

Afak ve Psödofaklarda Optik Aberasyonlar

Optical Aberrations in Aphakia and Pseudophakia

Ahmet ÖZER¹

ÖZ

İdeal bir optik sistemde mükemmel bir görüntü oluşması için obje düzlemindeki bir noktadan gelen tüm ışık ışınları görüntü düzlemindeki tek bir noktada toplanmalıdır. Farklı ışınların farklı noktalarda toplanması ile ortaya çıkan durum aberasyon olarak isimlendirilir. Küresel yüzeyli lenslerde optik eksene paralel olan ışınların optik ekseninden farklı mesafelerde olmalarından dolayı tek noktada toplanmaları başarısız olur. Aberasyonlar normal gözde bile bulanık görüntüye neden olabilirler. Özellikle afak ve psödofak gözde bulanık görüntü oluşumu daha yüksek oranda görülür. Tek bir lenste, lensin şeklindeki bir takım değişimlerle küresel aberasyon en aza indirilebilir. Birden fazla lens içeren sistemlerde ise sferik aberasyon bazı unsurların düzeltimi ile ortadan kaldırılabilir. Asferik bir unsur içeren lens asferik lens olarak adlandırılır. Asferik lens ne bir kürenin, ne de bir dairesel silindirin yüzeyine ait bir parçadır. Asferik lenslerin daha karmaşık yüzey yapısı basit bir lense kıyasla sferik aberasyonu ortadan kaldırır ve diğer optik aberasyonları azaltır. Tek bir asferik lens karmaşık çok lensli sistemin yerini alabilir ve sonuç olarak alet çok lensli bir modelden daha küçük ve daha hafif olabilir.

Anahtar Kelimeler: Afak, psödofak, optik, lens, aberasyon, asferik.

ABSTRACT

In an ideal optical system, all rays of light from a point in the object plane would converge to the unique point in the image plane, forming a perfect image. The influences which cause different rays to converge to different points are called aberrations. For lenses made with spherical surfaces, rays which are parallel to the optic axis but at different distances from the optic axis fail to converge to the unique point. Aberrations can be cause blurring image even in the normal eye. Blurring image formation is seen high rate especially in aphakic and pseudophakic eye. For a single lens, spherical aberration can be minimized by changing the lens form. For multiple lenses, spherical aberrations can be canceled by correcting some elements. The use of different technique greatly reduces spherical aberration. A lens that includes an aspheric element is often called an aspherical lens. An aspheric lens is a lens whose surfaces have a profile that is neither a portion of a sphere nor of a circular cylinder. The aspheric lenses more complex surface profile can eliminate spherical aberration and reduce other optical aberrations compared to a simple lens. A single aspheric lens can replace a complex multi-lens system and the resulting device may be smaller and lighter than the multi-lens design.

Key Words: Aphakia, pseudophakia, optic, lens, aberration, and aspheric.

Glo-Kat 2007;2:71-76

Geliş Tarihi : 16/01/2007

Kabul Tarihi : 23/01/2007

Received : January 16, 2007

Accepted: January 23, 2007

1- Osmangazi Üniversite Tıp Fakültesi Göz Hastanesi A.D., Eskişehir, Doç. Dr.

1- M.D. Associate Professor, Osmangazi University School of Medicine, Department of Ophthalmology Eskişehir/TURKEY
ÖZER A., aazer@ogu.edu.tr

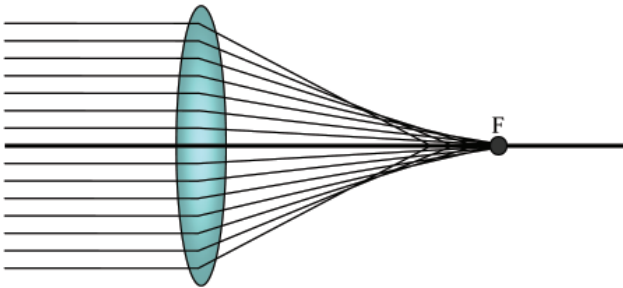
Correspondence: M.D. Associate Professor, Ahmet ÖZER
Osmangazi University School of Medicine, Department of Ophthalmology
Eskişehir/TURKEY

GİRİŞ

Aberasyonlar optik sistemlerde kırıcı ortamlardan kaynaklanan ve görüntü kalitesini olumsuz etkileyen, istenmeyen özellikler olarak nitelendirilebilir.¹⁻⁵ Aberasyonların, belki de en mükemmel optik sistem olan gözümüzde de görüntü üzerine olumsuz etkileri vardır.⁶⁻⁸ Bu olumsuz etkiler gözün en önemli kırıcı ortamlarından biri olan lensin katarakt ve diğer nedenlere bağlı olarak alınmasından sonra daha belirgin olarak ortaya çıkar. Aberasyonların olumsuz etkileri afak gözlerde gözlük camları ve kontakt lensler, psödoafak gözlerde ise göz içi lens (GİL) tasarımında yapılabilecek bir takım değişiklikler ile azaltılabilir. Gözlük camları, kontakt lensler ve GİL tasarımlarında asferik lens teknolojilerinin kullanılmasıyla aberasyonlardan kaynaklanan görüntü kusurlarının daha önemsiz düzeylere getirilmesi mümkün olabilmektedir.⁹⁻¹⁸ Aberasyonların afak ve psödoafak gözlerdeki etkilerini incelemeyen önce temel bilgilerin kısaca gözden geçirilmesinde fayda vardır.

Optik aberasyonlar başlıca monokromatik ve polikromatik aberasyon olarak iki grupta incelenirler. Sferik aberasyon, astigmatizma, distorsiyon, koma ve alan eğriliği monokromatik, kromatik aberasyon ise polikromatik aberasyondur.¹⁻⁴

Sferik (Küresel) Aberasyon: Sferik lenslerde lensin periferik bölgesi santral bölgesine göre daha fazla kırıcılığa sahiptir. Başka bir deyişle ışınlar optik merkezden uzaklaştıkça daha fazla kırılırlar (Şekil 1). Bu nedenle ışınlar tek bir noktada odaklanamaz ve lensin diyoptrik gücü arttıkça daha da belirginleşen görüntü bulanıklıkları ortaya çıkar. Sferik aberasyon konveks lenslerde pozitif sferik aberasyon, konkav lenslerde ise negatif sferik aberasyon şeklinde görülür. Sferik aberasyon ışığın lense dar bir aralıktan geçerek gönderilmesi ile azaltılabilir. Fotoğraf makinelerindeki diyaframın, gözümüzdeki pupillanın temel işlevi sferik aberasyonun azaltılmasıdır. İnsan gözünde sferik aberasyon pupillanın geniş olduğu durumlarda belirgin bir şekilde kendisini gösterir. Loş ışıkta, alacakaranlıkta ve akşam saatlerinde ortaya çıkan gece miyopisinin nedeni sferik aberasyondur. Pupillanın

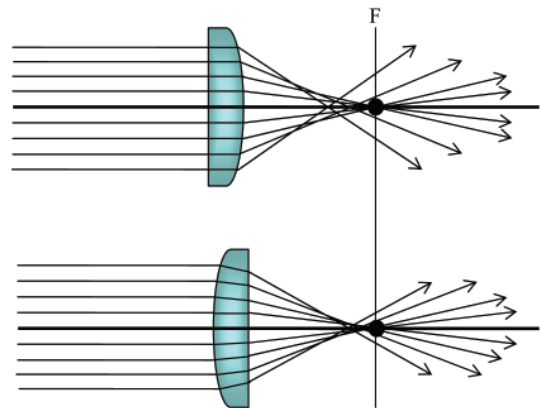


Şekil 1: Sferik lenslerde lensin periferik bölgesi santral bölgesine göre daha fazla kırıcılığa sahiptir. Bu nedenle ışınlar optik merkezden uzaklaştıkça daha fazla kırılırlar.

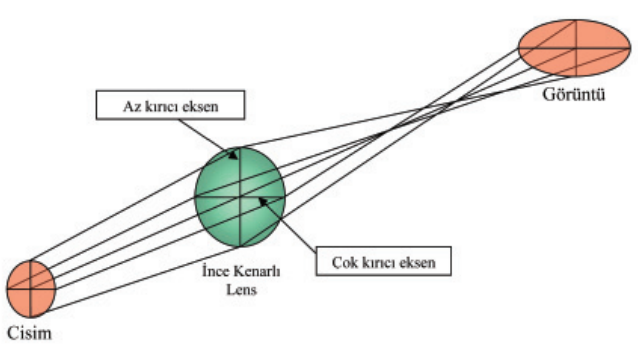
genişlemesi ile birlikte kornea ve lensin periferik kısımlarından geçen ışınlar daha fazla kırılarak retinanın önünde odaklanırlar ve miyopi bulgularına benzer bir durum ortaya çıkar. Sferik aberasyonlarda lensin diyoptrisi kadar lensin şekli ve ışığın geliş yönünün de büyük önemi vardır (Şekil 2). Şekilde de görüleceği üzere plano-konveks bir lenste sferik aberasyon konveks-plano bir lense göre daha fazla oluşmaktadır. Optik sistemlerde sferik aberasyon diyaframların, konveks-plano lenslerin veya konveks ve konkav lenslerin birlikte kullanımı ile azaltılabilir.

Astigmatizma: Optik sistemlerde birbirine dik iki eksende farklı kırınımın söz konusu olması ile ortaya çıkan aberasyondur. Astigmatizmada ışık eksenlerden birisinde daha az kırılırken (az kırıcı eksen), diğerinde daha fazla kırılır (çok kırıcı eksen). Bunun sonucunda noktasal bir ışık kaynağı, birbirine dik açılı iki çizgi ile bunların ortasındaki bir düzlemde bulunan bir görüntü şeklinde kırılır (Şekil 3). Astigmatizmada az kırıcı eksen ile çok kırıcı eksen genellikle birbirine diktir. Bu durum "regüler (düzenli) astigmatizma" adını alır. Eğer eksenler birbirine dik değil ise bu duruma "irregüler (düzensiz) astigmatizma" adı verilir. Gözün en önemli kırıcı ortamı olan korneada da dikey ve yatay eksenlerin kırıcılığı farklıdır. Kornea ön yüzünde dikey eksen yatay eksenden daha diktir. Dolayısı ile kırıcılığı da (0.50)-(0.75) D kadar daha fazladır. Bu durum fizyolojik olup "kurala uygun astigmatizma" adını alır. Bazen yatay eksenin kırıcılığı daha fazla olabilir. Bu astigmatizma fizyolojik durumla uyumlu olmayıp "kurala aykırı astigmatizma" olarak isimlendirilir. Kornea arka yüzünde ise (0.25)-(0.50) D kadar kurala aykırı bir astigmatizma vardır ve bu durum kornea ön yüzünden kaynaklanan kurala uygun astigmatizmayı bir miktar dengeler.

Distorsiyon: Lenslerde periferde ve merkezdeki kalınlık ve kırıcılık farklılığından kaynaklanan bir aberasyon türüdür. Bu duruma bağlı olarak ışığın lensin periferinde, lensin diyoptrik gücünden daha fazla kırınımına uğramasından dolayı cisimlerin özellikle kenar kısımlarında belirginleşen şekil bozuklukları ortaya çıkar. Distorsiyonu



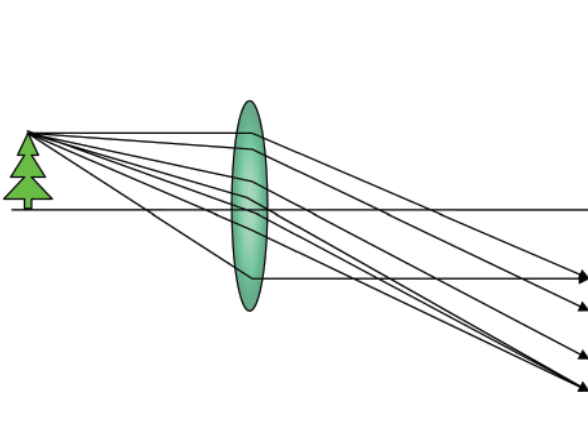
Şekil 2: Sferik aberasyonlarda lensin diyoptrisi kadar lensin şekli ve ışığın geliş yönünün büyük önemi vardır.



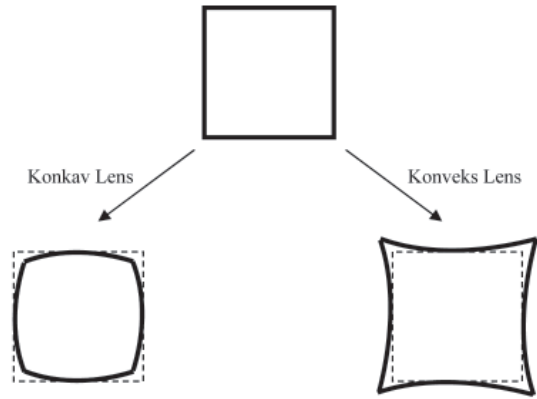
Şekil 3: Astigmatizma optik sistemlerde birbirine dik iki eksende farklı kırınımın olması durumudur. Astigmatizmada ışık eksenlerden birisinde daha az kırılırken (az kırıcı eksen), diğerinde daha fazla kırılır (çok kırıcı eksen). Sonuçta cisimlerin görüntülerinde bozulmalar oluşur.

tarif etmek için verilen en klasik örnek kare şeklindeki bir cismin görüntüsünün konveks lenslerde içine yastığı şeklinde, konkav lenslerde ise dışı şeklinde görülmesi örneğidir (Şekil 4).

Koma: Lenslerde optik eksene paralel gelen ışın demeti odak noktasında odaklanırken optik eksenden uzak bölgelerden geçen ışınlar için etkin odak uzaklıkları farklıdır (Şekil 5). Görüntü optik eksen üzerinde odaklandığında bu durum çok önemli değilken eğik gelen ışınlarda ve görüntü optik eksenden uzaklaştıkça bu aberasyon daha belirgin hale gelir. Koma'ya bağlı olarak noktasal bir görüntü uzayarak kuyruklu bir görünüm alır. Başka bir anlatımla, bir ışık kaynağından gelen ışığın bir lensle odaklandığı noktadaki görüntüsünde lensin eğiminin değişmesiyle bozulmalar oluşur. Koma lens sisteminin optik eksen eğimindeki değişiklikler yanında cismin yerinin değişmesi ile de oluşur. Komanın oluşumunda, sferik aberasyonlarda olduğu gibi lensin şekli ve ışığın geliş yönünün de büyük önemi vardır. Konveks-plano lenslerde cismin sonsuzda olması şartıyla hem koma hem de sferik aberasyon en alt düzeydedir.



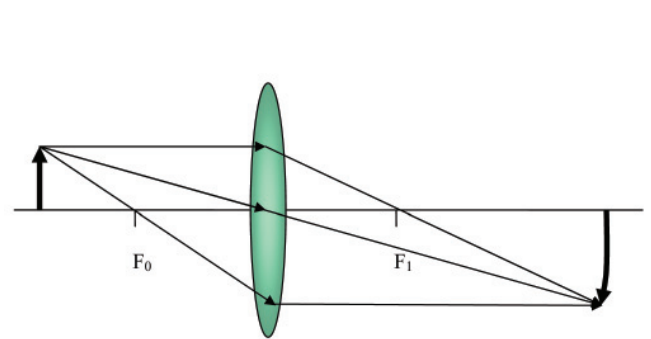
Şekil 5: Lenslerde optik eksene paralel gelen ışın demetinin odak noktasında optik eksenden uzak bölgelerden geçen ışınların ise farklı noktalarda odaklanması ile koma oluşur.



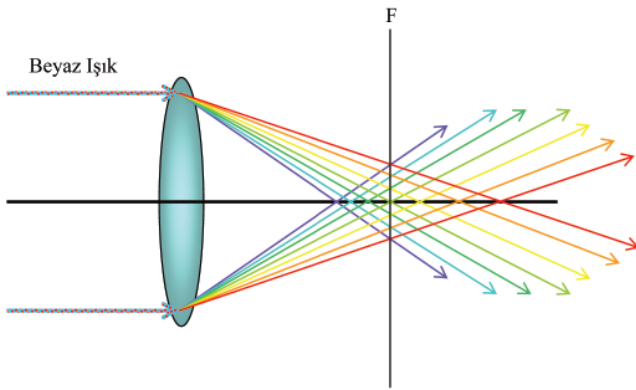
Şekil 4: Distorsiyonda kare şeklindeki bir cismin görüntüsü konkav lenslerde dışı şeklinde, konveks lenslerde ise içine yastığı şeklinde görülür.

Alan Eğriliği: Herhangi bir objenin her bir noktasının optik sisteme farklı uzaklıklarda olması nedeniyle farklı kırınımları söz konusudur. Buna bağlı olarak objenin optik sisteme yakın olan kısımları farklı, uzak olan kısımları ise farklı kırınıma uğrar ve objenin şeklinde bir deformasyon oluşur (Şekil 6). Alan eğriliği özellikle geniş hacimli cisimlerde daha belirgin olarak görülür. Bu kusur optik sistemlerde konveks ve konkav lenslerin bir araya getirilmesi ile en aza indirilir.

Kromatik Aberasyon: Lenslerde değişik dalga boyundaki ışıkların farklı oranda kırılması ile ortaya çıkan aberasyondur (Şekil 7). Bir lenste kırınıma uğrayan beyaz ışığın kendisini oluşturan dalga boylarına ayrılması bu aberasyonun bir sonucudur. Sferik lenslerde kısa dalga boyuna sahip ışıklar daha fazla kırılırken uzun dalga boylu ışıklar daha az kırınımına uğrar. Başka bir anlatımla aynı lensten geçen mavi ışık daha fazla kırınımına uğrarken, kırmızı ışık daha az kırınımına uğrar. Lenslerin bu özelliği nedeniyle emetrop bir kişide mavi ışıklar retinanın önünde kırmızı ışıklar ise retinanın arkasında net bir görüntü oluştururlar. Sonuç olarak hipermetropide mavi renkli



Şekil 6: Herhangi bir objenin her bir noktasının optik sisteme farklı uzaklıklarda olması nedeniyle farklı kırınımları sonucu alan eğriliği oluşur. Şekildeki okun tepe noktasının lens merkezine uzaklığı ile taban noktasının lens merkezine uzaklığı farklıdır. Buna bağlı olarak objenin optik sisteme yakın olan kısımları farklı, uzak olan kısımları ise farklı kırınımına uğrar ve objenin şeklinde bir deformasyon oluşur.



Şekil 7: Kromatik aberasyon lenslerde değişik dalga boyundaki ışıkların farklı oranda kırılması ile ortaya çıkan bir kusurdur. Beyaz ışığı oluşturan değişik dalga boyundaki ışıklardan mor-mavi ışık en fazla kırınımına uğrarken kırmızı ışık en az kırınımına uğrar.

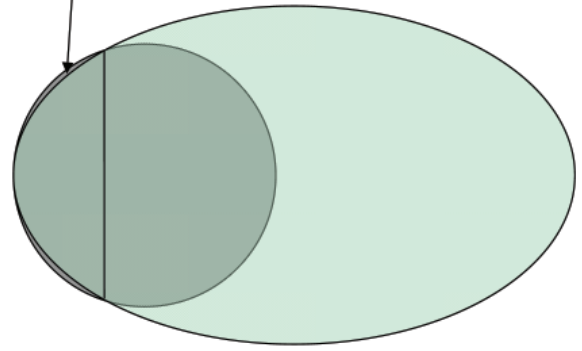
cisimler daha net olarak görülürken, miyopide kırmızı renkli cisimler daha net olarak görülürler. Duokrom Renk Testi, gözde kromatik aberasyon sonucu ortaya çıkan durumun subjektif refraksiyon testi olarak klinikte kullanımındadır.

OPTİK ABERASYONLARIN AFAK VE PSÖDOFAK GÖZLERDEKİ ETKİLERİ

Aberasyonların bütün optik sistemlerde olduğu gibi normal bir gözde de görüntü oluşumu üzerine olumsuz etkileri vardır.⁶⁻⁸ Örneğin pupillanın geniş olduğu durumlarda sferik aberasyon belirgin bir şekilde kendisini gösterir. Loş ışıkta, alacakaranlıkta ve akşam saatlerinde pupillanın genişlemesi ile birlikte kornea ve lensin periferik kısımlarından geçen ışınlar daha fazla kırılarak retinanın önünde odaklanır ve emetrop kişilerde miyopi bulgularına benzer bir durum, miyoplarda ise miyopi bulgularında artış şeklinde bulgular oluşur. Buna benzer olumsuz etkiler afaki ve psödoafaki durumlarında daha belirgin olarak karşımıza çıkar. Bilindiği gibi afaki durumunda görsel rehabilitasyon gözlük camları, kontakt lensler veya GİL ile sağlanır. Kullanılan gözlük camları, kontakt lensler ve GİL'leri aberasyonlara bağlı bir takım sıkıntıları da beraberinde getirir.⁹⁻¹⁸ Katarakt ameliyatlarında kullanılan GİL'lerin ortalama diyoptrisi 20-22 D arasında olduğu ve bu kadar yüksek diyoptri küçük bir hacimde toplandığı için özellikle sferik aberasyon rahatsız edici boyutlarda olabilir. Lensin periferik kısımlarından geçen ışınlar daha fazla kırınımına uğrayacağından özellikle gözbebeğinin geniş olduğu durumlarda sferik aberasyon belirgin olarak ortaya çıkar. Bu durum kendisini gece miyopisi, cisimlerin etrafında bulanıklaşma, görme düzeyinde ve kontrast duyarlılıkta azalma şeklinde gösterebilir. GİL optik çapının ortalama 5.5-6 mm olması sferik aberasyonun ortaya çıkmasında bir diğer önemli faktör olup, pupillanın çok geniş olmadığı zamanlarda da bulguların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir.

Katarakt ameliyatı ile gözün kırıcılık eksenlerinde meydana gelebilecek değişiklikler astigmatizmatik abe-

Lens periferinde oluşan incelme



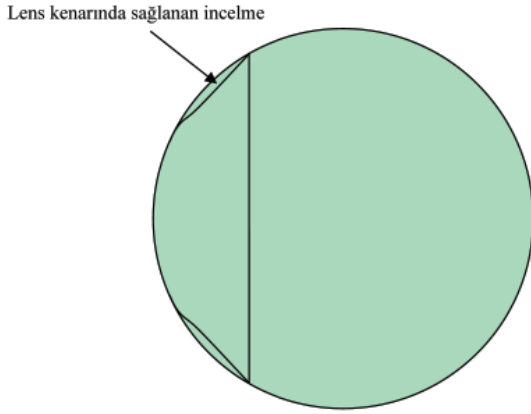
Şekil 8: Asferik yaklaşımla tasarlanan lenslerde lensin konkavitesi arttıkça kenar kalınlığı azalmakta buna bağlı olarak lensin periferinden geçen ışınlar daha az kırınımına uğramaktadır.

rasyonu ortaya çıkarabilmektedir. Astigmatizma genellikle kornea kaynaklı olup, sütürlü ameliyatlarda sıkı sütürasyona bağlı yara eksenine dik kırıcılık artışı, gevşek sütürlü veya sütürsüz kesilerde ise yara eksenine dik kırıcılık azalması şeklinde kendisini gösterebilir. GİL'inin santralizasyon bozuklukları ve dönüklüklerine bağlı olarak GİL kaynaklı astigmatizmalara da rastlanabilir. Astigmatizmaya geniş korneal kesili ve sulkus yerleşimli GİL olgularında daha sıklıkla rastlanırken küçük kesili girişimlerde hem kornea hem de GİL kaynaklı astigmatizma oranı çok düşüktür.

Distorsiyon özellikle yüksek diyoptrili gözlük camları, kontakt lens ve GİL kullanımlarında ortaya çıkabilir. Şematik gözde gözün nodal noktası retinanın 17 mm önünde olup katarakt sonrası rehabilitasyonda kullanılan optik gerecin bu nodal noktaya olan uzaklığı aberasyonları oluşumunda önemli bir faktördür.¹⁹ GİL'ler nodal noktaya en yakın optik gereçler olup fizyolojik duruma en uygun seçenektir. Distorsiyon gibi aberasyonlar minimal düzeydedir. Görüntü boyutlarındaki değişiklik oranı %1-2 düzeyinde olup tolere edilebilir düzeydedir. Kontakt lenslerde, özellikle gözlük camlarında nodal noktadan uzak olmaya bağlı olarak distorsiyon rahatsız edici boyutlardadır. Kontakt lenslerde görüntülerin boyutlarındaki artış oranı %5 düzeyinde iken, gözlük camlarında bu değişim ortalama %15 düzeyinde olup diğer gözün görmesinin iyi olduğu durumlarda aşırı rahatsız edicidir.

Koma gözlük camlarının ve GİL'lerin santralizasyon bozukluğunda ve dönüklük durumlarında önem kazanır. Eğik gelen ışınlar ve görüntü optik ekseninden uzaklaştıkça bu aberasyon daha belirgin hale gelir. Koma'ya bağlı olarak noktasal bir görüntü uzayarak kuyruklu bir görünüm alır. Kendisini görme düzeyinde ve kontrast duyarlılıkta azalma şeklinde gösterebilir.

Herhangi bir objenin her bir noktasının optik sisteme farklı uzaklıklarda olması nedeniyle farklı kırınımları ile ortaya çıkan alan eğriliği aberasyonu GİL kullanımlarında fizyolojik oranlara yakinken, kontakt lens ve gözlük cam kullanımlarında belirgin olarak karşımıza çıkar.



Şekil 9: Asferiklik lens kenarlarında değişik yüzey eğriliklerinin ve kalınlık değişimlerinin sağlanması ile de elde edilebilir.

Katarakt ameliyatı sonrası erken dönemde ortaya çıkan görüntülerin mavi renkte görülmesinin bir nedeni kromatik aberasyon olup, değişik dalga boyundaki ışıkların farklı oranda kırılması ile ortaya çıkan bir durumdur. Ameliyat öncesi katarakta bağlı olarak cisimlerin sarı-turuncu görülmesine alışılması nedeniyle ameliyat sonrası daha belirgin olarak ortaya çıkar, ancak zaman içerisinde uyum sağlanır.

Katarakt ameliyatı sonrası oluşan aberasyonları azaltmak amacıyla bir takım yaklaşımlar söz konusudur.²⁰⁻²¹ En mükemmel optik sistemlerde bile aberasyonları sıfıra indirmek mümkün değildir. Çünkü bir aberasyon sıfırlanırken bir diğer aberasyon daha belirgin hale gelir. Bu nedenle aberasyonlar arası dengenin sağlandığı optik sistem en iyi optik sistem olarak kabul edilir. Aberasyonlar düşük diyoptrili lenslerde daha önemsiz düzeylerdeyken, diyoptri yükseldikçe daha belirgin hale gelir. Katarakt ameliyatları sonrası en rahatsız edici aberasyon sferik aberasyon olup, bu aberasyonu ortadan kaldırmak amacıyla asferik lens tasarımları gündeme gelmiştir. Asferik terimi sferik (küresel) olamayan anlamına gelmektedir. Sferik olmayan bir unsuru içeren lens asferik lens olarak adlandırılır. Sferik lensler küresel bir yüzeyin parçası olarak kabul edilirken, asferik lens ne bir kürenin, ne de bir silindirin yüzeyine ait bir parçadır. Asferik lens tasarımlarında temel yaklaşım lensin santral kısmında aynı diyoptriye sahip ancak periferik kısımlarında daha az kırıcılığa sahip bir bölüm oluşturmaktır. Bu şekilde lenslerin periferik kısımlarındaki daha fazla kırıcılık sorunu ortadan kaldırılmış olur. Asferik lenslerde kesit yüzeyi incelendiğinde tepe çapı arttıkça periferik kısmın daha düz hale geldiği ve incelendiği görülmektedir (Şekil 8). Ancak bu durum asferik bir lens için çok büyük çapa sahip asferik tasarımlar gerektirmektedir. Bunun sonucunda ise teorik olarak mümkün olan ancak pratikte yapılması ve uygulanması büyük zorluk içeren modeller oluşmaktadır. Bu sorunları ortadan kaldırmak için lens kenarlarında değişik yüzey eğrilikleri ve kalınlık değişimleri sağlanarak asferik lensler yapılabilmektedir (Şekil 9). Asferik kırıcı ortama en güzel örnek korneadır. Korneanın tepe noktası daha dik periferik kısımları ise

daha düz bir özelliğe sahiptir.^{7,8} Katarakt ameliyatı sonrası oluşan aberasyonların olumsuz etkileri afak gözlerde gözlük camları ve kontakt lensler, psödoafak gözlerde ise GİL tasarımında asferik lens teknolojisinin kullanımı ile azaltılabilir. Günümüzde katarakt ameliyatı sonrası optik rehabilitasyonda GİL'ler en yaygın seçenek olduğu için asferik GİL tasarımları her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Asferik lens teknolojisi, gözlük camları, kontakt lens ve GİL'lerin yanı sıra göz muayenelerinde kullanılan yüksek diyoptrili lenslerde ve görüntüleme fonksiyonlu optik cihazlarda da kullanılmaktadır.⁹⁻²² Asferik lenslerin kullanımı iridokorneal açının ve periferik retinanın incelendiği aynalı lens sistemlerinde de özel bir önem taşır. Çünkü aynalı lens sistemlerinde lenslerin periferik bölgeleri görüntünün elde edilmesinde daha fazla rol oynarlar. Göz dibi muayenelerinde kullanılan lensler yüksek diyoptrili lensler olup muayene sırasında aberasyonlardan kaynaklanan görüntü bozulmalarını en aza indirmek için bu tip lenslerde asferik tasarım tercih edilir.²² Bunun yanı sıra GİL tasarımlarında konveks-plano tasarımların kullanımı da aberasyonları azaltılabilir.

Bir optik sistemde mükemmel bir görüntü oluşması için obje düzlemindeki bir noktadan gelen tüm ışık ışınlarının görüntü düzleminde tek bir noktada toplanması gereklidir. Küresel yüzeyli lenslerde optik eksene paralel olan ışınların optik eksenden farklı mesafelerde olmalarından dolayı tek noktada toplanmaları mümkün olmaz. Aberasyonlar tek bir lenste, asferik tasarım ile, birden fazla lens içeren sistemlerde ise asferik tasarım yanında değişik lens tiplerinin bir arada kullanımı ile azaltılabilir. Sonuç olarak asferik lensler sayesinde basit bir lensten kaynaklanan optik aberasyonlar azaltılarak daha mükemmel görüntüler elde edilebilir.

KAYNAKLAR/REFERENCES

1. Campbell CJ.: Physiological Optics. Hagerstown, MD: Harper&Rowb 1974:40-41.
2. Michaels DD.: Visual Optics and Refraction: A Clinical Approach. 2nd ed. St. Louis, Mosby. 1980:36.
3. Korkmaz Ş. Fizik, Fizik Optik, Geometrik Optik. Ed-Red: Ekem N, Kılıçkaya Ş, Özer A, Savaroğlu G, Aksak E. İstanbul Esen Ofset. 2005;129-141.
4. Frederick J.Keller, W.Edward Gettys, et al.: Skove. Fizik-Dalgalar, Katılar ve Akışkanlar, Termodinamik ve Optik. Çev: Ömür Akyüz, Erhan Gülmez, Bekir Karaoğlu, Serdar Nergiz, Galip Tepehan. İstanbul Literatür Yayıncılık. 2006.
5. Fontaine N, Simonet P, Gresset J.: Optical performance of aspheric concave ophthalmic lenses: the effect of vertex distance. Optom Vis Sci. 1997;74:211-221.
6. Burvall A, Kolacz K, Jaroszewicz Z, et al.: Simple lens axicon. Appl Opt. 2004;43:4838-4844.
7. Schultze RL.: Accuracy of corneal elevation with four corneal topography systems. J Refract Surg. 1998;14:100-104
8. Somani S, Tuan KA, Chernyak D.: Corneal asphericity and retinal image quality: a case study and simulations. J Refract Surg. 2004;20:581-585.
9. Hammer RM, Holden BA.: Spherical aberration of aspheric contact lenses on eye. Optom Vis Sci. 1994;71:522-528.
10. Rakow PL.: Understanding aspheric contact lenses. J Ophthalmic Nurs Technol. 2000;19:258-260.

11. Dietze HH, Cox MJ, Douthwaite WA.: Verification of aspheric contact lens back surfaces. *Optom Vis Sci.* 2003;80:596-605.
12. Morgan PB, Efron SE, Efron N, et al.: Inefficacy of aspheric soft contact lenses for the correction of low levels of astigmatism. *Optom Vis Sci.* 2005;82:823-828.
13. Dietze HH, Cox MJ.: Limitations of correcting spherical aberration with aspheric intraocular lenses. *J Refract Surg.* 2005;21:541-546.
14. Trattler WB, Whitsett JC, Simone PA.: Negative dysphotopsia after intraocular lens implantation irrespective of design and material. *J Cataract Refract Surg.* 2005;31:841-845.
15. Kershner RM.: Retinal image contrast and functional visual performance with aspheric, silicone, and acrylic intraocular lenses. Prospective evaluation. *J Cataract Refract Surg.* 2003;29:1684-1694.
16. Werner L, Olson RJ, Mamalis N.: New technology IOL optics. *Ophthalmol Clin North Am. Review.* 2006;19:469-483.
17. Fowler C.: Recent trends in progressive power lenses. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1998;18:234-237.
18. Marcos S, Barbero S, Jimenez-Alfaro I.: Optical quality and depth-of-field of eyes implanted with spherical and aspheric intraocular lenses. *J Refract Surg.* 2005;2:223-235.
19. Siedlecki D, Kasprzak H, Pierscionek BK.: Schematic eye with a gradient-index lens and aspheric surfaces. *Opt Lett.* 2004;29:1197-1199.
20. Wei N, Gong M, Yan P, Zhang H.: Designing an optical disk lens without analytical definition of aspheric surfaces. *Appl Opt.* 2002;41:5334-5340.
21. Beyerlein M, Lindlein N, Schwider J.: Dual-wave-front computer-generated holograms for quasi-absolute testing of aspherics. *Appl Opt.* 2002;41:2440-2447.
22. Ansari-Shahrezaei S, Stur M.: Magnification characteristic of a diopter double-aspheric fundus examination lens. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2002;43:1817-1819.