

Astigmatizma Analizinde Vektöryel Analiz Programı♦

Sait Eğrilmez (*), Gökhan Dalkılıç (**), Ayşe Yağcı (***)

ÖZET

Amaç: Kendi kliniğimiz için geliştirdiğimiz, astigmatizmadaki değişimlere ait kompleks hesaplamalar ve grafiksel sunumun yapılabildiği ticari amacı bulunmayan, tüm meslektaşlarımızın akademik kullanımına açıkolan bir bilgisayar programının tanıtılması.

Gereç-Yöntem: Microsoft Visual Basic 6.0 programlama dilinde, Microsoft veritabanı dosyalarını (.mdb) kullanan, Windows tabanlı 32-bit (Windows 95 veya daha üstü) bir program geliştirildi. Verilerin hem refraksiyon, hem de keratometrik ölçüm formatında girilebilmesine olanak veren, iki farklı işlem ekranı yaratıldı. Yazılım, indüklenmiş astigmatizmanın dioptrik değeri, yönü, kurala uygun-aykırı ve yaraya uygun-aykırı bileşkeleri, aritmetik ve skalar ortalaması, hedeflenen astigmatizmaya ilişkin başarı indeksleri (hedeflenen indüklenmiş astigmatizma, hata vektörü, düzeltme katsayısı, dioptrik hata, açısal hata), refraktif ölçümlerin kornea planındaki etkinliğini tek aşamada hesaplayacak şekilde geliştirildi. Sonuçları dökümlenebilen bir grafiksel modül oluşturuldu.

Sonuçlar: Windows 98 ve daha yeni işletim sistemlerinin yüklü olduğu 4 farklı bilgisayarda, program başarıyla kuruldu ve çalıştırıldı. Bir hastaya ait veri girişi ortalama 10 saniye aldı, sadece tek tuşla tüm analiz sonuçları ve grafiksel dökümleri elde edildi. Hesaplamaların güvenilirliği, vektör analizine temel olmuş 8 makalenin örnekleriyle doğrulandı. Programa ait veritabanı dosyası, Microsoft Access ve Microsoft Excel yazılımlarıyla da açıldı ve üzerinde işlem yapılabilir.

Yorum: Astigmatizmada vektör analizi, her biri son derece karmaşık ve hata yapmaya elverişli çok sayıda parametre hesabını gerektiren ve refraktif sonuç bildiren çalışmaların olmazsa olmaz bir parçasıdır. Kliniğimizin web sitesinden, serbest kullanıma açtığımız bu bilgisayar programının, konusunda önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Meslektaşlarımız tarafından işlemlerin bizzat yapılması yerine, güvenilir bir şekilde sonuçlandırılmış işlemlerin yorumlanması adına, zaman kazandıracak, kullanışlı bir araç olduğunu düşünüyoruz.

Anahtar Kelimeler: Astigmatizma analizi, indüklenmiş astigmatizma, vektör analizi, yazılım

(*) Uzm. Dr., Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göz Hastalıkları Anabilim Dalı, Bornova-İzmir

(**) Öğretim Görevlisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bornova-İzmir

(***) Prof. Dr., Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göz Hastalıkları Anabilim Dalı, Bornova-İzmir

Yazıda adı geçen ürün ve markalarla, hiçbir çalışmacının ticari bağlantısı yoktur.

♦ Bu çalışma, TOD XXXVI. Ulusal Kongresinde (2002 - Ankara) sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

SUMMARY

Vector Analysis Software on Analyzing Astigmatism

Purpose: Presentation of non-commercial software that is developed for our clinical studies and capable of making complicated calculations and graphical presentation of astigmatic changes which is free for academic purposes to our colleagues.

Material and Method: A Windows based 32-bit software (Windows 95 or higher) that uses Microsoft Database (.mdb) files, was developed using Microsoft Visual Basic 6.0. Two different calculation windows were prepared for data entry of both refractive and keratometric measurements. The software was developed to calculate dioptric power, axis, with-the-rule/against-the-rule and with-the-wound/against-the-wound components, arithmetic and scalar means of induced astigmatism, coefficient of success related to targeted astigmatism (targeted induced astigmatism, error vector, correction coefficient, dioptric error and axis error), efficiency of refractive measurements on corneal plane, at one step. A graphical module was developed to present these specific results.

Results: The software was installed to 4 different personal computers running Windows 98 or higher operating systems and worked successfully. On average, data entry for one patient took approximately 10 seconds and all analysis results and their graphical presentations were obtained just by one click. Reliability of calculations was checked with samples from 8 essential articles on this subject. Database file of the software was opened and edited with Microsoft Excel and Microsoft Access software.

Conclusion: Vector analysis of astigmatism, which contains exclusively complicated parameter calculations, is vital part of refractive studies. This software that is presented with an opportunity of free download from our clinics' web-site is a quite useful tool that provides more time to our colleagues on interpretations of calculations instead of doing them by themselves.

Key Words: Astigmatism analysis, induced astigmatism, vector analysis, software

GİRİŞ

Astigmatizma, refraksiyon kusurları arasında en geç tarif edileni olmasına karşın, en sık karşılaşılan ve ilk refraktif cerrahi girişim yapılanıdır (1). Önde kornea ve lensi; arkada retinayı ilgilendiren her türlü değişiklik, astigmatizma yaratabilir, var olan astigmatizmayı değiştirebilir veya düzeltebilir. Astigmatizmaya yönelik girişimlerin etkinliğini ve katarakt, glokom, retina dekolmanı, pterijum gibi cerrahilerin mevcut astigmatizmada yarattıkları değişimleri belirlemede astigmatizma analizine ihtiyaç duyulmaktadır (2-24). Refraksiyonun sferik komponentindeki değişikliklerden farklı olarak, silindirik komponenti ilgilendiren değişikliklerin analizinde, matematiğin dört temel işlemi yetersiz kalmaktadır. Bu durum, astigmatizmanın sadece dioptrik büyüklükle değil, aynı zamanda doğrultu (=aks) ile de ifade ediliyor olmasından kaynaklanır. Bu özelliğinden dolayı, astigmatizmaya ilişkin ifadeleri, belirli bir boyut (dioptri) ve yöne (aks) sahip olan kuvvet vektörleri gibi ele alıp, analiz etmek yerinde bulunmuştur. "Vektör analizi" adını alan bu işlem, günümüzde astigmatizmayı içeren sonuçların irdelendiği her çalışmanın olmazsa olmaz bir parçası haline gelmiştir (25).

Vektör analizi yoluyla hem boyutu, hem doğrultusu saptanan astigmatizmanın bireysel ve toplu olarak sunu-

mu, ortalaması, kurala uygun-aykırı, yaraya uygun-aykırı bileşkelerinin hesabı ve bunların grafiklerle ifadesi, oldukça yorucu-bezdirici, karmaşık ve hata yapmaya yatkın işlemlerde doludur. Göz hekiminin esasen, bu hesaplamaların karmaşasında yorulmadan ve kaybolmadan, verilerini analiz edebilmesi gerektiğine inanıyoruz. Bu nedenle vektör analizi ve ilgili ek parametreleri hesaplayıp, verileri grafik üzerinde gösterebilme imkanını sunan bir bilgisayar programı yazdık.

Bu çalışmada, kendi anabilim dalımız için geliştirdiğimiz ve tüm meslektaşlarımızın serbest akademik kullanımlarına sunmaya karar verdiğimiz, ticari amacı bulunmayan bir bilgisayar programı olan "Vektöryel Analiz Programı"nın tanıtımı yer almaktadır.

GEREÇ ve YÖNTEM

Astigmatizmaya ilişkin aşağıdaki hesaplamalar yapıldı:

1. Verteks mesafesinin etkisinin ortadan kaldırılması (=Lens etkinlik formülü)
2. İndüklenmiş astigmatizma hesabı
3. Astigmatik dekompozisyon hesaplamaları

4. İndüklenmiş astigmatizmaya ait çoğul sonuçlarla çalışmak; Skalar ve Aritmetik Ortalama
5. Hedef astigmatizmadan sapmaya ilişkin hesaplamalar
6. Hedef astigmatizmaya ilişkin başarı katsayılarının hesabı
7. Bireysel ve çoğul (=ortalama) indüklenmiş astigmatizma değerlerinin grafiksel ifadesi
8. Basit Çıkarma, Cebirsel Hesap, Cravy yöntemi ve Polar değerler

1. Refraksiyonun kornea planındaki eşdeğerini hesaplamada, "lens etkinlik formülü" kullanıldı (26-28).

$$\text{Refraksiyon Kornea (D)} = \frac{1000 \cdot \text{Refraksiyon Gözlük (D)}}{1000 - \text{Refraksiyon Gözlük (D)} \cdot \text{Verteks Mesafesi (mm)}} \quad (1)$$

Refraksiyon Kornea: Kornea planındaki refraksiyon

Refraksiyon Gözlük: Gözlük planındaki (verteks mesafesindeki) refraksiyon

2. İndüklenmiş Astigmatizma Hesabı:

Başlangıç astigmatizmamız, bir etki nedeniyle değişerek sonuç astigmatizma ortaya çıkmıştır. Yani birinci vektör başlangıç astigmatizma, ikinci vektör söz konusu etkinin oluşturduğu (indüklenmiş) astigmatizma, üçüncü vektör sonuç astigmatizmayı ifade etmek üzere;

"Başlangıç Astigmatizma + İndüklenmiş Astigmatizma = Sonuç Astigmatizma" olur. (2-a)

Bu durumda başlangıç ve sonuç astigmatizmayı bilen kişi için indüklenmiş astigmatizmayı hesaplamak mümkündür (28);

"İndüklenmiş Astigmatizma=Sonuç Astigmatizma - Başlangıç Astigmatizma" (2-b)

Bu hesaplamada, ilk olarak 1975'da Jaffe ve Clayman (28) tarafından tanımlanan yaklaşım yöntemi kullanılmış, bilgisayar ile çalışılırken üstünlük sağlayan modifikasyonlar ile analiz geliştirilmiştir. Temel olarak bu yöntemde, oluşturulan vektörler koordinat eksenine yerleştirilmekte, trigonometrinin sağladığı, açıdan kenar uzunluklarını, kenar uzunlukları arasındaki oranlardan açıyı bulma olanağı kullanılmaktadır. Koordinat ekseninde, yönü ve boyutu bilinen bütün vektörlerin, yatay (x) ve dikey (y) komponentleri hesaplanabilmektedir (26;28). Bu komponentler, vektörler arası matematiksel

işlemlerin yapılacağı parametrelerdir. Astigmatizma vektörlerini, koordinat eksenine adapte ederken dikkat edilmesi gereken en önemli konu, açılar için astigmatizma aksının iki katı ile çalışılması gereğidir.

Şekil 1'de görüldüğü gibi boyutu (silindirik değer) ve x eksenine ile yaptığı açı " $\theta = \text{aks} \cdot 2$ " bilindiğinde, vektörün yatay komponenti olan " $x = \cos(\theta) \cdot \text{silindir}$ ", dikey komponenti olan " $y = \sin(\theta) \cdot \text{silindir}$ " olmaktadır. Bu şekilde x ve y değerleri (polar koordinatları) bulunan vektörlerin aralarındaki işlemler, bu parametreler üzerinden yapılmakta, sonuçta bulunan polar koordinatlar, tekrar vektöre (dörtgen koordinatlara) dönüştürülmektedir (26;28). Bir dik üçgenin dik kenarlarının uzunlukları bilindiğinde, hipotenüsü Pisagor denkleminde hesaplanabilir. Dik kenarlar arasındaki oran bilindiğinde de (tanjant), bu oranı veren açı (atanjant işlemiyle) bulunur. Böylelikle veriler tekrar dörtgen koordinatlara dönüştürülmüş olur (26;28).

Bu yaklaşımla, birinci ve ikinci refraksiyon biliniyorken, üçüncü refraksiyonun hesaplanışını formüleştirebilmek için, elimizdeki parametreleri nasıl kullanacağımızı açıklayalım.

Birinci refraksiyon: "**Sfer₁ Silindir₁ x Aks₁**",

ve ikinci refraksiyon: "**Sfer₂ Silindir₂ x Aks₂**"

biliniyor iken aranan

üçüncü refraksiyon, "**Sfer₃ Silindir₃ x Aks₃**" olmak üzere, ara hesap parametrelerimiz aşağıda sıralanmıştır(26;28):

$$x_1 = \text{Silindir}_1 \cdot \cos(2 \cdot \text{Aks}_1) \quad (2-c)$$

$$y_1 = \text{Silindir}_1 \cdot \sin(2 \cdot \text{Aks}_1) \quad (2-d)$$

$$x_2 = \text{Silindir}_2 \cdot \cos(2 \cdot \text{Aks}_2) \quad (2-e)$$

$$y_2 = \text{Silindir}_2 \cdot \sin(2 \cdot \text{Aks}_2) \quad (2-f)$$

Artık bu dört parametre ile üçüncü refraksiyon rahatlıkla hesaplanabilir.

"Üçüncü refraksiyon = İkinci refraksiyon - Birinci Refraksiyon" işlemi için (2-g)

$$x_3 = x_2 - x_1 \quad (2-h)$$

$$y_3 = y_2 - y_1 \quad (2-i)$$

olmak üzere;

$$\text{Silindir}_3 = \sqrt{x_3^2 + y_3^2} \quad (2-j)$$

Eğer

$$x_3=0 \text{ ve } y_3 < 0 \text{ ise } \text{Aks}_3=135 \quad (2-k)$$

$$x_3=0 \text{ ve } y_3 > 0 \text{ ise } \text{Aks}_3=45 \quad (2-l)$$

$x_3=0$ ve $y_3 = 0$ ise $Aks_3=0$ (astigmatizma 0.00 D olduğundan, aks önemsizdir) (2-m)

$y_3=0$ ve $x_3 < 0$ ise $Aks_3=90$ (2-n)

$y_3=0$ ve $x_3 > 0$ ise $Aks_3=0$ (2-o)

Eğer x_3 ve y_3 sıfırdan farklı ise (26;28);

$Açıl_3 = \text{Atan}(y_3 / x_3) / 2$ (2-p)

$x_3 > 0$ ve $y_3 > 0$ ise $Aks_3 = Açıl_3$ (2-r)

$x_3 < 0$ ise y_3 ne olursa olsun $Aks_3 = Açıl_3 + 90$ (2-s)

$x_3 > 0$ ve $y_3 < 0$ ise $Aks_3 = Açıl_3 + 180$ (2-t)

$Sferik Eşdeğer_1 = Sfer_1 + (\text{Silindir}_1 / 2)$ (2-u)

$Sferik Eşdeğer_2 = Sfer_2 + (\text{Silindir}_2 / 2)$ (2-v)

$Sferik Eşdeğer_3 = Sferik Eşdeğer_2 - Sferik Eşdeğer_1$ (2-y)

Pozitif Silindirik Refraksiyon için (29;30)

$Sfer_3 = Sferik Eşdeğer_3 - \text{Silindir}_3 / 2$ (2-z)

Böylelikle üçüncü refraksiyonu oluşturan parametreler bulunmuştur [$Sfer_3$ (Silindir₃ x Aks₃)]

3. Astigmatik dekompozisyon hesaplamaları (31;32)

$Kurala uygun bileşke = m \cdot \sin^2(\phi)$ (3-a)

$Kurala aykırı bileşke = m \cdot \cos^2(\phi)$ (3-b)

$Yaraya uygun bileşke = m \cdot \cos^2(\phi - \alpha)$ (3-c)

$Yaraya aykırı bileşke = m \cdot \sin^2(\phi - \alpha)$ (3-d)

$m =$ İndüklenmiş astigmatizma (D)

$\phi =$ İndüklenmiş astigmatizma aksı (derece)

$\alpha =$ Cerrahi girişim kadranı (derece, 0 ile 180 arasında)

4. Toplu sonuçların hesabı: İndüklenmiş Astigmatizmanın Aritmetik ve Skalar Ortalaması (26;27)

Bu hesaplama için, indüklenmiş astigmatizmayı yine önce polar koordinatlarına ayırmak gerekmektedir. Burada silindir ve aks, indüklenmiş astigmatizmaya ait olmak üzere, her analiz için hesaplanan x ve y değerlerinin aritmetik ortalamaları bulunur.

$x_{\text{bireysel}} = \text{Silindir İndüklenmiş Astigmatizma} \cdot \text{Cos}(2 \cdot \text{Aks İndüklenmiş Astigmatizma})$ (4-a)

$y_{\text{bireysel}} = \text{Silindir İndüklenmiş Astigmatizma} \cdot \text{Sin}(2 \cdot \text{Aks İndüklenmiş Astigmatizma})$ (4-b)

$$x_{\text{ortalama}} = \frac{\sum x_{\text{bireysel}}}{n} \quad (4-c)$$

$$y_{\text{ortalama}} = \frac{\sum y_{\text{bireysel}}}{n} \quad (4-d)$$

Böylelikle x ve y değerleri bilinen *centroid* (=skalar ortalama) için *Silindir* ve *Aks* değeri indüklenmiş astigmatizma hesabı bölümünde geçen denklemlerle (2-j'den başlayıp 2-t ile biten işlemler aynı sırayla kullanılarak) bulunur.

5. Hedef astigmatizmaya ilişkin hesaplamalar(33;34)

Astigmatizmalar arası çıkarma işlemleri, yukarıda indüklenmiş astigmatizma hesabında anlatıldığı gibi yapılmakta olup, burada da aynı prensipler geçerlidir.

"Hedeflenen İndüklenmiş Ast. = Hedef Ast. - Başlangıç Ast." (5-a)

"Fark Vektörü = Sonuç Ast. - Hedef Ast." (5-b)

6. Alpins Başarı indeksleri (33;34)

$$\text{Düzeltilme Katsayısı} = \frac{\text{Cerrahiyle İndüklenmiş Ast.}}{\text{Hedeflenen İndüklenmiş Ast.}} \quad (6-a)$$

$$\text{Başarı Katsayısı} = \frac{\text{Fark Vektörü}}{\text{Hedeflenen İndüklenmiş Ast.}} \quad (6-b)$$

7. Bireysel ve çoğul indüklenmiş astigmatizma değerlerinin grafiksel ifadesi (26;27)

İndüklenmiş astigmatizma değerlerinin her biri nokta şeklinde gösterilmek üzere, Holladay ve ark'nın tanımladığı çifte açılardırılmış haritaya yerleştirilmiştir. Skalar ortalama (=centroid), basitçe indüklenmiş astigmatizmaya ait değerlerin, akslarını dikkate almaksızın aritmetik ortalamalarını alan yaklaşıma alternatif olarak, yine Holladay ve ark tarafından ileri sürülmüş bir ifadedir. İndüklenmiş astigmatizma akslarının dikkate alınarak, vektörel tarzda toplanıp, ortalamalarının alındığı skalar ortalama (=centroid), kendisini oluşturan bireysel astigmatizma değerlerinin ne derece uniform (=homojen) bir yapıda olduğunu da ifade etmesi bakımından, nokta lokalizasyonu yerine, eliptik bir şekil ile ifade edilmiştir. Elipsin horizontal yarıçapı x_{bireysel} paramet-

resinin standart sapması, vertikal yarıçapı y bireysel parametresinin standart sapmasına eşittir. **Centroid**, genel olarak vertikal eksende oluşan astigmatizmaların (kurala uygun/aykırı gibi) ağırlıklı olduğu olgu gruplarında, horizontal çapın daha geniş olduğu bir elips (=yatık yumurta) görünümündeyken, oblik eksen ağırlıklı astigmatizmalarda vertikal çapın daha geniş olduğu (=dik yumurta) bir elips şeklini almaktadır.

Bu yaklaşım, indüklenmiş astigmatizmanın bireysel dağılımını gösterebilmesi yanında, skalar ortalamasının yerini, bireysel sonuçların homojenliğini ve ağırlıklı eksen doğrultusunu da (dik / oblik) görsel olarak, oldukça iyi ifade edebilme üstünlüğüne sahiptir (Şekil 2).

8. Basit Çıkarma, Cebirsel Hesap, Cravy yöntemi ve Polar değerler (35)

Basit Çıkarma

$$\text{İndüklenmiş Ast.} = \text{Mutlak Postop Ast.} - \text{Mutlak Preop Ast.} \quad (8-a)$$

Cebirsel Hesap

Astigmatizma "+" silindirik formatta ve aksı " α " olmak üzere, $45 \leq \alpha < 135$ derece olduğunda, yani kurala uygun astigmatizma için astigmatizmanın işareti "+" kabul edilirken, aksi durumlarda ($\alpha < 45$ veya $\alpha > 135$ iken), yani kurala aykırı astigmatizma için "-" kabul edilir. Dioptrik değerler buna göre birbirinden çıkarılır.

$$\text{İndüklenmiş Ast.} = \text{Cebirsel Postop Ast.} - \text{Cebirsel Preop Ast.} \quad (8-b)$$

Cravy'nin Yöntemi

$$\text{Cravy Vektörü} : M_2 \cdot (\sin\alpha_2 - \cos\alpha_2) - M_1 \cdot (\sin\alpha_1 - \cos\alpha_1) \text{ olup,} \quad (8-c)$$

alt parametreler şu şekildedir:

M_1 =Preoperatif astigmatizmanın mutlak değeri

α_1 =Preoperatif astigmatizmanın dik aksı (pozitif silindirik astigmatizmanın aksı)

M_2 =Postoperatif astigmatizmanın mutlak değeri

α_2 =Postoperatif astigmatizmanın dik aksı (pozitif silindirik astigmatizmanın aksı)

Polar Değerler

Cravy'den farklı olarak aynı trigonometrik değerlerin karesi ile çalışılmaktadır.

Polar değerler arasındaki fark, aks 90 derecede, " $\Delta KP(90)$ " olarak, aks 135 derecede " $\Delta KP(135)$ " şeklinde sembolize edilir;

$$\Delta KP(90) = M_2 \cdot (\sin^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_2) - M_1 \cdot (\sin^2\alpha_1 - \cos^2\alpha_1) \quad (8-d)$$

$\Delta KP(135) = M_2 \cdot (\sin^2(\alpha_2-45) - \cos^2(\alpha_2-45)) - M_1 \cdot (\sin^2(\alpha_1-45) - \cos^2(\alpha_1-45))$ olarak (8-e) formüleleştirilebilir. Bu formüllerde geçen parametreler aşağıdaki şekildedir:

M_1 =Preoperatif astigmatizmanın mutlak değeri

α_1 =Preoperatif astigmatizmanın dik aksı (pozitif silindirik astigmatizmanın aksı)

M_2 =Postoperatif astigmatizmanın mutlak değeri

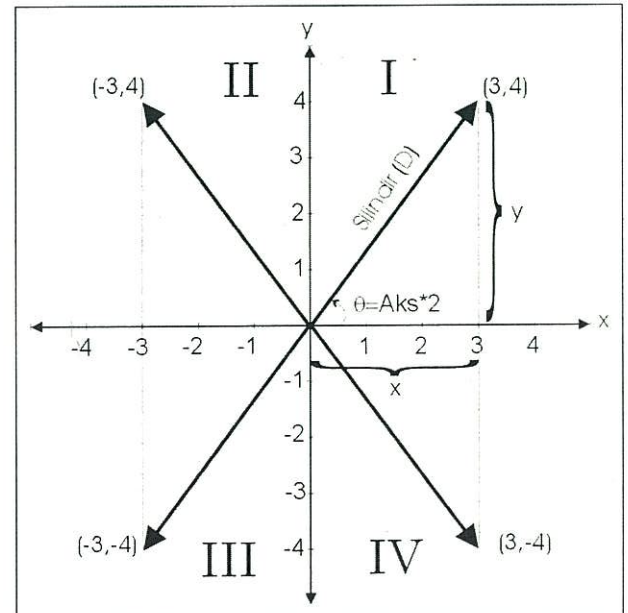
α_2 =Postoperatif astigmatizmanın dik aksı (pozitif silindirik astigmatizmanın aksı)

BULGULAR

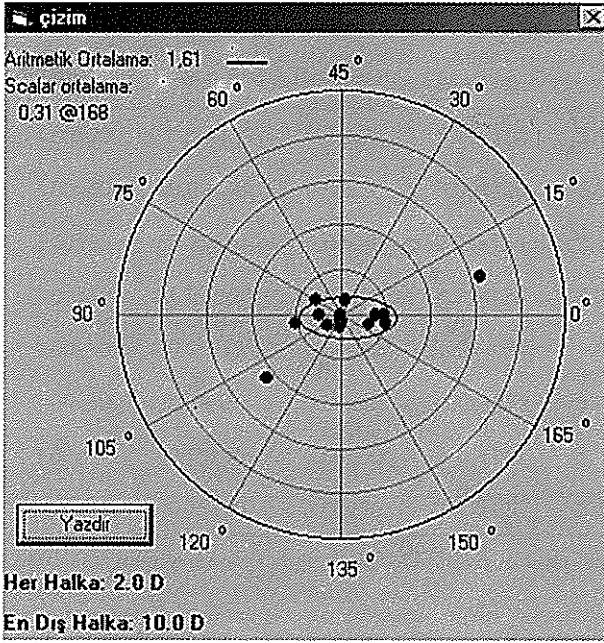
Programlama dili olarak Visual Basic, veritabanı olarak Microsoft Access Veritabanı (.mdb) kullanıldı. Windows 98 ve daha yeni işletim sistemlerinin yüklü olduğu 4 farklı bilgisayarda, program başarıyla kuruldu ve çalıştırıldı. Bir hastaya ait veri girişi ortalama 10 saniye aldı, tek tuşla tüm analiz sonuçları ve grafiksel döküm elde edildi.

Refraksiyon verilerine ait bilgi formatı hangi tipte olursa olsun (negatif silindir, pozitif silindir, mikst astig-

Şekil 1. Astigmatizmaya karşılık gelen vektörlerin koordinat eksenindeki görünümü



Şekil 2. Çifte açılılandırılmış haritada bireysel ve toplu sonuçların sunulduğu grafik penceresi



Şekil 3. Programımızda refraksiyon verilerinin girildiği pencere

Şekil 4. Programımızda keratometri ve korneal topografi verilerinin girildiği pencere

matizma), sonuç indüklenmiş astigmatizma pozitif silindirik tipte, aks notasyonu formatında elde edildi (Şekil 3). Aks notasyonu, gerek otorefraktometre sonuçları, gerekse gözlük reçetelerinden alışıktığımız notasyon türü olup, gözün eksenlerinin refraktif gücünü ifade eden kuvvet notasyonundan 90 derece farklıdır.

Korneal kırıcılık penceresine ait veriler, hangi meridyende, hangi kırıcılık gücüne sahip olduğunun girilmesine olanak verecek şekilde düzenlendi, böylelikle keratometri veya korneal topografi cihazlarından alınan çıktılar, aynen kullanılabilir (Şekil 4). Sonuçta elde edilen indüklenmiş astigmatizma, refraksiyon hesaplarında olduğu gibi, burada da pozitif silindir tipinde ve aks notasyonu formatında verildi.

Lens etkinlik formülü kullanılarak, özellikle yüksek refraksiyon kusurlarında önemli hale gelen verteks mesafesi-kornea planı etkinlik değişimi hesaplandı, tüm refraktif kusurları kornea planında verildi.

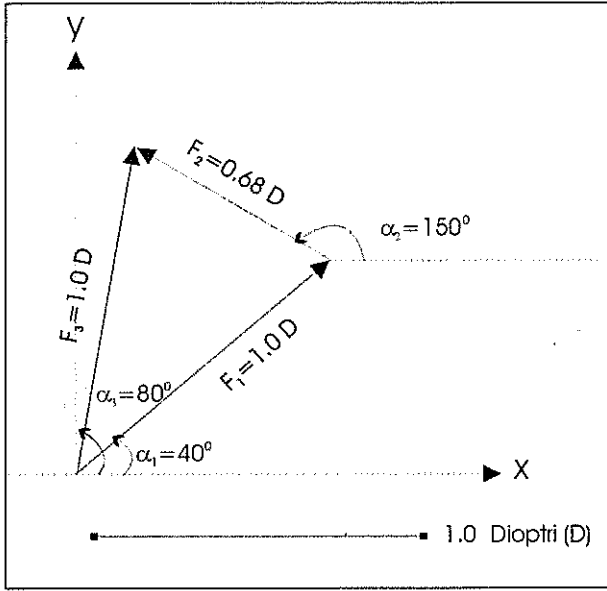
Astigmatizmanın kurala uygun-aykırı bileşenleri yanında, cerrahi girişimin kadransı derece olarak girildiğinde, yaraya uygun-aykırı bileşenleri de elde edildi.

Hedeflenen astigmatizma girildiğinde, ilk olarak Alpins (34) tarafından ifade edilen "hedeflenen indüklenmiş astigmatizma" ve "fark vektörü" yanında, "açılma hatası", "boyut hatası", "düzeltme katsayısı" ve "başarı indeksi" parametreleri de hesaplandı (Tablo 1).

Literatürde, indüklenmiş astigmatizma hesaplaması örnekler vererek açıklayan 8 farklı çalışmaya ait örnek veriler (28-33;35-37), programımıza girilerek hesaplamalarımız kontrol edildi (Tablo 2). Gerek dioptrik büyüklük, gerekse aks hesaplamasında 8 çalışmanın 6 tanesiyle hesaplama sonuçlarımız tamamen örtüşürken, kalan 2 çalışmadaki örneklerde hesaplanan refraksiyon verilerinin işareti ters veya aksı 90 derece farklı bulundu. Bu iki çalışma (31;35), preoperatif astigmatizmayı postoperatif astigmatizmadan çıkarmak yerine, postoperatif astigmatizmayı preoperatif astigmatizmadan çıkaran yaklaşımı benimsemektedir.

İndüklenmiş astigmatizmanın aritmetik ve skalar ortalaması hesaplandı, bireysel sonuçlar ve skalar ortala-

Şekil 5. Vektörlerin arasındaki çıkarma işlemi; grafik yöntemi



ma (centroid), çifte açıldırılmış haritada işaretlendi (Şekil 2).

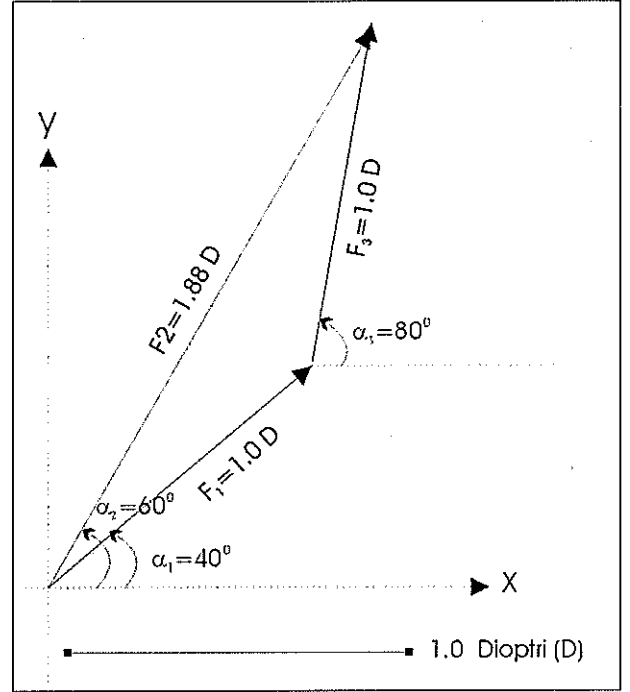
Sonuçta oluşturulan veritabanı dosyası (sia.mdb), Microsoft Office 2000™ ve Microsoft Office 2000 XP™ paket programlarının yüklü olduğu bilgisayarlarda hem Microsoft Excel™, hem Microsoft Access™ programları ile açılarak, analiz edilebildi.

İndüklenmiş astigmatizma hesaplamasında, vektör analizi dışında yaklaşımlar da söz konusu olmuş ve literatürde yer bulmuştur. Literatüre dayalı karşılaştırmalar için gerekli olabileceği olasılığını değerlendirerek, bu yaklaşımlarında vektör analizi programımızın içinde yer almasına karar verdik. Bu amaçla, basit çıkarma, cebirsel hesap, Cravy yöntemi ve polar değerlere ilişkin indüklenmiş astigmatizma analizlerine de yer verildi.

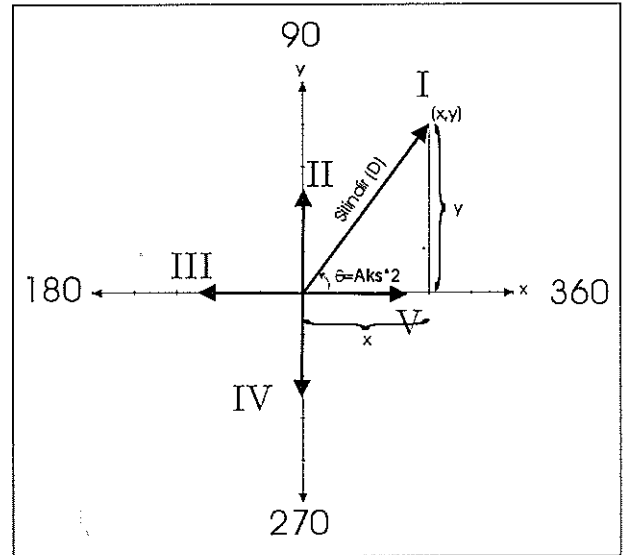
TARTIŞMA

Refraktif cerrahi ve refraksiyon üzerine etkisi bulunan diğer cerrahilerin (katarakt, retina dekolmanı, glokom, oküloplastik cerrahi uygulamaları gibi) astigmatizmaya ait verilerini yorumlayabilmek için anlamlı bir astigmatizma analizi şarttır (25). Astigmatizma analizinde, sadece dioptrik değeri ele alan basit değerlendirmeler oldukça kolay olmakla birlikte yeterli değildir. Bir hasta için astigmatizmasının belirli bir dioptriden, bir başka dioptriye değişmiş olduğunu bilmek, yorumlanması oldukça kolay ve değeri oldukça fazla olan bir bilgi olabilir. Dioptrisi artmış astigmatizma kötü, azalmış astigmatizma iyidir. Gözlüksüz görmesi ve gözlük camlarının

Şekil 6. Vektörler arasındaki toplama işlemi; grafik yöntemi



Şekil 7. Matematiksel denklemlerin yetersiz kaldığı durumların koordinat eksenindeki konumu



kalınlığı bu ölçüte endekslidir. Ancak yaptığı her girişimin, nasıl bir etki yaptığını ve bir sonraki hastada nasıl sonuç alacağını bilmek zorunda olan göz hekimi için, astigmatizmanın aksında meydana gelen değişim de önemlidir (25). Aks değişim gösterdiğinde, dioptrik değer değişmese bile, aslında astigmatizma etkilenmiştir ve "indüklenmiş astigmatizma" adını alan bu etki, basit

Tablo 1. Hedeflenmiş bir astigmatizma söz konusu olduğunda ortaya çıkan parametreler ve başarı indeksleri

Preop Ast.	Postop Ast.	Hedef Ast.	Cerrahiyle İndüklenmiş Ast.		Hedef İndüklenmiş Ast.		Fark Vektörü	
			Alpins NA (34)	Eğrilmez ve ark.	Alpins NA (34)	Eğrilmez ve ark.	Alpins NA (34)	Eğrilmez ve ark.
4.00x20	1.25x125	0.75x70	5.12x114	5.12x114	4.20x105	4.20x105	1.66x48	1.66x48
3.00x30	0.00x30	0.00x30	3.00x120	3.00x120	3.00x120	3.00x120	0.00x120*	0.00x0
3.00x30	0.75x30	0.00x30	2.25x120	2.25x120	3.00x120	3.00x120	2.25x120	2.25x120
3.00x30	0.75x120	0.00x30	3.75x120	3.75x120	3.00x120	3.00x120	0.75x30	0.75x30
3.00x30	0.75x72	0.00x30	3.00x113†	3.02x113	3.00x120	3.00x120	0.75x162	0.75x162
3.00x30	0.75x168	0.00x30	3.00x127†	3.02x127	3.00x120	3.00x120	0.75x78	0.75x78
3.00x30	0.75x90	0.00x30	3.44x115	3.44x115	3.00x120	3.00x120	0.75x0‡	0.75x180
3.00x30	0.75x10	0.00x30	2.47x126	2.47x126	3.00x120	3.00x120	0.75x100	0.75x100

* Astigmatizmanın dioptrik değeri 0.00 olduğunda aksının önemi yoktur. Programımızda, astigmatizma 0.00 iken aks 0 olarak atanmaktadır.

† Programımız, virgülden sonraki sayılarda hiçbir yuvarlama işlemi yapmadan hesap yapmaktadır. Bu nedenle hesaplamalarında küsuratları yuvarlayarak çalışan literatür örnekleri ile sonuçlarımız arasında, bazı önemsiz farklar olabilmektedir.

‡ Aks 0 ile 180, aynı akstar olup, gerçekte farklı değerlerdir.

matematiksel işlemlerle hesaplanamaz. Bu açıdan astigmatizmaya ilişkin ifadeleri, belirli bir boyut (dioptri) ve yöne (aks) sahip olan kuvvet vektörleri gibi ele alıp, analiz etmek yerinde bulunmuştur. "Vektör analizi" adını alan bu işlem, günümüzde astigmatizmayı içeren sonuçların irdelendiği her çalışmanın olmazsa olmaz bir parçası haline gelmiştir (25).

İndüklenmiş astigmatizma analizinin grafiksel dökümünde sıkça kullanılacak olan ve 180 derecelik aks yerleşimini, 360 derecelik tam bir çembere tamamlayan bu grafiğe, "çifte açıldırılmış harita" (=doubled angled plot) adı verilmektedir (26;27).

Vektör analizinde çifte açıldırma, hem ifadeyi hem de analizi kolaylaştıran bir yaklaşımdır. Bu nedenle, analitik geometride ve trigonometrik analizlerde, astigmatizma akslarının iki katları dikkate alınarak işlem yapılır; işlemlerin sonunda, sonuç açısı ikiye bölünerek, astigmatizma aksı bulunur.

Vektör analizi yapmanın başlıca yöntemleri grafik, lensmetre ve matematiksel analiz yöntemleridir (28;29).

1. Grafik Yöntemi

Grafik yöntemi, cetvel, pergel ve milimetrik kağıt gibi basit donanımlar gerektirir. Başlangıç ve sonuç astigmatizma, koordinat eksenine birer vektör gibi çizilir.

Vektör yönü ve astigmatizma aksı arasındaki ilişki uyumsuzluğunu, astigmatizma aksının iki katını ele alarak çözebileceğimizden daha önce bahsetmiştik. Bu nedenle analiz öncesi, astigmatizma akslarını iki ile çarpıp, vektör yönü olarak işaretleyecek, indüklenmiş astigmatizma vektörünü ölçtüğten sonra, vektör yönünü tekrar ikiye bölerek, indüklenmiş astigmatizma aksı bulunur.

Vektörlerin birbirleriyle nasıl toplanıp çıkarıldıklarını göstermeden önce, koordinat eksenini biraz hatırlamak yerinde olacaktır (şekil 1): Koordinat eksenini, yatay doğrunun x eksenini oluşturduğu absis (=abscissa) ve buna dik doğrultudaki y ekseninin oluşturduğu ordinat (=ordinate) doğrularından oluşur. Birbirlerini kestikleri nokta, her iki eksenin de "0" (sıfır) değerinde olduğu yer olup, koordinat ekseninin "orijin" noktasıdır. Yatay eksen (x eksenini), orijin noktasından sağa doğru gidildikçe büyür ve artı değerlidir; sola doğru gidildikçe küçülür ve eksi değerlidir. Dikey eksen (y eksenini), orijinden yukarı gidildikçe büyür ve artı değerlidir; aşağı doğru gidildikçe küçülür ve eksi değerlidir.

Vektör yönü ve astigmatizma aksı arasındaki ilişki uyumsuzluğunu, astigmatizma aksının iki katını ele alarak çözebileceğimizden daha önce bahsetmiştik. Bu nedenle analiz öncesi, astigmatizma akslarını iki ile çarpıp, vektör yönü olarak işaretleyecek, indüklenmiş astigmatizma vektörünü ölçtüğten sonra, vektör yönünü tekrar

Tablo 2. Literatürden alınan indüklenmiş astigmatizma analizine ait örnekler ve hesap sonucunun programımızdaki ile karşılaştırılması

Olgular	Preop. Refraksiyon	Postop. Refraksiyon	Hesaplanan İndüklenmiş Refraksiyon	(Literatür - Çalışmamız)
1	-5.25 (+1.00x80)	-0.50 (+0.75x135)	-3.90 (-1.44x155) (31)	3.91 (+1.44x155)*
2	-1.00 (+1.00x80)	-4.00 (+3.00x90)	+3.05 (-2.09x95) (31)	-3.05 (-2.09x95)*
3	-1.00 (+1.00x80)	0.00 (-1.00x90)	+0.98 (-1.97x175) (31)	-0.99 (+1.97x175)*
4	K1:44.00@80 K2:43.00@170	K1:38.50@45 K2:39.25@135	-5.34 (+1.44@155) (31)	-5.35 (+1.44x155)
5	K1:44.00@80 K2:43.00@170	K1:43.00@180 K2:46.00@90	-0.04 (+2.09@95) (31)	-0.04 (+2.09x95)
6	K1:44.00@80 K2:43.00@170	K1:43.00@180 K2:42.00@90	-1.98 (+1.97@175) (31)	-1.98 (+1.97x175)
7	3.00x25	1.50x100	(4.36x110) (28)	4.36x110
8	1.50x90	7.00x135	(7.16x141) (28)	7.16x141
9	+1.50x10	+1.25x85	(2.66x93) (32)	2.66x93
10	+2.00 (+2.50x15)	+2.25 (+3.00x20)	+0.17 (+0.65x41) (37)	+0.16 (0.69x39)
11	1.00 @ 44	1.00 @ 46	(0.07 x180) (35)	0.07x90 *
12	1.00 @ 0	1.00 @ 90	(2.00 x 0) (35)	2.00x90*
13	-9.25 (-0.75x15)	-0.50 (-1.00x67)	(1.26x171) (33)	1.27x171
14	K1:43.00@5 K2:43.75@95	K1:38.17@112 K2:38.83@22	(1.35x13) (33)	1.35x13
15	3.25 (-2.25x10)	+3.75 (-3.00x12)	+0.51 (-0.77x18) (30)	-0.26 (+0.77x108)
16	+ 45.00 (+0.50 x 10)	+ 40.00 (+2.00 x 60)	-5.33 (+2.15 x 067) (29)	-5.32 (+2.14x67)

* "İndüklenmiş Refraksiyon= Preop Refraksiyon - Postop Refraksiyon" yaklaşımındaki bu iki çalışma ile, "İndüklenmiş Refraksiyon=Postop Refraksiyon - Preop Refraksiyon" yaklaşımını kabul eden çalışmalar arasında, burada görüldüğü gibi refraksiyonun işareti veya aksı açısından karşılık vardır. Biz daha yaygın kabul gören ikinci yaklaşımı doğru bulduk; karşıt görüşe göre yapılan hesaplamaların ya işareti ters çevrilmeli ya da aksları 90 derece değiştirilmelidir.

ikiye bölerek, indüklenmiş astigmatizma aksını bulacağız.

Örneğin başlangıç astigmatizması 1.00 D x 20° ve sonuç astigmatizması 1.00 D x 40° olan bir olgunun indüklenmiş astigmatizmasını grafik yöntemiyle bulalım (şekil 5):

Başlangıç astigmatizmaya ait kuvvet vektörüne F_1 dersek, boyu 1.00 D için 10 mm, yönü $20 \times 2 = 40^\circ$ olur. Burada ölçek olarak, her 1.00 D için 10 mm seçilmesi, hesabı kolay olduğu için yaptığımız bir seçimdir. Düşük astigmatizma düzeyleri ile çalışılırken, daha hassas ölçümler yapabilmek adına, bu ölçek daha da büyütülüp, her 1.00 D için 20 mm, hatta daha fazlasına da ayarlanabilir. Büyük ölçekle çalışmak hassasiyet, küçük ölçekle çalışmak kolay çizim avantajı yaratmaktadır. Önemli olan nokta, bütün vektörlerin aynı ölçeğe göre çizilmesi-

dir. Sonuç astigmatizmaya ait vektör F_3 de, 10 mm boyunda (=1.00 D), fakat $40 \times 2 = 80^\circ$ yönündedir.

(İndüklenmiş Astigmatizma) = (Sonuç Astigmatizma) - (Başlangıç Astigmatizma)

İndüklenmiş astigmatizma hesaplanacağına göre yapılacak işlem çıkarmadır. Bu nedenle bu iki vektör aynı noktadan başlatılmalıdır. Bu durumda onların uçlarını birleştiren vektör, aralarındaki farkı veren vektör olup, indüklenmiş astigmatizmaya ilişkin kuvvet vektörünü temsil etmektedir. Şekil 5'te görüldüğü gibi F_1 ile F_3 vektörlerinin uçlarını birleştiren vektör F_2 'dir. Cetvel ve açıölçer yardımıyla ölçersek, 6.8 mm boyunda ve x eksenine 150 derece açı yapmakta olduğunu görürüz. F_2 vektörünü, astigmatizmaya çevirecek olursak, indüklenmiş astigmatizmanın 6.8 mm = 0.68 D boyutunda ve aksının $150/2 = 75$ derecede olduğunu buluruz.

Tablo 3. *Yaptığımız koşul-sonuç yönlendirmelerinin şart olduğu durumlara ait bazı örnekler*

Preoperatif Astigmatizma	Postoperatif Astigmatizma	İndüklenmiş Astigmatizma	"x" ve "y" değerleri	Gerekli koşul ifadesi
1.00x10	1.00x170	0.68x135	x=0.00 ; y=-0.68	Denklem (2-k)
1.00x80	1.00x10	1.88x180	x=0.00 ; y=1.88	Denklem (2-l)
1.00x10	1.00x80	1.88x90	x=-1.88 ; y=0.00	Denklem (2-n)
1.00x170	1.00x10	0.68x45	x=0.68 ; y=0.00	Denklem (2-o)

Eğer grafik yöntemiyle vektörleri toplamayı amaçlasaydık, bu kez aynı noktadan başlatmak yerine, vektörleri birinin başı diğerinin sonuna gelecek şekilde uç uca yerleştirip, ilk vektörün başlangıç noktasını, son vektörün ucuna birleştiren vektörü bulmamız gerekirdi (şekil 6). Burada $F_2 = F_1 + F_3$ 'tür ve 1.88 cm uzunluğunda, x eksenini ile 60 derece açı yapmaktadır. O halde F_1 ve F_3 vektörlerinin toplamı olan vektörün karşılık geldiği astigmatizma 1.88 D büyüklüğünde, $60/2=30$ derece aksındadır.

Vektörlere ilişkin toplama işleminin bilinmesi, toplu sonuçları değerlendirme ve ortalama hesabında yararlı olacaktır. İndüklenmiş astigmatizmanın ortalamaasını hesaplariken de çok sayıda vektörün toplanıp, vektör sayısına bölünmesi gerekmektedir. Yukarıda iki vektörün toplanmasında örneklenen, vektörleri uç uca ekleme yaklaşımı çoğul toplamalar için de aynen geçerlidir. Vektörlerin tümü uç uca eklenir, ilk vektörün başlangıç noktasını, son vektörün bitiş noktasına bağlayan vektör, toplam vektör olup, ortalama vektörün yönü, bu vektörün yönüyle aynı olmak üzere, ortalama vektörün büyüklüğü, toplam vektörün uzunluğunun, vektör sayısına bölünmü kadardır.

2. Lensmetre Yöntemi

Lensmetre (=fakometre) aleti ve deneme camları dışında donanım gerektirmez. Lensmetre yönteminde söz konusu refraksiyona uygun camlar üstüste yerleştirilerek sonuç refraksiyon ölçülür. Eğer camlar aynen üstüste konup, refraksiyon ölçülürse, toplam refraksiyon bulunmuş olur. Çıkarma işlemi için, çıkarılacak refraksiyonun işareti ters çevrilip, aksı aynı bırakılmalıdır. Örneğin 2.00 x 20 derece astigmatizmayı, +2.00 x40 derece astigmatizmadan çıkarmak istersek, çıkarılacak olan camın işareti değiştirilir ve -2.00 x20 derece cam haline gelir; bu cam ile +2.00x40 camının üstüste olduklarında, lensmetreden okunan refraksiyon, çıkarma işlemi, yani fark astigmatizmasını verir. Böyle bir ölçümün sonucu, eğer camların aksları hatasız olarak yerleştirilmiş ise yaklaşık +0.75 -1.50 x170 derece okunur. Anlatıldığı

kadar kolay bir işlem değildir. Yaklaşık sonuç verir (± 0.25 gibi).

Her iki yöntemin avantajı, küçük hata paylarıyla, kolay ve güvenilir sonuçlar vermesi; dezavantajı ise, her analiz için, aynı işlemi baştan sona yeniden yapmayı gerektirmesidir. Bu nedenle az sayıdaki olgu analizi için uygun, çoğul analizler için kullanışsız birer alternatif durumundadırlar.

3. Matematiksel Yöntem

Burada elimizdeki astigmatik değerler, grafik yönteminde olduğu gibi, önce vektörlere dönüştürülmektedir. Ancak indüklenen astigmatizma, çizim yoluyla değil, aşağıda yapılacak olan açıklamalar doğrultusunda, matematiksel işlemler ile, dolayısıyla yaklaşık değil, kesin sonuçlar şeklinde hesaplanacaktır. Detayına ve kurgu mantığına literatürde genişçe yer verildiğinden, yazımızda yalnızca yöntemin uygulanışı ve şimdiye dek literatürde yer verilmeyen uygulama aksaklıklarına ait çözüm önerilerimizden söz edilecektir.

Jaffe ve Clayman (28), katarakt ameliyatı sonrasında ortaya çıkan astigmatizmayı değerlendirmek üzere, vektör analizini ilk olarak 1975'te tanımlamışlardır. Sonrasında daha kullanışlı olduğu öne sürülen alternatif hesaplama yöntemleri bildirilmiş ise de (31;32;36), modifikasyonlar yapıldığında güncelliğini koruyan, sağlam esaslara sahip bir yöntem olduğu görülmüştür. Esasen vektörleri koordinat eksenlerindeki bileşenlerine ayırıp, işlemleri bu bileşenler üzerinden yapan, trigonometri ve analitik geometriye dayalı bu yaklaşımın formüllerini bilgisayara uyarlariken, bir eklenti de biz yapmak zorunda kaldık. Bu eklenti, indüklenmiş astigmatizma aksını hesaplayan denklemler için (denklem 2-p) gerekli görüldü. Bu denklemle, bir bölme işleminin sonucundan, tanjantı bilinen açıyı bulmak (=atanjant işlemi) amaçlanmaktadır.

Koordinat eksenindeki konumu (= "x" ve "y" koordinatları) bilinen vektöre karşılık gelen astigmatizmanın aksı, "x" ve "y" eksenlerinin birbirine oranından çıkartılabilmektedir.

" $Açı = \text{Atan}(y / x) / 2$ " (dörtgen koordinatlar yönteminde *açı denklemi* (26-28;30;32;36); yazımızda denklem 2-p olarak geçmektedir)

Şekil 5'teki I vektörünün temsil ettiği astigmatizmanın aksı, " θ " açısının yarısına eşittir. Burada " θ " açısının tanjantı, " y " değerinin, " x " değerine oranıdır. Bu nedenle açı denklemindeki bölme işleminin paydasını, indüklenmiş astigmatizmayı temsil eden vektörün x-koordinatı, payını ise y-koordinatı oluşturmaktadır. Her ne kadar koordinat eksenini için bir vektörün koordinatlarından biri ya da ikisi sıfır olabilirse de, bir bölme işlemi için paydanın değeri sıfır olamaz. Çünkü matematikte, paydası sıfır olan bölme işlemleri tanımsızdır. Ayrıca 90 ve 270 derecelik açıların tanjant değeri de tanımsızdır. Bu durum x değeri sıfır olan vektörlere, matematiksel işlemlerle ulaşılabildiğini olanaksız kılmaktadır. Buna karşın " x " değeri sıfır olan, farklı yönlerde sahip iki vektör, gerçekte vardır. Bunlar şekil 7'de, " y " değeri sıfırdan büyük olan II numaralı vektör ve " y " değeri sıfırdan küçük olan IV numaralı vektörlerdir. II numaralı vektörün açısı 90, IV numaralı vektörün açısı 270'tir ve bu vektörlerin ifade ettikleri astigmatizmaların aksı bu açıların yarısı kadar olacağından sırasıyla 45 ve 135'tir (Vektör açılarının, astigmatizma aksına dönüştürülürken neden ikiye bölünmeleri gerektiği yukarıda açıklanmıştır). Literatürde, aks denklemi verilirken, paydasının sıfır olması nedeniyle, matematiksel işlemin sonucunun tanımsız hale geldiği bu özel durumdan ya hiç bahsedilmemiş, ya da yanlış ifade edilmiştir. Olsen (36), payda sıfır olduğunda aksın 90 derece olması gerektiğini bildirmiş ve bu hatalı ifade referans edilerek, başka yayınlara taşınmıştır (32;38). Aks denklemindeki bu bölme işlemi ile ilgili diğer problemlerli durum da, pay kısmının, yani " y " değerinin sıfır olması ile ilgilidir. Matematiksel olarak, payı sıfır olan bir bölme işlemi, paydası negatif de olsa, pozitif de olsa sıfır çıkar; yani payı sıfır olan bölme için bir tek sonuç söz konusudur. Buna karşın şekil 7'de " y " değeri sıfır olan, yönleri farklı iki vektörü görmekteyiz (III ve V numaralı vektörler). Görüldüğü gibi, payda, yani " x " değeri pozitif olduğunda açı 360 (aks 180), " x " değeri negatif olduğunda açı 180 (aks 90) derecedir.

Grafik ve lensmetre (=fakometre) yöntemleriyle de doğruladığımız koşul-sonuç ifadelerimizin (denklem 2-k, 2-l, 2-m, 2-n ve 2-o) literatüre önemli bir katkısı olacağını düşünüyoruz. Tablo 3'te bu koşul ifadelerinin gerekli olduğu bazı örnekler verilmiştir.

Vektör analizinde matematiksel yaklaşım, sonuçları en kesin olan yöntemdir (28;29). Temel olarak trigonometri ve analitik geometri esaslarına dayandırılarak formüle edilmiş olan bu analiz, uygulamada sanıldığından çok daha zordur. Basit hesap makinelerinin yetersiz kaldığı bu işlemler için, son derece modern ve oldukça ya-

kın yardımcılarımız haline gelmiş olan bilgisayarlar en uygun araçlardır. Matematiksel çıkmazları, uygun koşul-sonuç yönlendirmeleriyle çözdüğümüzde, bilgisayar programı ile sorunsuz olarak çalışmak mümkün hale geldi.

İndüklenen astigmatizmanın klinik açıdan yorumlanmasını kolaylaştırmak için, kurala uygun-kurala aykırı astigmatizma şeklinde ifade edilmesi sık tercih edilen bir yaklaşımdır. Olsen ve Dam-Johansen'in (32) astigmatik dekompozisyon yaklaşımı, aksı ne olursa olsun, bir astigmatizmanın ne kadarlık bölümünün kurala uygun, ne kadarlık bölümünün kurala aykırı bileşke olduğunu hesaplama olanağı sunmaktadır. Özellikle aksları tam olarak 90 veya 180 derece olmayan astigmatizmalar için böyle bir saptama yapabilmek çok değerlidir. Ancak, 45 ve 135 derece kadrantları gibi oblik akslarda kurala uygun-aykırı tanımlaması etkisiz kalmaktadır. Hem oblik kadrantlardaki etkinliği, hem de cerrahi uygulama hangi kadrana yapıldıysa, tam olarak o kadrana ilişkin astigmatizma bileşenlerini belirleyebilen yaraya uygun-yaraya aykırı astigmatizma dekompozisyonu tanımlaması, astigmatizmayı bileşenlerine ayırma konusunda son noktayı koymuştur (31). Böylelikle selektif sütür alımı yapılan bir keratoplasti hastasında, oblik kadrantlara arkuat keratotomi kullanan bir refraktif cerrahi hastasında, oblik kadrantlara (üst temporal, alt temporal gibi) eksternal skleral implant yerleştirilen bir retina dekolman ameliyatlarında ve benzeri şekilde farklı farklı kadrantlardan yapılan girişimlerde, tam olarak girişimin yapıldığı noktadan kaynaklanan astigmatizmayı saptamak mümkün hale gelmiştir.

İndüklenmiş astigmatizmaya ait toplu sonuçları veririrken, basit aritmetik ortalama yeterli olamayacağından, yönlerini de dikkate alarak, birer vektör gibi toplayıp ortalamalarını alan yaklaşım (skalar ortalama) gerekli görülmüştür (26;27). Aritmetik ortalamadan farklı olan bu ortalamaya Holladay ve ark (26;27), centroid adını vermişlerdir. Centroidin yerleşim noktası dışında, onu oluşturan x ve y değerlerinin standart sapmasını da gösteren eliptik grafiksel ifadesi, beğeni toplamıştır (25).

Katarakt cerrahisinde olduğu gibi, zaman zaman refraktif amaçlı girişimlerin de hedefi emetropi, ya da sıfır dioptri astigmatizma değildir (1). Özellikle psödo-fakik olgularda, az miktarda astigmatizma bulunması, psödo-akomodasyon ile yakın görmeye yardımcı olmaktadır. Alpíns(34) tarafından belirlenen hedef astigmatizmaya ilişkin vektörler ve başarı indeksleri, refraktif amaçlı uygulamalar için oldukça değerli parametrelerdir.

İndüklenmiş astigmatizma analizinde, vektör analizi dışında yöntemler de kullanılmış, literatürde yer bul-

muştur (35). Literatüre dayalı karşılaştırmalar için programımızda bu hesaplama yöntemlerine de yer verilmiş olup, her hesaplama komutu ile birlikte, basit çıkarma, cebirsel çıkarma, Cravy vektörü ve polar değerlerin değişiminin hesaplanması sağlanmıştır.

İçinde geçen tüm hesaplamaları, literatürden örneklerle doğruladığımız vektöryel analiz programımız, sonuçta oluşan veritabanı dosyasının hemen her meslektaşımızın elinin altında bulunan yazılımlarla incelenebilmesi avantajıyla, tarafımızdan sunulan analizlerden fazlasını olanaklı kılmaktadır. Bu program, yaklaşık 2 yıl süren oluşturma ve geliştirme sürecinde, konuya olan ilgisimizi sürekli olarak yüksek ve zinde tutmuş, şimdiye dek çalışmacılara rehberlik etmiş yöntemlerin uygulanabilirliklerine, birbirleriyle olan uyumlarına eleştirel gözle bakabilmemiz adına, önemli kazanımlar sağlamıştır.

Meslektaşlarımızın serbest kullanıma sunduğumuz bu bilgisayar programının, konusunda önemli bir boşluğu doldurarak, çalışmacılar tarafından işlemlerin bizzat yapılması yerine, güvenilir bir şekilde sonuçlandırılmış işlemlerin yorumlanması adına zaman yaratacak, kullanışlı bir araç olduğunu düşünüyoruz.

KAYNAKLAR

- Morlet N, Minassian D, Dart J: Astigmatism and the analysis of its surgical correction. *Br J Ophthalmol* 2001; 85: 1127-38.
- Budak K, Yılmaz G, Aslan BS, Duman S: Limbal relaxing incisions in congenital astigmatism: 6 month follow-up. *J Cataract Refract Surg* 2001; 27: 715-9.
- Burgansky Z, Isakov I, Avizemer H, Bartov E: Minimal astigmatism after sutureless planned extracapsular cataract extraction. *J Cataract Refract Surg* 2002; 28: 499-503.
- Chavez S, Chayet A, Celikkol L, et al: Analysis of astigmatic keratotomy with a 5.0-mm optical clear zone. *Am J Ophthalmol* 1996; 121: 65-76.
- Claridge KG, Galbraith JK, Karmel V, Bates AK: The effect of trabeculectomy on refraction, keratometry and corneal topography. *Eye* 1995;9 (Pt 3):292-8.
- Hayashi K, Hayashi H, Oshika T, Hayashi F: Fourier analysis of irregular astigmatism after trabeculectomy. *Ophthalmic Surg Lasers* 2000; 31: 94-9.
- Hong YJ, Choe CM, Lee YG, et al: The effect of mitomycin-C on postoperative corneal astigmatism in trabeculectomy and a triple procedure. *Ophthalmic Surg Lasers* 1998; 29: 484-9.
- Kapadia MS, Krishna R, Shah S, Wilson SE: Surgically induced astigmatism after photorefractive keratectomy with the excimer laser. *Cornea* 2000; 19: 174-9.
- Kohnen S, Neuber R, Kohnen T: Effect of temporal and nasal unsutured limbal tunnel incisions on induced astigmatism after phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 2002; 28: 821-5.
- Kook MS, Kim HB, Lee SU: Short-term effect of mitomycin-C augmented trabeculectomy on axial length and corneal astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2001; 27: 518-23.
- Lyhne N, Krogsager J, Corydon L, Kjeldgaard M: One year follow-up of astigmatism after 4.0 mm temporal clear corneal and superior scleral incisions. *J Cataract Refract Surg* 2000; 26: 83-7.
- Muller-Jensen K, Fischer P, Siepe U: Limbal relaxing incisions to correct astigmatism in clear corneal cataract surgery. *J Refract Surg* 1999; 15: 586-9.
- Olsen T, Bargum R: Outcome monitoring in cataract surgery. *Acta Ophthalmol Scand* 1995; 73: 433-7.
- Oner FH, Kaderli B, Durak I, Cingil G: Analysis of the pterygium size inducing marked refractive astigmatism. *Eur J Ophthalmol* 2000; 10: 212-4.
- Oshika T, Shimazaki J, Yoshitomi F, et al: Arcuate keratotomy to treat corneal astigmatism after cataract surgery: a prospective evaluation of predictability and effectiveness. *Ophthalmology* 1998; 105: 2012-6.
- Rosen WJ, Mannis MJ, Brandt JD: The effect of trabeculectomy on corneal topography. *Ophthalmic Surg* 1992; 23: 395-8.
- Twa MD, Ruckhofer J, Shanzlin DJ: Surgically induced astigmatism after implantation of intacs intrastromal corneal ring segments. *J Cataract Refract Surg* 2001; 27: 411-5.
- Wirbelauer C, Hoerauf H, Roeder J, Laqua H: Corneal shape changes after pars plana vitrectomy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1998; 236: 822-8.
- Kuyumcu S, Horoz H, Erbil HH: 5.5 mm'lik kesiyle fakoemulsifikasyon sonrası oluşan cerrahiye bağlı astigmatizma. *T Oft Gaz* 2001; 31: 50-3.
- Mutluay A, Gözüm N, Gücükoğlu A: Fakoemulsifikasyon cerrahisinde kesi tiplerinin cerrahi astigmatizma açısından karşılaştırılması. *T Oft Gaz* 1997; 27: 26-30.
- Koç F, Öge İ, Erkan D, et al: Korneal tünel insizyon ile skleral tünel insizyonun karşılaştırmalı değerlendirilmesi. *T Oft Gaz* 2000; 30: 615-9.
- Yaylalı V, Akman A, Ünal M, et al: Fakoemulsifikasyonda korneal insizyon boyutunun cerrahi astigmatizmaya etkisi. *MN Oftalmoloji* 2000; 7: 126-9.
- Erağün T, Akkın C, Kayıkçoğlu Ö, Eğrilmez S: Fakoemulsifikasyon cerrahisinde trapezoidal saydam kesi. *MN Oftalmoloji* 2001; 8: 202-4.
- Budak K, Gazyağcı S, Yalvaç I, Duman S: Trabekülektomi sonrası korneal topoğrafik değişiklikler. *MN Oftalmoloji* 2002; 9: 259-61.
- Koch DD, Horn J, Mack RJS: How should we analyze astigmatic data? *J Cataract Refract Surg* 2001; 27: 1-3.
- Holladay JT, Dudeja DR, Koch DD: TI - Evaluating and reporting astigmatism for individual and aggregate data. *J Cataract Refract Surg* 1998; 24: 57-65.

27. Holladay JT, Moran JR, Kezirian GM: TI - Analysis of aggregate surgically induced refractive change, prediction error, and intraocular astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2001; 27: 61-79.
28. Jaffe NS, Clayman HM: The pathophysiology of corneal astigmatism after cataract extraction. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol* 1975; 79: 615-30.
29. Thall EH: Geometrical Optics. In: Tasman W JE, ed. *Duane's Ophthalmology*, CD-ROM ed. Hagerstown, MD: Lippincott Williams & Wilkins Publishers, 2002; chapter 30
30. Bennett AG, Rabbets RB: Astigmatism. In: Bennett W, Rabbets M, eds. *Clinical Visual Optics*, 3 ed. Edinburgh: Butterworth-Heinemann, 1998; chapter 5:78-92
31. Holladay JT, Cravy TV, Koch DD: TI - Calculating the surgically induced refractive change following ocular surgery. *J Cataract Refract Surg* 1992; 18: 429-43.
32. Olsen T, Dam-Johansen M: Evaluating surgically induced astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 1994; 20: 517-22.
33. Alpíns N: Analysis of aggregate surgically induced refractive change, prediction error, and intraocular astigmatism. *J Refract Surg* 2001; 17: 705-7.
34. Alpíns NA: A new method of analyzing vectors for changes in astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 1993; 19: 524-33.
35. Naeser K: Popperian falsification of methods of assessing surgically induced astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2001; 27: 25-30.
36. Olsen T: Simple method to calculate the surgically induced refractive change. *J Cataract Refract Surg* 1993; 19: 319.
37. Rife CJ: More on calculating the surgically induced refractive change: two easy solutions. *J Cataract Refract Surg* 1993; 19: 320-2.
38. Nielsen PJ: Data collections and analysis. In: Yanoff M, Duker JS, eds. *CD-ROM Ophthalmology*. Mosby Int Ltd, 1998; chapter 4.33