

# Yapay Görme, Yeni Görme Modaliteleri ve Nöroadaptasyon

## *Artificial Vision, New Visual Modalities and Neuroadaptation*

Hilmi Or

Muayenehane, İstanbul, Türkiye

### Özet

Yapay görmenin oluştuğu tanımları incelemek, göz ameliyatları ve hastalıklar ile oluşan yeni görme modalitelerini irdelemek ve yapay görme tanım sistemlerinin görme algısını artırıcı tedavilerde ve nöroadaptasyonu anlamada kullanımını fark etmek.

Görmenin ne olduğunu fen bilimleri bugüne kadar tam olarak tanımlayamamıştır. Ancak görmenin oluşmasındaki bazı etkenler göz önüne alınarak bazı optik temelli sistemler ve tanımlamalar oluşturulmuştur.

Bu tanımlamaların en bilineni kenar algısı üzerinden çalışan görme algısını en iyi betimleyen sistem olan Gabor filtresi ve yamasıdır. Bu sistemler bugün endüstri ve teknikte makinelerin, robotların ve bilgisayarların "görme"leri için kullanılmaktadır. Bu tanımlamalar makineler yanında, insanlarda bazı göz ameliyatları sonrasında oluşan ve doğada olmayan yeni görme modalitelerine nöroadaptasyonun anlaşılması için veya var olan görme modalitelerinin kalitesinin tanımlanması için kullanılmaktadır. Gabor sistemi ile oluşturulan ve görme algısını uyaran yeni tedavi sistemleri geliştirilmiştir. Ayrıca 35 sene öncesine kadar var olduğu bilinmeyen "kör görme" bugün görsel egzersizler ile uyarılabilmektedir.

Gabor sistemi görsel algının hem yapay görme, hem de insan görmesinde tanımlanabilir bir tasviridir. Bu sistem bugün robot görmesi için kullanılmaktadır. Göz ameliyatlarından sonra veya görsel optik gereçler kullanımı ile oluşan yeni görme modaliteleri vardır. Ayrıca kör görme nedeni tam olarak bilinmese de tanımlanmaya başlayan farklı bir görme çeşididir. Gabor sistemi kullanılarak tüm yeni görme modalitelerinde görmeyi uyarıcı tedavi uygulanabilmektedir. (*Turk J Ophthalmol 2012; 42: 61-5*)

**Anahtar Kelimeler:** Yapay görme, yeni görme modaliteleri, nöroadaptasyon

### Summary

To study the descriptions from which artificial vision derives, to explore the new visual modalities resulting from eye surgeries and diseases, and to gain awareness of the use of machine vision systems for both enhancement of visual perception and better understanding of neuroadaptation.

Science could not define until today what vision is. However, some optical-based systems and definitions have been established considering some factors for the formation of seeing. The best known system includes Gabor filter and Gabor patch which work on edge perception, describing the visual perception in the best known way. These systems are used today in industry and technology of machines, robots and computers to provide their "seeing".

These definitions are used beyond the machinery in humans for neuroadaptation in new visual modalities after some eye surgeries or to improve the quality of some already known visual modalities. Beside this, "the blindsight" -which was not known to exist until 35 years ago - can be stimulated with visual exercises.

Gabor system is a description of visual perception definable in machine vision as well as in human visual perception. This system is used today in robotic vision. There are new visual modalities which arise after some eye surgeries or with the use of some visual optical devices. Also, blindsight is a different visual modality starting to be defined even though the exact etiology is not known. In all the new visual modalities, new vision stimulating therapies using the Gabor systems can be applied. (*Turk J Ophthalmol 2012; 42: 61-5*)

**Key Words:** Artificial vision, visual modalities, neuroadaptation

## Giriş

Fen bilimleri halen görmenin ne olduğunu tanımlayamamışlardır. Ancak teknoloji hızla gelişmektedir. Tıp dahil olmak üzere bir çok alanda robotlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu robotların işlevlerini yerine getirebilmeleri için “görme”leri gerekmektedir. Bu “görme” yapay görme, bilgisayar görmesi, makine görmesi ve robot görmesi gibi isimler alabilir. Bu görme algısının betimlenmesinde farklı bilim dalları ve teknik olanaklardan faydalanılır (Şekil 1).

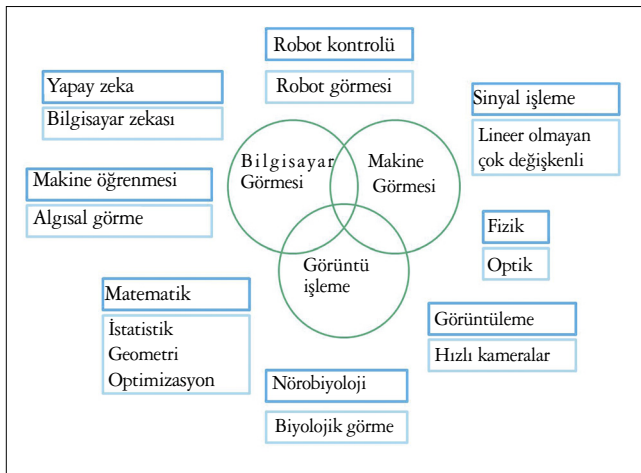
İnsanın görme algısı kenar algılaması üzerinden olduğu için, optik olarak kenar algısı betimlemesi için Gabor filtresi oluşturulmuştur.

### Gabor Filtresi ve Gabor Yaması

Gabor filtresi harmonik fonksiyonu Gauss fonksiyonu ile çarpılmış olan lineer bir filtredir. Görselleştirilmiş şekli kahve çekirdeğine benzeyen temel oval şekil ortasında uzun yön boyunca ortadan geçen aydınlık bir şeridin, karanlık alanlar ile çevrelenmesi ile oluşur. Alanlar çeşitli renklerde de olabilir. Bu filtreler kullanılarak örneğin optik dokular tanımlanabilir.<sup>1</sup> veya aynı görüntü içinde farklı optik dokular birbirinden ayrılabilir.<sup>2</sup>

Gabor yaması ismi verilen sistemde, benzer bir şekilde tek veya birkaç tane farklı ende ve frekansta aydınlık/karanlık şeritlerden oluşan bir algılama mevcuttur. Görme algılaması alanlar üzerinden değil, alanları çevreleyen kenarlar üzerinden olur. Bu nedenle Gabor yaması görme algılaması modellemesi için önemlidir.<sup>3,4</sup>

Gabor filtreleri kenar tanımlama için oluşturulmuştur. Gabor filtresinde ayırıcı olarak dalga boyu, yön, faz kayması, görünüş oranı ve kuşak genişliği tanımlanmıştır. Böylece kenarı betimlemek için yeterince veri oluşmuş olur (Resim 1). Gabor enerji filtresi, algılanan görüntülerin, algılama için yeterli olan en az sayıda kenar çizgisi ile betimlenmesini sağlar.<sup>5</sup> Bu durum fotoğraf veya resmin çizgisel resim veya karikatür ile karşılaştırılmasına benzetilebilir. Enerji filtreleri



Şekil 1. Yapay görmenin çeşitleri ve farklı sistemler ile ilişkileri

yer-zaman frekans yönlenmelerini anlamaya yönelik ayarlanmışlardır. Gabor filtreleri kullanılarak beyinde harekete duyarlı hücreler uyarılarak, hareketlerin algısı incelenebilir.<sup>6</sup>

Görsel hareket algılama duyarlılığı için Gabor yamaları çeşitli yönlerde ve art hayal sistemleri ile kullanılabilir.<sup>7</sup> Renkli Gabor yamaları renk algılamasının çeşitli durumlarda nasıl değiştiğini anlamak için kullanılabilir.<sup>8</sup>

### Robotik Görme Temelli Cerrahi

Gabor temelli görme üzerinden çalışan robot görmesi ile oftalmolojide keratoplasti ameliyatının trepanasyon aşamasının hassasiyet ile gerçekleştirebildiği gösterilmiştir.<sup>9</sup>

Robotik cerrahide cerrahi aletlerinin kendilerini kalibre etmeleri sağlanarak minimal invaziv cerrahi girişimler için daha da iyi bir robotik görme algılaması sağlanabilmektedir. Bir çok tıp dalında endoskopik cerrahi girişim böylece kolaylaşmaktadır.<sup>10</sup>

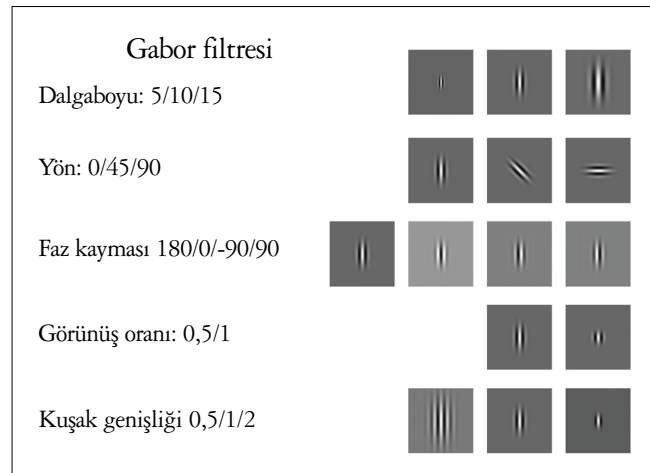
### fMRI (İşlevsel Manyetik Rezonans Görüntüleme)

Nörogörüntüleme görece yeni yöntemlerden biri olan fMRI hayvan ve insanlarda beyin nöral aktivitesine bağlı olarak oluşan hemodinamik yanıtıdır. Kan akışının değişiminin ölçümüne dayanır. Sağlıklı ve hasar görmüş beyin dokularını ayırmada kullanılabilir. fMRI ile retinotopik haritalama, görme alanı ile onun kortikal temsili arasındaki bağlantı hakkında ayrıntılı bilgi sağlar.<sup>11</sup>

İnsan medial oksipital korteksinde görsel alanlarda, her görsel ortam için farklı bir retinotopik temsil oluşmaktadır. İşlevsel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) ile bu alanlar arasında uzaysal frekans ayar eğrileri ölçülüp, anlamlı farklar bulundu. Oksipital vizüel kortekste bir çok alan ve alt alan fMRI ile ayırt edilebilmektedir.<sup>12</sup>

### Kör Noktada Görüntü Oluşması

Görsel uyarı olmadan beynin görüntüyü doldurma mekanizması vardır. Bu mekanizma çevreye bakılan hemen her an devreye girer. Başka nesnelere tarafından önu kapatılan nesnelere ya da kör noktaya düşen görüntüleri tamamlar.



Resim 1. Gabor filtresinin parametreleri

Örneğin kör nokta, çevresindeki doku kör noktaya doldurulmuş gibi algılanır. Bu mekanizma farklı durumlarda farklı şekillerde olur, bu nedenle algılamada görüntü doldurulma mekanizmalarının çeşitli sınıflamaları yapılabilir.<sup>13</sup>

#### Skotomların Algılanması ve Skotomlardaki Görme Algılanması

Toksoplazma korioretinitini koroitte skarlar oluşturabilir. Bu skarlar papilla çevresinde ise abolü veya relatif skotomlar yapabilirler. Toksoplazma skarı papillaya ne kadar yakın olursa, o kadar derin ve büyük skotom oluşur. Bu skotomlar hasta tarafından algılanmazlar.<sup>14</sup> Kronik toksoplazma korioretinit skar skotomları genel olarak da hasta tarafından algılanmazlar.<sup>15</sup>

Kronik toksoplazma korioretinit skar skotomları olan hastaların, sağlam gözlerindeki diğer gözdeki skotoma korrespondan bölgede, her iki gözde sağlam olan kontrol bölgelerine göre daha hızlı "fill-in" (doldurma) gecikmeleri saptanmıştır. Bu bulgu ile retinal skotom korrespondan alanlarında algılama doldurmasının kolaylaştığı gösterilmiştir. Bu durum görme korteksine kısmen görme uyarısı gitmediği durumlardaki doldurma ile benzer olabilir.<sup>16</sup>

Yaşa bağlı makula dejeneresansı olan hastalar üzerinde makula ızgara testi, görme alanı ve mikroperimetri ile yapılan bir araştırmada, hastaların skotom algılanmasının gerçek skotom büyüklüğünden küçük olduğu gösterilmiştir.<sup>17</sup>

#### "Kör Görme"

Weiskrantz serebral lezyonu olan bir hastada hemianopik bir görme alanında görme kapasitesi tespit etmiştir. 1974 yılındaki bu olgu ile "kör görme" ("blindsight") ilk defa bilimsel olarak tanımlanmıştır.<sup>18</sup>

Talamus korrespondan kortikal alanlara giden sensoriyel verilerin geçidi olarak bilincin olduğu yer için ilk adaydır. Talamik retikül nükleus (TRN) talamokortikal senkronizasyonunun kontrolünde dinamik dikkatin oluşmasında eksen rolü oynamaktadır. Bilinçli algının da merkezi olma olasılığı yüksek olan TRN'daki döngüler kör görme gibi algıların nedeni olabilirler.<sup>19</sup>

Kör kişiler nesnelere elleri ile dokunarak tanır ve onları zihinsel olarak tanımlar. Bu içsel algıların oluşması için daha önce görme tecrübesinin olup olmaması gerektiği bilinmemekteydi. Kör bir ressamın yaptığı gerçekçi resimlerden yola çıkarak yapılan bir çalışmada, bu kör ressamın dünyayı elleri ile dokunarak algıladığı ama bu algıyı -normal görmesi olan bireyler tarafından- gerçekçi ve çok detaylı resimler olarak algılanan bir şekilde betimleyebilmektedir. Kör ressama resim yaparken çekilen fMRI'da normal kişilerde görme işlevi sırasında aktive olan yerlerin aktif olduğu saptanmıştır.<sup>20</sup>

Primer görme korteksi olan V1 alanındaki yaralanmalar görsel algının bitmesine neden olur. Ancak detaylı araştırmalarda görme farkındalığı olmadan bazı görsel yönlendirilmiş davranışların kalabildiği gösterilmiştir: "Kör

görme". Makak maymununda yapılan fMRI çalışmasında lateral genikulat nükleustan ekstrasriat kortekse olan direkt bağlantıların kör görmenin oluşmasında önemli olduğu gösterilmiştir.<sup>21</sup>

"Kör görme"nin kökeninde talamustaki lateral genikulat hücrelerinin etkili olabileceği gösterilmiştir.<sup>22</sup>

Erken çocuklukta olan serebral lezyonlarda görsel nöral plastisite, erişkinlikte oluşandan farklıdır. Beyinde gençken sahip olunan nöroplastisitenin bir kısmı erişkinlikte ulaşılabilir değildir. Bunlardan biri displastik korteks içinde beyinde sağlam kalmış dokunun tanınarak yeni talamokortikal bağlantılar oluşturulması, lezyonun baypas edilmesi ile oksipital kortekste kortikal hedefe ulaşılmasıdır. Genç beyin ayrıca erişkinlikte de mevcut olan mekanizmaları daha etkin bir şekilde kullanabilmektedir. Örneğin serebral kökenli görme alanı kayıplarında ekstrasriatal görme sisteminin anatomik yayılımı erken oluşmuş bir lezyonda geç oluşmuş bir lezyona göre daha geniştir. Böylece kör alanda görme taraması daha etkin biçimde yapılabilmektedir. Benzer bir mekanizma kör görmede etkili olabilir.<sup>23</sup>

"Kör görme" sırasında yüz, renk, şekil ve doku algılanabildiği, eğer uyarılar (Gabor) net kenarlı ise algılanmanın iyi olduğu gösterilmiştir.<sup>24</sup>

Weiskrantz "Kör görme"nin; normalden düşük görme parametreleri, düşük bir görme keskinliği, yükselmiş algılama eşikleri, kaba renk ayrımı ile normal görmenin bir alt ve zayıf şekli olup olmadığını sorgulamıştır. Kör görmede tüm görme işlevleri eşit miktarlarda azalmamıştır. Kör görme ile normal görme işlevi kalitatif olarak da farklıdır. Örneğin renkli görmenin olmadığı, ama aydınlanma kontrastının kaldığı olgular vardır (görülme uyarılarının art hayalleri şeklinde algılanabilirler). Hatta görme alanında kör yarı alanda, sağlam yarı alana göre daha yüksek duyarlılık seviyeleri bulunabilir.<sup>25</sup>

#### "Kör Görme"nin Artırılabilirliği

Kör görme hastalarının görmeyi görme egzersizi ile öğrenmelerinin mümkün olduğu gösterilmiştir. Yapılan egzersizler ile sadece görme duyarlılığı değil, görsel algının öznel farkındalığı da artmaktadır.<sup>26</sup>

Kör görmenin incelendiği üç hastada, hastaların öznel olarak kör algıladıkları alanda ses veya başka bir yol gösterici ile gelen görsel uyarıların algılanabildiği, yol göstericinin sadece kör görme alanında etkili olduğu, görme ihtimali olmayan kör noktada ise etkili olmadığı gösterilmiştir. Ancak yol gösterici uyarının olmadığı durumlarda da kör görmenin olduğu gösterilmiştir.<sup>27</sup>

On iki yeni oksipital korteks enfarktüsli hastanın incelendiği bir çalışmada, enfarktüstün birkaç ay sonra kortikal "kör" alanlar absölu ve kalıcı olduğu görülmüştür. Hastalara üç ay süre ile grating (ızgara benzeri) hedefler (0,5-7 devir/derece) ile egzersiz uygulanmış (Kontrast sınırı 1 devir/derece) ve üç ay sonra görme alanının algılama derinliklerinde düzelmeler saptanmıştır.<sup>28</sup>

V1 alanında oluşmuş ve uzun süredir kalıcı hasarlara bağlı kortikal körlüğü olan beş erişkin hastada yapılan genel yön ayırt etme görme egzersizleri ile kör görme sağlanabilmiştir. Egzersiz yapılan alanlarda görsel yön tamamlama eşiği normale yükselmiştir. Bu egzersizin etkileri sadece çalışılan görme şekli için değil, aydınlanma miktarının artması, ızgara şekilleri için kontrast duyarlık ve hareket uyarısının uyarı verilmemesinden ayırt edilebilmesi gibi çeşitli uyarı ve görev durumları için de geçerlidir.<sup>29</sup>

Tek taraflı oksipital korteks hasarlı ve hemianopsili 9 hasta 22 hafta süre ile görsel hedefleri gösterme, harf tanıma, her iki yarı alanı karşılaştırma, hedef lokalizasyonunu belirleme egzersizleri yaptırılmıştır. Tedavi öncesi ve sonrası görsel işlev farkı; görsel tanıma, harf tanıma ve bilgisayarlı görme alanı tetkikleri ile karşılaştırılmıştır. Tüm hastaların hem görsel hedef tanıma, hem de görme alanı sonuçları daha iyidir, yani kör görme egzersiz ile sağlanabilmektedir.<sup>30</sup>

Post-genikulat beyin hasarı olan hastalarda "Neuro-Eye Therapy" tedavi ile (kör olan alanlarda ızgara şeklinde görüntülerin gösterilmesi ve uyarılar tanındığında pozitif geri dönüş yapılması) görme duyarlığının arttığı, skotomların derinliğinin azaldığı ve değiştiği gösterilmiştir. İyileşme derece derece olmakta ve çok sayıda tedavi seansına ihtiyaç bulunmakta, pozitif geri dönüş ile hızlandırılabilen ve oksipital hasar talamusa yaklaştıkça etkili olma olasılığı azalmaktadır.<sup>31</sup>

#### **Diğer Hastalıklar ve Yeni Görme Modalitelerinde Nöral Görme Tedavileri**

Nörovizyon ("Neurovision") tedavisi Gabor yaması temeline dayanan bir görme uyarılması sistemidir. Kişiye özel bir bilgisayar programı yapılır. İnternet bağlantılı bir bilgisayarda (elde edilen sonuçlara göre dönmesel gerekli program uyarlamaları yapılarak) her biri 30-40 dakika süren toplam 40-50 seans uygulanır. Yapılan bir araştırmada bilgisayar programı aracılığı ile "Gabor yaması" kullanılarak interaktif uygulanan tedavide, erişkin ambliop hastalarda görme keskinliği ve kontrast duyarlık işlevlerinde anlamlı artış olmaktadır.<sup>32</sup>

Nöral vizyon tedavisi ile düşük miyop ve erken presbiyop hastalarda yapılan çalışmada düzeltmesiz görme keskinliğinin ortalama 2,2 ETDRS eşeli sırası arttığı tespit edilmiştir.<sup>33</sup>

Nöral vizyon tedavisi uygulanan ve düşük miyopisi olan (0,5-1,5 D) 19-53 yaş arasındaki 20 hastanın tümünde görme keskinliğinde 2,1 ETDRS eşeli sırası artış ve kontrast duyarlıkta 1,5-18 devir/derece frekanslarında artış olmuştur.<sup>34</sup>

Bu kaynaklardaki bilgiler nöral görme tedavisinin sadece ambliyopik değil tüm gözlerde genel ve benzer olarak görme fonksiyonlarını artırdığını düşündürmektedir.

#### **Nöroadaptasyona Başka Örnekler**

Görüntüyü sağ-sol ve üst-alt değiştiren prizma ve ayna gözlüğü takılarak insanların bu yeni görsel şartlara alışması çeşitli tarihlere farklı araştırmacılar (1897: Stratton, 1961: Kottenhoff, 1964: Kohler, 1998: Gregory) tarafından

denenmiş. Bu çalışmaların sonucunda klasik bilgi olarak, "görüntüyü sağ-sol ve üst-alt değiştiren prizma ve ayna gözlüğü aralıksız takıldığında görüntüdeki üst-alt ve sağ-sol değişim -beyindeki algılama değişikliği ile- düz olarak algılanır." düşüncesine ulaşılmış.

Bir çalışmada görüntüyü sağ-sol ve üst-alt değiştiren prizma ve ayna gözlüğü dört sağlıklı denekte 6-10 gün süre ile uygulanmıştır. Bu süre sonunda denekler görsel motor fonksiyonlara alışmışlardır. Ancak bu durum görüntünün yönünün (üst-alt ve sağ-sol) düzelmesi ile olmamıştır. Nöroadaptasyon ile beyin yeni bir görme şekline alışmıştır. 35

Pasif optik cihazlar gözün refraksiyon kusurunu düzeltirler, ama nöral adaptasyonu sağlamak için tasarlanmamışlardır. Artırılmış alan derinliği tekniği gözlük ve kontakt lens gibi geleneksel refraktif sistemlerde uygulanmış, tüm refraktif kusurların bu teknik ile egale edilebildiği gösterilmiştir. Bunun için görme sisteminin kontrast adaptasyonu ve görmedeki farklı çizgilerden ahenkli ve devamlı bir görme alanı yaratabilme kapasitesinden faydalanılmıştır.<sup>36</sup>

İnsan gözü monofokal bir sistemdir. Yakındaki nesnelere netlerken uyum (akomodasyon) ile gerekli kırıcılık değişikliğini oluşturur. Bugünkü teknolojiye kullanılan multifokal kontakt lens ve multifokal göz içi merceği sistemleri ise hem uzağı hem de yakını eş zamanlı netlerler. Multifokal sistemlerdeki uzak ve yakını eş zamanlı görme fizyolojik değildir. Beynin bu görmeye alışması için nöroadaptasyon gerekir.

Çeşitli multifokal kontakt lens kullanan hastalarda Hartmann-Shack aberometresi kullanılarak yapılan çalışmada hem sabit durumda, hem de kontakt lens hareketi ile üst dereceden aberasyonlar olduğu belirlenmiştir. Multifokal Kontakt lens kullanıp memnun olmayan hastaların şikayetçi olmalarının nedeni bu aberasyonlar olabilir.<sup>37</sup>

Refraktif amaçlı lens değişimi yapılmış ortalama 56 +/- 8 yaşındaki toplam 30 (28 hipermetrop ve 2 miyop) hastada difraktif multifokal göz içi merceği implante edilmiştir. Uzak, yakın ve orta mesafe görme keskinlikleri 1. ay ve 6. ayda değerlendirilmiş, nöroadaptasyon süresinin sonunda görme keskinliğinin arttığı gösterilmiştir.<sup>38</sup>

Bilimsel çalışmalarda bugüne kadar çok odaklı görme sistemlerinin incelenmesinde multifokal kontakt lensler ve göz için mercekleri görme keskinliği ve kontrast duyarlık açısından incelenmiş, ama hastanın nöroadaptasyon sürecini ölçen herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

Monofokal ve multifokal göz içi merceği takılmış hastalarda Bilgisayarlı Görme Alanı ile yapılan bir çalışmada hem görme sonuçları (görme alanındaki algılamada noktasal derinliklerde) ve hem de testin tamamlanma süresi açısından her iki göz içi merceği arasında bir fark saptanamamıştır.<sup>39</sup>

Bir çalışmada komplikasyonsuz fakoemülsifikasyon ile katarakt ameliyatı ve multifokal göz içi merceği implantasyonu geçiren iki hastanın postoperatif görme keskinliği 1,0

seviyesinde bulunmuştur. Her iki hasta da mutsuzluğunu “Görmem gözlük ile daha iyiydi!” sözleri ile dile getirmiştir. Hastalara pattern VEP uygulanmış ve tepe gecikmesi tespit edilmiş. Her iki hastanın dominan gözlerindeki multifokal göz içi mercekleri eksplante edilip, yerine monofokal göz içi merceği implante edilmiştir. Postoperatifyapılan pattern VEP ölçümü normal bulunmuş, tepe gecikmesi normale dönmüş ve hastaların şikayeti geçmiştir.<sup>40</sup>

## Kaynaklar

1. Turner MR. Texture discrimination by Gabor functions. *Biol Cybern.* 1986;55:71-82.
2. Dunn D, Higgins WE. Optimal Gabor filters for texture segmentation. *IEEE Trans Image Process.* 1995;4:947-64.
3. Cannon MW Jr, Fullenkamp SC. Perceived contrast and stimulus size: experiment and simulation. *Vision Res.* 1988;28:695-709.
4. Toet A, Koenderink JJ. Differential spatial displacement discrimination thresholds for Gabor patches. *Vision Res.* 1988;28:133-43.
5. N. Petkov and E. Subramanian. Motion detection, noise reduction, texture suppression and contour enhancement by spatiotemporal Gabor filters with surround inhibition. *Biol Cybern.* 2007;97:423-39.
6. Jasinschi RS. Energy filters, motion uncertainty, and motion sensitive cells in the visual cortex: a mathematical analysis. *Biol Cybern.* 1991;65:515-23.
7. Takemura H, Murakami I. Visual motion detection sensitivity is enhanced by an orthogonal motion aftereffect. *J Vis.* 2010;10:7.
8. Kennedy GJ, Whitaker D. The chromatic selectivity of visual crowding. *J Vis.* 2010;10:15.
9. Hu Y, Li D, Zong G, Sun X. Robotic system for microsurgical keratoplasty. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2005;6:5762-5.
10. Navarro AA, Hermansanz A, Villarraga EA, Giral X, Aranda J. Enhancing perception in minimally invasive robotic surgery through self-calibration of surgical instruments. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2007;2007:457-60.
11. Warnking J, Dojat M, Guérin-Dugué A, et al. fMRI retinotopic mapping--step by step. *Neuroimage.* 2002;17:1665-83.
12. Henriksson L, Nurminen L, Hyvärinen A, Vanni S. Spatial frequency tuning in human retinotopic visual areas. *J Vis.* 2008;8:5.1-13.
13. Weil RS, Rees G. A new taxonomy for perceptual filling-in. *Brain Res Rev.* 2011;67:40-55.
14. Stanford MR, Tomlin EA, Comyn O, Holland K, Pavesio C. The visual field in toxoplasmic retinochoroiditis. *Br J Ophthalmol.* 2005;89:812-4.
15. Alvarenga DP, Couto MF, Pessoa VE. Perceptual visual filling-in of toxoplasmic retinochoroiditis scotomas. *Neuroreport.* 2007;18:1679-81.
16. Alvarenga DP, Couto MF, Pessoa VE. Filling in at partially deafferented visual cortex. *Br J Ophthalmol.* 2008;92:1257-60.
17. Lee KK, Markowitz SN. Scotoma size reduction as an adaptive strategy in age-related macular degeneration. *Can J Ophthalmol.* 2010;45:393-8.
18. Weiskrantz L, Warrington EK, Sanders MD, Marshall J. Visual capacity in the hemianopic field following a restricted occipital ablation. *Brain.* 1974;97:709-28.
19. Min BK. A thalamic reticular networking model of consciousness. *Theor Biol Med Model.* 2010;7:10.
20. Amedi A, Merabet LB, Camprodon J, et al. Neural and behavioral correlates of drawing in an early blind painter: a case study. *Brain Res.* 2008;1242:252-62.
21. Schmid MC, Mrowka SW, Turchi J, et al. Blindsight depends on the lateral geniculate nucleus. *Nature.* 2010;466:373-7.
22. Cowey A. Visual system: how does blindsight arise? *Curr Biol.* 2010;20:702-4.
23. Guzzetta A, D'Acunzio G, Rose S, Tinelli F, Boyd R, Cioni G. Plasticity of the visual system after early brain damage. *Dev Med Child Neurol.* 2010;52:891-900.
24. Alexander I, Cowey A. Edges, colour and awareness in blindsight. *Conscious Cogn.* 2010;19:520-33.
25. Weiskrantz L. Is blindsight just degraded normal vision? *Exp Brain Res.* 2009;192:413-6.
26. Schwiedrzik CM, Singer W, Melloni L. Sensitivity and perceptual awareness increase with practice in metacontrast masking. *J Vis.* 2009;9:18.1-18.
27. Stoerig P. Cueless blindsight. *Front Hum Neurosci.* 2010;3:74.
28. Sahraie A, Treveltham CT, MacLeod MJ, Murray AD, Olson JA, Weiskrantz L. Increased sensitivity after repeated stimulation of residual spatial channels in blindsight. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2006;103:14971-6.
29. Huxlin KR, Martin T, Kelly K, et al. Perceptual relearning of complex visual motion after V1 damage in humans. *J Neurosci.* 2009;29:3981-91.
30. Chokron S, Perez C, Obadia M, Gaudry I, Laloum L, Gout O. From blindsight to sight: cognitive rehabilitation of visual field defects. *Restor Neurol Neurosci.* 2008;26:305-20.
31. Sahraie A, Macleod MJ, Treveltham CT, et al. Improved detection following Neuro-Eye Therapy in patients with post-geniculate brain damage. *Exp Brain Res.* 2010;206:25-34.
32. Polat U, Ma-Naim T, Belkin M, Sagi D. Improving vision in adult amblyopia by perceptual learning. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2004;101:6692-7.
33. Durrie D, McMinn PS. Computer-based primary visual cortex training for treatment of low myopia and early presbyopia. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 2007;105:132-8.
34. Tan DT, Fong A. Efficacy of neural vision therapy to enhance contrast sensitivity function and visual acuity in low myopia. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34:570-7.
35. Linden DE, Kallenbach U, Heinecke A, Singer W, Goebel R. The myth of upright vision. A psychophysical and functional imaging study of adaptation to inverting spectacles. *Perception.* 1999;28:469-81.
36. Zalevsky Z, Ben Yaish S, Zlotnik A, Yehezkel O, Belkin M. Cortical adaptation and visual enhancement. *Opt Lett.* 2010;35:3066-8.
37. Peyre C, Fumery L, Gatinel D. Comparison of high-order optical aberrations induced by different multifocal contact lens geometries. *J Fr Ophthalmol.* 2005;28:599-604.
38. Goes FJ. Refractive lens exchange with the diffractive multifocal Tecnis ZM900 intraocular lens. *J Refract Surg.* 2008;24:243-50.
39. Stanojcic N, Wilkins M, Bunce C, Ionides A. Visual fields in patients with multifocal intraocular lens implants and monovision: an exploratory study. *Eye (Lond).* 2010;24:1645-51.
40. Shimizu K, Ito M. Dissatisfaction After Bilateral Multifocal Intraocular Lens Implantation: An Electrophysiology Study. *J Refract Surg.* 2010;26:1-4.