedir.^{32-34,35}

Cihaz en doğru GİB değerleri sunan cihazlardan biri olarak değerlendirilse de klinik pratikte ne denli yaygınlaşacağını zaman içinde görmek mümkün olacaktır.

24 Saat GİB İzlem Yöntemleri

Ofis saatleri içinde elde edilen bilgi 24 saat boyunca GİB'da olan değişimler hakkında yeterince bilgi verememektedir. Hastaların yaklaşık 2/3'de tepe GİB'nın ofis saatleri içinde saptanamadığı bilinmektedir. Holter veya HbA1c gibi bir yöntem veya uygulamasına takip ve tedavinin yeterliliği sağlamak için gerek duyulmaktadır. Kişisel ölçüm cihazları evde kullanılmak üzere geliştirilmiş olsalar da uyku periyoduna ait bilgi verememektedirler. Günümüzde geçici-noninvaziv yöntemler (Sensimedtriggerfish-kontakt lens şeklinde sensör),³⁶ veya kalıcı-invaziv yöntemler (göziçine implante edilebilen sensörler) üzerinde çalışılmaktadır.³⁷

Sensimed Triggerfish adıyla bilinen cihaz bir silikon-gerilim ölçer kontakt lensten oluşmaktadır. Korneaskleral alanda oluşan spontan sirkumferensiyel değişimleri kaydeder. Elde edilen veriler telemetri yöntemiyle portabl kayıt cihazına aktarılır. Ölçümler mVeq yani rölatif uniteler olarak elde edilmektedir. Cihaz genel olarak iyi tolere edilmekte ve tekrarlanabilir ölçümler alınabilmektedir.³⁶ Ancak klinik faydası henüz kesinleşmemiş olup, elde edilen geniş data ve binlerce saniyelik veriler içinde hangi parametrenin en önemli olduğu (ortalama değer, tepe değer, değişkenlik), bir günlük ölçümün yeterli olup olmadığı bilinmemektedir. Maliyet yöntemin diğer bir önemli handikapıdır. Klinik çalışmalar umut verici sonuçlar tariflemekteyse de bir çalışmada topikal prostaglandin analogu kullanımı ile elde edilen GİB düşüşünün bu yöntemle gösterilemediği bildirilmiştir.³⁸

Özel Sorunlar

Refraktif cerrahi geçiren hasta sayısı her geçen gün artmaktadır. ABD'de opere olan 10.000.000 hastanın %2'de glokom olacağı öngörülürse yaklaşık 200.000 hastada tanı atlanması riski söz konusu olabilecektir. Refraktif cerrahi sadece MKK değişimi yaratmakla kalmayıp kornea biyomekaniğinde de değişim yaratmaktadır. GAT ile hatalı sonuçlar elde edilmekte, kalınlık ve kurvatür değişimini düzeltici güvenilir nomogramlar bulunmamaktadır. Rebound tonometri ve non-kontakt tonometri ile de benzer şekilde hatalı sonuç alınma riski yüksektir.

TonoPen ve pnömotometrinin daha az etkilendiği, periferden ölçümlerin kullanılabileceği bildirilmektedir. ORA her zaman güvenilir olmamakla beraber GİBcc değerinin daha az etkilendiği saptanmıştır. DKT ise en tekrarlanabilir sonuçları veren cihaz konumundadır.³⁹

Keratoplasti sonrası,keratoconus, skar ve kornea distrofisi olan gözlerde GAT ile ölçüm almak zorlaşmaktadır. Keratoplastili gözler için Tonopen ve DKT en faydalı cihazlar arasında yer alırken,⁴⁰ keratokonuslu hastalarda DKT ve ORA (GİBcc) dan yararlanabileceği bildirilmektedir.^{41,42}

KAYNAKLAR/REFERENCES

1. Alvarez TL, Gollance SA, Thomas GA, et al. The Proview phosphene tonometer fails to measure ocular pressure accurately in clinical practice. *Ophthalmology* 2004;111:1077-85.
2. Li J, Herndon LW, Asrani SG, Stinnett S, et al. Clinical comparison of the Proview eye pressure monitor with the Goldmann applanation tonometer and the Tonopen. *Arch Ophthalmol* 2004;122:1117-21.
3. Losch A, Scheuerle A, Rupp V, et al. Transpalpebral measurement of intraocular pressure using the TGDC-01 tonometer versus standard Goldmann applanation tonometry. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2005;243:313-6.
4. Lam AK, Lam CH, Chan R. The validity of a digital eyelid tonometer (TGDC-01) and its comparison with Goldmann applanation tonometry: a pilot study. *Ophthalmic Physiol Opt* 2005;25:205-10.
5. Doughty MJ, Zaman ML. Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review and meta-analysis approach. *Surv Ophthalmol* 2000;44:367-408.
6. Ehlers N, Bramsen T, Sperling S. Applanation tonometry and central corneal thickness. *Acta Ophthalmol(Copenh)* 1975; 53: 34-43.
7. Whitacre MM, Stein RA, Hassanein K. The effect of corneal thickness on applanation tonometry. *Am J Ophthalmol* 1993;115:592-6.
8. ShimmyoM, Ross AJ, Moy A, Mostafavi R. Intraocular pressure, Goldmann applanation tension, corneal thickness, and corneal curvature in Caucasians, Asians, Hispanics, and African Americans. *Am J Ophthalmol* 2003; 136: 603-13.
9. Wolfs RC, Klaver CC, Vingerling JR, et al. Distribution of central corneal thickness and its association with intraocular pressure: The Rotterdam Study. *Am J Ophthalmol* 1997;123:767-72.
10. Bron AM, Creuzot-Garcher C, Goudeau-Boutillon S, et al. Falsely elevated intraocular pressure due to increased central corneal thickness. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1999;237:220-4.

11. Shah S, Chatterjee A, Mathai M, et al: Relationship between corneal thickness and measured intraocular pressure in a general ophthalmology clinic. *Ophthalmology* 1999;106:2154-60.
12. Ehlers N, Bramsen T, Sperling S: Applanation tonometry and central corneal thickness. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1975;53:34-43.
13. Ehlers N, Hansen FK. Central corneal thickness in lowtension glaucoma. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1974;52:740-46.
14. Park SJ, Ang GS, Nicholas S, et al. The effect of thin, thick, and normal corneas on Goldmann intraocular pressure measurements and correction formulae in individual eyes. *Ophthalmology*. 2012 ;119:443-9.
15. Choudhari NS, George NS, George R, et al. Measurement of Goldmann applanation tonometer calibration error. *Ophthalmology* 2009;116:3-8.
16. Hansen MK. Clinical comparison of the XPERT non-contact tonometer and the conventional Goldmann applanation tonometer. *Acta Ophthalmol Scand* 1995;73:176-80.
17. Hollo G, Follmann P, Pap G. A clinical evaluation of XPERT NCT (Reichert) for glaucoma screening by optometrists. *Int Ophthalmol* 1992;16:291-3.
18. Kretz G, Demailly P: X-PERT NCT advanced logic tonometer valuation. *Int Ophthalmol* 1992;16:287-90.
19. Luce DA. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:15662.
20. Moreno-Montanes J, Maldonado MJ, Garcia N, et al. Reproducibility and clinical relevance of the ocular response analyzer in nonoperated eyes: corneal biomechanical and tonometric implications. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49:968-74.
21. Kniestedt C, Punjabi O, Lin S, Stamper RL. Tonometry through the ages. *Surv Ophthalmol*. 2008;53:568-91.
22. Kaufman HE, Wind CA, Waltman SR. Validity of Mackay-Marg electronic applanation tonometer in patients with scarred irregular corneas. *Am J Ophthalmol* 1970;69:1003-7.
23. McMillan F, Forster RK. Comparison of MacKay-Marg, Goldmann, and Perkins tonometers in abnormal corneas. *Arch Ophthalmol* 1975;93:4204.
24. Panek WC, Boothe WA, Lee DA, et al. Intraocular pressure measurement with the Tono-Pen through soft contact lenses. *Am J Ophthalmol* 1990;109:62-5.
25. West CE, Capella JA, Kaufman HE. Measurement of intraocular pressure with a pneumatic applanation tonometer. *Am J Ophthalmol* 1972;74:505-9.
26. Eisenberg DL, Sherman BG, McKeown CA, et al. Tonometry in adults and children. A manometric evaluation of pneumatonometry, applanation, and TonoPen in vitro and in vivo. *Ophthalmology* 1998;105:1173-81.
27. Davies LN, Bartlett H, Mallen EA, et al. Clinical evaluation of rebound tonometer. *Acta Ophthalmol Scand* 2006;84:206-9.
28. Brusini P, Salvétat ML, Zeppieri M, et al. Comparison of ICare tonometer with Goldmann applanation tonometer in glaucoma patients. *J Glaucoma* 2006;15:213-17.
29. Chui WS, Lam A, Chen D, Chiu R. The influence of corneal properties on rebound tonometry. *Ophthalmology* 2008;115:80-4.
30. Lambert SR, Melia M, Buffenn AN, et al. Rebound tonometry in children: a report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*. 2013;120:21-7.
31. Kanngiesser HE, Kniestedt C, Robert YC. Dynamic contour tonometry: presentation of a new tonometer. *J Glaucoma* 2005;14:344-50.
32. Doyle A, Lachkar Y. Comparison of dynamic contour tonometry with goldman applanation tonometry over a wide range of central corneal thickness. *J Glaucoma* 2005;14:288-92.
33. Kniestedt C, Lin S, Choe J, et al. Clinical comparison of contour and applanation tonometry and their relationship to pachymetry. *Arch Ophthalmol* 2005;123:1532-7.
34. Schneider E, Grehn F. Intraocular pressure measurement-comparison of dynamic contour tonometry and goldmann applanation tonometry. *J Glaucoma* 2006;15:2-6.
35. Francis BA, Hsieh A, Lai MY, et al. Los Angeles Latino Eye Group Effects of corneal thickness, corneal curvature, and intraocular pressure level on Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry. *Ophthalmology* 2007;114:20-6.
36. Mansouri K. The road ahead to continuous 24-hour intraocular pressure monitoring in glaucoma. *J Ophthalmic Vis Res* 2014;9:260-8.
37. Melki S, Todani A, Cherfan G. An Implantable Intraocular Pressure Transducer Initial Safety Outcomes. *MDJAMA Ophthalmol*. 2014;132:1221-5.
38. Hollo G, Kothly P, Vargha P. Evaluation of continuous 24-hour intraocular pressure monitoring for assessment of prostaglandin-induced pressure reduction in glaucoma. *J Glaucoma* 2014;23:6-12.
39. Yao WJ, Crossan AS. An update on postrefractive surgery intraocular pressure determination. *Curr Opin Ophthalmol* 2014;25:258-63.
40. Chou CY, Jordan CA, McGhee CN. Comparison of intraocular pressure measurement using 4 different instruments following penetrating keratoplasty. *Am J Ophthalmol* 2012;153:412-8.
41. Fırat PG, Orman G, Doganay S, et al. Influence of corneal parameters in keratoconus on IOP readings obtained with different tonometers. *Clin Exp Optom* 2013;96:233-7.
42. Mollan SP, Wolffsohn JS, Nessim M, et al. Accuracy of Goldmann, ocular response analyser, Pascal and TonoPen XL tonometry in keratoconic and normal eyes. *Br J Ophthalmol* 2008;92:1661-5.