

DERLEME

Göz İçi Lens Materyallerin Oftalmoloji Alanında Yolculuğu ve Modern Cerrahideki Yeri

Murat ERDAĞ¹, Mehmet ÇITIRIK²

¹ Fırat Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Göz Hastalıkları Anabilim Dalı, Elazığ, Türkiye

² Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Ankara Etik Şehir Hastanesi, Göz Hastalıkları Kliniği, Ankara, Türkiye.

ÖZET

Katarakt, önlenilebilir önemli bir sağlık sorunudur. Katarakt cerrahisinde kullanılan göz içi lensler (GİL'ler), cerrahi sonrası görme kalitesini artırmak için önemli bir role sahiptir. Katarakt cerrahisi sırasında göz içine konulan lensler (GİL) çeşitli materyallerden yapılmaktadır. Başlangıçta polimetilmetakrilat (PMMA) malzemesinden yapılan GİL'ler, zamanla silikon ve akrilik gibi daha gelişmiş materyallerle yer değiştirmiştir. GİL'ler, biyouyumluluk, optik performans ve hasta konforu açısından sürekli olarak geliştirilmektedir. Ayrıca, multifokal, akomodatif ve ayarlanabilir lensler gibi yeni teknolojilerle, farklı mesafelerde net görme sağlanması hedeflenmektedir. Bu makalede, GİL'lerin gelişimi, mevcut durumu, kullanılan materyallerin özellikleri ve bu lenslerin sınıflandırılması üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Cerrahi uygulama. Göz içi lens. Lens materyalleri. Lens teknolojisi. Oftalmoloji.

The Journey of Intraocular Lens Materials in Ophthalmology and Their Place in Modern Surgery

ABSTRACT

Cataracts are preventable and important health problems. Intraocular lenses (IOLs) used in cataract surgery play an important role in improving vision quality after surgery. Lenses (IOLs) placed in the eye during cataract surgery are made of various materials. Initially made of polymethylmethacrylate (PMMA), IOLs have been replaced with more advanced materials such as silicone and acrylic over time. IOLs are constantly improving in terms of biocompatibility, optical performance, and patient comfort. In addition, new technologies, such as multifocal, accommodative, and adjustable lenses, aim to provide clear vision at different distances. This article focuses on the development of IOLs, their current status, properties of the materials used, and classification of these lenses.

Keywords: Surgical application. Intraocular lens. Lens materials. Lens technology. Ophthalmology.

Dünya sağlık örgütü verilerine göre katarakt doğu Akdeniz bölgesindeki körlüklerin %51'inden sorumludur.¹ Kataraktın tek tedavisi cerrahidir. Görme keskinliğinin mükemmel yakın olması için cerrahi sırasında göz içine lensler (GİL) konulmakta ve yılda yaklaşık 15,2 milyon civarında göze uygulanmaktadır.² Göz içine konulması planlanan GİL'ler günümüze kadar gelen süreçte değişikliklere uğramıştır. GİL'ler için yakın, orta ve uzak mesafeler

üzerine durulsa da yapımda kullanılan materyaller ve özellikleri de önem taşımaktadır. Harold Ridley, İkinci Dünya Savaşı'nda pilotların gözlerine saplanan polimetilmetakrilat (PMMA) camlarının reaksiyon oluşturmadığını fark ederek, 1949'da bu malzemeyi ilk göz içi lens (GİL) olarak uygulamıştır.^{3,4}

GİL'lerin PMMA olması korneal kesilerin büyük olmasına hem hastanın korneal kesi yerinde komplikasyonlara hem de cerrahi süresinin uzamasına ve cerrahi konforun azalmasına sebep olmaktadır.⁵ Bu durumun çözümü için katlanabilir GİL implantasyonu yapılmıştır.⁶ Silikon materyalden üretilen katlanabilir GİL'ler sonrasında yerini akrilik malzemeye bırakmıştır.

Zaman içinde daha iyiye ulaşma arzusu GİL materyallerini ve tekniklerin sürekli güncellenmesini sağlamaktadır.⁷ Monofokal, tek parçalı lenslerden; çok odaklı, üç parçalı lenslerin yapımina, bunlarla birlikte refraktif, indeks, su affinitesi gibi özellikler üzerinde de durmamızı sağlamıştır.

Geliş Tarihi: 12.Ağustos.2024

Kabul Tarihi: 17.Aralık.2024

Dr. Murat ERDAĞ
Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi,
Göz Hastalıkları Anabilim Dalı,
Elazığ, Türkiye
Tel: +90 224 233 35 55
E-posta: mderdag@gmail.com

Yazarların ORCID Bilgileri:
Murat ERDAĞ: 0000-0001-8857-994X
Mehmet ÇITIRIK: 0000-0002-0558-5576

Bu yazımızda GİL'lerin yapısında kullanılan materyaller, özellikleri ve sınıflandırması hakkında ayrıntılı bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

1.Göz İçi Lenslerin Özellikleri

İdeal bir GİL; biyoyumlu olmalı, doku reaksiyonuna neden olmamalı, kararlı ve inert olmalı, insan ömrü boyunca bozulmamalı ve ayrışmamalıdır. Mükemmel görüş sağlamak için; dansite, refraktif indeks ve optik geçirgenliği üst düzeyde olmalıdır. Göz içine sorunsuz bir şekilde konulmalı ve ek bir kırma kusuru oluşturmamalıdır.⁸

Biyoyumluluk: GİL biyoyumluluğu, kapsüler kese ve üveal biyoyumluluk olarak değerlendirilebilir. Biyoyumlu bir GİL'in yabancı cisim reaksiyonu oluşturmayıp, kapsüler kese ile iyi uyum sağlaması beklenir. Biyoyumlulukta üç aşama vardır; kimyasal kompozisyon, kimyasal modifikasyon ve yüzey modifikasyonu.

GİL yapısında kullanılan materyallerin değiştirilmesi veya uygun biyoyumlu monomerlerin üretim sürecine dahil edilmesi ile *kimyasal kompozisyon* oluşturulur. Polimer yüzeylerine, plazma teknolojisi yardımıyla, reaktif gruplar eklenerek yüzey aktif hale getirildikten sonra, gamma veya elektron ışını radyasyonu ile polimerizasyon indüklenir. Böylelikle *kimyasal modifikasyon* sağlanabilir. GİL yüzeylerine hidrofilik polimer çözeltileri uygulanarak kornea endoteline zarar verme eğilimi azaltılabilir. Ayrıca heparin kaplamaları, yüzeyleri biyofonksiyonel özellikler kazandırarak kanla temas eden yüzeylerin biyoyumluluğunu artırabilir. *Yüzey modifikasyonu* bu şekilde temin edilebilir.^{8,9}

Kaplamalar: GİL implantasyonu ve ameliyatı sonrası olumsuz etkileri önlemek ve ışık filtrasyonu için de materyaller geliştirilmektedir.^{10,11} Yanı sıra, biyoyumluluğu arttırmak için lens yüzeylerinde inflamasyonu engellemek, endoftalmi riskini azaltmak veya arka kapsül kesafeti (AKK) oluşumunu engellemek için modifikasyonlar yapılmaktadır. Heparin ile modifiye edilmiş lensler üveal biyoyumluluğu artırırken, plazma yüzey modifikasyonları, silikon lenslerin protein ve silikon yağlarına karşı itici özellikler kazanmasını sağlamaktadır. Ayrıca, ilaç taşıyan kaplamalar, lens epitel hücrelerinin büyümesini ve göçünü sınırlayarak, AKK oluşumunu azaltma yönünde etkili bir strateji sunmaktadır. İlaç taşıyan bu yüzeyler hücre ölümü sağlayan ajanlar içerir ve bunlar GİL yüzeyine yavaş salınımlı olarak uygulanır. Fotodinamik kaplama modifikasyonları ise, ışık etkisiyle reaktif oksijen türleri üretir, böylece ışık altında lens epitel hücrelerinin ölümünü sağlayarak AKK'yı kontrol eder. Ayrıca, AKK ve enfeksiyonları önlemeye yönelik antibakteriyel yüzey modifikasyonları da geliştirilmiştir; bu yöntemler, bakterilerin lens

yüzeyine yapışmasını ve biyofilm oluşumunu engeller.¹² Hidrofilik/hidrofobik yüzey modifikasyonu da yapılarak her iki lens çeşidinin özelliklerinden tek GİL üzerinden yararlanma çalışmaları da mevcuttur.¹³

Modulasyon Transfer Fonksiyonu (MTF), bir lensin belirli bir çözünürlükteki kontrastı ne kadar iyi aktarabildiğini gösterir. Yani, bir lensin nesnedeki detayları ne kadar net ve kontrastlı bir şekilde aktarabildiğini ifade eder. Bir lens yüksek MTF değerine sahipse, bu lens nesnedeki ince detayları yüksek kontrastla aktarabilir. Örneğin, bir yazıyı okurken harflerin kenarları net ve keskin görünür. Bir lens düşük MTF değerine sahipse, aynı yazı bulanık ve kenarları belirsiz görünebilir. Harfler arasındaki kontrast azalır ve yazı zor okunur hale gelir. Düşük frekans varsa yani çizgiler geniş aralıklıysa, lens bu çizgileri yüksek kontrastla aktarabilir ve MTF değeri yüksek olur. Eğer çizgiler dar aralıklıysa (yüksek frekans), lens bu ince detayları aynı kontrastla aktarmakta zorlanabilir ve MTF değeri düşer.-Bir lens, geniş aralıklı çizgiler gibi düşük frekanslı detayları yüksek kontrastla aktarabildiğinde, MTF değeri yüksek olur. Bu, lensin düşük frekanslardaki kontrast aktarımının güçlü olduğunu gösterir. Öte yandan, çizgiler dar aralıklı ve yüksek frekanslı olduğunda, lensin bu ince detayları aynı kontrast düzeyinde aktarma kapasitesi azalır, dolayısıyla MTF değeri düşer. Bu durum, lensin yüksek frekanslı detayları iletimindeki kontrast kaybını ifade eder

Kontrast duyarlılık; Görme performansının önemli bir bileşenidir ve günlük yaşamda, özellikle düşük ışık koşullarında veya düşük kontrastlı ortamlarda, sağlıklı bir görme yeteneği için hayati bir rol oynar. Yüksek kontrast, iki alan arasında büyük bir fark olduğu anlamına gelirken, düşük kontrast daha küçük farklara işaret eder. Gözün ne kadar iyi görebildiği ve farklı gri tonlarını (veya diğer renk tonlarını) ne kadar iyi algılayabildiğini şöyle ifade edebiliriz; sisli bir havada beyaz bir arabanın gri bir arka plana karşı ayırt edilmesi, yüksek kontrast duyarlılığı gerektirir. Özellikle çok odaklı lens implantasyonlarında lens üzerinde farklı dioptriler bulunduğundan oluşan görüntülerden birinin diğerine göre daha bulanık olmasına ve kontrast duyarlılıkta düşüşe sebep olacaktır.

Abbe sayısı; Bir lensin kromatik dağılımını (renk sapmalarını) gösterir. Yüksek Abbe sayısına sahip lensler, renk sapmalarını daha az yapar ve bu nedenle optik performansları daha iyidir. Düşük kromatik dağılım, daha az renk sapması ve daha yüksek optik performans demektir. Örneğin, yüksek Abbe sayısına sahip bir lensle bakıldığında, renkler birbirine karışmadan net ve doğru görünür. Refraktif indeks artıkça Abbe sayısının azaldığı unutulmamalıdır.

MTF, bir lensin detayları ve kontrastı ne kadar iyi aktarabildiğini gösterir. Yüksek MTF ve Abbe sayısına sahip lensler, yüksek optik performans sunar,

Göz İçi Lens Materyalleri

böylece daha net ve doğru görüntüler elde edilir. Bu, hem günlük kullanımda hem de tıbbi uygulamalarda daha iyi görsel sonuçlar sağlar.¹⁴

Refraktif indeks; Işığın bir ortamda nasıl davranacağını belirleyen temel bir özelliktir. Bu özellik, optik cihazların tasarımında ve ışığın yönlendirilmesinde hayati bir rol oynar. Farklı malzemeler, farklı refraktif indekslere sahip oldukları için, bu indeksi bilmek, ışığın bir ortamdan diğerine geçişinde meydana gelen kırılmaları anlamamıza yardımcı olur. Bir ışık dalgasının bir ortamdan başka bir ortama geçerken hızındaki değişim oranını, ışığın bir ortamda ne kadar yavaşladığını gösterir. Yani bir maddenin kırılma indisi (refraktif indeks), ışığın o madde içindeki hızının, vakumdaki (boşluktaki) hızına oranını belirtir. Havanın refraktif indeksi 1,009 iken , kornea, aköz humor, lens ve vitreusun refraktif indeksleri sırasıyla 1.37, 1.33, 1.39 ve 1.33'tür.

Sferik ve Asferik: Korneanın merkezde kavisli kenarlarda daha düz olması (prolate) pozitif aberasyona (optik saptama) neden olmaktadır. Prolate korneanın avantajı, genellikle daha az aberasyon neden olmasıdır. GİL'ler tasarlandıklarında sferik ve asferik olarak düzenlenmesinin amacı bu aberasyonları dengelemektir. Burada retinaya düşecek görüntünün kalitesinin en iyi seviyeye ulaştırmaktır. Sferisite, bir yüzeyin küresel olmasını ifade ederken, asferisite, yüzeyin küresel olmayan, yani farklı bölgelerde farklı eğriliklere sahip olmasını ifade eder. Sferik yüzeyler gözlük camları gibi optik sistemlerde kullanılır, ancak kenar sapmalarına neden olabilir. Asferik yüzeyler ise bu sapmaları azaltarak daha net ve keskin görüntüler sağlamayı hedeflemektedir.

Sferik GİL'ler düzgün bir eğrilığe sahiptir, bu da onları üretmeyi daha basit hale getirir ve miyopi veya hipermetropi gibi temel refraktif hataları öngörülebilir şekilde düzeltir. Genel olarak, sferik GİL'ler daha basit tasarımları ve üretim süreçleri nedeniyle asferik GİL'lerden daha ucuzdur. Bu GİL'ler birçok hasta için etkilidir ve çok çeşitli koşullarda tatmin edici görme düzeltmesi sağlar.

Asferik GİL'ler, gözün doğal lens eğriliğinden kaynaklanabilen küresel sapmayı önlemek için tasarlanmıştır. Bu, özellikle düşük ışık koşullarında gelişmiş görüntü kalitesi, daha iyi kontrast hassasiyeti ve azaltılmış hale ve parlama ile sonuçlanır. Asferik tasarım, daha iyi keskinlik ve görüş netliği elde etmeye yardımcı olur. Bu, özellikle gece araba kullanma veya okuma gibi aktiviteler için yüksek kaliteli görüşe ihtiyaç duyan hastalar için faydalıdır. Asferik GİL'ler çeşitli aydınlatma koşullarında daha iyi performans sağlayabilir, gece görüşüyle ilgili sorunları azaltmaya ve genel görsel konforu iyileştirmeye yardımcı olabilir. Doğal lensin ışığı daha etkili bir şekilde odaklama yeteneğini taklit etmeyi amaçlayan tasarımları nedeniyle genellikle sferik GİL'lere kıyasla daha pahalı olmakla birlikte daha iyi

optik performans sunarlar. Ancak görme keskinliği açısından iki lens arasında klinik olarak anlamlı bir fark olmadığı da belirtilmektedir.¹⁵

2. GİL sınıflandırılması

GİL'ler materyal olarak katlanabilir ve katlanamayanlar olarak ikiye ayrılırlar (Tablo I). Yapısal olarak da tek parçalı, üç parçalı ve özel tasarlanan (open bag, fluid filled ve modular) GİL'ler mevcuttur. PMMA lensler katlanamaz iken diğer lens materyalleri katlanabilmektedir. Burda bahsedilen materyallerde GİL'in optik kısmı kastedilmektedir. GİL'lerin haptik kısımlarındaki materyaller eğer monoblok ise optik materyali aynı iken, üç parçalı ise haptiklerin yapısı; PMMA, prolen, poliviniliden florid (PVDF) ve polieter sülfon (PES)'den oluşabilmektedir.

Tablo I. Yaygın kullanılan lens materyallerinin özellikleri

Özellik	Polimetilmetakrilat (PMMA)	Silikon (PMDS)	Akrilik Hidrofilik	Akrilik Hidrofobik
Materyal	Polimetilmetakrilat	Polidimetilsiloksan	Akrilik	Akrilik
Su İçeriği	Düşük (0.4-0.8 %)	Düşük (0.38 %)	Yüksek 18-88%	Düşük (<4%)
Esneklik	Düşük	Yüksek	Orta-Yüksek	Orta
İmplantasyon Yöntemi	Manuel	Katlanabilir	Katlanabilir	Katlanabilir
Görsel Kalite	İyi	İyi	Çok İyi	Çok İyi
Bio-uyumluluk	AKK riski,	Lens yüzeyinde fibrotik rxn	AKK riski	Aköz flare
Refraktif İndeksi	1.49	1.43	1.40-1.43	1.47-1.56
Glistening Riski	Yok	Yok	Yüksek	Düşük
Abbe Numarası	58	42	58	37-55

2.1. Poli Metil Metakrilat (PMMA)

Bu lens türü isminden anlaşılacağı gibi polimetil metakrilat malzemesinden yapılmıştır. Hidrofobik yapıdadır, sert ve katlanamaz. PMMA GİL'ler, monoblok veya sonradan eklenmiş haptik seçenekleriyle mevcuttur. Refraktif indeksi 1,49-1,50'dir. Glistening fenomeni bu lens çeşidinde hemen hemen hiç izlenmez.¹⁶ İlk kullanılan lens türüdür. Optik genişliği genellikle 5-7 mm aralığındadır. Su içeriği %0,4-0,8 aralığındadır. İlerleyen yıllarda PMMA lens üzerinde kar tanesi opasifikasyonu gözlenebilir. Silikon lensler ile karşılaştırıldığında AKK riski fazladır. Günümüzde kullanımı azalmıştır, skleral fiksasyon lensi olarak ya da sulkus implantasyonu için daha çok kullanılmaktadır.

Sekonder sulkus fiksasyonu için, 13.5-14 mm çapındaki lensler kullanılmaktadır.

2.2. Silikon Lensler

Katlanabilir GİL çeşitlerinden biri polidimetilsiloksandan (PDMS) yapılmıştır. Silikon, siloksan denilen silokon-oksijen gruplarından oluşan bir sentetik polimerdir. İyi optik berraklığa sahiptirler ancak zamanla renk değişimi gösterebilirler. Göz içine implantasyon esnasında hızlı açılırlar, bu nedenle dikkatli olunmalıdır.¹⁷ Bu lensler, düz ayaklı ve modifiye C ayaklı olarak iki çeşit ayak şekline sahiptir. Özel bir tek kullanımlık kartuş ve viskoelastik madde içeren enjektör mekanizması ile bu GİL implante edilmektedir. Polipropilen, poliimid veya PMMA ayaklı olabilen modifiye C ayaklı silikon lensler, enjektör yardımıyla katlanarak implante edilebilir. Fakat, katlama sırasında haptiklerin deformasyon veya kırılma riskine karşı dikkatli olunmalıdır.

Silikon GİL'ler, PMMA'dan daha düşük olan 1,40–1,46 refraktif indekse sahiptir.¹⁶ Silikon Lensler, daha düşük kırılma indeksleri nedeniyle aynı optik güce ulaşmak için daha kalındır. Silikon ayrıca esnektir ve bu da katlanabilir tasarımlara olanak tanır, ancak bu esneklik PMMA ile aynı düzeltme gücüne ulaşmak için daha fazla kalınlığa olan ihtiyacı telafi etmez. Silikon lenslerin karbazol ile greftlenmesi refraktif indeksini arttırabileceğine yönelik yayınlar mevcuttur.¹⁸ Yine silikon GİL'lerin göz içine implantasyonu esnasında çabuk açıldığından kapsüller keseye zarar verebileceği de akılda bulundurulmalıdır.⁵

Silikon lenslerin arka yüzeyi, intravitreal gazlarla temas ettiğinde opaklaşabilir. Bu nedenle, vitrektomi ameliyatlarında veya vitrektomi geçirme ihtimali olan hastalar için uygun değildir. Bu lensler, uzun süreli ve daha yoğun inflamatuvar değişikliklere yol açtığından, ön kamara reaksiyonu (hücre ve flare), arka kapsül opasifikasyonu, kapsül kontraksiyonu ve kronik üveit daha sık görülür. Bu yüzden, üveit gibi kan aköz bariyeri hasarı olan hastalarda kullanılması önerilmemektedir.¹⁷

2.3. Akrilik Lensler

GİL'ler başlangıçta sert malzemelerden yapılırken, ticari olarak satılan GİL'ler çoğunlukla katlanabilir farklı türde akriliklerden oluşmaktadır.¹⁹ Günümüzde en çok kullanılan GİL materyali Akrilik'tir.²⁰ Biyouyumluluğu mükemmel yakındır. Hem katlanabilir hem de PMMA lenslerin tüm özelliklerine sahip olan bu lensler, silikon lenslerin yol açtığı birçok sorunu oluşturmaz. PMDS materyalli lensler ile karşılaştırıldıklarında, cerrahi esnasında göz içinde açılma süresi daha yavaştır. Etil metakrilat (EMA), metil akrilat, metil metakrilat (MMA), ve 2-hidroksietil metakrilat (HEMA) materyallerinden

oluşurlar.¹² Hidrofobik ve hidrofilik olarak kopolimerdeki HEMA içeriğine göre ayrılırlar. Bu durum sıcaklık ile de ilişkilidir.²¹

2.3.1. Hidrofilik Akrilik Göziçi Lensler

Hidrofilik GİL'ler küçük insizyonlu katarakt cerrahisi için idealdir. Su içeriği genellikle %15-38 arasında değişmektedir. Refraktif indeksi, genellikle 1,42 ila 1,48 arasındadır. Bu lensler katlanabilir, bu da küçük kesi cerrahisine olanak tanır. Hidrofilik GİL'ler az miktarda su emer, bu da onları esnek ve takılması daha kolay hale getirir. İyi optik berraklık ve kontrast hassasiyeti sağlar. Genellikle implantasyon kolaylığı için önceden yüklenmiş enjektör sistemlerinde kullanılır. Biyolojik dokularla iyi uyumluluk gösterirler ve yüzeyde iltihabi hücrelerin birikmesine daha az eğilimlidirler, Hücre göçü ve lens epitel hücrelerinin proliferasyonu için hidrofilik yüzey uygun bir ortam sunduğundan, arka kapsül opaklaşması PMMA'ya göre az iken, hidrofobik lenslere göre daha fazla görülür.^{9,22,23}

Bazı hidrofilik akrilik lensler, daha yeni malzemelere kıyasla daha az optimum bir kenar tasarımına sahip olabilir ve bu da düşük ışık koşullarında artan parlama veya hale etkilerine yol açabilir. Genel olarak, hidrofilik akrilik GİL'ler geleneksel PMMA lenslerden daha pahalıdır. Daha az yaygın olsa da, malzemenin esnekliği nedeniyle lens stabilitesi veya merkezlemesiyle ilgili sorunlar olabilir ve bu da uygun yerleştirmeyi sağlamak için dikkatli cerrahi teknik gerektirebilir. Yüksek su içeriği, GİL'in şekil tasarımını sınırlayabilir ve bu da belirli hasta ihtiyaçları için seçenekleri sınırlayabilir. Ayrıca GİL'in gözeneklerinde kalsiyum gibi elektrolitlerin birikmesi, 'psödo fakik katarakt' olarak adlandırılan lens opaklaşmasına neden olabilir.¹²

2.3.2. Hidrofobik Akrilik Göziçi Lensler

Akrilik lensler nasıl günümüzde en çok kullanılan lens çeşidi ise, hidrofobik lensler de akrilik lensler içerisinde en çok kullanılan GİL'lerdir.¹⁹ Akrilat ve metakrilat kopolimerlerinden yapılmış olan bu lensler, kısmen sert olduklarından katlanmaya dirençlidirler. İlk nesil lensler implantasyon öncesi ısıtmak gerektirebiliyordu, ancak günümüzde oda sıcaklığı yeterlidir.

Bu tür GİL'ler yüksek kırılma indeksi (1,44–1,55) ile daha ince hale getirilebilirler⁵. Su içeriği çok düşük olup genellikle %1'den azdır (%1-4). Düşük su içeriği, zamanla lensin optik özelliklerinde minimum değişikliklere yol açar ve görme keskinliği açısından etkili olmaya devam eder. Hidrofobik akrilik GİL'ler ıslaklıktan kaynaklanan hasara daha az eğilimlidir, bu da uzun vadeli kararlılığın artmasına ve komplikasyon riskinin azalmasına yol açar. Düşük su içeriklerine rağmen, birçok hidrofobik akrilik lens katlanabilir

Göz İçi Lens Materyalleri

olacak şekilde tasarlanmıştır ve bu da ameliyat sırasında daha küçük kesi tekniklerine olanak tanır.²⁴

PMMA ve hidrofilik lenslere kıyasla AKK geliştirme riskleri daha düşüktür. Hidrofobik GİL'ler lens epitel hücrelerinin çoğalmasını azaltır, hidrofobik yapısından kaynaklı keskin kenarlı bir tasarım da uygulanabilmektedir; bu nedenle AKK oluşumu daha az görülür.²⁵

Hidrofilik akrilik lenslere kıyasla daha sert olabilirler, bu da implantasyon sırasında kullanılmalarını zorlaştırabilir. Gelişmiş üretim ve malzeme maliyetleri nedeniyle genellikle hidrofobik akrilik lenslerden daha pahalıdır. Hidrofobik lenslere kıyasla daha az esnekler ve farklı şekillere daha az kolay adapte olabilirler, bu da belirli cerrahi tekniklerde kullanılmalarını sınırlayabilir.²⁴

Bazı durumlarda, kenar tasarımı özellikle düşük ışık koşullarında artan parlamaya (glistening) veya hale etkilerine neden olabilir. Parlamamanın bir diğer sebebinin de hidrofobik polimerlerdeki ceplerde biriken sudan kaynaklı olduğu düşünülmektedir.²⁶ GİL modeli ve dioptrisi, su içeriğinin dengesi, kan-retina veya kan-su bariyerinin bozulması ve postoperatif inflamasyon gibi birçok faktör de parlamaya neden olabilir.²⁷

2.3.3. Hibrit Akrilik Lensler

Dengeli tuz çözeltisinde sunulan bu lenslerin katlanabilirliği HEMA ile artırılmıştır. PMDS GİL'lere göre daha biyouyumlu olan bu lensler aynı zamanda ekonomik olarak da uygundur. PMMA dan oluşan haptikleri vardır. Sulkus implantasyonu için de uygundur. Bu lensler hidrofobik ve hidrofilik akrilik polimerlerin bir kombinasyonundan yapılmıştır. Kırılma indeksi, genellikle 1,45 ila 1,55 arasındadır. Su içeriği, belirli hibrit formülasyonuna bağlı olarak %1 ila %25 arasında değişir. Dolayısıyla oldukça incedirler. Hem hidrofobik hem de hidrofobik akriliklerin faydalarını birleştirerek esneklik ve stabilite arasında iyi bir denge sunar. Genellikle görsel performansı artırmak ve parlamayı veya haleleri azaltmak için tasarlanmıştır. Hibrit malzeme, tamamen hidrofobik veya hidrofobik lenslere kıyasla göz dokularıyla gelişmiş entegrasyon sağlayabilir. Birçok hibrit IOL esnekliğini korur ve daha küçük kesiler yoluyla daha kolay implantasyona olanak tanır. Hibrit akrilik IOL'ler, karmaşık üretim süreci ve kullanılan malzemeler nedeniyle daha pahalı olabilir. Malzemenin ikili yapısı, tek malzemeli IOL'lere kıyasla kullanım ve implantasyonda zorluklar yaratabilir. Hidrofobik veya hidrofobik IOL'lere kıyasla daha az seçenek mevcut olabilir ve bu da belirli hasta ihtiyaçları için seçenekleri sınırlayabilir. Malzemelerin kombinasyonu, eksik entegrasyon veya lensin stabilitesiyle ilgili sorunlar gibi riskler ortaya çıkarabilir. Hibrit akrilik IOL'ler, hem hidrofobik hem de hidrofobik malzemelerin güçlü yönlerinden

yararlanmayı amaçlar, ancak maliyetleri ve kullanım karmaşıklıkları seçimlerinde dikkate alınması gereken hususlar olabilir.²⁸

Memory lens denilen bir hibrit akrilik lens çeşidi de düşük sıcaklıklarda (25° C altı) katlı halde bulunur ve implantasyonu için ek cerrahi alet gerekmez. Ancak sıcak iklimlerde bu durum cerrahi açısından sorun oluşturabilmektedir.²⁸

3. Çok odaklı Lensler

Dr. Kenneth J. Hoffer, 1982'de multifokal göz içi lens fikrini geliştirmiş ve split şeklinde iki zonlu göz içi lensleri üretmiştir. Ancak ilk multifokal lens implantasyonu 1980lerin sonunda Dr. John Pierce tarafından yapılmıştır ve aslında iki odaklı olduğu için bifokal lens tanımını hak etmektedir. Bu lens PMMA yapısında olup hafif alt yarıda mermi (bull's eye) şeklinde bir görünümü mevcuttur.²⁹ Zamanla katlanabilir lensler olarak üçgen şeklinde ve çoklu halka olacak şekillerde de tasarlanışlardır. Daha sonraları ise hem yakın (kitap/gazete okuma mesafesi), hem orta (bilgisayar ekranı, araba gösterge mesafesi vb) ve uzak mesafeleri gösteren trifokal mercek geliştirilmiş ancak son teknolojiye rağmen hastalarda parlama şikayetlerinin fazla olması üzerine "Genişletilmiş Odak Derinliği" (Extended Depth of Focus - EDOF) olarak tanımlanan lensler üretilmiştir. Uzak ve orta mesafeyi gösteren bu lensler yakın okuma için bazı hastalarda gözlük ihtiyacı doğurabilmektedir.²⁹

3.1. Multifokal Göz İçi Lensler

Difraksiyon ve refraksiyon gibi iki temel optik prensip üzerine oturtulmuştur. Refraksiyon ve Difraksiyon fenomenleri, ışığın ve diğer dalgaların nasıl davrandığını anlamamızda kritik rol oynar ve çeşitli optik cihazların, göz içi merceklerin ve günlük yaşamımızdaki birçok görsel olayın açıklanmasına yardımcı olur.

Difraksiyon (Kırınım), ışık dalgalarının engellerin etrafından veya küçük açıklıklardan bükülmesi ve yayılmasıdır. Işık, dalga boyuyla karşılaştırılabilir büyüklükte bir kenar veya yarıyla karşılaştığında meydana gelir. Işığın küçük bir delikten geçerken yayılması veya ses dalgalarının bir kapının arkasına ulaşabilmesi difraksiyon örnekleridir. Işık kapının kenarına çarptığında kapı aralığından baktığımızda gördüğümüz dalgalı-gölgeli ışık difraksiyonun günlük yaşamımızda en sık karşılaştığımız formudur diyebiliriz.

Refraksiyon (Kırılma), ışığın farklı bir kırılma indisine sahip bir ortamdan diğerine geçerken hızının değişmesiyle birlikte yön değiştirmesi ve bükülmesidir. Farklı ortamlar arasında geçiş sırasında oluşur. Bir kalemin, su dolu bir bardakta kırık gibi

görünmesi ya da bir havuzun daha sığ görünmesi, ışığın sudan havaya geçerken kırılması (refraksiyon) nedeniyle meydana gelir.³⁰

3.1.2. Refraktif Multifokal Göz İçi Lensler

Refraktif multifokal GİL'ler, her biri farklı bir refraktif güce sahip, çeşitli mesafelerde (yakın, orta ve uzak) net görüş sağlamak için birden fazla eş merkezli halka veya bölge ile tasarlanmıştır. Retinadaki farklı odak noktalarına ışığı yönlendirmek için refraksiyonu kullanır ve birden fazla mesafede (yakın, orta ve uzak) net görüş sağlar. Refraktif multifokal lensler ışığın %50'sini uzak, %37'sini yakın geri kalanı ara mesafe için kullanmaktadır. Multizonal olanları ise 5 ayrı bölgeye ayrılmış 1, 3, ve 5. zonlar uzak görme için tasarlanmış iken diğer iki zon yakın mesafe için uyarlanmıştır. Gece görüşü ve parlama ile ilgili olası sorunlara yol açan kontrast hassasiyetinde azalmaya neden olabilir. Bazı hastalar, özellikle düşük ışık koşullarında, ışıkların etrafında haleler, parlama veya yıldız patlamaları yaşayabilir. Beyin çok odaklı görüşe uyum sağladıkça ve farklı odak noktalarından gelen görüntüleri birleştirdikçe bir uyum süresi olabilir.³¹

3.1.3. Difraktif Multifokal Göz İçi Lensler

Difraktif multifokal GİL'ler, gelen ışığı yakın, orta ve uzak görüş için farklı yollara bölen lens yüzeyinde prizmalar bulundurarak birden fazla odak noktası oluşturmak için difraksiyon kullanır. Konsantrik prizmalar sayesinde lens üzerinde Huyges-Fresnel prensibi uygulanmaktadır. Bu prensip ışığı dalga formasyonunda kabul ettiğinden ışığın çarptığı engellerin ışığın amplitüdünü değiştirebildiğini ifade eder. Difraktif multifokal GİL'ler üzerine yerleştirilen prizmaların amacı da bu fenomenden faydalanmaktır. Işık dalgaları farklı odaklarda kesişeceğinden yakın, orta ve uzak aralıklarda görüntü oluşturacaklardır. Burada amaç MTF'yi arttırmaktır. Dolayısıyla kontrast kaybını minimize indirmek amaçlanır.

Difraktif tasarımlar kontrast hassasiyetinde azalmaya neden olabilir ve bu da düşük ışık koşullarında potansiyel zorluklara ve görme keskinliğinin azalmasına yol açabilir. Bu tip lenslerin implantasyonundan sonra hastalar, özellikle geceleri glare ve halo gibi görsel şikayetlerle karşılaşabilirler. Bu duruma *fofik fenomen* denir. Bu şikayetleri azaltmak için düşük doz pilokarpin veya brimonidin tartrat gibi ilaçlar kullanılabilir, ayrıca astigmatizmanın şikayetleri artırabileceği ve polarize kontakt lenslerin fofik fenomeni düzeltebileceği belirtilmektedir.³²

4. Akomodatif Göz İçi Lensler

Gözün, farklı mesafelerdeki nesnelere odaklanmak için lensin şeklini değiştirme yeteneğidir. Yaşlandıkça, veya katarakt cerrahisi sonrası GİL

implantasyonu ile bu yetenek kaybolur. Akomodatif lensler, göz içindeki doğal kasların hareketlerine yanıt vererek hafifçe ileri geri hareket edebilir veya şeklini değiştirebilir. Böylece, farklı mesafelerde net bir görüş sağlar. Geleneksel göz içi lenslerin aksine, akomodatif lensler, gözün odaklanma yeteneğini geri kazandırmayı hedefler. Amaç siliyer kasın baskısıyla göz içinde hareket ederek uzak, orta ve yakın görüş sağlamaktır. Bu teknoloji, yaşlı bireylerdeki siliyer kasın düzgün çalıştığı varsayımı üzerine kurulmuştur. Doğal akomodasyon sürecini taklit ederek potansiyel olarak daha kusursuz bir görsel deneyim sağlar iken multifokal GİL'lere kıyasla daha iyi ara mesafe görüşü sağlar. Akomodatif lensler, multifokal GİL'lere kadar geniş bir görüş aralığı sağlamayabilir ve etkinlik hastalar arasında değişebilir. Bazı hastalar multifokal GİL'lere kıyasla daha az etkili yakın görme yaşayabilir. Akomodasyonun etkinliği, gözün hareket etme ve odak ayarlama yeteneğine bağlı olabilir ve bu bazı durumlarda daha az güvenilir olabilir. Yanı sıra akomodatif GİL'ler gelişmiş tasarımları ve teknolojileri nedeniyle daha pahalı olabilir.¹⁷

5. Göz İçine Enjekte Edilebilen GİL'ler

Enjeksiyon yoluyla uygulanabilen GİL için kullanılan sıvı materyallerin, cerrahi işlem sırasında sıvı halde olup sonradan katı hale gelmesi veya sıvı halde kalması amaçlanmaktadır. Bu lenslerin temel gereksinimleri arasında biyoyumluluk, toksik olmama, şeffaflık ve yeterli kırılma gücü bulunur, ancak mevcut sertleştirme yöntemleri (ışık, ısı, enzimatik reaksiyonlar) göz dokusuna zarar verebilir.³³

Silikon ve hidrojel gibi sıvı materyaller ve bunların sertleştirme yöntemleri üzerine çalışmalar yapılmıştır.³⁴ Işık, ısı ve enzimatik reaksiyonlar gibi sertleştirme yöntemleri geliştirilmiş, ancak bu yöntemlerin uygun olmayan dış uyaranlar göz dokusuna zarar verebilmektedir. Örneğin, polimerlerin ultraviyole ışık altında fotopolimerizasyonu sırasında ısı açığa çıkması, gözde termal yaralanma riskini artırabilir. Bunun yanı sıra, bazı materyaller biyolojik olarak toksik olabilir veya zamanla şeffaflıklarını yitirebilir.¹²

5. Ayarlanabilir Materyalli Lensler

GİL implantasyonu sonrası rezidü kırma kusuru, katarakt ameliyatı sonrası yaygın bir sorundur. Bu sorunun çözümü için ayarlanabilir GİL'ler tasarlanmıştır ve Calhoun Vision, Inc. tarafından üretilen ışıkla ayarlanabilir lens (Light Adjustable Lens - LAL) bu amaçla kullanıma sunulmuştur.³⁵ Bu lensler, ultraviyole ışığa maruz kaldığında makromoleküllerin polimerleşmesi ile refraktif

Göz İçi Lens Materyalleri

gücünü değiştirebilir. Ancak, bu işlemin gözün ultraviyole ışığa maruz kalmasını gerektirmesi retina üzerindeki olumsuz etkiler nedeniyle endişe yaratmaktadır.¹²

LAL, silikon bazlı olarak sentezlenmiş ve ultraviyole ışıktan etkilenen makromoleküller içermektedir. Ultraviyole ışığa maruz kaldığında, makromoleküller polimerleşir ve bu süreç, lensin şekli ve kırılma gücünde değişikliğe yol açar. Hastaya cerrahiden 2-3 hafta sonra GİL'e 365 nm ultraviyole (UV) ışın uygulanır. Bu işlemde sonra bir kontrol daha yapılarak yaklaşık 1 dk 'lık bir UV ışını ile GİL refraktif olarak stabilize edilir. Bu süreçte hastadan UV engelleyici gözlük takması istenir. Bu lenslerin 2D ye kadar kırma kusurlarını düzeltbildiği yayınlarda belirtilmiştir.³⁶

Rezidü kırma kusurlarını önleyecek 'silikon-kumarin polimer bazlı GİL' tasarımına sahip GİL'ler de mevcuttur. Bu lens türü ile 2.5D ayarlama aralığı mevcuttur. Bu lensin optimizasyonu ile hastanın gözlerini ışıktan özel olarak koruması gerekmektedir.^{37,38}

Sonuç

Sonuç olarak, GİL'ler katarakt cerrahisinde hastaların görme kalitesini artırmak ve yaşam konforunu iyileştirmek için kritik bir öneme sahiptir. GİL'lerin yapımında kullanılan materyallerin gelişimi, optik performansın iyileştirilmesi ve cerrahi prosedürlerin daha güvenli hale getirilmesi amacıyla sürekli olarak ilerlemektedir. Günümüzde farklı GİL tipleri, hastaların bireysel ihtiyaçlarına yönelik çözümler sunmakta ve özellikle multifokal, akomodatif ve ayarlanabilir lensler, farklı mesafelerde net görme sağlamayı hedeflemektedir. Bu gelişmeler, göz cerrahisinin geleceğinde hastaların yaşam kalitesini artıracak önemli adımlar olarak değerlendirilmektedir.

Ancak, her yeni teknolojinin beraberinde getirdiği potansiyel risklerin ve komplikasyonların da dikkate alınması gerektiği unutulmamalıdır. GİL'lerin klinik kullanımındaki bu hızlı ilerlemeler, hem cerrahlar hem de hastalar için umut verici gelişmeler sunmaktadır.

Etik Kurul Onay Bilgisi:

Derleme türü makale olduğundan etik kurul onayı gerekli değildir.

Araştırmacı Katkı Beyanı:

Fikir ve tasarım: M.Ç.; Veri toplama ve işleme: M.E.; Analiz ve verilerin yorumlanması: M.Ç.; Makalenin önemli bölümlerinin yazılması: M.E., M.Ç.

Destek ve Teşekkür Beyanı:

Bu çalışmada finansal destek kullanılmamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı:

Makale yazarlarının çıkar çatışması beyanı yoktur.

Kaynaklar

1. <https://www.emro.who.int/health-topics/cataract/>.
2. Steinmetz JD, Bourne RR, Briant PS, Flaxman SR, Taylor HR, Jonas JB, Abdoli AA, Abrha WA, Abualhasan A, Abu-Gharbieh EG AT. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet Global Health*. 2021;9(2):e144-.
3. Ridley H. Intraocular acrylic lenses: a recent development in the surgery of cataract. *The British journal of ophthalmology*. 1952;36(3):113.
4. AKINGÖL Z, ŞENCAN S. Multifokal göz içi lenslerinin tarihçesi. *Türkiye Klin Ophthalmol Top*. 2019;12(1):1-5.
5. Čanović S, Konjevoda S, Pavičić AD SR. Intraocular Lens (IOL) Materials. In *Intraocular Lens 2019 20*. IntechOpen.
6. O'dwyer PA, YA A. Temel göz hastalıkları. Baskı Ankara Güneş Tıp Kitabevleri. 2015;677-85.
7. Dick HB GR. Future intraocular lens technologies. *Ophthalmology*. 2021;128(11):e206-13.
8. Tripti D, Haldar RS, Geetha S, Niyogi UK KR. Materials for intraocular lenses (IOLs): Review of developments to achieve biocompatibility. *e-Polymers*. 2009;9(1):124.
9. Özyol P, Özyol E KF. Biocompatibility of intraocular lenses. *Turkish journal of ophthalmology*. 2017;47(4):221.
10. Topete A, Saramago B SA. Intraocular lenses as drug delivery devices. *International journal of pharmaceuticals*. 2021;602:120613.
11. Downes SM. Ultraviolet or blue-filtering intraocular lenses: what is the evidence?. *Eye*. 2016;30(2):215-21.
12. Luo C, Wang H, Chen X, Xu J, Yin H YK. Recent advances of intraocular lens materials and surface modification in cataract surgery. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2022;10:913383.
13. Wang R, Xia J, Tang J et al. Surface Modification of Intraocular Lens with Hydrophilic Poly(Sulfobetaine Methacrylate) Brush for Posterior Capsular Opacification Prevention. *J Ocul Pharmacol Ther*. 2021;37(2):172-180.
14. Zhao H MM. The effect of chromatic dispersion on pseudophakic optical performance. *Br J Ophthalmol*. 2007;91(9):1225-1229.
15. Schuster AK, Tesarz J VU. The Impact on Vision of Aspheric to Spherical Monofocal Intraocular Lenses in Cataract Surgery: A Systematic Review with Meta-analysis. *Ophthalmology*. 2013;120(11):2166-2175.
16. Kapoor S GS. Basic science of intraocular lens materials. *Intraocular Lens*. 2020.18:3.
17. S. A. Newer intraocular lens materials and design. *Journal of Clinical Ophthalmology and Research*. 2013;1(2):113-7.
18. Xu J, Zhu W, Jiang L, Xu J, Zhang Y CY. Carbazole-grafted silicone hydrogel with a high refractive index for intraocular lens. *RSC advances*. 2015;5(89):72736-44.
19. Werner L. Intraocular lenses: overview of designs, materials, and pathophysiologic features. *Ophthalmology*. 2021;128(11):e74-93.
20. Olson RJ, Mamalis N, Werner L AD. Cataract treatment in the beginning of the 21st century. *American journal of ophthalmology*. 2003;136(1):146-54.
21. Miyata A YS. Equilibrium water content and glistenings in acrylic intraocular lenses. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2004;30(8):1768-72.
22. Kohnen T KO. Intraocular lenses for microincisional cataract surgery. *Der Ophthalmologe*. 2010;107:127-35.

23. Abela-Formanek C, Amon M, Kahraman G, Schauersberger J DR. Biocompatibility of hydrophilic acrylic, hydrophobic acrylic, and silicone intraocular lenses in eyes with uveitis having cataract surgery: Long-term follow-up. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2011;37(1):104-12.
24. Werner L, Thatthamla I, Ong M et al. Evaluation of clarity characteristics in a new hydrophobic acrylic IOL in comparison to commercially available IOLs. *J Cataract Refract Surg*. 2019;45(10):1490e1497.
25. Nibourg LM, Gelens E, Kuijjer R, Hooymans JM, van Kooten TG KS. Prevention of posterior capsular opacification. *Experimental eye research*. 2015;136:100-15.
26. Tetz M JM. New hydrophobic IOL materials and understanding the science of glistening. *Current eye research*. 2015;40(10):969-81.
27. Fernández-Vigo JI, González-Peramato MS, Gómez-de-Liaño CN, Sánchez-Guillén I, Fernández-Vigo JÁ M-MA. Glistening on intraocular lenses: A review. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología (English Edition)*. 2023.
28. Karel F, Turaçlı E, Arslanpençe A, Atilla H DS. Fakoemülsifikasyon ve Memory Lens Uygulamalarımız. *Türkiye Klinikleri Journal of Ophthalmology*. 1999;8(1):52-5.
29. Hoffer KJ SG. Multifocal intraocular lenses: historical perspective. In: *Multifocal Intraocular Lenses: The Art and the Practice*. Cham: Springer; 2019:9-30.
30. Xu X, Zhu MM ZH. Refractive versus diffractive multifocal intraocular lenses in cataract surgery: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Refract Surg*. 2014;30(9):634-644.
31. Artigas JM, Menezo JL, Peris C, Felipe A D-LM. Image quality with multifocal intraocular lenses and the effect of pupil size: comparison of refractive and hybrid refractive-diffractive designs. *J Cataract Refract Surg*. 2007;33(12):2111-2117.
32. Doroodgar F, Niazi F, Sanginabadi A et al. Visual performance of four types of diffractive multifocal intraocular lenses and a review of articles. *Int J Ophthalmol*. 2021;14(3):356-365.
33. Karayilan, M., Clamen, L., and Becker ML. Polymeric Materials for Eye Surface and Intraocular Applications. *Biomacromolecules*. 2021; 22, 223–261.
34. Koopmans SA, Terwee T, Barkhof J, Haitjema HJ KA. Polymer refilling of presbyopic human lenses in vitro restores the ability to undergo accommodative changes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2003;44(1):250-257.
35. Chang DF. Disruptive Innovation and Refractive IOLs: How the Game Will Change with Adjustable IOLs. *Asia-Pacific J Ophthalmol*. 2019;8(6):432-435.
36. Villegas EA, Alcon E, Rubio E, Marin JM AP. Refractive Accuracy with Light-Adjustable Intraocular Lenses. *J Cataract Refract Surg*. 2014;40(6):1075-1084.e2.
37. Schraub M HN. Smart Polymers Containing Substituted Coumarin Side Groups Enable Photo-Induced Tuning of Focal Length of Intraocular Lenses. *Ophthalmic Technol*. 2011;21(7885):78851Z.
38. Jellali R, Bertrand V, Alexandre M et al. Photoreversibility and Biocompatibility of Polydimethylsiloxane-Coumarin as Adjustable Intraocular Lens Material. *Macromol Biosci*. 2017;17(5).