

Akomodatif Göz İçi Lenslerinde Gelişmeler

Developments in Accommodating Intraocular Lenses

Zeki Tunç

Maltepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göz Hastalıkları Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Özet

Katarakt cerrahisindeki gelişmeler bu tip operasyonlardaki önemli komplikasyonları oldukça azaltmıştır. Mikroinsizyon katarakt cerrahisinin (MİCS) (2 mm'nin altı insizyon) başlaması, cerraha daha iyi astigmat ve yüksek sıralı aberasyonların kontrolü ve her ikisinin de azaltılması olanağı sağlamaktadır. Multifokal lenslerin çok başarılı sonuçlar verdiği inanimla birlikte, limitleri olduğu da bilinmektedir. Akomodatif GİL implantasyonu presbiyopi tedavisinin bir opsiyonudur. Akomodatif GİL'ler katarakt çıkarıldıktan sonra siliyer kasın devam eden fonksiyonunu kullanarak çalışırlar. Akomodatif GİL'ler, multifokal GİL'lerin optik yan etkilerinden kaçınmak için tasarlanmıştır. İki ana tasarım konsepti mevcuttur. Birincisi, aksiyel hareket konsepti, bir veya iki lensin öne aksiyel hareketi ile akomodasyon yeteneğini oluşturmak. İkincisi ise, kurvatür değiştiren dizaynlar, küçük bir yer değiştirme hareketi ile önemli bir akomodasyon sağlamak için tasarlanmıştır. Gelecekte akomodatif GİL'lerde astigmat ve yüksek order aberasyonların düzeltilmesine ihtiyaç vardır. (*Turk J Ophthalmol 2012; 42: 288-93*)

Anahtar Kelimeler: Akomodatif GİL, göz içi lens, akomodasyon, katarakt

Summary

Technical progress in cataract surgery has decreased the incidence of severe complications in this type of surgery. The introduction of micro incision cataract surgery (MICS) (sub- 2.0 mm incision) allow the surgeon to achieve better postoperative control of astigmatism and higher-order aberration (HOAs) with minimum induction of both. It is believed that multifocal lenses provide very successful results, however, there are limitations to these. Implantation of accommodating intraocular lenses (IOLs) is an option to treat presbyopia. The IOLs work by using the continued functionality of the ciliary muscle after cataract removal. Accommodating IOLs were designed to avoid the optical side effects of multifocal IOLs. Two main design concepts exist. First, axial shift concepts rely on anterior axial movement of one or two optics creating accommodative ability. Second, curvature change designs are designed to provide significant amplitudes of accommodation with little physical displacement. Accommodative IOLs to correct astigmatism and HOAs in the future are needed. (*Turk J Ophthalmol 2012; 42: 288-93*)

Key Words: Accommodative IOL, intraocular lens, accommodation, cataract

Giriş

Katarakt cerrahisindeki teknik yenilikler bu operasyonlardaki komplikasyonları oldukça azaltmıştır. Göz içi lens (GİL) teknolojisindeki ve biyometrideki gelişmeler de artık katarakt problemini düşük ve yüksek sıra aberasyonların, post operatif

astigmatizmanın giderilmesi ve akomodasyonun oluşturulmasına indirgemıştır. Mikroinsizyon katarakt cerrahisinin (MİCS) (2 mm'nin altı kesi genişliği) başlaması, asferik ve torik GİL'ler, cerraha daha iyi astigmat ve düşük-yüksek sıralı aberasyonların azaltılması imkanı sağlamaktadır.¹ Katarakt operasyonu sonrası oluşan presbiyopide akomodasyonun sağlanması ve idame ettirilebilirliği araştırmacıların ilgisini çeken bir konudur.

Yazışma Adresi/Address for Correspondence: Dr. Zeki Tunç, Maltepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göz Hastalıkları Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Tel.: +90 216 399 97 50-2601 Gsm: +90 532 472 99 88 E-posta: zeki@zekitunc.com

Geliş Tarihi/Received: 25.10.2011 **Kabul Tarihi/Accepted:** 09.04.2012

Akomodasyon teorileri günümüzde halen tartışma halinde olsa da kabul gören Hermann von Helmholtz'un^{2,3} 150 yıl önce ileri sürdüğü teoridir. Yakın zamanda Strenk ve ark.⁴ akomodasyon mekanizmasının öncelikle Helmholtz teorisi ile ilişkili olduğunu Manyetik Rezonans (MR) çalışmalarında ispatladılar. Aynı yazarın iki ayrı çalışmasında da insan siliyer adalesinin maymundan farklı olarak ömür boyu çalıştığını ve katarakt gelişenlerde siliyer adalenin daha kalın olduğunu göstermiştir.^{5,6} Psödoafakik hastalarda yakın görmeyi sağlamak için multifokal GİL ile psödoakomodasyon sağlanırken akomodatif GİL ile gerçek akomodasyon sağlanabilmesi hedeflenmiştir. Katarakt hastalarında yakın görmede multifokal GİL'ler ile iyi sonuçlar bildirilmiş olsa da, parlama, hale, kontrast duyarlılık azalması gibi sorunlar çıkabilmektedir.^{7,8} Akomodatif GİL implantasyonu presbiyopi tedavisinin seçeneklerinden biridir. Akomodatif GİL'ler katarakt çıkarıldıktan sonra siliyer adalenin devam eden akomodasyon fonksiyonunu kullanarak çalışırlar.⁹ Akomodatif GİL'lerin iki ana tasarım konsepti mevcuttur. Birincisi, aksiyel hareket konsepti; bir veya iki lensin öne aksiyel hareketi ile akomodasyon yeteneğini oluşturmaktır.^{1,10,11} İkincisi, kurvatür değiştiren dizayn; küçük bir yer değiştirme hareketi ile önemli bir akomodasyon sağlamak için tasarlanmıştır.¹² Nawa ve ark.¹³ lensin öne hareketi ile oluşacak akomodatif gücün lensin dioptri (D) gücüne ve gözün aksiyel uzunluğuna bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Örneğin +11 D bir lens 1 mm öne kaydığında 0,8 D'lik bir güç elde ederken +30 D'lik bir lens +2,3 D'lik bir akomodasyon sağlayabilmektedir. Akomodasyon gücünü daha fazla artırabilmek için yüzey bombeliğini artırabilen yumuşak jel lensler geliştirilmiştir.^{14,15} Gelecekte akomodatif GİL'lere torik düzeltme ilave edilmesi ihtiyacı vardır. Yazımızda günümüzde var olan ve geliştirilmekte olan tasarımlardan bahsedeceğiz.

Öne Kayarak Akomodasyon Yapan Lensler

Crystalens

Cumming¹⁶ 1989 yılında yassı bacaklı "plate haptic" GİL implantasyonu yapılmış gözlerde uzak düzeltme ile bazı hastaların iyi bir yakın görmesi olduğunu gözlemledi. Operasyon sonrası oluşan kapsül fibrozisi lensin optiğini posteriora doğru itiyor ve hasta uzak gözlüğü takma ihtiyacı duyuyor fakat uzak gözlüğü takılı iken yakını görmek istediğinde siliyer adale kontraksiyonu ve vitrenin öne hareketi ile yakını görebilmekten de memnun oluyordu.³ Akomodasyon esnasında siliyer cisim ve periferik vitre posteriora doğru hareket ederken vitre santralinin öne hareketine neden olarak lensi öne kaydırması düşünülmüştür.¹⁷ İlk akomodatif lens implantasyonu 1991 yılında gerçekleşmiş ve geliştirilerek yedinci lens olan Crystalens AT-45 ortaya çıkmıştır. Crystalens AT 45'in 4,5 mm optiği vardır ve yaklaşık 1D akomodasyon yapabildiği öngörülerek FDA onayını 2003 yılında almıştır.¹⁸

Crystalens akomodatif GİL (Bausch & Lomb, Rochester, NY) şu anda FDA onayı almış tek akomodatif intraoküler lenstir. Biosil materyalinden optiği ve menteşeli yassı bacakları ve stabilizeyi sağlayan T şeklinde poliamid bacak uçları vardır (Resim 1a). Kapsül içi yerleşime uygun tasarlanmıştır. Akomodatif ve multifokal GİL karşılaştırmalı çalışmada Crystalens AT-45'in yakın düzeltilmemiş görme keskinliğini altıncı ayda J (Jaeger) $9 \pm 3,74$ bularak bu GİL'in yakın görmede yetersiz kaldığı bildirilmiştir.²⁰ Cumming ve ark.¹⁰ ise Crystalens AT-45 uygulanan hastalarının uzak düzeltilmeli yakın görmesinin %84'ünün J2 ve üstünü gördüğünü bildirmişlerdir. Patel ve ark.²¹ Crystalens AT-45 implante edilen grupta operasyon öncesi yakın görme J6 iken operasyon sonrası yakın görmeyi J5 ve yetersiz bulmuşlardır.

Son olarak Crystalens HD ve Crystalens AO olmak üzere iki farklı modeli geliştirilmiştir (Resim 1b). Bu iki lensin de 5 mm optiği vardır ve Crystalens HD lenste optik merkezdeki modifikasyon ile foküs derinliğini artırmak hedeflenmiştir, Crystalens AO ise asferik optiğe sahiptir.¹⁹ Crystalens 3 mm'lik kesi genişliğinden enjekte edilebilmektedir.

TetraFlex

TetraFlex IOL, (Lenstec, Inc., St. Petersburg, Florida) Robert E. Kellan tarafından geliştirilen yanları köşeli, hidroksietilmetakrilat (HEMA) tek parçalı bir lenstir (Resim 2). HEMA materyali %26 su ihtiva ettiğinden oldukça esnek bir materyaldir. 1,8 mm kesi genişliğinden enjekte edilebilmektedir. Tasarımında akomodasyon esnasında vitrenin öne itmesinden ziyade zonül hareketi ve kapsül dinamiklerinden faydalanarak akomodasyonu sağlamak amaçlanmıştır. Helmholtz teorisini baz alarak siliyer kontraksiyon esnasında lensin 5° öne açılması sayesinde optik öne doğru hareket eder. Chitkara²² 48 gözlük başlangıç çalışmasının 6 aylık sonuçlarına göre hastaların %89'u J3 ve üstü yakın görüş, hastaların %100'ü J5 ve üstü yakın görüş sağlamışlar. Akomodasyon gücü +1 ve +1,5 D arasında değişmektedir. Faz 3 FDA çalışması devam etmekte olup Mart 2012 tarihinde FDA onayı alması beklenmektedir.

HumanOptics 1CU

HumanOptics AG Akkomodative 1CU akomodatif GİL (Erlangen, Germany) hidrojel materyalden olup kapsül içine yerleştirilir. Optik çapı 5,5 mm olup 9,8 mm'lik total çapı vardır. Tek parça lens olup dört tane yassı ayakları ile kapsül içine yerleşir ve akomodasyonda optik öne doğru hareket ederek yakın görüş sağlanmaktadır (Resim 3a, b). Avrupa'da 2000-2003 yılları arasında insan gözünde çalışmalar yapılmıştır. Karşılaştırmalı yapılan bir çalışmada 30 tane 1CU lens bir göze ve 30 tane MA30 lens diğer göze takılmış. On iki aylık sonuçlarına göre uzak düzeltilmeli yakın görüş ortalaması 1CU lenste J $11,47 \pm 0,7$, MA30 lensinde ise J $12,8 \pm 0,4$ bulunmuştur.²³

Mastropasqua²⁴ uzun dönem sonuçlarında lensin yapısından dolayı arka ve ön kapsül opasitesinin çok yüksek olduğu ve yıllar içinde akomodasyon gücünün kaybolduğu bildirilmiştir.

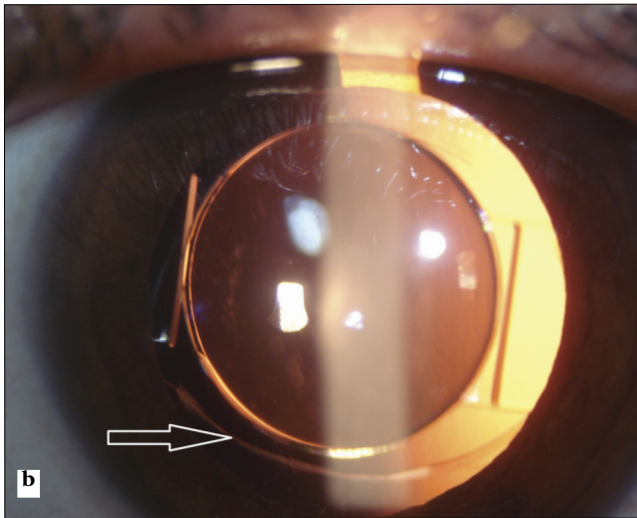
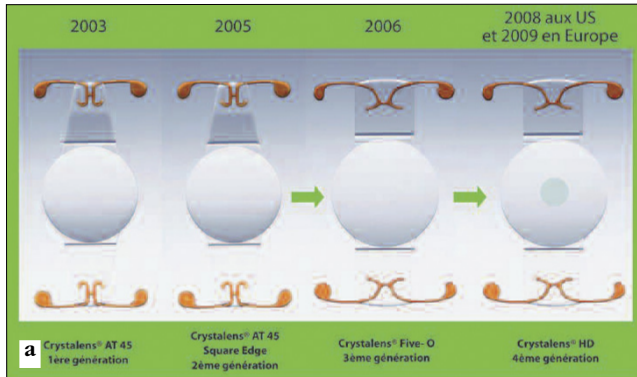
Tekia TekClear KH-3500

TekClear (Irvine, California, USA) tek parçalı hidrofilik akrilik materyalinden, 5 mm akomodatif optik çaplı, keskin kenarlı bir lenstir. Akomodasyon esnasında optiğin öne hareketi ile yakın görme sağlanır. 2006 yılında Avrupa Komisyonunda presbiyopi tedavisinde kullanılmak üzere izin alınmıştır.

C-Well

Acuity Ltd (OrYehuda, Israel) tarafından üretilmiş tek optikli akomodatif lenstir. Kapsül içerisinde optiği sabitleyen bacakları ve aynı zamanda optiğin öne hareketini kolaylaştıran optik-bacak eklemleri vardır (Resim 4). C-Well optiği akomodasyon esnasında bacaklarının yapısı sayesinde öne doğru kayar ve kırma gücü artar. Optiğin öne hareketi esnasında lens optiği bükülmez sadece öne hareket ederek akomodasyon meydana gelir.

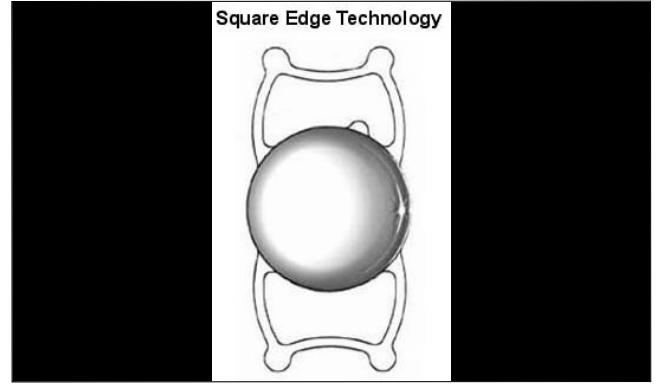
Diğer öne kaydırmalı lenster; Morcher BioComFold 43E akomodatif GİL, Bausch & Lomb Opal akomodatif GİL (Bausch & Lomb, Rochester, New York) ve daha birçok lens gelişme halindedir.



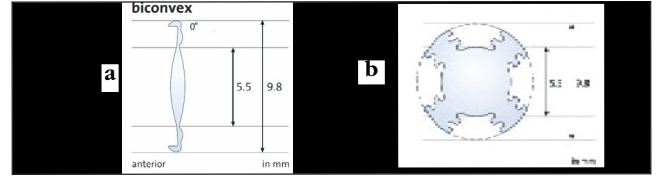
Resim 1a-b. Crystalens GİL'ler (Bausch& Lomb). b. Crystalens HD'nin 5 mm optiğinin dışına taşarak lensin öne hareketini sağlayan geniş kapsülöreksis kenar görüldüğü (Z.Tunç)

Dual Optik Akomodatif Lensler

Hara ve ark.²⁵ 1990 yılında göz içine koyulacak negatif güçteki ikinci bir lens ile daha fazla akomodasyon gücü sağlanabileceğini ileri sürmüşler. Gelişme aşamasında olan birçok dual optikli akomodatif lens vardır.



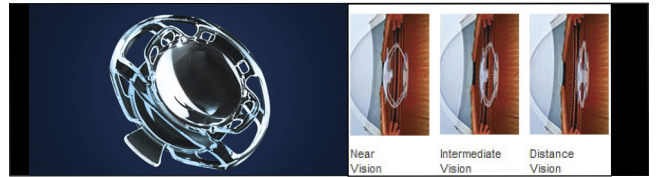
Resim 2. TetraFlex GİL (Lenstec, Inc., St. Petersburg, Florida)



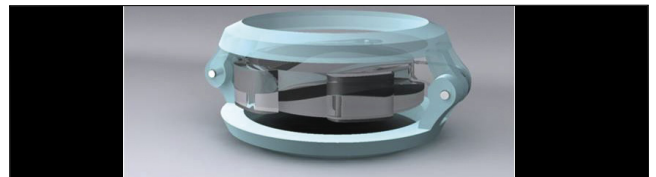
Resim 3a-b. HumanOptics akomodatif GİL (Erlangen, Germany)



Resim 4. C-Well GİL menteşeli yapısı optiği öne arkaya hareket ettiriyor. (Acuity Ltd, OrYehuda, Israel)



Resim 5a-b. a. Synchrony GİL (Abbott Medical Optics, AMO, Santa Ana, Calif.). b. Synchrony GİL Akomodasyon sırasında (Abbott Medical Optics, AMO, Santa Ana, Calif)



Resim 6. Turtle Akomodatif Lens (AMO Groningen BV, Groningen, Netherlands)

Synchrony

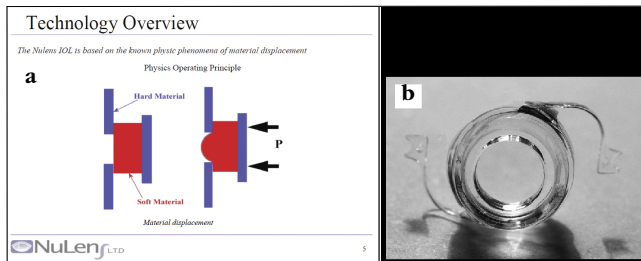
Synchrony GİL (Visiogen Inc. Irvine, California) tek parçalı, üç boyutlu dual-optik akomodatif lenstir ve yeni jenerasyon silikondan üretilmiştir. Synchrony lensin kalınlığı 2,2 mm olup önde 5,5 mm anterior optik ve arkada 6-mm negatif diyoptrilik optiği vardır (Resim 5a). Herhangi bir optik harekete göre oluşan refraktif değişim hareket eden lensin diyoptri gücü ile orantılıdır. Bu sebeple lensin ileri hareketiyle oluşan diyoptri gücünü maksimize etmek için Synchrony lensin ön optiği + 32 D'dir. Negatif diyoptrili arka optiğin gücü emetropi için gerekli net GİL gücüne ulaşabilmek için farklı değerlerdedir. Synchrony'nin tasarımı Helmholtz Teorisi'ne dayanmaktadır. Siliyer kasın kasılması zonüler tansiyonu azaltır ve bu da kapsüler kesenin gevşemesini sağlar. Kapsül gevşeyince öndeki +32 D'lik optik öne hareket eder (Resim 5b). Ossa²⁶ bu ileri hareketin +3.2D'lik bir akomodasyon sağlayacak kadar yeterli olduğunu bildirmiştir. İki optik arasında opasifikasyon riskine karşı yapılan tavşan deneyinde böyle bir komplikasyon görülmemiştir.²⁷ Ossa 14. ESCRS Kış Toplantısında 5 yıllık sonuçlarını sundu. Çalışmasında 12 hastanın 17 gözüne Synchrony GİL takılmış. Bütün hastalar uzak ve ara mesafede 20/40 ve üstünü görebiliyorlar. Hastaların %87'si 20/40 ve üstü yakını görebilmekte. Ayrıca 5 yılda sadece bir hastaya YAG lazer kapsülotomi yapılmış. American Medical Optics (AMO) bu lensi kendi bünyesine almıştır.

Turtle Akomodatif Lens

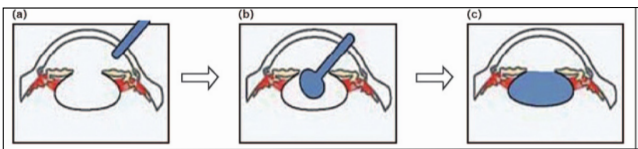
Hollandalı araştırmacılar tarafından geliştirilmekte olan bir projedir. Kapsül içerisine yerleştirilen Turtle Akomodatif Lens,



Resim 7. AkkoLens Akomodatif GİL (Akkolens International BV)



Resim 8a-b. a. NuLens akomodasyon mekanizması (NuLens, Ltd., Herzliya Pituah, Israel). b. NuLens GİL (NuLens, Ltd., Herzliya Pituah, Israel)



Resim 9. Medennium SmartIOL (Medennium Inc., Irvine, Calif.)

akomodasyon esnasında vitrenin öne hareketi ile lensin çerçevesi sıkıştırılır. Bu sıkıştırma ile iki optik birbiri üzerinde döner ve lenslerin kırma gücü daha kuvvetli olan yüzeylerinin optik merkezde üst üste gelmesi sağlanır (Resim 6).

AkkoLens Akomodatif GİL

Akkolens International BV tarafından Hollanda'da üretilmektedir. Lens hidrofilik materyalden yapılmış iki optiğe sahiptir. Optiklerden biri asıl emetropizasyonu sağlayan güce sahiptir, kübik yapıdaki diğer optik ise yakına ilavede kullanılır. Akomodasyon esnasında kapsülün daralmasıyla birlikte kübik dizayndaki optikler dikey ekseninde birbiri üzerinde kayarak merkezdeki gücü arttırır ve yakın odaklamayı sağlar. Akomodasyon gücü 3 diyoptri olarak bildirilmiştir (Resim 7).

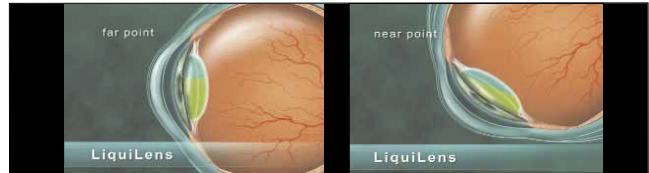
Kurtavatür Değiştiren Modeller

NuLens

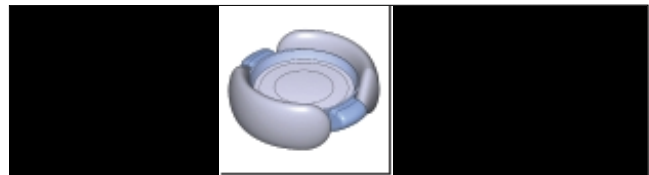
Yeni bir akomodasyon mekanizmasına sahiptir. NuLens (NuLens Ltd., Herzliya Pituah, Israel) iki tarafı da sert tabakayla kaplı esnek polimer optikler ve sert tabakalardan öndeki delik bulunan bir kompleks yapıdır. Tabakalar preslendiği zaman polimer ön yüzeyde bulunan deliğe doğru şişme yapar, bu sayede kırma gücü çok artan lens elde edilmiş olur (Resim 8a). Primatlara takılan bu lens ile +40 D'lik bir akomodasyon gücü sağlanmıştır. Lens bacaklarıyla sulkusa yerleştirilmektedir ve 6 mm insizyon gerektirmektedir (Resim 8b). Ayrıca siliyer kasın durumuna göre lensin aktif değişimini dökümanete edebilmek için ultrason biyomikroskop görüntülemeyi kullanmışlardır. Şu anda daha küçük kesi genişliğinden katlanarak girebilecek lens üzerinde çalışılmaktadır.¹⁴ Alio¹⁵ çalışmasının 1 yıllık sonuçlarına göre hastalarda 10 D'lik akomodasyonun uzak görüşünü bozmadan sağlanmakta olduğunu bildirmiştir.

WIOL CF

WIOL CF (Biovision sro; Prague, Czech Republic) hidrojel materyalden bacaksız bir lenstir. Kapsül kontraksiyonu esnasında doğal lensin hareketini taklit edercesine ön kurtavürü



Resim 10a-b. a. LiquiLens GİL'in uzak görüş esnasında göziün pozisyonu. b. Yakın görüş esnasında sıvıların yer değiştirmesi (Vision Solutions Technology, Rockville, Maryland)



Resim 11. Fluid Vision Akomodatif GİL (PowerVision Inc., Belmont, California)

değişerek kırma gücü artar. Lensin akomodasyon gücü +2 D olarak belirtilmiştir.

FlexOptic

Flex Optic (Quest Vision Inc. Austin, Texas) akomodatif arenadaki yeni bir lenstir. Silikon yapıda olup balon şeklindedir. Kapsül içine yerleştirilen bu lens akomodasyon esnasında naturel insan lensi gibi hareket etmektedir. Akomodasyonda siliyer adaleler vasıtasıyla kapsülü tamamen dolduran balonun kurvatürü değişerek +3 D akomodasyon gücü sağlayabilmektedir.

Medennium SmartIOL

Medennium SmartIOL (Irvine, California) akrilik akomodatif lenstir. Kapsül içine doldurulması ile Nishi ve Haefliger konseptine benzer. Termodinamik hidrofobik akrilik (Smart Akrilik) yapısındadır. 30 mm uzunluğunda ve 2 mm genişlikte olup mikroinsizyondan enjekte edilebilmektedir (Resim 9). Vücut ısıyla birlikte kapsül içinde jel şekline dönüşür ve bikonveks bir lens halinde kapsülün içini doldurur. Bu olay 30 saniyede gerçekleşmekte ve lensin çapı 9,5 mm ve kalınlığı 2 ile 4 mm arasında değişebilmektedir. Lensin küçük bir şekil ya da pozisyon değişimiyle yeterli bir akomodasyon sağlanabilmektedir.

LAL (Calhoun) Light Adjustable Lens

LAL (Calhoun) Light Adjustable Lens (Calhoun Vision, Inc., Pasadena, California) ışığa duyarlı silikon materyalinden yapılmıştır. Silikon materyali kapsül içine yerleştirilir. Operasyondan sonra refraksiyon yapılarak sifer ve astigmat düzeltilmesi optiğin istenilen yerindeki makromerlerin ışık ile polimerizasyonu yapılarak kırma gücü değiştirilir. Lensin polimerizasyonu sadece emetropi için değil aynı zamanda lensin bifokal veya multifokal hale gelmesi için de kullanılabilir.

Yeni Model Lensler

LiquiLens

LiquiLens Vision Solutions Technologies (Rockville, Maryland) tarafından geliştirilen akomodatif lenstir. Bu lensin ortasında birbirine karışmayan farklı indekste iki sıvı içerir.

Lensin 3/4'ündeki refraktif index uzak için dizayn edilmiştir (Resim 10a). Eğer hastalar okumak isterlerse, kafalarını aşağı yöne eğmeler ve yer çekim kuvveti daha ağır olan sıvının lensin ön yüzünde artarak ilerlemesini sağlar (Resim 10b). Sonuç olarak refraktif indeksi daha fazla olan sıvı refraktif indeksi daha az olan sıvının üzerine çıkar böylece optik gücü daha fazla bir lens oluşur.

FluidVision Akomodatif GİL

FluidVision (PowerVision Inc., Belmont, California) muazzam akomodatif dereceye ulaşmayı hedefleyen yeni jenerasyon akomodasyon lensidir. Dr. Chang'a göre akomodasyon gücü +10 D'yi aşabilmektedir. Bu hidrolik gücün sebep olduğu şekil değişikliğinin kontrolü siliyer kas tarafından sağlanmaktadır.

Sıvı minik hidrolik aktivatörler tarafından itilir. Siliyer

kasın daralmasıyla zonüler lifler gevşer ve GİL doğal lens gibi kalınlaşır. Siliyer kasın gevşemesi üzerine de zonüler lifler gerilir ve lens incilir. Helmholtz Teorisi'nde düşündüğümüz gibi akışkan hareketiyle lens şekil değişikliği kazanır (Resim 11). Şirket ilk ürün dizaynını tamamlamıştır. Sonraki adım 1:1 ölçekli prototipin hazırlanmasıdır.

Sonuç

Göz cerrahisinde presbiyopinin tamamen tedavisi büyük bir başarı olacaktır. Bunun gerçekleşmesinde de akomodatif lensler mutlaka çok önemli bir yere sahip olacaklardır. Operasyon öncesi ölçümler, ameliyat planlaması ve postoperatif refraktif değerlerin öngörülmesi çok titiz çalışma gerektirir. Buna rağmen akomodatif GİL'lerin gelişiminin henüz devam ettiği bilinmelidir. Akomodatif GİL'lerle akomodasyon gücününün yeterli ve uzun süreli sağlanması, astigmat ve aberasyonları düzeltilmesi çözülmesi gereken problemlerdir.

Kaynaklar

1. Elkady B, Alio JL, Ortiz D, Montalban R. Corneal aberrations after microincision cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34:40-5.
2. Helmholtz H. Ueber die accommodation des auges. *Graefes Arch Klin Ophthalmol.* 1855;1:1-74.
3. Comander J, Pineda R. Accommodating intraocular lenses: theory and practice. *Int Ophthalmol Clin.* 2010;50:107-17.
4. Strenk SA, Strenk LM, Guo S. Magnetic resonance imaging of the anteroposterior position and thickness of the aging, accommodating, phakic, and pseudophakic ciliary muscle. *J Cataract Refract Surg.* 2010;36:235-41.
5. renk SA, Semmlow JL, Strenk LM, Munoz P, Gronlund-Jacob J, DeMarco JK. Age-related changes in human ciliary muscle and lens: A magnetic resonance imaging study. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1999;40:1162-9.
6. Strenk SA, Strenk LM, Guo S. Magnetic resonance imaging of aging, accommodating, phakic, and pseudophakic ciliary muscle diameters. *J Cataract Refract Surg.* 2006;32:1792-8.
7. Javitt JC, Steinert RF. Cataract extraction with multifocal intraocular lens implantation: a multinational clinical, functional, and quality of life outcomes. *Ophthalmology.* 2000;107:2040-48.
8. Schmitz S, Dick HB, Krummenauer F, Schwenn O, Krist R. Contrast sensitivity and glare disability by halogen light after monofocal and multifocal lens implantation. *Br J Ophthalmol.* 2000;84:1109-12.
9. Nishi Y, Mireskandari K, Khaw P, Findl O. Lens reShlling to restore accommodation. *J Cataract Refract Surg.* 2009;35:374-82.
10. Cumming JS, Colvard DM, Dell SJ, et al. Clinical evaluation of the Crystalens AT-45 accommodating intraocular lens: results of the U.S. Food and Drug Administration clinical trial. *J Cataract Refract Surg.* 2006;32:812-25.
11. Ho A, Erickson P, Manns F, Paham T, Parel JM. Theoretical analysis of accommodation amplitude and ametropia correction by varying refractive index in Phaco-Ersatz. *Optom Vis Sci.* 2001;78:405-10.
12. Dick HB. Accommodative intraocular lenses: current status. *Curr Opin Ophthalmol.* 2005;16:8-26.
13. Nawa Y, Ueda T, Nakatsuka M, et al. Accommodation obtained per 1.0 mm forward movement of a posterior chamber intraocular lens. *J Cataract Refract Surg.* 2003;29:2069-72.
14. Ben-Nun J. The NuLens accommodating intraocular lens. *Ophthalmol Clin North Am.* 2006;19:129-34.

15. Alió JL, Ben-nun J, Rodríguez-Prats JL, Plaza AB. Visual and accommodative outcomes 1 year after implantation of an accommodating intraocular lens based on a new concept. *J Cataract Refract Surg.* 2009;35:1671-8.
16. Cumming JS. History and function of the crystallens. *Cataract Refract Surg Today.*2004;4:38-40.
17. Coleman DJ. On the hydraulic suspension theory of accommodation. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 1986;84:846-68.
18. <http://www.fda.gov/cdrh/pdf3/P030002a.pdf> AT-45 Approval Letter. 2003, Food & Drug Administration.
19. PePOSE JS. Design Strategies for New Accommodating IOLs. *Cataract Refract Surg Today.* 2009;9:39-45.
20. Köse S, Palamar M, Eğrilmez S. Kataraktlı hastalarda akomodatif ve multifokal intraoküler lens implantasyonu sonuçlarımız. *Türk J Ophthalmol.* 2009;39:4-16.
21. Patel S, Alió JL, Feinbaum C. Comparison of Acri.Smart multifocal IOL, Crystallens AT-45 accommodative IOL and Technovision PresbyLASIK for correcting presbyopia. *J Refract Surg.* 2008;24:294-9.
22. Chitkara DK. Accommodation in pseudophakia with lenstec KH-3500 lens bykellan. In: *The ESCRS Winter Refractive Surgery Meeting; Barcelona, Spain;23-25 January 2004.*
23. Heatley CJ, Spalton DJ, Hancox J, Kumar A, Marshall J. Fellow eye comparison between the 1CU accommodative intraocular lens and the acrysof MA30 monofocal intraocular lens. *Am J Ophthalmol* 2005;140:207-13.
24. Mastropasqua L, Toto L, Falconio G, et al. Longterm results of 1 CU accommodative intraocular lens implantation: 2-year follow-up study. *Acta Ophthalmol Scand.* 2007;85:409-14.
25. Hara T, Yasuda A, Yamada Y. Accommodative intraocular lens with spring action. Part 1. Design and placement in an excised animal eye. *Ophthalmic Surg.* 1990;21:128-33.
26. Ossma IL, Galvis A, Vargas LG, Trager MJ, Vagefi MR, Mcleod SD. Synchrony dual-optic accommodating intraocular lens. Part 2: pilot clinical evaluation. *J Cataract Refract Surg.* 2007;33:47-52.
27. Werner L, Pandey SK, Izak AM, et al. Capsular bag opacification after experimental implantation of a new accommodating intraocular lens in rabbit eyes. *J Cataract Refract Surg.* 2004;30:1114-23.