

Kornea Endoteli ve Fakoemülsifikasyon Cerrahisi

Corneal Endothelium and Phacoemulsification Surgery

Ekrem Kadioğlu, Şaban Gönül

Konya Beyhekim Devlet Hastanesi, Göz Hastalıkları Kliniği, Konya

Özet

Fakoemülsifikasyon (FAKO) cerrahisi göz hekimleri tarafından en sık uygulanan cerrahi girişimdir. Günümüzde tüm gelişmelere rağmen FAKO cerrahisinin kornea endotel tabakasında yaptığı hasar önemini korumaktadır. Endotel tabakasının speküler mikroskopik analizi kataraktlı olgularda cerrahiye karar verme aşamasında büyük bir değere sahiptir. Ayrıca endotel hücrelerinin FAKO cerrahisine verdiği cevap speküler mikroskopik analiz teknikleri ile değerlendirilebilir. Güncel FAKO cerrahisinde endotel koruyucu cerrahi tekniklerle endotel hasarı en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Bu sayede endotel hücre rezervi fizyolojik eşik değerinin altına düşmemekte ve postoperatif kornea ödemi de geride kalan sağlıklı hücrelerin telafisi ile kısa sürede toparlanmaktadır. Ancak yaşlanma süreciyle devam eden endotel hücre kaybı, korneanın ileri yaşlarda dekompanse olmasına neden olabilir. Bu nedenle FAKO cerrahisinin her aşamasında endotel hücre kaybı asgari düzeyde tutulmalıdır. Bu yazı kornea endotel tabakası ve speküler mikroskopi analizini incelemek, FAKO cerrahisinin kornea endoteline etkisini değerlendirmek amacıyla taşınmaktadır.

Anahtar kelimeler: Kornea, endotel, speküler mikroskop, fakoemülsifikasyon

Abstract

Phacoemulsification (phaco) surgery is the most commonly surgical intervention performed by ophthalmologists. The injury of corneal endothelial layer with phaco surgery is still important despite recent developments. The specular microscopy analysis of endothelial layer is very important in the preoperative evaluation of the patients with cataract. In addition, the influence of endothelial cell to phaco surgery may be evaluated with specular microscopic analysis techniques. Current phaco surgery is aimed to minimize endothelial damage by endothelial protective surgical techniques. Thus, endothelial cell count does not decrease under the physiological threshold level, and postoperative corneal edema improves with the compensation of residual cells in a short time. However, endothelial cell loss during aging may cause corneal decompensation at advanced age. Therefore, endothelial cell loss should be minimized at each step of phaco surgery. This article aims to review the analysis of corneal endothelial layer and specular microscopy and to evaluate the effect of phaco surgery on corneal endothelium.

Key words: Cornea, endothelium, specular microscope, phacoemulsification

GİRİŞ

Endotel tabakası descemet membranı üzerine yerleşmiş tek katlı, altıgen hücrelerden oluşan ve kornea saydamlığının sağlanmasında hayati öneme sahip olan bir katmandır. Bu tabakanın bal peteği görünümü hücre konfigürasyonuna sahip olması, geometrik ve termodinamik açıdan en stabil ve yüzey gerilimi en düşük hücresel mimariyi sağlar (1,2). Kornea endotel hücreleri biçiminde değişkenliğin artması "pleomorfizm" olarak adlandırılır. Yapılan çalışmalar özellikle 50 yaş sonrası ortalama endotel hücre sayısının azaldığını ve pleomorfizmin arttığını göstermiştir (3,4). İkinci ve sekizinci dekadlar arasında endotel hücre yoğunluğu ortalama 3000–4000 hücre/mm²'den 2600 hücre/mm² düzeyine düşer. Altıgen hücre yüzdesi de %75'den %60 civarına iner (5). Ayrıca travma, gözüci cerrahiler, implantasyonlar ve kronik üveit gibi enflamasyonlar, akut dar açılı glokom atakları, laser uygulamaları endotele zarar vererek hücre sayısını yaşa göre normal sınırların da altına çekebilir (5). Endotel hücrelerinin başlıca aközden stromaya geçişi engelleyen bariyer olma, normal kornea hidrasyonunu sağlayan aktif pompalama, aközden partiküllerin veziküller halinde taşınmasını sağlayan pinositoz, endotelial stres durumunda arka kollajen tabaka oluşturma görevleri de vardır (6,7).

Yazışma Adresi: Şaban Gönül, Konya Beyhekim Devlet Hastanesi Göz Hastalıkları Kliniği, Konya
e-posta: drsabangonul@gmail.com
Geliş Tarihi: 14.03.2011 Yayına Kabul Tarihi: 30.03.2011

Korneal Saydamlık ve endotel tabakası

Endotel-aköz bariyeri tam sızdırmaz bir yapıya sahip değildir. Bu sayede küçük moleküllerin korneanın derinlerine ilerlemesine dolayısıyla korneanın metabolik ihtiyaçlarının karşılanmasına olanak sağlar. Yani endotelial bariyerin sıvı sızdırması bir gerekliliktir. Endotelden giren sıvı ise endotel pompasıyla geri taşınmakta böylece stroma su seviyesi sabit tutulmaktadır. Endotel hücrelerinde bulunan Na⁺,K⁺-ATPaz pompası ve karbonik anhidraz enzimi ile sağlanan aköz-korneal stroma osmolarite farkı korneal hücrelerden ön kamaraya pasif sıvı akışını sağlar. Korneal hidrasyonda endotel tabakası bariyer ve pompa görevi ile önemli roller üstlenir. Bu sayede oluşan uygun hidrasyonla, kornea lamellerinin birbirine çok yakın ve paralel olan seyri muhafaza edilerek ışığın dağılması engellenir (2,6).

Endotelde travmayla birlikte gözlenen değişiklikler

Endotel hücrelerinin mitoz kabiliyeti çok az orandadır veya yoktur. Endotelin bir bölgesinde oluşan küçük bir travma sonrasında hücre sayısı azaldığında, mitoz kabiliyeti olmayan komşu endotel hücrelerinin büyüklükleri ve şekilleri değişerek boşluğu doldurmaya çalışırlar (8). Ayrıca büyük yaralanmalarda bu bölgeye diğer komşu hücreler de göç ederek hücreden yoksun bölgeler doldurulur. Bu esnada

altıgen şekil bozularak daha büyük alana sahip ve başka geometrik şekillerde hücreler oluşur. Sonuç olarak oluşan küçüküklü büyüklü hücre görünümüne "polimegatizm" ve değişik geometrik şekilli hücrelerin artıp altıgen hücre oranının azalmasına "pleomorfizm" denmektedir. Bu iki parametre sağlıklı hücre rezervini belirlemede endotel hücre yoğunluğu ile birlikte değerlendirilmelidir (1,2,8). Zira düzgün ve homojen altıgen hücrelerin oluşturduğu yapı, geometrik ve termodinamik açıdan en stabil şekildir. Aksi olduğu takdirde endotel bariyerinin direnci azalacaktır (1,2). Hasar bölgesinin kapatılması tamamlandıktan sonra endotel hücreleri yeniden yapılanma sürecine girerler. Yeniden yapılanma esnasında heksagonalitenin tekrar kazanılması ve polimegatizmin azaltılması hedeflenir. Hasarın büyüklüğü ile orantılı olarak hücre yoğunluğundaki azalma ise kalıcıdır (4,9).

Speküler Mikroskop

Speküler mikroskop kornea endotelinin görüntülenmesi ve morfolojik analizi için kullanılan bir tanı cihazıdır. Speküler mikroskop ile kornea dokusu yüzeyine yarı ışık düşürülüp yansıyan ışık bir film düzlemi üzerine toplanarak dokunun görüntüsü sağlanır. Endotel hücrelerinden geri yansıyan ışık ışınları aydınlık bir görüntü oluştururken, hücreler arası sınırlara düşen ışınlar aletten kolektör optiklerine geri yansımadiğinden karanlık görünmektedir (10).

Speküler mikroskopinin kantitatif morfometrik analizi

Kantitatif analizin amacı speküler fotomikrografta endotel durumu hakkında bilgi veren sayısal bir değerlendirme yapmaktır. Speküler mikroskopi ile alınan görüntülerin kantitatif analizi hücre yoğunluğu, hücre şekil ve boyut varyasyon yüzdesi gibi sayısal değerlerin elde edilmesini sağlar (10). Kantitatif morfometrik analiz tek başına hücre yoğunluğunun ölçümü ile anlaşılamayan endotel hücre fonksiyon kayıplarının daha hassas değerlendirilmesini sağlamaktadır. Morfometrik analizin daha duyarlı olduğu şu şekilde açıklanabilir. Örneğin 100 hücre arasından 1 hücre kaybı olduğunda ortalama hücre alanı ve hücre yoğunluğu istatistiksel olarak anlamsız olarak sadece %1 değişecektir. Ancak aynı durumda en az 2 (%2) ve en fazla 6 (%6) hücrenin uzayarak, kayarak veya birleşerek bu hasarı kapatmaya çalışmasıyla, hücre morfolojisi verilerinde daha belirgin değişimler oluşacaktır (10,11).

Speküler mikroskopinin kantitatif verileri (10,11) (Resim 1)

- 1-Sayılan hücre: Değerlendirme çerçevesinin içinde sayılan hücre sayısı.
- 2-Toplam alan: Kullanılan çerçevenin içinde kalan toplam alan (μm^2).
- 3-En büyük hücrenin alanı (MAX): Değerlendirme çerçevesindeki hücrelerden en büyüğünün alanı (μm^2).
- 4-En küçük hücrenin alanı (MIN): Değerlendirme çerçevesindeki hücrelerden en küçüküğünün alanı (μm^2).
- 5-Ortalama hücre alanı (AVE): İncelenen alanın o alandaki hücre sayısına bölünmesi ile elde edilir. Normalde erişkindeki değeri 150–350 μm^2 'dir.
- 6-Standart sapma (SD): Hücre alanı ortalamasının standart sapmasıdır.
- 7-Varyasyon (değişkenlik) katsayısı (CV): Hücre alanları arasındaki değişkenliği gösteren polimegatizmin objektif bir ölçütüdür. Bir endotel bölgesindeki hücre alanlarının standart sapmasının, ortalama hücre alanına oranıdır. Normalde 0,30 (%30)'un altında olmalıdır. (CV: $\text{SD}/\text{AVE} \times 100$).
- 8-Heksagonalite (HKZ): Heksagonal hücrelerin diğer farklı geometrik şekilli hücrelere oranıdır. İdeali bu oranın %100 olmasıdır. Sağlıklı endotel katmanında bu oran % 60-70 aralığındadır.
- 9-Hücre yoğunluğu (CD): 1 mm^2 'ye düşen hücre sayısıdır. Normal değeri erişkinde ortalama 2400 hücre/ mm^2 'dir.

Speküler mikroskopinin katarakt cerrahisinde kullanımı



Resim 1. Speküler mikrograf ve kantitatif verileri

Katarakt cerrahisinde speküler mikroskopi özellikle daha önce göziçi cerrahi geçirmiş ve bilinen endotel distrofisi bulunan hastalarda, kornea endotel rezervinin belirlenerek cerrahinin planlanmasında kullanılmaktadır. Genel olarak aşağıdaki parametrelerin varlığı korneanın göziçi cerrahiye tolere edemeyeceğini gösterir (11).

- 1-Düşük hücre yoğunluğu: Özellikle 1000 hücre/ mm^2 den az olması.
- 2-Yüksek polimegatizm: Varyasyon katsayısının (CV) 0,40'dan büyük olması.
- 3-Yüksek pleomorfizm: Altıgen biçiminde olan hücrelerin oranının %50'den az olması.

Speküler mikroskopi endotelial distrofi şüphesi olan hastalarda operasyon öncesinde tanının konması, dolayısıyla dekompanasyon riski olan korneaların preoperatif bilinmesi açısından da klinisyene yardımcı olabilir. Biyomikroskopide kornea guttata, keratik presipitatlar, pigmente ve inflamatuvar hücreler, endotel veya descemet zarı düzensizlikleri, artmış kornea kalınlığının görülmesi göziçi cerrahi öncesi speküler mikroskopi incelemesini gerektirir (10,11).

Fakoemülsifikasyon Cerrahisi ve Endotel Hücre Hasarı

Katarakt cerrahisinin gelişim sürecinde yeni bir cerrahi tekniğin bulunmasının ardından bu tekniğin kornea endotelini üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu etki fakoemülsifikasyon (FAKO) cerrahisinin ilk kullanıldığı zamanlarda cerrahinin uygulanabilir olmasının aleyhine işleme de zaman içinde cihazlardaki ve tekniklerdeki büyük gelişmelerle makul düzeylere düşürülmüştür (12). Katarakt ameliyatı ile endotelin travmatik strese uğradığı, bunun sonucu olarak endotel hücre yoğunluğunun azaldığı ve hücrelerde morfolojik değişimlerin görüldüğü bilinmektedir. Bourne ve ark. (13) yaptıkları bir çalışmada, ekstrakapsüler katarakt ekstraksiyonu yapılan olgularda bu azalmanın ameliyattan on yıl sonra dahi yıllık ortalama %2,5 düzeylerinde seyrettiğini bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada ise postoperatif endotel hücre onarımının 12. aydan sonra ilave hücre kaybına neden olmadan tamamlandığı bildirilmiştir (14). Endotel hücre kaybının operasyondan sonra devam ettiği düşünüldüğünde, ameliyat esnasında oluşan hücre kaybının sonraki dönemlerde endotel yetmezliği riskini belirleyen faktörlerin başında olduğu söylenebilir. Fakoemülsifikasyon cerrahisinin endotel hasarı oluşturma mekanizmaları

- 1-Termal hasar: Ultrasonik emülsifikasyonda FAKO tipinin yüksek titreşiminden ve irrigasyon kılıfına sürtünmesinden açığa çıkan ısı enerjisi soğutulmadığında korneada doğrudan termal hasara neden olur (15).

FAKO süresinin uzaması, ön kamaradaki viskoelastiğin ultrasonik güç uygulanmadan önce yetersiz temizlenmesi, FAKO probunun kesiyeye uygun olmayan düzlemde tutulması veya kesinin küçük olmasından kaynaklanan irrigasyon yetersizliği, oklüzyon sırasında fako enerjisinin uzun süreli kullanımı termal hasarın önemli nedenleri olarak sayılabilir (15).

2-Mikro hava kabarcıklarının oluşturduğu hasar: Ultrasonik emülsifikasyon esnasında irrigasyon sıvısında oluşan mikro hava kabarcıkları endotel yüzeyinde birikip, yüzey gerilimini artırarak doğrudan endotel hasarına yol açabilirler (16).

3-Hidroksil radikallerinin oluşturduğu hasar: Kavitasyon etkisiyle irrigasyon solüsyonlarında oluşan hidroksil radikallerinin apoptozisin uyarılmasına, hücre içi organellerin yıkımına ve DNA zinciri kırılmalarına yol açarak endotel hücre kaybına neden olduğu ileri sürülmüştür (17). Bu hasar mekanizması göze alınarak yapılan çalışmalarda irrigasyon sıvılarına antioksidan eklenmesiyle endotel hücre kaybının daha az olabileceği savunulmuştur (17).

4-Mekanik travmanın oluşturduğu hasar: Cerrahi enstrümanların, lens parçacıklarının ve göz içi lenslerinin endotele teması veya korneal kesinin mekanik etkisiyle endotel hücre hasarı oluşabilir. Ayrıca irrigasyon solüsyonlarının oluşturduğu türbülansda mekanik etkiyle endotel hücre kaybına neden olabilir (18,19).

5-İrrigasyon solüsyonu nedeniyle oluşan hasar: İrrigasyon solüsyonları ön kamara derinliğinin sağlanmasını, lens bakiyelerinin ve toksik oluşumların temizlenmesini, sıcaklık artışının giderilmesini sağlayarak endotel hasarını azaltır. Yapılan çalışmalarda endotelin maruz bırakıldığı irrigasyon sıvı miktarı ve irrigasyon zamanından daha çok sıvının kimyasal yapısının hasarda etkili olduğu bulunmuştur. Özellikle bikarbonat, glutatyon ve adenozin molekülleri içeren solüsyonlar kullanıldığında daha iyi sonuçlar alınabileceği üzerinde durulmuştur (17,20). İrrigasyon solüsyonlarının sıcaklığının; pupil çapı, kornea endoteli ve korneal pakimetriye etkilerinin incelendiği bir çalışmada solüsyon sıcaklığının bu parametrelere belirgin etkisinin olmadığı bildirilmiştir (21).

Fakoemülsifikasyon cerrahisinde endotelde gözlenen kantitatif değişimler

Geçmişteki çalışmalar FAKO cerrahisi sırasında oluşan endotel hücre yoğunluğu kaybı yüzdesini (HYKY) muhtelif değerlerde vermektedir. Bourne ve ark. (22) bir yıl gözlemedikleri geniş serilerinde FAKO cerrahisi sonrasında HYKY'sini %16,1 olarak bildirmişlerdir. Beltrame ve ark. (23) ise farklı insizyonların HYKY'ne etkilerini araştırmış ve 3,5 mm saydam korneal insizyonla gerçekleştirilen operasyonlar için 3 aylık HYKY'ni %17,8 olarak bildirmişlerdir. Ayrıca literatürde %16 (24), %11,6 (25), %8,1 (26) gibi oranlar bildirilmiştir. Literatürün bu denli farklılık göstermesi endotel hasarının standardize edilemeyen birçok preoperatif, intraoperatif ve postoperatif faktöre bağlı olmasıyla açıklanabilir. Ayrıca speküler mikroskopinin hücre yoğunluğunu ± 5 standart sapma ile ölçtüğü de göz önünde bulundurulmalıdır. Endotelin kantitatif morfolojik analizi için speküler mikroskopi ile saptanan varyasyon katsayısı (CV), heksagonal hücre yüzdesi (HKZ) parametreleri kullanılmaktadır. FAKO cerrahisine bağlı olarak travmaya karşı çoğalma kabiliyeti olmayan endotel hücrelerinin verdiği yer kaplama ve migrasyon cevabıyla polimegatizm, polimorfizm ve ortalama hücre alanı artmaktadır (2,9). Yaptıkları çalışmayla Bourne ve ark. (22) katarakt ameliyatı olan hastaların postoperatif 1. hafta muayenelerinde HKZ'nin düşmesine rağmen CV değerinin değişmediğini, ancak iki parametrenin de 1. ay muayenesinde anlamlı şekilde yükseldiğini, 3. ayda preoperatif değerlerine döndüğünü yayınlamışlardır. Diaz ve ark. (27) da CV ve HKZ

değerlerinin postoperatif 3. ayda stabilize olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak CV ve HKZ değerlerinin zamanla stabilize olduğu söylenebilir. Ancak postoperatif endotelial hasarın değerlendirilmesinde erken dönemde hücresel yoğunluk kaybına ilave olarak kantitatif morfolojik analiz parametrelerinin de göz önünde bulundurulması gerektiği kanısındayız.

Endotel Koruyucu Cerrahi Enerji modülasyonları

Fakoemülsifikasyon cerrahisinde gereğinden fazla FAKO gücü kullanımı kornea endoteli başta olmak üzere çeşitli göz içi yapılara zarar verebilir. FAKO gücü yoğunluğunu; amplitüd (stroke), ultrasonik güç süresi ve ultrasonik enerjinin yayılımı belirlemektedir (28). Son zamanlarda geliştirilen cihazlarda ultrasonik güç süresinin düzenlenmesiyle farklı güç modülasyonları geliştirilerek enerjinin minimum kullanımı sağlanmıştır. Bu prensibe dayalı olarak günümüzde kullanılan ana modülasyonlar şunlardır (28,29,30).

1-Devamlı mod (continuous): Bu modda ultrasonik enerji devamlıdır. Herhangi bir dinlenme aralığı yoktur. Bu yüzden endotel koruyucu cerrahide en az tercih edilen modülasyon şeklidir.

2-Pulse mod: Ultrasonik enerji dalgalar (puls) şeklinde serbestleşir. Birim zaman aralığı ultrasonik gücün devrede olduğu ve olmadığı açık-kapalı zaman dilimlerine ayrılıp, bir çalışma siklusu oluşturulmuştur. Çalışma döngüsünde açık zaman dilimi oranı %50 olup değişmez (30).

3-Burst mod: Tekli burst ve multi burst şekilde uygulanan iki tip vardır. Tekli burst'te pedala basılıp son kademeye gelindiğinde gücü ve süresi belirlenmiş tek bir dalga oluşur. Tekrar oluşması için pedala bırakıp tekrar basmak gerekir. Multi burst programında ise tek değil ardışık FAKO darbeleri oluşur. Bu programda birbirinden bağımsız olarak "ultrason açık" ve "ultrason kapalı" zaman dilimleri ayarlanabilir. Ultrason kapalı zaman dilimi süresi ise pedala basıldııkça kısalmaktadır. Pedala tam basılı konuma gelindiğinde devamlı moda geçilmektedir (28-30).

Farklı cerrahi tekniklere ve tekniklerdeki aşamalara göre ayarlanacak ultrasonik enerji modülasyonları minimum güç ile maksimum parçalama ve emülsifikasyon sağlayacaktır. Ayrıca içerdikleri inaktif dinlenme süreleri ve sürtünmenin zaman dilimlerine bölünmüş olması endotel hasarını azaltacaktır (31). Bu enerji modülasyonlarının kullanılmasıyla, kılıfsız FAKO ucunun oluşturacağı termal hasarın öngörülebilir düzeyde tutulması, mikroinsizyonel katarakt cerrahisi için ilham kaynağı olmuştur (26).

FAKO tipi (elcik ucu)

Ultrasonik enerjinin yayılımında FAKO ucunun kesiti ve tasarımı önem taşır. Bu prensibe göre çeşitli FAKO uçları üretilmiştir. Kesiti 0° ile 45° arasında olan FAKO tip'leri bulunmaktadır. Kesim açısı arttıkça ultrasonik FAKO gücünün bu açı boyunca yayılması sağlanıp tıraşlama ve oyma yeteneği artar. Kesim açısı azaldığında ise oklüzyon ve nükleus parçalarının FAKO ucunda tutulması kolaylaşır. Daha küçük çaplı olan FAKO tip kullanımında ise ucun lümen çapı azalır temas halindeki nükleusun uçta tutulması zorlaşır, lens parçalarının daha küçük parçalara emülsifiye edilme mecburiyeti ortaya çıkar. Bu yüzden harcanan ortalama ultrasonik FAKO gücü daha fazla olabilmektedir (28,29). Deneysel bir çalışmada FAKO elcik ucu açıklık açısı pozisyonunun bağımsız olarak endotelin ultrasonik dalga yükünü değiştirmedeği bildirilmiştir (32).

Aspirasyon ve emme (suction) sistemleri

Doğrudan mekanik etki ve şok dalgaları kuvvetlerini dengeleyerek tipin ucundan uzaklaşan lens parçalarını uca yaklaştırır (28). Bu gücün iyi kullanılması, ultrasonik gücün daha az uygulanmasını ve endotelin korunmasını sağlayacaktır (28,29).

Cerrahi Teknikler

Yapılan çalışmalarda komplikasyonların azaltılması ve hızlı görsel iyileşme için, kullanılan toplam ultrasonik enerjinin azaltılmasının önemi üzerinde durulmuştur (33,31). Fakoemülsifikasyonun ilk yıllarında sert nükleusun emülsifiye edilmesi için yüksek enerjinin kullanıldığı tıraşlama uygulanması sonucunda belirgin endotel hasarı tespit edilmiştir (12,19). Bunun üzerine çeşitli uygulayıcılar tarafından, özellikle sert nükleusların emülsifiye edilmesinde, daha az enerjinin kullanıldığı nükleus kırma ve yarma teknikleri tarif edilmiştir (34,35). Yapılan çalışmalarda bu tekniklerden "phaco chop" ile "divide and conquer" yöntemleri endotel hasarı açısından karşılaştırıldığında; phaco chop tekniğinde daha az ultrasonik güç kullanıldığı, FAKO zamanının daha kısa olduğu, daha az manipülasyon ile daha kısa ameliyat süresine sahip olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte dezavantaj olarak, lensin prob ucunda tutulup kesilmesi esnasında, ultrasonik enerjinin belli oranlarda kullanılmasının termal korneal hasara sebep olabileceğinden oklüzyon esnasında uzun süreli FAKO gücü kullanımından kaçınılması gerektiği belirtilmiştir (33,36).

Viskoelastik Maddeler

FAKO cerrahisinde viskoelastik maddelerin kullanımının amacı ön kamara ve kapsül içinde rahat çalışılabilecek bir hacim oluşturarak kornea endotelini ve arka kapsülü korumaktır. Ayrıca kornea endotelini kavitasyon etkisiyle oluşan hava kabarcıklarının etkisinden koruduğu da bildirilmiştir (16). Dispersif viskoelastik maddelerin endotele yapışma ve kolayca akıp gitmeme özellikleri nedeniyle endotel koruyucu etkileri daha fazladır (16). Yapılan bir çalışmada ise düşük moleküler ağırlıklı %1'lik sodyum hyaluronatın yüksek moleküler ağırlığa sahip olana göre daha fazla endotel koruyucu etkisinin olduğu bulunmuştur (18). Bununla birlikte özellikle tam oklüzyon durumunda ultrasonik emülsifikasyonla ortaya çıkan ısı artışının, ortamda kohezif veya dispersif viskoelastik maddeler bulunması halinde daha fazla korneaya iletiildiği de bildirilmiştir (15). Sonuç olarak endotel koruyucu cerrahi için dispersif viskoelastik maddelerin kullanımı ve FAKO gücü uygulanması öncesinde ön kamaradaki viskoelastiğin aspirasyonu gerektiği söylenebilir.

Dairesel devamlı kapsülöreksis

Kapsül içinde FAKO uygulanması korneadan uzak çalışılmasına ve böylece endotel korunmasına yardımcı olur. Ön kamarada çalışılması durumunda %20 civarında olan endotel hücre kaybının kapsül cep içinde çalışılması durumunda yaklaşık %7 civarında olduğu gösterilmiştir (37). Kapsül içinde güvenli çalışmayı sağlayabilmek için kapsülöreksisin uygun boyutlarda ve devamlı olması gerekir. Sonuç olarak devamlı kapsülöreksisin FAKO cerrahisinde endotel koruyucu cerrahi için elzem olduğu söylenebilir.

Endotel Hasarı İçin Risk Faktörleri

Fakoemülsifikasyon cerrahisi sonrası endotel hücre kaybına eğilim yaratan birçok preoperatif ve intraoperatif parametre araştırılmıştır. Hayashi ve ark. (19) yaptıkları bir çalışmada endotel hücre kaybıyla; ileri yaş, küçük pupiller çap, yüksek evre katarakt, büyük nükleus ve aşırı infüzyon hacmi arasında ilişki saptamışlardır. Bu çalışmada özellikle yüksek evre kataraktın endotel hücre hasarında en önemli role sahip olduğu, bunun nükleer parçacıkların endotele temasıyla gerçekleştiği vurgulanmıştır. Kullanılan cerrahi tekniğin ve uygulanan ultrason enerjisi miktarının endotel hücre hasarıyla ilişkisinin incelendiği iki çalışmada fako chop tekniğinde daha az ultrason enerjisi kullanıldığı ortak bulgu iken bunun endotel hücre kaybına etkisi farklı bulunmuştur (33,38). İlk çalışmada fako chop tekniği ile daha az endotel hücre kaybı saptanmışken (33) daha sonraki çalışmada ise endotel hücre kaybı açısından nükleus kırma teknikleri arasında farklılık olmadığı bildirilmiştir

(38). Yapılan bir başka çalışmada ise öğrenme sürecindeki cerrahin gerçekleştirildiği vakalarda endotel hasarı risk faktörleri incelenmiş; uzun FAKO zamanının ve katarakt evresinin endotel hücre hasarı açısından bağımsız risk faktörleri olduğu, FAKO zamanının daha güçlü bir ilişki sergilediği saptanmıştır (25). Sonuç olarak cerrahi deneyim arttıkça FAKO enerjisinin ve cerrahi tekniklerin daha efektif kullanılabileceği aşikardır. Daha deneyimli ellerde daha az endotel hücre hasarı oluşması, zaman içinde geliştirilen yeni cerrahi enstrümanlar sayesinde eskiye nazaran endotele daha saygılı cerrahi uygulanabilmesi, endotel hasarının birçok parametreden kaynaklanması ve vaka standardizasyonun güçlüğünün literatürdeki farklılıkların nedeni olduğu söylenebilir. Ancak mevcut çalışmaların sonuçlarıyla ileri evre kataraktı olan yaşlı olgularda endotel hücre hasarının modern FAKO teknikleriyle dahi fazla olabileceği, bunun özellikle öğrenme eğrisinin başında olan cerrahlar için hasta seçiminde üzerinde durulması gereken bir konu olduğu söylenebilir. Endotel kaybı risk faktörü olarak preoperatif anatomik özelliklerin incelendiği bazı çalışmalarda kısa aksiyel uzunluk ve ön kamara derinliğinin risk faktörü olduğu (38,39) bildirilmiş olmasına karşın bazı çalışmalarda da ön kamara derinliğinin hücre kaybı için bir risk faktörü olmadığı bildirilmiştir (25,40,41). Sığ ön kamaraya sahip gözlerde FAKO tipinin endotele daha yakın çalışmasıyla hasarın daha çok olabileceği düşünülebilir. Ancak normalden derin ön kamaraya sahip hastalarda da; cerrahi aletlerin daha fazla vertikal hareketlerle kullanılmasının, kornea distorsiyonunda artış ile daha fazla mekanik hasara yol açarak daha fazla endotel hücre kaybına neden olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Literatürdeki farklı sonuçların bu iki zıt etkinin sonucu olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak güncel FAKO cerrahisinde endotel koruyucu cerrahi tekniklerle endotel hasarı en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Bu sayede endotel hücre rezervi fizyolojik eşik değerini altına düşmemekte ve postoperatif kornea ödemi de geride kalan sağlıklı hücrelerin telafisi ile kısa sürede toparlanmaktadır. Ancak yaşlanma süreciyle devam eden endotel hücre kaybı, korneanın ileri yaşlarda dekompanse olmasına neden olabilir. Bu nedenle FAKO cerrahisinin tüm basamaklarında endotel hücre kaybı asgari düzeyde tutulmalıdır.

KAYNAKLAR

1. American Academy of Ophthalmology. Ophthalmic procedures assessment: corneal endothelial photography. *Ophthalmology* 1991;98:1464-8.
2. Mishima S. Clinical investigations on the corneal endothelium. *Am J Ophthalmol* 1982;93:1-29.
3. Wilson RS, Roper-Hall MJ. Effect of age on the endothelial cell count in the normal eye. *Br J Ophthalmol* 1982;66:513-5.
4. Közer L, Manav G, Sezen F, Akova Y. Yaşa bağlı kornea endotel değişimleri. *T Oft Gaz* 1987;17:213-6.
5. Mc Dermott ML, Atluri HKS. Corneal endothelium. *Ophthalmology* 2nd edition. Yanoff M, Duker JS. Mosby Inc. 2004;423-30.
6. Arffa RC. Anatomy. Grayson's Diseases of the Cornea. Kist K, Penny R, Casey J (eds.). St Louis Mosby 1991;342-5.
7. Waring GO. Posterior collagenous layer of the cornea. Ultrastructural classification of abnormal collagenous tissue posterior to Descemet's membrane in 30 cases. *Arch Ophthalmol* 1982;100:122-34.
8. Pepose JS, Uebels JL. Cornea and Sclera. *Adler's Physiology of the Eye*. 10th ed. St. Louis Mosby 2003; 59-92.
9. Tuft SJ, Coster DJ. The corneal endothelium. *Eye* 1990;4:389-424.
10. Phillips C, Laing R, Yee Richard. Specular microscopy. Krachmer JH, Mannis MJ, Holland EJ (eds). Elsevier Mosby 2005;261-81.
11. Johns KJ, Feder RS, Hamil MB, Miller-Meeks MJ, Rosenfeld SI, Perry PE. Examination techniques for the external eye and cornea. In: Basic and Clinical Science Course, Section 8. American Academy of Ophthalmology 2007-2008;15-51.
12. Sugar J, Mitchelson J, Kraff M. The effect of phacoemulsification on corneal

- endothelial cell density. Arch Ophthalmol 1978;96:446-8.
13. Bourne WM, Nelson LR, Hodge DO. Continued endothelial cell loss ten years after lens implantation. Ophthalmology 1994;101:1014-22.
 14. Galin MA, Lin LL, Fetherolf E, Obstbaum SA, Sugar A. Time analysis of corneal endothelial cell density after cataract extraction. Am J Ophthalmol 1988; 88:93-6
 15. Ernest P, Rhem M, McDermott M, Lavery K, Sensoli A. Phacoemulsification conditions resulting in thermal wound injury. J Cataract Refract Surg 2001;27:1829-39.
 16. Kim EK, Cristol SM, Kang SJ, Edelhauser HF, Kim HL, Lee JB. Viscoelastic protection from endothelial damage by air bubbles. J Cataract Refract Surg 2002; 28:1047-53.
 17. Cameron MD, Poyer JF, Aust SD. Identification of free radicals produced during phacoemulsification. J Cataract Refract Surg 2001; 27:463-70.
 18. Miyata K, Maruoka S, Otani S, Nejima R, Samejima T, Amano S. Corneal endothelial cell protection during phacoemulsification. J Cataract Refract Surg 2002;28:1057-9.
 19. Hayashi K, Hayashi H, Nakao F, Hayashi F: Risk factors for corneal endothelial injury during phacoemulsification. J Cataract Refract Surg 1996; 22:1079-84.
 20. Yagoubi MI, Armitage WJ, Diamond J, Easty DL. Effects of irrigation solutions on corneal endothelial function. Br J Ophthalmol 1994; 78:302-6.
 21. Jousseaume AM, Barth U, Çubuk H, Koch HR. Effects of irrigation solution and irrigation temperature on the cornea and pupil during phacoemulsification. J Cataract Refract Surg 2000; 26:392-7.
 22. Bourne RRA, Minassian DC, Dart JKG, Rosen P, Kaushal S, Wingate N. Effect of cataract surgery on the corneal endothelium: Modern phacoemulsification compared to extracapsular cataract surgery. Ophthalmology 2004;111:679-85.
 23. Beltrame G, Salvat ML, Driussi G, Chizzolini M. Effect of incision size and site on corneal endothelial changes in cataract surgery. J Cataract Refract Surg 2002;28:118-25.
 24. Ventura AS, Walti R, Böhnke M. Corneal thickness and endothelial density before and after cataract surgery. Br J Ophthalmol 2001;85:18-20.
 25. O'brien P, Fitzpatrick P, Kilmartin D, Beatty S. Risk factors for endothelial cell loss after phacoemulsification surgery by a junior resident. J Cataract Refract Surg 2004;30:839-43.
 26. Mathys K, Cohen K, Armstrong B. Determining factors for corneal endothelial cell loss by using bimanual microincision phacoemulsification and power modulation. Cornea 2007;26:1049-55.
 27. Diaz-Valle D, Benitez del Castillo Sanchez JM, Castillo A, Sayagues O. Endothelial damage with cataract surgery techniques. J Cataract Refract Surg 1998;24:951-5.
 28. Allen D. Fakoemülsifikasyonun mekanik ve hidrodinamik yönü. Oftalmoloji 2. basım Bavdek T (Çeviri editörü). Yanoff M, Duker JS. Hayat Tıp Kitapçılık İstanbul 2007;345-8.
 29. Zanini M, Savini G, Buratto L. Fakoemülsifikasyonun fizik prensipleri. Fakoemülsifikasyon prensipleri ve teknikleri 2. basım. Özdamar A, Devranoğlu K (Çeviri editörleri). Buratto L. Aksu Kitabevi İstanbul 2005;39-61.
 30. Kaynak S, Çelik L, Arıkan G, Kocak N, Yaman A, Cinhuseyinoğlu N. Fakoemülsifikasyon cerrahisinde ultrason gücünün kullanım modaliteleri. T Oft Gaz 2006; 36:68-74.
 31. Fishkind W, Bakewell B, Donnerfeld E, Rose A, Watkins A, Olson R. Comparative clinical trial of ultrasound phacoemulsification with and without the WhiteStar system. J Cataract Refract Surg 2006;32:45-9.
 32. Frohn A, Dick HB, Fritzen CP. Corneal impact of ultrasound and bevel position in phacoemulsification. J Cataract Refract Surg 2002;28:1667-70.
 33. Pirazolli G, Elisco D, Ziosi M, Acciari R. Effects of phacoemulsification time on the corneal endothelium using phacoemulsification and phaco chop techniques. J Cataract Refract Surg 1996;22:967-9.
 34. Nagahara K. Kişisel fakoemülsifikasyon tekniği. Fakoemülsifikasyon prensipleri ve teknikleri 2. basım. Özdamar A, Devranoğlu K (Çeviri editörleri). Buratto L. Aksu Kitabevi. İstanbul 2005;295-301.
 35. Koch PS, Katzen LE. Stop and chop phacoemulsification. J Cataract Refract Surg 1994; 20:566-70.
 36. DeBry P, Olson RJ, Crandall AS. Comparison of energy required for phaco chop and divide and conquer phacoemulsification. J Cataract Refract Surg 1998;24:689-92.
 37. Grabow HB. Lens cerrahisi için endikasyonlar ve farklı teknikler. Oftalmoloji 2. basım Bavdek T (Çeviri editörü). Yanoff M, Duker JS. Hayat Tıp Kitapçılık İstanbul 2007;315-25.
 38. Storr-Paulsen A, Norregaard JC, Ahmed S, Storr-Paulsen T, Pedersen TH. Endothelial cell damage after cataract surgery: divide-and conquer versus phaco-chop technique. J Cataract Refract Surg 2008;34:996-1000.
 39. Walkow T, Anders N, Klebe S. Endothelial cell loss after phacoemulsification: relation to preoperative and intraoperative parameters. J Cataract Refract Surg 2000;26:727-32.
 40. Pereira ACA, Porfirio F, Freitas LL, Belfort RJ. Ultrasound energy and endothelial cell loss with stop-and-chop and nuclear preslice phacoemulsification. J Cataract Refract Surg 2006;32:1661-6.
 41. Yang Kyeung Cho, Hwa Seok Chang, Man Soo Kim: Risk Factors for Endothelial Cell Loss after Phacoemulsification: Comparison in Different Anterior Chamber Depth Groups. Korean J Ophthalmol 2010;24:10-5.