

Paskal Dinamik Kontur Tonometre

Pascal Dynamic Contour Tonometer

Mesut ERDURMUŞ,¹ İbrahim F. HEPŞEN²

Derleme

Review Article

ÖZ

Dinamik kontur tonometre (DKT) süregelen ölçüm yapan yeni tip bir tonometredir. Hem göz içi basıncını (GİB) hem de oküler puls amplitüdü (OPA) eşzamanlı olarak ölçer. Konkav olan basınca duyarlı uç kornea kurvatürüne benzerlik gösterir. Kornea ve DKT konturlarının birbirlerine uyması durumunda, teorik olarak korneanın her iki tarafındaki kuvvetler eşitlenir ve böylece kornea dış yüzünden doğrudan GİB'i ölçülebilir. Bu tonometre, aplanasyon tonometrelerinin aksine, santral kornea kalınlığı ve kornea kurvatürü gibi korneanın biyomekanik özelliklerinden kaynaklanan sistematik hatalarının çoğunu elimine etmektedir. DKT'nin doğrudan GİB ölçümü sağlamanın yanında dinamik GİB dalgalanmalarını kaydetme avantajına sahip olması değişik glom tiplerinin tanı ve sınıflandırmasında yeni alternatifler sunmaktadır. Bununla birlikte; daha fazla hasta kooperasyonu gerekliliği, cihazın bazı sınırlamalarının olması, kornea biyomekanik özelliklerinden kısmen etkilenmesi ve ölçücüye bağlı hatalar, DKT'nin olumsuz yönleri olarak gözükmektedir.

Bu derlemede; DKT'nin çalışma prensipleri, kornea özellikleriyle ilişkisi, OPA ölçümü ve hata kaynakları güncel literatür bilgilerinden yararlanılarak tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pascal dinamik kontur tonometre, göz içi basıncı, santral kornea kalınlığı, oküler puls amplitüdü, hata kaynakları.

ABSTRACT

Dynamic contour tonometry (DCT) represents a novel type of continuously recording tonometry. It measures both intraocular pressure (IOP) and ocular pulse amplitude (OPA) simultaneously. The concave pressure-sensitive tip resembles the curvature of the cornea. In the condition of matched contours of DCT and cornea, the pressures on both sides of the cornea are theoretically equal and it allows to measure IOP directly on the external surface of the cornea. DCT, unlike applanation tonometers, eliminates most of the systematic errors arising from individual changes of corneal properties such as central corneal thickness and corneal curvature. The advantage of measuring direct IOP in combination with the capability of registering dynamic pressure fluctuations of DCT discloses new alternatives to diagnose and classify different types of glaucoma. However, necessity of more patient cooperation, limitations of the device, partially affected by corneal biomechanical properties and examiner related errors seems to be some limitations of the DCT.

In this review, DCT's working principles, relation of corneal properties, OPA measurement and error sources of DCT has been discussed by using current literature knowledge.

Key Words: Pascal dynamic contour tonometer, intraocular pressure, central corneal thickness, ocular pulse amplitude, error sources.

Glo-Kat 2007;143-148

Geliş Tarihi : 05/02/2007

Kabul Tarihi : 04/05/2007

Received : February 05, 2007

Accepted: May 04, 2007

1- Fatih Üniversitesi Tıp Fak. Göz Hastalıkları AD, Ankara, Yrd. Doç. Dr.
2- Fatih Üniversitesi Tıp Fak. Göz Hastalıkları AD, Ankara, Prof. Dr.

1- M.D. Assistant Professor, Fatih University Faculty of Medicine, Department of Ophthalmology Ankara/TURKEY
ERDURMUŞ M., meerdurmus@yahoo.com
2- M.D. Professor, Başkent University Faculty of Medicine, Department of Ophthalmology Ankara/TURKEY
HEPŞEN İ.F.,

Correspondence: M.D. Assistant Professor, Mesut ERDURMUŞ
M.D. Assistant Professor, Fatih University Faculty of Medicine, Department of Ophthalmology Ankara/TURKEY

GİRİŞ

Göz içi basıncı (GİB) yüksekliği, glokomda en önemli ve engellenebilir bir risk faktörüdür. Oküler hipertansiyonlu (OHT) olgularda başlangıç GİB yüksekliği, primer açık açılı glokom (PAAG) gelişme olasılığını gösteren en önemli parametrelerden sayılmaktadır.¹ Bu nedenlerle GİB ölçümünün doğruluğu; glokom hastalığının tanısı, takibi ve tedavisinde çok önemli bir yere sahiptir.² Bugün pek çok uluslararası klinikte rutin olarak Goldmann aplanasyon tonometresi (GAT) kullanılmaktadır ve GİB ölçümü için halen 'altın standart' kabul edilmektedir. Ancak, santral kornea kalınlığı (SKK), aksiyel uzunluk, korneal kurvatür ve astigmatizma gibi oküler faktörler GAT ve diğer aplanasyon tonometreleri ile GİB ölçüm sonuçlarını etkilemektedir.³⁻⁶ Bu nedenle, aplanasyon tonometrelerinin sonuçlarına artık şüphe ile bakılmaktadır.

Dinamik kontur tonometre (DKT) (Pascal tonometre, SwissMicrotechnology AG, Port, İsviçre) oftalmolojik uygulamalar için geliştirilmiş üçüncü nesil, dijital ve kontakt bir tonometredir. Kornea ile temas eden ancak aplanasyon yapmayan bir cihazdır.⁷ DKT ile GİB ölçüm yöntemine "direkt transkorneal metot" adı verilir.^{7,8} Bu cihaz sayesinde pulsatil GİB'i doğrudan ve dinamik olarak ölçülebilmektedir. Yanık lamba biyomikroskoba da monte edilebilen DKT, aplanasyon tonometrelerinde hata kaynağı olan korneal biyomekanik özelliklerden etkilenmeyecek şekilde tasarlanmıştır.

ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

Blaise Pascal'ın XVII. yüzyılda tanımladığı hidrostatik basınç kanununu göre; ince, elastik bir membran içinde bulunan sıvı veya gazlara dışarıdan belirli bir dik kuvvet uygulandığında, bu kuvvet membranın tüm iç yüzeyine eşit olarak dağılır. DKT'nin çalışma prensibi bu esasa dayanmaktadır. DKT'nin ucu korneanın dış yüzeyinde bir kuvvet oluşturmakta ve bu kuvvet hemen hemen intrakameral basıncın kornea iç yüzeyinde ürettiği kuvvete denk gelmektedir. DKT; kornea dışından ve içinden gelen basınç farkının sıfır olduğu hipotetik kornea şekli (kontur) prensibi üzerine kurgulanmıştır. Bu hipotetik kontura uydurulan ve korneaya temas eden bu tonometrenin ucu kornea şeklinin istenen kontura girmesine izin verir. Tonometre ucuna santral ve konkav olarak gömülü bulunan basınç algılayıcısı GİB'i doğrudan transkorneal olarak ölçer. Grafik 1'de DKT'nin çalışma prensipleri özetlenmiştir. GİB tarafından kornea iç yüzeyine uygulanan kuvvet (F) korneada tanjansiyel gerilim oluşturur. Tonometre ucunun korneaya temas ettiği alan (d) içinde korneaya hem dıştan (tonometre ucu tarafından) hem de içten (GİB tarafından) kuvvetler uygulanır. Uygulanan bu kuvvetler birbirini dengeler. Bu nedenle temas alanı içinde tanjansiyel gerilim olmaz. Temas alanı komşuluğundaki tanjansiyel gerilimler temas alanının kenarı boyunca konsantrik kuvvetler oluşturur ve bu kuvvetler korneada çekme etkisi oluşturarak temas alanındaki kornea konturlarını bir tarafından öbür tarafına düzleştirir. Kurvatür yarıçapı

(RC) göreceli olarak normale göre artacaktır (RC'). DKT ile bu şekilde GİB ölçümüne "direkt transkorneal metot" adı verilmektedir.

DKT ile GİB ölçümü için en az 5-10 kalp atımı süresince (yaklaşık 5 saniye) tonometre ucu ile kornea temas halinde olmalıdır.⁷ Bu sayede DKT, 5 ile 200 mmHg arasındaki değerlerde GİB'i ölçebilir. GİB ölçüm sonucu, DKT aletinin gövdesinde bulunan dijital ekran üzerinde görülür. Ayrıca GİB sonucu ile birlikte oküler puls amplitüd (OPA) değeri ve ölçümün kalitesini gösteren kalite skoru da bu ekran üzerinde görülebilir.

Paskal DKT esas olarak 5 üniteden oluşmaktadır.⁷ Tonometrenin silikon başlıkla korunan ve basınç algılayıcısı içeren kısmına 'SENSORTIP' adı verilmektedir. Cihazın silindirik ucunda 10.5 mm çaplı konkav yüzey, 7 mm çaplı temas yüzeyi ve 1.7 mm çapta piezo elektrik basınç algılayıcısı yer almaktadır. Bu kısım bir dirsek yardımıyla ana üniteye bağlanmıştır. Bu dirsek, yaylı bir mekanizma sayesinde kornea üzerine sabit bir kuvvet uygulanmasını sağlar. Ana ünite üzerinde ölçüm sonuçlarının gösterildiği LCD ekran ve mavi renkli kontrol düğmesi vardır. Ayrıca kablosuz yazıcısı vasıtasıyla ölçüm sonuçları yazdırılabilmektedir.

DKT'nin korneanın biyomekanik özelliklerinden bağımsız GİB ölçümü yapılabilmesi için şu üç ölçütün sağlanmış olması gereklidir;⁷

1. Korneanın kurvatür yarıçapı, tonometre ucunun kurvatür yarıçapından küçük olmalıdır (yani 10.4 mm'yi geçmemelidir).
2. Tonometre ucu ile kornea arasındaki temas alanı basınç algılayıcısının alanından daha geniş olmalıdır. Bu durum kornea kurvatür yarıçapının 5 mm veya daha büyük olmasını gerektirmektedir.
3. Merkezi kornea kalınlığı, 300 ile 700 μ m arasında olmalıdır.

KORNEA ÖZELLİKLERİYLE İLİŞKİSİ

Günümüzde GİB ölçümü için en sık aplanasyon tonometreleri kullanılmaktadır. Ancak aplanasyon tonometrelerinde, GİB ölçümünün doğruluğu korneanın biyomekanik özelliklerini de içeren çeşitli faktörlerden etkilenmektedir.³⁻⁶ Hemen hemen tüm aplanasyon tonometrelerinin SKK'dan etkilendiği bilinmektedir.³⁻⁵ Ehlers ve ark.⁹ GAT'ın 520 μ m SKK'da doğru sonuç verdiğini ve bu değerden her 10 μ m sapma için GİB ölçümlerinde ortalama 0.7 mmHg hata oluştuğunu bildirmişlerdir. Wolfs¹⁰ ise kornea kalınlığındaki her 10 μ m değişiklik için GİB'in 0.19 mmHg değiştiğini saptamıştır.

DKT ile Santral Kornea Kalınlığı ve Aplanasyon Tonometrelerinin İlişkisi

DKT ile ilgili literatürdeki ilk çalışma Hoffmann'a¹¹ iattir ve bu çalışmada DKT ile GAT sonuçlarının sağlıklı bireylerde birbiri ile uyumlu sonuçlar verdiği bildirilmiştir. Ancak bu çalışmada hasta sayısı 19'dur ve bu sayı alet-

lerin ölçümleri üzerine yorum yapmak için yeterli bir sayı değildir. Ayrıca çalışmada olguların SKK değerlerine de yer verilmediğinden aletlerin ölçümleri arasında fark veya uyum olup olmadığını söylemek güçtür.

DKT ile daha sonra yapılan çalışmaların çoğu SKK'nın GİB ölçümleri üzerine belirgin bir etkisi olmadığını veya aplanasyon tonometrelerine göre göreceli olarak daha az etkisi olduğunu göstermiştir. Kaufmann ve ark.¹² da sağlıklı gözlerde DKT ile yapılan GİB ölçümlerinin SKK'dan etkilenmediğini ve GAT ile DKT ölçümleri arasındaki uyumun yüksek olduğunu rapor etmiştir. Schneider ve Grehn'in¹³ çalışmalarında da benzer bulgular saptanmıştır. Siganos ve ark.¹⁴ laser-assisted in situ keratomileusis (LASIK) geçiren gözlerde cerrahi öncesi ve sonrası DKT ile GİB ölçümünde anlamlı fark saptamazken, GAT ve non-kontakt tonometre (NKT) ile belirgin bir düşüş olduğunu saptamıştır. Dolayısıyla DKT'nin SKK'dan bağımsız ölçüm yaptığı görüşündedirler. Ku ve ark.'nın¹⁵ 116 gözde yaptığı çalışmada DKT'nin SKK'dan istatistiksel olarak etkilenmediği ancak bu etkilenmenin anlamlılık düzeyine çok yaklaştığı bildirilmiştir ($p=0.07$). Doyle ve Lachkar¹⁶ ise GAT ve DKT ölçüm sonuçlarının normal ve kalın kornealarda benzer olduğunu ancak ince kornealarda DKT'nin daha doğru sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir. Biz de PAAG ($n=75$) ve oküler hipertansiyon (OHT) ($n=29$) hastalarında yaptığımız bir çalışmada, DKT'nin SKK'dan etkilenmediğini ancak NKT'nin doğrusal olarak etkilendiğini saptadık.¹⁷ Aynı çalışmada ince, kornealarda DKT daha yüksek sonuçlar verirken (ortalama 4.1 ± 1.7 mmHg), normal SKK'da iki yöntem arasında klinik olarak belirgin bir fark (ortalama 0.9 ± 1.8) saptanmamıştır.

Bunlarla birlikte, bazı klinik çalışmalarda DKT ölçümlerinin SKK'dan etkilendiği bildirilmiştir. Martinez-de-la-Casa ve ark.¹⁸ OHT ve glokomlu 90 hastanın 146 gözünde yaptıkları karşılaştırmalı çalışmada DKT ile hem GAT hem de Rebound Tonometre (RBT) sonuçları arasında uyum saptamıştır. Bu çalışmada, diğer çalışmaların aksine DKT'nin SKK'dan etkilendiği ancak bunun göreceli

olarak GAT ve RBT'den daha az olduğu da bildirilmiştir. Ülkemizden yapılan bir çalışmada ise Öztürk ve ark.,¹⁹ sağlıklı 106 gözde DKT ile GAT, NKT ve Tonopen ölçümlerini değerlendirmişler ve DKT'nin GAT ve NKT gibi SKK'dan etkilendiğini bildirmişlerdir. Tonopen'in ise SKK ile korelasyon göstermediği saptanmıştır. Ancak bu çalışmada da yine DKT'nin, GAT ve NKT'ye göre SKK'dan istatistiksel olarak daha az etkilendiği saptanmıştır. Francis ve ark.,²⁰ 2157 göz üzerinde yaptıkları kesitsel popülasyon çalışmasında, DKT ve GAT ölçümleri arasında çok yüksek bir uyum saptamış ve her iki ölçüm yönteminin de SKK ölçümlerinden etkilendiğini bildirmişlerdir. Kotecha ve ark.⁸ da her iki ölçüm yönteminin SKK'dan etkilendiği, ancak DKT'nin GAT'dan daha az etkilendiğinden bahsetmiştir. Bu çalışmada GAT ile DKT arasında herhangi bir uyum saptanmamıştır. DKT ile SKK ve aplanasyon tonometrelerinin ilişkilerinin incelendiği bazı çalışmaların özeti Tabloda verilmiştir.

Yapılan çalışmalar dikkate alındığında, her ne kadar DKT, SKK'dan etkilenmemesine veya göreceli olarak aplanasyon tonometrelerinden daha az etkilenmesine rağmen GİB ölçümlerinde her iki yöntem arasında normal kalınlıktaki kornealarda da farklılıklar gözlenebilmektedir. DKT'nin, normal kalınlıktaki kornealarda GİB'i GAT²⁰ ve NKT'ye¹⁷ göre daha yüksek ölçtüğü bildirilmiştir. Francis ve ark.,²⁰ 500-550 μ m SKK aralığında DKT'nin GİB'i GAT'a göre 1.87 mmHg daha yüksek ölçtüğünü bildirmişlerdir. Bununla birlikte Doyle ve Lachkar,¹⁶ normal kornealarda DKT ve GAT arasında 0,1 mmHg fark saptamıştır. Bizim çalışmamızda, DKT ölçümleri NKT'ye göre normal kornea kalınlığına sahip 45 gözde (520-580 μ m arası) 0,9 mmHg daha yüksek saptandı.¹⁷ Bu farklar, kısmen her iki ölçüm yöntemi arasındaki metod farklılığına bağlanabilse de manometrik kadavra çalışmalarında DKT ölçümlerinin manometrik ölçümlere en yakın değerleri verdiğini bildirmişti.²¹

DKT ile Kornea Kurvatürü Arasındaki İlişkisi

DKT ile ölçüm yaparken kornea kurvatürü ile ilgili sınırlamalar üretici firma tarafından belirtilmiştir.⁷

Tablo 1: Dinamik kontur tonometre ile santral kornea kalınlığı ve aplanasyon tonometrelerinin ilişkilerinin incelendiği bazı çalışmaların özeti.

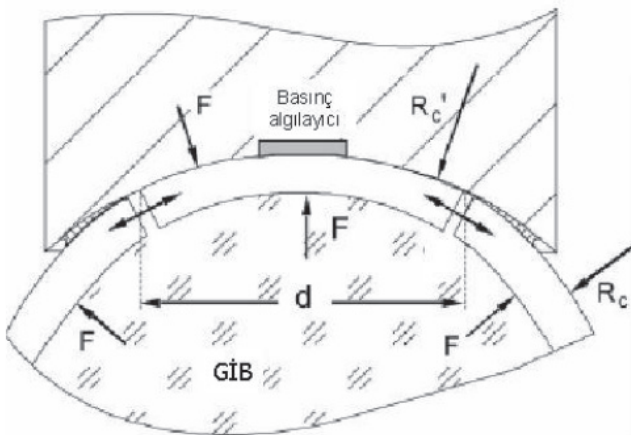
Çalışma	Göz Sayısı	SKK aralığı	SKK'dan etkilenme	Aplanasyon tonometreleriyle uyumu veya korelasyonu
Kaufmann ¹²	228	439-642 μ m	Yok	Var
Martinez ¹⁸	146	450-650 μ m	GAT'tan daha az	Var
Ku ¹⁵	116	400-625 μ m	Yok (Sınırdadır)	Var
Siganos ¹⁴	118	447-590 μ m	Yok	Var
Francis ²⁰	2157	400-700 μ m	GAT'tan daha az	Var
Kotecha ⁸	130	468-642 μ m	GAT'tan daha az	Yok
Öztürk ¹⁹	106	437-594 μ m	Var	Yok
Erdurmuş ¹⁷	104	475-663 μ m	Yok	Yok
Schneider ¹³	100	477-650 μ m	Yok	Var

Bu sınırlamalar şöyle özetlenebilir; korneanın kurvatür yarıçapı tonometre ucunun kurvatür yarıçapından (10.4 mm) daha küçük olmalı ve keratometri 32.5 Diyoptri (D) üzerinde olmalıdır. Schneider ve Grehn¹³ 47 gözde yaptıkları çalışmada kornea kurvatürü ile DKT ölçümleri arasında bir ilişki saptamamıştır. Siganos ve ark.¹⁴ LASIK öncesi ortalama keratometrisi 43.5 D (41.90 ile 45.20 D arası) ve sonrası ortalama keratometrisi 38.9 D (35.8 ile 44.1 D) olan 118 gözde cerrahiye bağlı kornea kurvatüründeki değişikliğin DKT ölçümleri üzerinde bir etkisi olmadığını bildirmiştir. Kaufmann ve ark.¹² da 228 gözde yaptıkları çalışmada kornea kurvatürünün DKT ölçümlerini etkilemediğini bildirmiştir.

Bunun aksine, Francis ve ark. kornea kurvatürünün DKT'yi etkilediğini ve bu etkinin GAT'tan daha fazla olduğunu rapor etmiştir.²⁰ DKT ölçümleri, düz kornealarda daha düşük olarak saptanmış ve kurvatürün artmasıyla GİB ölçümlerinin de arttığını bildirilmiştir. Bu etkinin nedeni olarak, daha dik korneaların kontur probuna uyması için daha büyük düzleşme gerektirmesi ve bunun GİB ölçümlerinde hatalara neden olabilmesi gösterilmiştir.

Ektazik kornealarda DKT kullanımı

Keratokonus ve pellucid marjinal dejenerasyonu gibi korneal ektazisi ile seyreden hastalıklarda da dinamik kontur tonometre ölçümleri değerlendirilmiştir. Özbek ve ark.²² DKT ölçümlerinin ektazik kornealarda GAT'a göre 2.7 mmHg ve Tono-Pen'e göre 3.2 mmHg daha yüksek sonuçlar verdiğini bildirmiştir. Barreto ve ark.²³ keratokonuslu gözlerde DKT ölçümlerinin GAT'a göre ortalama 4.3 mmHg daha yüksek sonuçlar verdiğini rapor etmişlerdir. Aynı çalışmada normal gözlerde GİB ortalama 17.4 mmHg iken keratokonuslu gözlerde ortalama 14.6 mmHg saptanmıştır. Teorik olarak, korneanın biyomekanik özelliklerinden tamamen bağımsız ölçüm yapan bir cihazın böyle bir fark ortaya çıkarmaması gerekirdi. Burada iki hipotez öne sürülebilir. Birincisi ektazik kornealarda gerçekten GİB normal insanlardan daha düşük olabilir. İkincisi ve daha kuvvetli olan ihtimal ise, DKT'nin bu gözlerde ölçüm için bazı sınırlamaları



Grafik: Paskal dinamik kontur tonometrenin çalışma prensipleri.

olduğudur. Bu sınırlamalar; tonometre ucu ile keratokonuslu gözler arasındaki kurvatür farklılığı nedeniyle konturların uyumunun olanaksızlaşması ve kornealarda belirgin incelleme olabilir.

Sonuç olarak; GAT ve NKT gibi geleneksel GİB ölçüm yöntemleriyle karşılaştırıldığında DKT, SKK daha az etkilenmektedir. Bununla birlikte, bu tonometrelerin ölçümleri arasında iyi korelasyon saptanmaktadır. Kornea kurvatürünün ölçümler üzerinde etkisi, DKT ölçümlerini etkileyen bir hata kaynağı gibi olabilir. İnce ve ektazik kornealarda, DKT ölçümleri aplanasyon tonometrelerine göre daha yüksek sonuçlar vermektedir.

OKÜLER PULS AMPLİTÜD

GİB gerçekte sabit bir değer değildir ve kardiyak siklusla bağlantılı olarak pulsasyon gösterir. Sistolle birlikte orbital damarların kanla dolması göz küresi üzerinde pulsatil bir protrüzyon oluşturur.²⁴ Göze gelen kan akımının %90'ı ise koroidal kan dolaşımına katılmaktadır. İşte OPA, kardiyak siklus sırasında koroidal kan akımında olan hacim değişikliklerinin sonucu olarak ortaya çıkar. Klinik olarak OPA'nın en önemli özellikleri; koroid perfüzyonunun indirekt göstergesi olması ve kalp atımı zamanında olan oküler kan akımı hakkında bilgi vermesidir.^{25,26} Oküler kan akımında olası azalma hipoksiye ve nöral hücre ölümüne neden olabileceğinden glokom ve optik nöropati gibi diğer dolaşım problemlerini tetikleyebilir. OPA değeri; yaş, cinsiyet, hormonal durum (menapoz gibi) ve kardiyoasküler hastalık (diyabetis mellitus ve hipertansiyon gibi) gibi sistemik faktörlerden etkilenmekle birlikte, glokom ve yüksek miyopi gibi oküler nedenlerden de etkilenmektedir.

DKT, GİB'i süregelen bir şekilde kaydetmesinin yanı sıra GİB'de olan pulsatil değişiklikleri yani OPA'yı da ölçebilmektedir. Bunun için DKT'nin kornea ile 5-10 kalp atımı süresince temas halinde olması gereklidir.⁷ OPA, sistolik ve diyastolik GİB'in farkına verilen isimdir ve glokomun klinik seyrinde önemli rol oynayabileceği düşünülen parametrelerden birisidir. DKT, 0.5 mmHg ve üzerindeki OPA değerlerini ölçebilmektedir. Literatürde bugüne kadar ideal OPA'nın kaç olduğu, hangi risk faktörlerinin OPA'yı azaltıp arttırdığı henüz tam olarak açıklanamamıştır. Bununla birlikte, OPA üzerinde yapılacak çalışmalar, onun klinikteki önemini daha da iyi aydınlatacaktır.

OPA ile GİB ilişkisi

Sistolle birlikte oküler kan hacmindeki artışa GİB'in verdiği yanıt gözün elastik özelliklerine bağlıdır. Kaufmann ve ark.²⁴ DKT ile ölçülen OPA ile GİB arasında pozitif bir korelasyon saptamışlardır. Yüksek GİB'le birlikte, skleral duvar gerilimi artmakta ve göze sistolde gelen kan hacmi zaten stres altında olan göz küresi duvarlarında elastik genişleme yapmaktan ziyade GİB'de belirgin bir artış oluşturmaktadır. Bu durum, OPA ile GİB arasında saptanan pozitif korelasyonu açıklayabilir.²⁷

OPA ile Aksiyel Uzunluk İlişkisi

OPA ile aksiyel uzunluk arasındaki ilişki varlığı bazı çalışmalarda bildirilmiştir.²⁸⁻³¹ Bu çalışmalarda aksiyel uzunluğun artması ile OPA'nın azaldığı saptanmıştır. Aksiyel uzunluğun artışı ile normal göze göre göreceli olarak daha düşük hacimde kan göz küresine ulaşmaktadır. Bu nedenle aksiyel uzunluk artışı ile OPA arasında ters bir korelasyon bulunmaktadır. Bunlara ilaveten, miyopi skleral incelmeye ilişkilidir.³² Bu nedenle yüksek aksiyel uzunluk varlığında pulsatil hacim değişikliğinin neden olduğu genişlemeye daha az direnç gösterilir. Bununla birlikte, miyopik gözlerde belki de çapları küçülmüş ve düzleşmiş damarlara bağlı olarak oküler kan akımı azalmaktadır.³³⁻³⁵ Kaufmann ve ark.²⁴ da DKT ile yaptıkları çalışmada, OPA ile aksiyel uzunluk arasında negatif bir korelasyon saptamışlardır.

OPA ile Yaş İlişkisi

Periferik arterlerden transkutanöz tonometre ile yapılan ölçümler arter sertliğindeki ve puls akım hızındaki artışa bağlı olarak yaşla birlikte OPA'nın arttığını göstermektedir.^{36,37} Bununla birlikte literatür bilgileri net değildir ve birbirinden farklı görüşleri içermektedir.^{29,30,38,39} DKT ile ölçülen OPA ile yaş arasında bir korelasyon saptanmamıştır.²⁴ Birbirine zıt bu bulgular, göz küresinin vasküler direncinin periferik arterler ve tonometre başı arasında hemodinamik bir dönüştürücü gibi rol oynamasıyla açıklanabilir.⁴⁰

OPA ile ilgili diğer faktörler

Centofanti ve ark.⁴¹ oküler kan akımının cinsiyetten ve kişinin hormonal durumundan etkilendiğini bildirmişlerdir. Aynı çalışmada, menopoz öncesi kadınlarda OPA değerinin postmenopozal kadınlardan daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Kaufmann ve ark.²⁴ ise sağlıklı bireylerde DKT ile OPA ölçümünün; SKK, korneal kurvatur, ön kamara derinliği ve cinsiyetten etkilendiği saptamıştır.

Viestenz⁴² ve Kaufmann²⁴ sağlıklı bireylerde OPA değerini 3,0 mmHg olarak bildirmişlerdir. Punjabi ve ark.⁴³ OHT'li hastalarda OPA değerinin (3.61 mmHg), PAAG (3.00 mmHg) hastalarından daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Aynı çalışmada sağlıklı bireylerdeki OPA değeri ise 2.86 mmHg olarak bildirilmiştir. Ancak bu çalışmadaki glokom hastaları topikal antiglokomatöz ilaç kullandığından OPA değerleri yanıltıcı olabilir. Topikal antiglokomatöz ilaçların OPA'yı değiştirdiği ise bilinmektedir.^{44,45} Dolayısıyla bu çalışmanın bulgularının genellenmesinin yanlış olacağını düşünüyoruz. Romppainen ve ark.⁴⁶ sağlıklı kişilerde OPA'nın 3.1 ± 1.4 mmHg, OHT'li olgularda 3.6 ± 1.3 mmHg ve normotansif glokomlu hastalarda 2.9 ± 1.4 mmHg olduğunu saptamışlardır. Sonuç olarak OPA, glokomun değişik tiplerinde farklı değerler aldığından glokom tipinin bir karakteristiği olabilir. Ancak bu konuda daha ileri çalışmalara ihtiyaç vardır.

HATA KAYNAKLARI

DKT ile GİB ölçümü genellikle güvenli olsa da bazı nedenler hata kaynağı olabilmekte ve ölçüm sonuçlarını etkileyebilmektedir. DKT ile GİB ölçümü GAT ölçümüne çok benzemesine rağmen daha fazla hasta kooperasyonu ve daha uzun süre oküler fiksasyonu gerektirir. Yeterli kooperasyonu olmayan, nistagmusu olan, az gören ve binoküler fiksasyonu yetersiz olan olgularda ölçüm yapmak zor olduğundan DKT yerine GAT veya NKT tercih edilebilir.^{13,47}

DKT ile GİB ölçümünde, ölçüm yapan kişiye bağlı olarak bazı hata kaynakları olabilir. Her şeyden önce DKT ile doğru ölçüm yapabilmek için belirli bir öğrenme periyodu gereklidir. Bu öğrenme periyodu içindeki ölçümlerde hatalar olabilir. DKT'nin dijital ekranı üzerinde ölçümün kalitesini gösteren kalite skoru (Q skoru) yer almaktadır. Bu kalite skoru 1'den 5'e kadar değişmektedir. Eğer kalite skoru 1 veya 2 ise bu iyi bir ölçümdür ve tekrar ölçüm yapmaya gerek yoktur. Kalite skoru 3 ise orta kalitede bir ölçüm yapılmıştır ve tekrarlanması uygundur. Kalite skoru 4 veya 5'e ölçüm hatalıdır veya ölçümde teknik olarak yanlışlıklar vardır ve mutlaka tekrarlanmalıdır.⁷ Kalite skorunun 3 ve altında olduğu durumlarda hasta kooperasyonu düşük olabileceği gibi, ölçüm zamanı aşırı kısa tutulmuşsa da olabilir.

DKT ölçümlerinin kalın kornealarda ölçümlerinin güvenilirliği konusu tartışmalıdır. Ayrıca kornea kurtatürünün ölçümler üzerine etkisi de DKT'de net olarak bilinmemektedir. Kalın kornealarda ve yüksek astigmatizma varlığında ölçümlerin hatalı olabileceği akılda tutulmalıdır. Yapılan ölçümlerin kornea kalınlığından bağımsız olabilmesi için, kornea eğrilik yarıçapı cihazın ucundaki yarıçaptan küçük olmalı, cihaz temas yüzeyi ile kornea arasındaki temas alanının çapı basınç algılayıcı alanın çapından büyük olmalı ve kornea kalınlığı 300-700 mikrometre arasında olmalıdır.^{19,48}

Schwenteck ve ark. DKT'nin kornea yüzey geometrisi, gözyaşı lipit içeriği ve gözün elastik özelliklerindeki değişikliklerden etkilendiğini bildirmişlerdir.⁴⁹ Ayrıca aşırı sulanma veya kuru göz varlığında da ölçüm hataları olabilmektedir.⁷

DKT silikon ucu sayesinde hastaları kontaminasyondan ve potansiyel enfeksiyonlardan korumaktadır. Silikon uç şeffaf olduğundan kornea ile teması görmemize de olanak sağlar. Ancak silikon uç bazı durumlarda hata kaynağı olabilmektedir. Silikon koruyucusu; düzgün takılmamışsa, üzerinde birikintiler varsa, basınç algılayıcı ile aralarında hava kabarcıkları kalmışsa ve yüzeyinde fiziki hasar veya kırışıklıklar varsa ölçüm sonuçlarında hatalara neden olabilir. Ayrıca aşırı düz kornealar ile DKT silikon ucunun yüzeyi arasında yapışma olduğundan ölçüm sonuçlarının güvenilirliği şüphelidir. Silikon başlığın her ölçümde düzgün bir şekilde değiştirilmesi hem kontaminasyonu engelleyecek hem de ölçümün kalitesini arttıracaktır.

DKT ile ölçüm sonuçları dijital ekranda otomatik olarak görüldüğünden; ölçücüyü ve okumaya bağlı hataları minimize edilmektedir. Ayrıca cihazın dahili kalibrasyon sistemi olması bununla ilgili olası hata kaynaklarını da baştan engellemektedir.

SONUÇ

Gerçek GİB değerinin bilinmesi başta PAAG ve OHT olmak üzere pek çok oküler hastalığın tanı ve tedavisinde önemli bir yere sahiptir. Paskal DKT, korneanın biyomekanik özelliklerinden etkilenmeden veya göreceli olarak daha az etkilenerek ölçüm yapabilmesi nedeniyle aplanasyon tonometrelerinden daha doğru GİB değerleri vermektedir. Bu avantajı nedeniyle, Paskal DKT'nin göz kliniklerinde kullanımını giderek artmaktadır. Şu haliyle; GİB ölçümü için GAT'ın yerine en iyi alternatif DKT gibi görünmektedir.

KAYNAKLAR/REFERENCES

- Gordon MO, Beiser JA, Brandt JD, et al.: The Ocular Hypertension Treatment Study: baseline factors that predict the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol.* 2002;120:714-720.
- Aritürk N: Glukomda Santral Korneal Kalınlık Ölçümü ve Önemi. *Glo-Kat.* 2006;1:1-6.
- Bhan A, Browning AC, Shah S, et al.: Effect of corneal thickness on intraocular pressure measurements with the pneumotonometer, Goldmann applanation tonometer and Tono-Pen. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2002;43:1389-1392.
- Li Q, Li M, Fan Z, et al.: The influence of central corneal thickness and corneal curvature and axial length on the measurement of intraocular pressure. *Yan Ke Xue Bao.* 2002;18:176-180.
- Brandt JD, Beiser JA, Kass MA, et al.: Central corneal thickness in the Ocular Hypertension Treatment Study (OHTS). *Ophthalmology.* 2001;108:1779-1788.
- 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.
- SMT Swiss Microtechnology AG.: Paskal Dynamic Contour Tonometer Operating Manual, version 1.4, Switzerland, 2004.
- Kotecha A, White ET, Shewry JM, et al.: Garway-Heath DF. The relative effects of corneal thickness and age on Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry. *Br J Ophthalmol.* 2005;89:1572-1575.
- Ehlers N, Bramsen T, Sperling S: Applanation tonometry and central corneal thickness. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 1975;53:34-43.
- 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;123:767-772.
- Hoffmann EM, Grus FH, Pfeiffer N: Intraocular pressure and ocular pulse amplitude using dynamic contour tonometry and contact lens tonometry. *BMC Ophthalmol.* 2004;23:4:4.
- Kaufmann C, Bachmann LM, Thiel MA: Comparison of dynamic contour tonometry with Goldman applanation tonometry. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2004;45:3118-3121.
- Schneider E, Grehn F: Intraocular pressure measurement-comparison of dynamic contour tonometry and goldmann applanation tonometry. *J Glaucoma.* 2006;15:2-6.
- Siganos DS, Papastergiou GI, Moedas C: Assessment of the Paskal dynamic contour tonometer in monitoring intraocular pressure in unoperated eyes and eyes after LASIK. *J Cataract Refract Surg.* 2004;30:746-751.
- Ku JY, Danesh-Meyer HV, Craig JP, et al.: Comparison of intraocular pressure measured by Paskal dynamic contour tonometry and Goldmann applanation tonometry. *Eye.* 2006;20:191-198.
- Doyle A, Lachkar Y: Comparison of dynamic contour tonometry with goldmann applanation tonometry over a wide range of central corneal thickness. *J Glaucoma.* 2005;14:288-292.
- Erdurmuş M, Totan Y, Yağcı R, ve ark.: Primer Açık Açılı Glukom ve Oküler Hipertansiyonda Dinamik Kontur Tonometre ve Non-Kontakt Tonometrenin Karşılaştırılması. *T Klin Oftalmol (Baskıda).*
- Martinez-de-la-Casa JM, Garcia-Feijoo J, Vico E, et al.: Effect of corneal thickness on dynamic contour, rebound, and Goldmann tonometry. *Ophthalmology.* 2006;113:2156-2162.
- Öztürk F, Küsbeci T, Yavaş G, ve ark.: Paskal Dinamik Kontur Tonometre ile Ölçülen Göz İçi Basıncı Değerlerinin Goldmann Applanasyon Tonometresi, Non Kontakt Tonometre Ve Tonopen İle Karşılaştırılması Ve Santral Kornea Kalınlığının Etkisi. *Glo-Kat.* 2006;1:171-175.
- Francis BA, Hsieh A, Lai MY, et al.: Los Angeles Latino Eye Study Group. Effects of corneal thickness, corneal curvature, and intraocular pressure level on Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry. *Ophthalmology.* 2007;114:20-26.
- Kniestedt C, Nee M, Stamper RL.: Accuracy of dynamic contour tonometry compared with applanation tonometry in human cadaver eyes of different hydration states. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2005;243:359-366.
- Ozbek Z, Cohen EJ, Hammersmith KM, et al.: Dynamic contour tonometry: a new way to assess intraocular pressure in ectatic corneas. *Cornea.* 2006;25:890-894.
- Barreto J Jr, Babic M, Vessani RM, et al.: Dynamic contour tonometry and goldmann applanation tonometry in eyes with keratoconus. *Clinics.* 2006;61:511-514.
- Kaufmann C, Bachmann LM, Robert YC, et al.: Ocular pulse amplitude in healthy subjects as measured by dynamic contour tonometry. *Arch Ophthalmol.* 2006;124:1104-1108.
- Langham ME, To'Mey KF.: A clinical procedure for the measurements of the ocular pulse-pressure relationship and ophthalmic arterial pressure. *Exp Eye Res.* 1978;27:17-25.
- Silver DM, Farrell RA.: Validity of pulsatile ocular blood flow measurements. *Surv Ophthalmol.* 1994;38:72-80.
- Silver DM, Geyer O.: Pressure-volume relation for the living human eye. *Curr Eye Res.* 2000;20:115-120.
- To'mey KF, Faris BM, Jalko AE, et al.: Ocular pulse in high myopia: a study of 40 eyes. *Ann Ophthalmol.* 1981;13:569-571.
- Shih YF, Horng IH, Yang CH, et al.: Ocular pulse amplitude in myopia. *J Ocul Pharmacol.* 1991;7:83-87.
- Perkins ES. The ocular pulse. *Curr Eye Res.* 1981;1:19-23.
- James CB, Trew DR, Clark K, et al.: Factors influencing the ocular pulse-axial length. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 1991;29:341-344.
- McBrien NA, Gentle A.: Role of the sclera in the development and pathological complications of myopia. *Prog Retin Eye Res.* 2003;22:307-338.
- Avetisov ES, Savitskaya NF.: Some features of ocular microcirculation in myopia. *Ann Ophthalmol.* 1977;9:1261-1264.
- Akyol N, Kukner AS, Ozdemir T, et al.: Choroidal and retinal blood flow changes in degenerative myopia. *Can J Ophthalmol.* 1996;31:113-119.
- Shih YF, Fitzgerald ME, Norton TT, et al.: Reduction in choroidal blood flow occurs in chicks wearing goggles that induce eye growth toward myopia. *Curr Eye Res.* 1993;12:219-227.
- Kelly R, Hayward C, Avolio A, et al.: Noninvasive determination of age-related changes in the human arterial pulse. *Circulation.* 1989;80:1652-1659.
- Franklin SS, GustinWIV, Wong ND, et al.: Hemodynamic patterns of age-related changes in blood pressure: the Framingham Heart Study. *Circulation* 1997;96:308-315.
- Ravalico G, Toffoli G, Pastori G, et al.: Age-related ocular blood flow changes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1996;37:2645-2650.
- Bynke HG, Schele B.: On the origin of the ocular pressure pulse. *Ophthalmologica.* 1967;153:29-36.
- Schilder P.: Ocular blood flow responses to pathology of the carotid and cerebral circulations. *Surv Ophthalmol.* 1994;38:52-58.
- Centofanti M, Bonini S, Manni G, et al.: Do sex and hormonal status influence choroidal circulation? *Br J Ophthalmol.* 2000;84:786-787.
- Viestenz A, Langenbacher A, Viestenz A: [Reproducibility of Dynamic Contour Tonometry. Comparison with TonoPenXL and Goldmann Applanation Tonometry-A Clinical Study on 323 Normal Eyes.] *Klin Monatsbl Augenheilkd.* 2006;223:813-819.
- Punjabi OS, Ho HK, Kniestedt C, et al.: Intraocular pressure and ocular pulse amplitude comparisons in different types of glaucoma using dynamic contour tonometry. *Curr Eye Res.* 2006;31:851-862.
- Fuchsjäger-Mayrl G, Wally B, Rainer G, et al.: Effect of dorzolamide and timolol on ocular blood flow in patients with primary open angle glaucoma and ocular hypertension. *Br J Ophthalmol.* 2005;89:1293-1297.
- Zeitl O, Matthiessen ET, Reuss J, et al.: Effects of glaucoma drugs on ocular hemodynamics in normal tension glaucoma: a randomized trial comparing bimatoprost and latanoprost with dorzolamide [ISRCTN18873428]. *BMC Ophthalmol.* 2005;5:5:6.
- Romppainen T, Kniestedt C, Bachmann LM, et al.: [Ocular pulse amplitude: a new biometrical parameter for the diagnose of glaucoma?] *Ophthalmologie.* 2007;104:230-235.
- Erdurmuş M, Yağcı R: Dynamic contour tonometer versus goldmann applanation tonometer. *J Glaucoma.* 2006;15:471.
- Kanngiesser HE, Nee M, Kniestedt C, et al.: Simulation of dynamic contour tonometry compared to in-vitro study revealing minimal influence of corneal radius and astigmatism. The theoretical foundations of dynamic contour tonometry. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2003;44:2641.
- Schwentek T, Harnisch JP, Galanski M, et al.: [Clinical Evaluation of a New Tonometer on the Basis of International Standard ISO 8612.] *Klin Monatsbl Augenheilkd.* 2006;223:808-812.