

Wavefront-Kılavuzlu ve Wavefront-Optimize Lazer Tedavileri

Wavefront-Guided and Wavefront-Optimised Laser Treatments

Canan Aslı Utine

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

Özet

Gözün optik aberasyonları, retinada oluşan görüntünün çözünürlüğünü, kontrast ve detay miktarını sınırlayan optik sistem içindeki kusurlardır. Wavefront teknolojisi, bu optik aberasyonları ölçmemize, matematiksel olarak hesaplamamıza ve bu bilgiyi excimer lazer sistemine aktararak korneada kişiye özel tedavi yapmamıza izin verir. Keratorefraktif cerrahi sonrası düşük aberasyonlu kornea profili oluşturmak için geliştirilmiş iki tedavi algoritması wavefront-optimize (WF-O) ve wavefront-kılavuzlu (WF-K) tedavilerdir. WF-O tedavi, standart lazer tedavilerinde olduğu gibi manifest refraktif kusura dayalı tedavi yaparken, var olan sferik aberasyonu artırmamayı amaçlar. Kornea asferisitesini optimize etmek için periferie uygulanan lazer spot sayısını artırarak, preoperatif olarak var olan merkezi: periferik keratometri oranını korur ve optik zon küçülmesini engeller. WF-K tedavi ise aberometri ölçümlerine dayalı tedavi yapar ve gözde var olan yüksek sıralı aberasyonları düzeltmeyi hedefler. Böylece uzaysal detayları yüksek retina görüntüsü elde edilebilir. Ancak postoperatif defokus varlığı, WF-K tedavi ile alınan başarılı sonucu ortadan kaldırabilir. Klinik randomize kontrollü çalışmalar, preoperatif RMS değeri $<0,3 \mu\text{m}$ olan hastalarda WF-K ve WF-O tedavi sonrası yüksek sıralı aberasyonlar sonuçları benzer iken, $\geq 0,4 \mu\text{m}$ olduğunda ise WF-K tedavi sonuçlarının daha iyi olduğunu ortaya koymuştur. Normal gözlerde WF-K tedavi ile çok sınırlı bir görsel avantaj elde edilebilmekte, WF-O tedavi ile asferisite değerinin korunması daha büyük önem taşımaktadır. Diğer taraftan yüksek astigmatizm veya özellikle sferik aberasyon dışı yüksek sıralı aberasyonlar yüksek olduğunda ise, WF-K tedavi ile aberasyonların azaltılması gerekliliği ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada, iki tedavi algoritmasının özellikleri ve sonuçlarını karşılaştırmalı biçimde irdelemeyi amaçladık. (*Turk J Ophthalmol* 2012; 42: 474-8)

Anahtar Kelimeler: Wavefront-kılavuzlu, wavefront-optimize

Summary

Optical aberrations of the eye are the errors of the optical system that limit the resolution, contrast and amount of detail in the image formed on the retina. Wavefront technology allows us to measure these optical aberrations, calculate mathematically, and transfer this information into excimer laser system to perform customized treatment on the cornea. Two treatment algorithms developed to create low aberration-corneal profile are wavefront-optimised (WF-O) and wavefront-guided (WF-G) treatments. WF-O treatment, aims not to increase the existing spherical aberration while treatment is based on manifest refractive error as in conventional laser treatments. By increasing the number of laser spots applied peripherally in order to optimize the corneal asphericity, the preoperative central:peripheral keratometry ratio is preserved and optic zone shrinkage is prevented. On the other hand, WF-G treatment is based on aberrometry measurements and aims to correct the existing high-order aberrations in the eye. Thus, retinal image with high spatial details can be achieved. However, presence of postoperative defocus can abolish the successful results obtained with WF-G treatment. Clinical randomized controlled trials showed that in patients with preoperative RMS value of $<0.3 \mu\text{m}$, higher order aberration outcomes are similar after WF-G and WF-O treatments, but WF-G treatment yields better results when it is $\geq 0.4 \mu\text{m}$. In normal eyes, very limited visual advantage can be achieved with WF-G treatment and preservation of asphericity value with WF-O treatment carries greater importance. On the other hand, in case of high astigmatism or higher order aberrations other than spherical aberration, decreasing aberrations with WF-G treatment becomes more important. In this study, we aimed to make a comparative analysis of characteristics and outcomes of the two treatment algorithms. (*Turk J Ophthalmol* 2012; 42: 474-8)

Key Words: Wavefront-guided, wavefront-optimised

Yazışma Adresi/Address for Correspondence: Dr. Canan Aslı Utine, Yeditepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göz Hastalıkları Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye
Tel.: +90 212 211 40 00 / 6523 Gsm: +90 533 558 76 35 E-posta: cananurine@gmail.com **Geliş Tarihi/Received:** 27.03.2012 **Kabul Tarihi/Accepted:** 26.06.2012

Bu çalışma, Türk Oftalmoloji Derneği Katarakt ve Refraktif Cerrahi Birimi V. Canlı Cerrahi Sempozyumu'nda (11-12 Şubat 2012, Ankara) panel olarak sunulmuştur

Giriş

Gözün optik aberasyonları, retinada oluşan görüntünün çözünürlüğünü, kontrast ve detay miktarını sınırlayan optik sistem içindeki kusurlardır. Wavefront teknolojisi, bu optik aberasyonları ölçmemize, matematiksel olarak hesaplamamıza ve bu bilgiyi excimer lazer sistemine aktararak korneada kişiye özel tedavi yapmamıza izin verir. Bu sistem, optik aberasyonları sistematik olarak modellemek için genellikle Zernike polinomiyallerinden faydalanır. Bu polinomiyallerin her biri, belli bir form içindeki aberasyonu temsil eder.¹

Zernike piramidindeki 3. sıra ve üzerindeki aberasyonlara “yüksek sıralı aberasyon” denir. Üçüncü ve beşinci sıralar arasındaki aberasyonlar, tüm aberasyonların %7’sini oluşturur. Yüksek sıralı aberasyonların görme üzerine etkisi, sıra arttıkça azalır. İstisna olarak sferik aberasyon, 4. sıralı olmasına rağmen en sık karşılaşılan aberasyondur ve pupil çapının 4. üssü olarak artar. Zernike piramidinde merkeze daha yakın aberasyonlar (ör. koma ve sferik aberasyon gibi), kenara daha yakın olanlara göre (ör. trifoil, tetrafoil gibi) görme kalitesini daha fazla etkilerler. Bazı yüksek sıralı aberasyonlar birlikte olduklarında görme kalitesine olan olumsuz etkileri azalabilir (ör. sferik aberasyon ve defokus birlikteliği gibi).²

Nokta saçılım fonksiyonu, bir tek noktasal obje için ışığın görüntü düzlemindeki, yani retinadaki görüntüsünün şeklidir. Bu noktasal objenin hasta tarafından nasıl görüldüğünü simule eder. Küçük pupil çaplarında pupil kenarından difraksiyondan, büyük pupil çaplarında ise temel olarak gözün yüksek sıralı aberasyonlarından etkilenir.³ **Modüler transfer fonksiyonu** (MTF) ise, gözün optik sisteminin retina üzerinde keskin bir görüntü ortaya koyabilme kabiliyetini gösterir. MTF, optik sistemdeki kusurlara bağlı olarak meydana gelen kaybın yüzdesini, uzaysal frekansın bir fonksiyonu olarak tanımlar. Gözün MTF değeri, optik aberasyonlar ve pupil çapına bağlıdır.⁴

Wavefront haritasında aberasyonların toplam büyüklüğü, μm cinsinde “**root mean square (RMS)**” olarak ifade edilir. Bu değer, ideal wavefront dalgası olan düz fazdan sapma miktarıdır, ancak aberasyonların bileşenlerini tarif etmez. Aynı miktarda toplam RMS’ye sahip gözlerin görme keskinlikleri ve kontrast duyarlılık fonksiyonları farklı olabilmektedir. Yüksek sıralı aberasyonların cinsi ve aralarındaki etkileşimler, görme kalitesi açısından daha önemlidir.³ Sferik aberasyon değeri, Zernike piramidinde Z_4^0 değeri ile gösterilen bir dördüncü sıralı aberasyondur. Normal gözlerde ortalama değeri $+0,27 \pm 0,089 \mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır ve lensteki negatif sferik aberasyon ile dengelenir. Yüksek olduğunda yıldız yağmuru ve kamaşma şikayetleri ile ilişkilidir. Fotopik, mezopik ve kamaşmalı mezopik kontrast duyarlılık fonksiyonunu etkiler.⁵ Koma ise üçüncü sıralı bir aberasyon olup, yüksek olduğunda diplopi şikayeti ile ilişkili bulunmuştur.⁶

Kornea gibi konik kesitlerin şeklini kantitatif olarak tanımlanması için gerekli iki parametre, apikal yarıçap ve

eksantrisite değeridir. **Eksantrisite**, merkezden perifere doğru kornea kurvatüründeki değişkenliği, yani periferik kurvatürün apikal yarıçaptan ayrılma miktarını tanımlar. **Q değeri** ise, korneanın asferisite katsayısıdır. Kornea yüzeyinin bir küreden ayrılma derecesini ve korneaya en iyi uyum konik şekli ifade eder. Diğer parametreler olan **konik parametre (p)** ve **asferisite indisi (e2)**, bu iki parametreden matematiksel olarak hesaplanabilir.⁷ Asferisite, lineer olmayan davranış gösteren bağımlı bir parametredir ve paraksiyel kurvatür ile birlikte değerlendirilmez ise hiçbir fiziksel anlamı yoktur. Dolayısıyla asferisite tanımlarının basit aritmetiksel toplamaları, farkları üzerinden yorum yapmak hatalı sonuçlar çıkarılmasına neden olabilir. Daire, hiperbol, parabol, prolat ve oblat elipslerin farklı eksantrisite değerleri vardır.⁸ İnsan korneasının ortalama Q değeri $-0,26 \pm 0,18$ olarak hesaplanmıştır.⁹ Bu değer, longitudinal sferik aberasyonu yarıya indirir. Sferik aberasyonun gözde sıfır olacağı kabul edilen Q değeri, $-0,46$ ’dır.¹⁰

Konvansiyonel excimer lazer tedavileri, kornea üzerinde Munnerlyn formülüne göre hesaplanabilen ablyasyon yapar. Bunun sonucunda miyopik tedavilerde prolat kornea profili oblat profile doğru kayar, pozitif sferik aberasyon ve diğer yüksek sıralı aberasyonlar artar. Ayrıca excimer lazer ışınlarının kornea periferine tanjansiyel açı ile ulaşması nedeniyle etkinliğinin azalması sonucunda, 6,5 mm optik zonda %10-15¹¹, 8 mm optik zonda %20’lere varan ablyasyon kaybı^{12,13} neticesinde korneanın sferik aberasyonu 10 kata kadar artabilir. Hiperopik tedavi sonrasında ise sferik aberasyon negatife doğru kayar. Keratorefraktif lazer cerrahisi sonrasında ortaya çıkan gece görüş zorlukları, tedavinin optik zon çapı, özellikle 4,0 D üzerindeki düzeltmelerde geçiş zonu çapı, pupil çapı ve özellikle ardakalan defokus ve ablyasyonun sferisite değeri ile ilişkilidir.

Bilindiği gibi bir optik sistemde aberasyonları azaltmanın iki yolu vardır. Kaliteli kameralarda olduğu gibi bir yerine birden fazla (altı ile oniki arası) lens kullanmak veya progresif gözlük camlarında olduğu gibi asferik yüzey elde etmek. Bu ikinci yaklaşımı kornea yüzeyinde gerçekleştirmek için geliştirilmiş iki tedavi algoritması wavefront-optimize ve wavefront-kılavuzlu tedavilerdir.

Wavefront-optimize (WF-O) tedavi, ismi çağrışırsa da, aslında wavefront temelli bir tedavi değildir. Bu tedavi, standart lazer tedavilerinde olduğu gibi manifest refraktif kusura dayalı tedavi yaparken, var olan sferik aberasyonu artırmamayı amaçlar. Gözün kendi sferik veya diğer yüksek sıralı aberasyonlarını düzeltmeyi amaçlamaz.¹⁴

WF-O tedavi, kornea asferisitesini optimize etmek için perifere uygulanan lazer spot sayısını artırarak, preoperatif olarak var olan merkezi: periferik keratometri oranını korur. Böylece periferik tanjansiyel ışınların azalan etkisi ve korneanın biyomekanik cevabı nedeniyle periferik korneada kalınlaşma sonucu gerçekleşen optik zon küçülmesi engellenir.¹⁵ Bu tedavi seçeneğini sunabilen lazer platformlarından Mel80, kornea asferisite miktarını %0-%100 arasında ayarlama imkanı sunar.¹⁶ Tek FDA onaylı platform olan Wavelight Allegretto,

Custom Q protokolünde, hastanın başlangıç aberasyonları ne olursa olsun hedef Q değeri $-0,46'$ 'dır. Cihazın yeni modelleri ise Q değerini cerrahın seçmesine izin verir.¹⁷

WF-O tedavi ile lazerin indüklediği sferik aberasyon azaltılabilir.¹⁸ Wavelight Allegretto cihazının FDA çalışmalarında, postoperatif sferik aberasyonun maksimum 0,1 μ m seviyelerinde olduğu ve tedavi miktarından bağımsız olarak preoperatif – postoperatif sferik aberasyon değerleri arasında çok küçük bir fark olduğu görülmüştür.¹⁹ Ayrıca, tedavi edilen optik zonda artış, perifere doğru gidildikçe oluşan refraktif gradyanda azalma sağlanır. Wavefront-kılavuzlu tedavilerin aksine, ilave wavefront ölçümü gerektirmemesi ve küçük pupil çaplarında bile başarıyla uygulanabilmesi nedeniyle uygulama kolaylığı vardır.

Ancak WF-O tedavi ile var olan aberasyonlar düzeltilmez. Kornea periferine yapılan hiperopik ablasyon paternine benzer ilave ablasyon neticesinde refraktif kaymayı engellemek için kornea merkezine de ilave ablasyon yapılır; böylece merkezi ablasyon derinliği artmış olur. Optik zon 6,5 mm iken Q değerini $-0,6$ değiştirmek için 28,5 μ ilave ablasyon; $-1,0$ değiştirmek için 30 μ ilave ablasyon gerekir.²⁰ Yine de hedeflenen Q değerine her zaman ulaşılabilir. Ayrıca Q değeri ile postoperatif görme keskinliği ve kontrast duyarlılık fonksiyonları arasındaki ilişki de henüz net olarak aydınlatılmamıştır.

Wavefront-kılavuzlu (WF-K) tedavi ise aberometri ölçümlerine dayalı tedavi yapar ve gözde var olan yüksek sıralı aberasyonları düzeltmeyi hedefler. Bu güne dek WF-K tedavi için FDA onayı almış lazer platformları arasında Alcon LADARWave LADARVision System, VISX Star S4 Active Tract and WaveScan, Bausch and Lomb Technolas 217 Zyoptics System, Wavelight Allegretto sayılabilir.²¹ Tüm monokromatik aberasyonların düzeltilmesinin, sadece defokus ve astigmatizm düzeltilmesine göre görme kalitesinde (yani, polikromatik MTF'de) yaptığı iyileşme oranı, yani görsel kar, 2,5 olarak hesaplanmıştır.²² Bu oldukça önemli bir iyileşmedir. Ancak yine de, WF-K tedavi sonrasında anlamlı ve beklenmedik aberasyonların ortaya çıkabildiğine dair pek çok yayın vardır.

Bir çalışmada, bilgisayarda MatLab yazılımının Fourier optik programı ile WF-K ve WF-O tedaviler sonucunda elde edilen retina görüntüleri simule edilmiştir. Bu çalışmada, WF-K tedavi sonrasında tüm Zernike terimleri ve yüksek sıralı aberasyon RMS değerinde azalma saptanırken, WF-O tedavi sonrasında ise artış saptanmıştır. Oluşan görüntü kalitesine, ardakalan defokus değeri eklendiğinde ise, WF-K tedavi, WF-O tedaviye göre daha fazla kötüleşme göstermiştir. Bu çalışmadan ortaya çıkan üç önemli mesaj vardır: 1. Yüksek sıralı aberasyonların düzeltilmesi ile retina görüntü kalitesi iyileşmektedir. 2. Postoperatif defokus varlığı, WF-K tedavi ile alınan başarılı sonucu ortadan kaldıracaktır. 3. Zernike modlarının bazı kombinasyonları (ör., defokus ve pozitif sferik aberasyon birlikteliği) ile görüntü kalitesi artabilirken, diğer bazı kombinasyonlar ile kalite azalabilir.²³

WF-K tedavi ile daha az yeni aberasyon (özellikle koma benzeri yüksek sıralı aberasyon) indüklenmesi ile daha iyi MTF

ve uzaysal detayları yüksek retina görüntüsü elde edilebilir.^{24,25} Periferik aberasyonların düzeltilmesi ile mezopik ortamdaki görüntü kalitesi yükselir ve kontrast duyarlılık artar. Ancak yine de tüm yüksek sıralı aberasyonlar düzeltilmez, ablasyona sekonder sferik aberasyon gibi yeni yüksek sıralı aberasyonlar indüklenir. Sadece monokromatik aberasyonlar hedeflenirken, kromatik aberasyonlara yönelik tedavi yapılmaz.²⁶ Postoperatif toplam RMS değerinin preoperatif değerden daha yüksek bulunduğu yayınlar mevcuttur, fakat yine de konvansiyonel tedaviye göre daha düşük olarak saptanmaktadır. Bazı yüksek sıralı aberasyon kombinasyonlarının görme kalitesini iyileştirici etkileri olduğu bilindiği için, toplam RMS değerlendirmede güvenilir bir kriter değildir. Ne kadar ve hangi aberasyonların düzeltilmesi gerektiği net olarak bilinmemektedir. Pratikte, aberasyonların %50 azaltılması yeterli görünmektedir. Normal gözlerde 4. sraya kadar, pupil çapı 7,3 mm üzerindeki gözlerde ise 8. sraya kadar yüksek sıralı aberasyon düzeltilmesi önerilmektedir. Tüm yüksek sıralı aberasyonlar optimum düzeltilse bile, nöral retinanın algılama sınırı ve merkezi sinir sisteminin nöroplastisitesi, görme artışını kısıtlayacaktır.²⁷ Ayrıca, yüksek sıralı aberasyonlar zamana bağlı değişkenlikler gösterir. Bunda, akomodasyon, pupil tonusu, gözyaşı filmi dağılımındaki değişiklikler ve yaşa bağlı lens-kornea dengesindeki bozulma rol oynar. Yüksek sıralı aberasyonlar fazla miktarda olduğunda, özellikle küçük pupil çapında, wavefront-ölçümü zorlaşır. Birçok cihazda sadece sınırlı bir polinomiyal seti elde edilir. Bunlar gözün yüksek sıralı aberasyonlarını yeterince temsil edemeyebilir. Lazer cihazının teknik özellikleri de önemlidir. 0,1-0,2 mm desantralizasyonlar dahi görme fonksiyonunu etkileyecek yüksek sıralı aberasyonlar indükleyebilir. Göz takip sistemleri ile gözün sakkadik hareketlerinin algılanması ile lazer enerjisi uygulanması arasında geçen kritik zaman aralığı, yanlış tedaviye neden olabilir. Ayrıca lazer spot çapı, yüksek sıralı aberasyonları düzeltebilecek kadar küçük (ideal olarak <1 mm) olmalıdır. Korneanın yara iyileşme cevabı ve biyomekanik cevabı da, WF-K tedavi sonuçlarını sınırlandırabilir.²¹ Bu bilgiler ışığında günümüzde WF-K tedavi uygulama alanları, yüksek sıralı aberasyon yüzdesi veya RMS değeri yüksek olan gözleri içerir. Bunlar, asimetric veya ortogonal olmayan astigmatizmalar, tüm ikincil tedaviler, geçirilmiş travma veya keratoplasti sonrası lazer tedavileri ve geniş pupil çapı bulunan gözlerdir.

Allegretto Wavelight cihazının FDA çalışması sonuçlarına göre WF-K tedavi ve WF-O tedavi sonrası görme keskinliği ve refraktif kusur sonuçları benzer bulunmuştur. Ancak postoperatif yüksek sıralı aberasyonlar, WF-K tedavi grubunda daha az bulundu. Preoperatif yüksek sıralı aberasyonlara göre alt gruplar incelendiğinde, RMS değeri $<0,3$ μ m olduğunda WF-K ve WF-O tedavi sonuçları benzer bulundu. Önemli olan bir nokta, bu gözler, tüm gözlerin %83'ünü oluşturmaktaydı. Preoperatif YSA 0,3-0,4 μ m olduğunda ise WF-K tedavi ile anlamlı olarak daha düşük RMS elde edildi. $-4,0$ D'den düşük düzeltmelerde sferik aberasyon WF-O tedavi ile daha düşük

bulunsa da, hedeflenen Q değerinden (-0,46) uzaktı. -4,0 D üzerindeki düzeltmelerde ise, sferik aberasyon açısından fark saptanmadı. WF-O tedavi grubundaki SA sonuçları, preoperatif refraktif kusura bağımlı değildi. Preoperatif yüksek sıralı aberasyonlar 0,4 µm üzerinde olduğunda ise WF-K tedavi ile anlamlı derecede daha düşük RMS elde edildi. Ancak WF-O tedavi grubunda da RMS değerinde azalma olduğuna dikkat çekildi. Bu sonuçlar ışığında, preoperatif refraktif kusur ve RMS değerlerine dayalı tedavi seçimi tavsiyeleri verildi. Yüksek refraktif düzeltmelerde, ablasyon derinliği artacağı için WF-K tedavi yerine WF-O tedavi önerildi.¹⁹

Bu FDA çalışmasına bazı ilginç noktalar dikkati çekti. Preoperatif yüksek sıralı aberasyonları düşük olan hastaların çoğu, postoperatif dönemde wavefront hatalarındaki hafif azalmaların farkına varmadılar. Her iki tedavi grubunda da, kontrast duyarlılık fonksiyonlarında değişiklik, veya yüksek sıralı aberasyonlar ile kontrast duyarlılık fonksiyonları arasında korelasyon saptanmadı. WF-K tedavinin, bu çalışmadaki hastaların %33'ünde, toplumdaki hastaların ise sadece %20-25'inde faydalı olacağı hesaplandı.¹⁹

Bir başka çalışmada ise, yine Allegretto Wavelight cihazı ile 100 hastanın 200 gözüne randomize olarak WF-O ve WF-K tedavi uygulandıktan 6 ay sonra yapılan anket sonucunda hastaların 20/20 ve üzeri düzeltilmemiş görme keskinliği elde etme (her iki grupta %100, p>0,05) ve tedaviyi bir yakınlarına önermek anlamındaki memnuniyet oranları (sırasıyla %96,3 ve %100, p>0,05) benzerdi. Hastalar WF-O tedaviyi bir miktar daha kolay anlıyordu (sırasıyla %88,9 ve %78,3, p>0,05). Gece görüş zorlukları WF-O tedavi ile %11'den %14'e artarken, WF-K tedavi ile %17'den %8'e indi; ancak arada istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmadı (p>0,05). Gece araç kullanma zorluğu (sırasıyla %18,5'dan %7,4'e ve %26,1'den %8,7'ye) ve kamaşma şikayetleri (sırasıyla %11,1'den %7,4'e ve %13,0'den %8,7'ye), WF-K grupta daha fazla olmak üzere, her iki grupta azalma gösterdi.²⁷

Aralık 2011'da yayınlanan bir meta-analiz, bu konuda yapılmış 5 randomize kontrollü çalışma ve 2 kohort çalışma sonuçlarını birlikte inceledi.²⁸ Bu çalışmalarda, LADARVision, Allegretto Wavelight ve VISX S4 Star cihazları incelenmişti. Tüm çalışmaların sonuçları birlikte incelendiğinde 20/20 ve üzeri düzeltilmemiş görme keskinliğine ve ±0,50 D refraktif kusura ulaşma oranları her iki grupta eşit saptandı. Preoperatif RMS değeri <0,3 µm olan hastalarda WF-K ve WF-O tedavi sonrası yüksek sıralı aberasyonlar sonuçları benzer iken, ≥0,4 µm olduğunda ise, tüm çalışmalarda WF-K tedavi sonuçları daha iyiydi. Kontrast duyarlılık ise, çalışmalarda farklı sonuçlar verdi. Her iki tedavi grubunda kontrast duyarlılıkta artış, aynı kalış, veya WF-K tedavi ile artış, WF-O tedavi ile azalış bildiren çalışmalar vardı.

Sonuç olarak, normal gözlerde WF-K tedavi ile çok sınırlı bir görsel avantaj elde edilebilme, WF-O tedavi ile asferisite değerinin korunması daha büyük önem taşımaktadır. Yüksek astigmatizm veya yüksek sıralı aberasyonlar, özellikle sferik

aberrasyon dışı aberasyonlar yüksek olduğunda ise, WF-K tedavi ile aberasyonların azaltılması gerekliliği ön plana çıkmaktadır. Gelecekte WF-K tedavi ve WF-O tedavi algoritmalarının birleştirilmesi ile hem preoperatif dönemde var olan hem indüklenen yüksek sıralı aberasyonların düzeltilmesi ile belki de görsel performansta en önemli iyileşme sağlanacaktır.

Yazarın, çalışmada adı geçen cihaz veya tedavi platformları ile ilgili finansal ilişkisi bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Zhu L, Bartsch DU, Freeman WR, Sun PC, Fainman Y. Modeling human eye aberrations and their compensation for high-resolution retinal imaging. *Optom Vis Sci.* 1998;75:827-39.
- Applegate RA, Sarver EJ, Khemsara V. Are all aberrations equal? *J Refract Surg.* 2002;18:S556-S62.
- Marcos S. Image quality of the human eye. *Int Ophthalmol Clin.* 2003;43:43-62.
- Campbell FW, Gregory AH. Effect of pupil size on visual acuity. *Nature.* 1960;187:1121-3.
- Yamaguchi T, Dogru M, Yamaguchi K, et al. Effect of spherical aberration on visual function under photopic and mesopic conditions after cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2009;35:57-63.
- Melamed A, Chalita MR, Krueger RR, Lee MS. Comatic aberration as a cause of monocular diplopia. *J Cataract Refract Surg.* 2006;32:529-32.
- Calossi A. Corneal asphericity and spherical aberration. *J Refract Surg.* 2007;23:505-14.
- Lindsay R, Smith G, Atchison D. Descriptors of corneal shape. *Optom Vis Sci.* 1998;75:156-8.
- Kiely PM, Smith G, Carney LG. The mean shape of the human cornea. *Optica Acta.* 1982;8:1027-40.
- Gatinel D, Haouat M, Hoang-Xuan T. [A review of mathematical descriptors of corneal asphericity]. *J Fr Ophthalmol.* 2002;25:81-90.
- Mrochen M, Donitzky C, Wüllner C, Löffler J. Wavefront-optimized ablation profiles: theoretical background. *J Cataract Refract Surg.* 2004;30:775-85.
- Seiler T, Kaemmerer M, Mierdel P, Krinke HE. Ocular optical aberrations after photorefractive keratectomy for myopia and myopic astigmatism. *Arch Ophthalmol.* 2000;118:17-21.
- Mrochen M, Seiler T. Influence of corneal curvature on calculation of ablation patterns used in photorefractive laser surgery. *J Refract Surg.* 2001;17:S584-7.
- Steinert RE. WaveLight's "wavefront optimized" terminology may confuse ophthalmologists. *ASCRS EyeWorld* December 2004. Matt Young, EyeWorld Senior Staff Writer. (<http://www.eyeworld.org/article.php?sid=2240>)
- Mrochen M, Donitzky C, Wüllner C, Löffler J. Wavefront-optimized ablation profiles: theoretical background. *J Cataract Refract Surg.* 2004;30:775-85.
- Mastropasqua L, Tot L, Zuppari E, et al. Photorefractive keratectomy with aspheric profile of ablation versus conventional photorefractive keratectomy for myopia correction; six-month controlled clinical trial. *J Cataract Refract Surg.* 2006;32:109-16.
- Koller T, Iseli HP, Hafezi F, Mrochen M, Seiler T. Q-factor customized ablation profile for the correction of myopic astigmatism. *J Cataract Refract Surg.* 2006;32:584-9.
- Padmanabhan P, Mrochen M, Basuthkar S, Viswanathan D, Joseph R. Wavefront-guided versus wavefront-optimized laser in situ keratomileusis: contralateral comparative study. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34:389-97.
- Stonemacher KG, Kezirian GM. Wavefront-optimized versus wavefront-guided LASIK for myopic astigmatism with the ALLEGRETTO WAVE: three-month results of a prospective FDA trial. *J Refract Surg.* 2008;24:S424-30.
- Koller T, Iseli HP, Hafezi F, Mrochen M, Seiler T. Q-factor customized ablation profile for the correction of myopic astigmatism. *J Cataract Refract Surg.* 2006;32:584-9.

21. Netto MV, Dupps W Jr, Wilson SE. Wavefront-guided ablation: evidence for efficacy compared to traditional ablation. *Am J Ophthalmol.* 2006;141:360-8.
22. Guirao A, Porter J, Williams DR, Cox IG. Calculated impact of higher-order monochromatic aberrations on retinal image quality in a population of human eyes. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 2002;19:620-8.
23. Padmanabhan P, Mrochen M, Basuthkar S, Viswanathan D, Joseph R. Wavefront-guided versus wavefront-optimized laser in situ keratomileusis: contralateral comparative study. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34:389-97.
24. Koller T, Iseli HP, Hafezi F, Mrochen M, Seiler T. Q-factor customized ablation profile for the correction of myopic astigmatism. *J Cataract Refract Surg.* 2006;32:584-9.
25. Ghoreishi SM, Naderibeni A, Peyman A, Rismanchian A, Eslami F. Aspheric profile versus wavefront-guided ablation photorefractive keratectomy for the correction of myopia using the Allegretto Eye Q. *Eur J Ophthalmol.* 2009;19:544-53.
26. Awwad ST, McCulley JP. Wavefront-guided LASIK: recent developments and results. *Int Ophthalmol Clin.* 2006;46:27-38.
27. Yu J, Chen H, Wang F. Patient satisfaction and visual symptoms after wavefront-guided and wavefront-optimized LASIK with the WaveLight platform. *J Refract Surg.* 2008;24:477-86.
28. Feng Y, Yu J, Wang Q. Meta-analysis of wavefront-guided vs. wavefront-optimized LASIK for myopia. *Optom Vis Sci.* 2011;88:1463-9.