



Fundamentals of Human Vision System

*Emin Taner ELMAS¹, İsmail KUNDURACIOĞLU²

¹ Assistant Professor Dr., Vocational School of Higher Education for Technical Sciences, Division of Motor Vehicles and Transportation Technologies, Department of Automotive Technology, Iğdır University, Turkey & Graduate School of Natural and Applied Sciences - Major Science Department of Bioengineering and Bio-Sciences, Iğdır University, Turkey

² Lecturer, Technology Transfer Office, Iğdır University & Ph.D. Student Graduate School of Natural and Applied Sciences - Major Science Department of Mechatronics Engineering, Iğdır University, Turkey_76000

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4270-2153>

ismail.kunduracioglu@igdir.edu.tr

*Corresponding author: Emin Taner ELMAS

Assistant Professor Dr., Vocational School of Higher Education for Technical Sciences, Division of Motor Vehicles and Transportation Technologies, Department of Automotive Technology, Iğdır University, Turkey & Graduate School of Natural and Applied Sciences - Major Science Department of Bioengineering and Bio-Sciences, Iğdır University, Turkey-76000

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7290-2308>

+90 (0) 543 733 64 21

e.taner.elmas@igdir.edu.tr

Abstract

This article gives general information about the “Fundamentals of Human Vision System”.

The study has been realized within the scope of a Ph.D. lesson which is lectured by Asst. Prof. Dr. Emin Taner ELMAS. The name of this Ph.D. lesson is “Medical Engineering and Advanced Biomechanics” and taught at the Major Science Department of Bioengineering and Bio-Sciences at Iğdır University, Turkey. İsmail KUNDURACIOĞLU is a Ph.D. student and he is one of the students taking this course. This article has been prepared within the scope of this Ph.D. lecture, as a part of one of his (İsmail KUNDURACIOĞLU) homework assignment tasks which was prepared using the summary translation of Reference [1]: Book Chapter 11. [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52], [53], [54].

Keywords: Vision, Vision System, Optics, Optics of the Eye, Human Vision System, Lens, Cataract, Intraocular Pressure (IOP), Photoreception, Transduction, Retina, Thermodynamics, Energy Transfer, Fluid Mechanics, Heat Transfer, Mathematics, Medical Technique, Medical Engineering, Medicine, Biomechanics, Biomechanical Analysis, Bioengineering, Health Science.

Introduction

1. Görme Mekanizmasının Temelleri

Görsel algı, duyuusal bilginin büyük bir kısmını oluşturur ve beynin önemli bir bölümünü meşgul eder. Bebeklerde görsel zekâ, dil becerilerinden önce gelişir, bu da görme sisteminin kritik rolünü gösterir. Görme süreci, optik özellikler, retina üzerindeki ışık algılama ve beynin görsel korteksindeki işlem aşamalarından oluşur. İnsan gözü, gelişmiş optik araçlara kıyasla daha düşük çözünürlük sunmasına rağmen, retinanın foton algılama kapasitesi oldukça üstündür. Retina, geniş bir ışık hassasiyeti aralığını kapsar ve milyonlarca renk tonunu ayırt edebilir. Görme yalnızca gözle değil, beyindeki sinyal işleme süreçleriyle tamamlanır.

Göz küresinin işlevleri arasında ışığın kırılması (kornea, lens), odaklama (zonül lifleri), ışık miktarının düzenlenmesi (iris ve pupil) ve görsel bilgilerin beyne iletimi (retina, optik sinir) yer alır. Koroid, retinaya oksijen sağlayarak ve ısıyı düzenleyerek kritik bir rol oynar. Göz içindeki sıvılar ışığın kırılmasını etkilerken, lensin yapısı odaklanmayı sağlar.

İris, gözün ışık yoğunluğuna uyum sağlamasına yardımcı olur. Göz rengi, melanin pigmentinin ışığı emme veya yansıtma şekline bağlıdır. Pupilin çapı ışık koşullarına göre değişerek retinayı korur. Ayrıca göz kasları, hareketleri senkronize bir şekilde kontrol eder ve mesafe algısına katkı sağlar. Göz kasları, insan vücudundaki en hızlı tepkileri veren kas gruplarından biridir. [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52], [53], [54].

Method, Findings and Discussion

2 Gözün Optiği

2.1 Gözün Kırma Gücü

Gözün odak uzaklığı (f), göz küresinin çapıyla doğru orantılı olmalı ve sonsuz uzaklıktaki nesneler, retinada keskin ve net bir şekilde odaklanacak biçimde ayarlanmalıdır. Bu mesafe yaklaşık 25 mm olarak tahmin edilir ve 50 mm'den daha uzaktaki nesneler net görülebilir. Gençlerde en yakın net görüş mesafesi yaklaşık 100 mm'dir. Göz, optik olarak kalın bir merceğe gibi çalışır. Kalın mercekler için lens denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$\frac{1}{o} + \frac{n_2/n_1}{i} = \frac{1}{f_1} ; \quad \frac{n_1/n_2}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f_2}$$

Burada:

- $n_1=1$ (hava),
- $n_2=1.33$ (sulu madde),
- o nesne mesafesi,
- i görüntü mesafesidir.

Sonsuz mesafedeki bir nesne için: $\frac{n_1}{f_1} = \frac{n_2}{f_2}$

Göz homojen bir küre olmadığından, farklı kırılma indislerine sahip bileşenler içerir. En büyük kırılma etkisini yaratan kornea, merkezi ince (550 μm) ve kenarları daha kalındır (650 μm). Lens ise akomodasyon için değiştirilebilir bir çift dışbükey yapıya sahiptir ve kırılma indisi merkezde en yüksek (1.408) olacak şekilde değişir. Ana kırılma, hava/kornea arayüzünde meydana gelir. Kornea eğriliği ($R = 7.7 \text{ mm}$) ve lens denklemi kullanılarak:

$$f_1 = \frac{n_1}{n_2 - n_1} R$$

ortalama kırılma indisi $n_2=1.336$ kabul edildiğinde, $f_1=23 \text{ mm}$ bulunur. Buna göre,

$$f_2 = f_1 \times n_2 = 31 \text{ mm} \text{ ve kırma gücü } 43 \text{ dpt}$$

Sonsuzdaki nesneler retinanın 31 mm ötesine düşerken, lens ek 15 diyoptri kırma gücü sağlayarak odak noktasını 24 mm'ye getirir. Akomodasyon sırasında lensin eğriliği artar, kırılma gücü yükselir, f_2 kısalmış ve f_1 azalır. Gençlerde en yakın odaklanabilen mesafe 80–100 mm civarındadır. Gözün önündeki ve içindeki odak uzaklıklarının farklı olduğu unutulmamalıdır. [1]

2.2 Akomodasyon

Gözün, farklı mesafelerdeki nesneleri net bir şekilde görmesini sağlayan yeteneğine akomodasyon denir. Akomodasyon, lensin eğriliğinin değişmesiyle kırma gücünün ayarlanmasını içerir. Akomodasyon genişliği (ΔA), yakın nokta ve uzak nokta arasındaki kırma gücü farkı olarak tanımlanır:

$$\Delta A = \frac{1}{d_{yakın}} - \frac{1}{d_{uzak}}$$

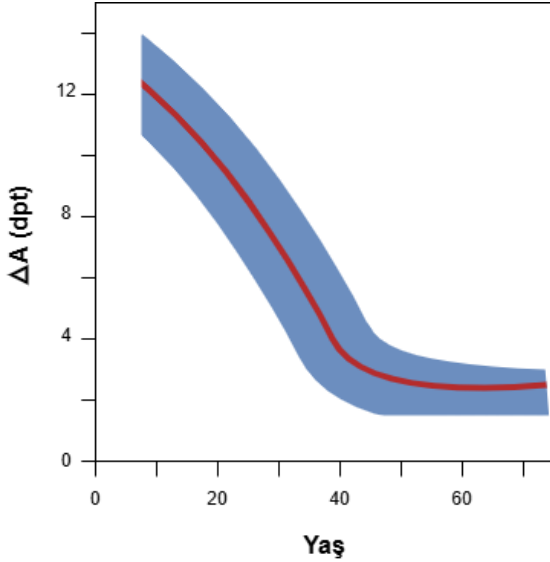
Emetrop (normal görüşlü) genç bireylerde uzak nokta sonsuz, yakın nokta ise 0.08 m olarak kabul edilir. Bu durumda:

$$\frac{1}{0.08 \text{ m}} - \frac{1}{\infty} = 12.5 \text{ m}^{-1} - 0 = 12.5 \text{ dpt}$$

Yaşlı ve miyop bireylerde, yakın nokta 0.33 m olabilir. Bu durumda akomodasyon genişliği:

$$\frac{1}{0.33m} - \frac{1}{\infty m} = 3m^{-1} - 0 = 3dpt$$

Akomodasyon yeteneği yaşla birlikte azalır ve genellikle 50 yaş civarında tamamen kaybolur. Bu nedenle 40 yaşından sonra okuma gözlükleri yaygın olarak kullanılır. Şekil 1, akomodasyon genişliğinin yaşa bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 1: Yaşa bağlı olarak akomodasyon genişliği.

Akomodasyon, silier kas ve zonüler liflerin etkileşimi ile gerçekleşir. Göz dinlenme hâlindeyken, silier kas gevşer, zonüler lifler gerilir ve lens düzleşerek daha düşük kırma gücü sağlar. Bu durumda lensin kırma gücü 15 dpt civarındadır. Yakındaki nesneleri net görmek için, silier kas kasılır, zonüler lifler gevşer ve lens daha yuvarlak bir şekil alarak kırma gücünü artırır.

Presbiyopi, yaşa bağlı olarak akomodasyon yeteneğinin kaybolmasıdır. Lens zamanla sertleşir ve esnekliği azalır, böylece silier kasın kasılması lensin şekil değiştirmesini yeterince sağlayamaz. Yaşla birlikte lens lifleri dış kısımdan eklenerek merkeze doğru ilerler, bu da lensin sertleşmesine ve kalınlaşmasına neden olur. Araştırmalar, lensin sertleşmesinin protein yapısındaki değişimlerden kaynaklandığını göstermektedir. Yaşla birlikte lensin kırılma indisi gradyanı da değişir ve merkezde daha yoğun bir yapı oluşur. Bunun sonucunda akomodasyon mekanizması giderek daha az etkili hâle gelir. Presbiyopiye yönelik cerrahi çözümler üzerine araştırmalar devam etmektedir. [1]

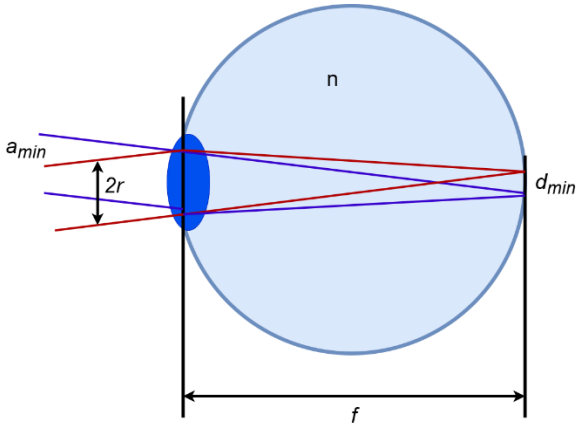
2.3 Çözme Gücü

Rayleigh kriterine göre, optik çözünürlük için iki nesne (a ve b), difraksiyon desenlerinin sıfırıncı derece yoğunluk maksimumu ile birinci yoğunluk minimumu çakıştığında ayrı olarak algılanabilir. Dairesel açıklıklar için difraksiyon deseni Airy disklerinden oluşur. Bu durumda Rayleigh kriteri, iki nesnenin ayrılabilirliği minimum açı (α_{min}) olarak ifade edilir. Göz için ortalama değerler kullanılır: Pupil çapı $2r=5$ mm, Dalga boyu $\lambda=550$ nm, Gözün kırılma indisi $n=1.4$. Bu verilerle, minimum açı şu şekilde hesaplanır:

$$\alpha_{min} = 1.22 \frac{\lambda/n}{2r} = \frac{d_{min}}{f}$$

Burada $f=24$ mm. Sayılar yerine konduğunda, retinada iki nesneyi ayrı olarak algılayabilmek için minimum mesafe $d_{min}=2.3$ μ m olarak bulunur.

Bu değer, retinanın en yüksek reseptör yoğunluğuna sahip merkezi bölgesi olan foveadaki koniler arasındaki ortalama mesafeyle örtüşmektedir. Foveal koniler son derece küçük olup yaklaşık 2.5–3 μ m aralıklarla düzenlenmiştir. Bu nedenle, gözün optik çözünürlüğü ile foveadaki ışık reseptörlerinin dağılımı oldukça uyumludur. İki nesnenin ayrı olarak algılanabilmesi için, görüntülerinin en az bir reseptör boşluğu içeren iki farklı reseptöre düşmesi gerekmektedir ki bu da yaklaşık 5 μ m'lik bir mekânsal çözünürlüğe karşılık gelir (Şekil 2).



Şekil 2: Gözün ayırma gücü.

2.4 Görsel Keskinlik (Visual Acuity)

Görme uzaklığı (g_0) 25 cm olduğunda, nesneler gerçek boyutlarında algılanır ve en doğal görünümüne sahip olur. Bu mesafe, nesnelerin ne olduğundan farklı algılanmadığı, en net ve keskin şekilde görüldüğü noktadır. Daha kısa mesafelerde nesneler orantısız şekilde büyütülmüş görünürken, daha uzak mesafelerde ise normalden daha küçük algılanır. Bu nedenle, 25 cm'lik mesafe, insan gözü için optimal odaklanma noktası olarak kabul edilir ve en net görüş mesafesi olarak tanımlanır. Bir nesne boyu (G) ve mesafesine (g) bağlı olarak görme açısı şu şekilde ifade edilir:

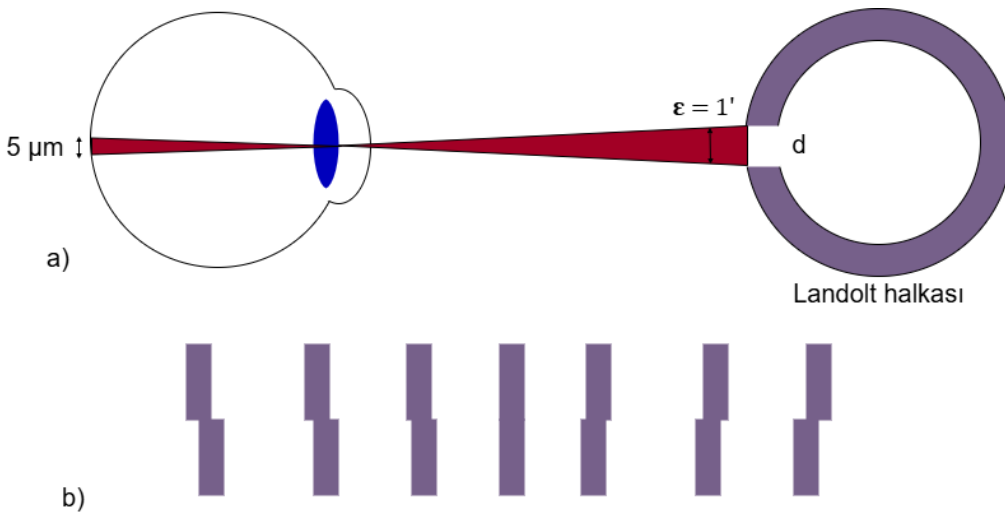
$$\varepsilon = \frac{G}{g}$$

En net görme açısı ise: $\varepsilon_0 = \frac{G}{g_0}$ Bir açısal büyüklük $\varepsilon = 1^\circ$, retinada 300 μm yüksekliğinde bir görüntüye karşılık gelir.

Görsel keskinlik (a) ise görme açısının tersine eşittir:

$$a = \frac{1}{\varepsilon}$$

Eğer bir Landolt halkasındaki boşluk (Şekil 3a) $1'$ açısı altında tanınabiliyorsa, görsel keskinlik $a=1$ olur. Bu, retinada 5 μm mesafelik bir ayrımı ifade eder.



Şekil 3: (a) Görme keskinliği, Landolt halkasında $1'$ boşluğun algılanmasıyla tanımlanır. (b) Vernier keskinliği, görme keskinliğinden daha hassas bir ölçümdür.

Görsel keskinlik, bir görüntünün retinadaki konumuna ve ışık seviyesine bağlı olarak değişir. Keskinliğin en yüksek olduğu bölge, koni reseptörlerinin yoğunlaştığı foveadır ve bu bölgeden uzaklaştıkça görme keskinliği giderek azalır. Görsel keskinlik genellikle 20/40 gibi bir oranla ifade edilir. Buradaki ilk değer, görme problemi olan bir bireyin belirli

bir mesafedeki en küçük harfleri okuyabildiği mesafeyi (metre veya fit cinsinden) gösterirken, ikinci değer ise aynı satırın normal görme yetisine sahip bir kişi tarafından okunabileceği mesafeyi temsil eder. Kesir oranı küçüldükçe, görme yetisi de o derece zayıflamış demektir. [1]

Vernier keskinliği ise, görsel keskinlikten daha yüksek bir algılama seviyesini temsil eder ve bir nesnenin kenarlarındaki ince kaymaları fark etme yetisiyle tanımlanır (Şekil 3b). Bu, gözün mekansal ayırma kapasitesini ortaya koyan önemli bir görsel işlevdir. Bu keskinlik, görsel keskinlikten yaklaşık altı kat daha yüksektir ve reseptör yoğunluğu ile açıklanabilecek fiziksel sınırlardan daha iyidir. Vernier keskinliğinin bu denli yüksek olması, reseptör alanlarında fizyolojik bir etkileşim (geliştirme veya baskılama) olduğuna dair ilk işaretlerden biridir. [1]

2.5 Lens Kusurları (Lens Aberrations)

Göz merceğinde en yaygın olarak karşılaşılan kırılma kusurları, miyopi (uzaktaki nesneleri net görememe) ve hipermetropi (yakındaki nesneleri bulanık görme) olarak bilinir. Bu optik bozukluklar, genellikle uygun diyoptriye sahip gözlükler veya kontakt lensler ile kolaylıkla düzeltilerek net görüş sağlanabilir. Miyopide, sonsuz uzaklıktaki bir nesnenin odak noktası retina önünde yer alır. Eğer o_{max} , retinada net bir görüntünün olduğu nesne uzaklığıysa, lens denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$\frac{1}{o_{max}} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f_e} = D_e$$

Burada D_e , gözün kırılma gücüdür. Sonsuz uzaklıktaki nesnelerin net bir şekilde retinaya odaklanabilmesi için bir dağıtıcı lens kullanılır. Bu durumda lens denklemi şu hale gelir:

$$\frac{1}{\infty} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{f_{dl}} = D_e + D_{dl}$$

Burada: f_{dl} , dağıtıcı lensin odak uzaklığıdır. D_{dl} , dağıtıcı lensin kırılma gücüdür. Bir lens sisteminde toplam kırılma gücü, bireysel lenslerin kırılma güçlerinin toplamıdır. Bu nedenle, gerekli dağıtıcı lensin kırılma gücü şu şekilde bulunur:

$$D_{dl} = -\frac{1}{o_{max}}$$

Hipermetropide, belirli bir minimum nesne uzaklığında (o_{min}) net bir görüntü retinada oluşur, ancak daha yakın nesneler için görüntü gözün arkasında oluşur. Bu durumda, görüntünün retinaya geri taşınması için bir yaklaştırmacı lens gereklidir. Düzeltici lens olmadan minimum mesafede lens denklemi şu şekildedir:

$$\frac{1}{o_{min}} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f_e} = D_e$$

Düzeltici lensle birlikte denkleme şu formu alır:

$$\frac{1}{g_0} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f_e} = D_e + D_{cl}$$

Burada D_{cl} , yaklaştırmacı düzeltici lensin kırılma gücüdür ve şu şekilde hesaplanır: Son denkleme $g_0=0.25$ m (en net görüş mesafesi) değerini koyarsak:

$$D_{cl} = \frac{1}{g_0} - \frac{1}{o_{min}} = 4 - \frac{1}{o_{min}}$$

Optik ve fizik kitaplarında genellikle üç ek lens kusurundan bahsedilir:

1. Küresel aberasyon (spherical aberration)
2. Kromatik aberasyon (chromatic aberration)
3. Astigmatizm
 - Küresel ve kromatik aberasyon göz optiğinde genellikle önemli bir rol oynamaz.
 - Astigmatizm, korneanın genellikle küresel olmayan bir şekle sahip olmasından kaynaklanır ve miyopi veya hipermetropi ile birlikte sıkça görülür. Bu tür kusurlar, düzeltici lenslerin uygun şekilde tasarlanmasıyla aynı anda düzeltilir.

Miyopi ve hipermetropi için lazerle yapılan düzeltmeler, özellikle fotorefraktif keratektomi (PRK) ve lazerle desteklenmiş interstisyel keratomileusis (LASIK) olarak karşımıza çıkar. [1]

2.6 Katarakt

Katarakt, göz merceğinin zamanla saydamlığını kaybetmesi sonucu ışığın retinaya ulaşmasını engelleyen ve görme yetisini ciddi şekilde bozan bir hastalıktır. İlerlemiş vakalarda tamamen opak hale gelen lens, net görüşü imkânsız kılar ve körlüğe neden olabilir. Ancak modern cerrahi teknikler sayesinde, doğal lensin yapay bir lensle değiştirilmesiyle bu durum tedavi edilebilir.

Kataraktın Nedenleri

- Bazı katarakt türleri, genetik mutasyonlarla doğrudan ilişkilidir ve kalıtsal olarak aktarılabilir.
- Diyabet, göz travmaları, önceki göz ameliyatları ve çeşitli göz hastalıkları katarakt oluşumuna zemin hazırlayabilir.
- Yaşa bağlı dejenerasyon her zaman tek etken olmasa da lens liflerinin zamanla bozulması hem odaklama yetisinin kaybına hem de lensin matlaşmasına yol açar.

Katarakt genellikle ilerleyici bir hastalıktır. Lensin saydamlığı azaldıkça ışık, düzensiz bir şekilde saçılarak görüşü bulanıklaştırır ve renk algısını soluklaştırır. Bu fenomen, ışığın mikroskobik partiküller tarafından dağıtıldığı Mie saçılması olarak bilinir. [1]

Son araştırmalar, kataraktın temel nedenlerine dair önemli bulgular ortaya koymuştur. Göz merceği, çevresindeki vitreus ve aköz humordan daha yüksek bir kırılma indeksine sahip olmalı ve aynı zamanda görünür ışığa karşı saydamlığını korumalıdır. Bu özellik, mercekte yüksek konsantrasyonda bulunan kristalin adı verilen özel proteinler sayesinde sağlanır. [1]

- İki ana protein vardır: A ve B.
- Bu proteinler normalde birbirine yapışma eğilimindedir. Ancak, protein C adı verilen bir “şaperon” protein bu yapışmayı engeller.
- Lens içinde protein C miktarı sınırlıdır. Eğer bir nedenle bu protein tükenirse, protein A ve B’nin birikmesi sonucu lens bulanıklaşır.

Bu bilgi, biyokimyasal veya farmasötik bir tedavi geliştirilmesine yönelik umut vermektedir. Ancak şu an için kataraktın tek tedavisi cerrahi müdahaledir.

Katarakt cerrahisi, dört adımda gerçekleştirilen bir işlemdir:

1. Kesik ve Torba Açılması

Kornea üzerinde 3 mm uzunluğunda bir kesik açılarak lensin içindeki vitreus malzemeyi içeren kapsüler torbaya erişilir. Lensin torbası, devamlı kavisli kapsülörheksi (CCC) adı verilen dairesel bir hareketle açılır. Bu işlem, paslanmaz çelik bir bıçak ve cımbız yardımıyla gerçekleştirilir.

2. Nükleusun Parçalanması ve Temizlenmesi

Lensin çekirdek kısmı (nükleus), ultrasonik teknikler veya bazen femtosaniye lazerle parçalanır. Bu işleme fakoemülsifikasyon denir ve artıkları küçük bir pompa yardımıyla temizlenir.

3. Yapay Lens Yerleştirilmesi

Katarakt ameliyatı sırasında, doğal lens çıkarıldıktan sonra, hastanın görme ihtiyacına göre hesaplanan kırılma gücüne sahip bir yapay lens yerleştirilir. Plastik yaylar, yapay lensi sabitler ve yerinde tutar. Ancak bu yapay lensin kırılma gücü ameliyat sonrasında değiştirilemez, bu nedenle önceden doğru hesaplanması büyük önem taşır.

4. Korneanın Kapanması

Kornea, kendiliğinden kapanabilen bir yöntemle kapatılır, bu nedenle dikişlere gerek duyulmaz. Görme tekrar sağlanırken, akomodasyon yeteneği kaybolur. Ameliyat sırasında enfeksiyon risklerinin önlenmesi için steriliteye dikkat edilmesi gerekmektedir. Nepal’de, düşük maliyetli ve yüksek kaliteli katarakt cerrahisi sağlamak amacıyla alternatif bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem şu adımları içerir:

1. Küçük bir bıçakla lensin çevresine bir sklerokornea tüneli açılır.
2. CCC yöntemiyle kapsül açılır.
3. Lens çekirdeği, küçük bir olta kancası kullanılarak kapsüler torbadan tamamen çıkarılır.
4. Yapay lens yerleştirilir ve kendiliğinden iyileşen tünel kapatılır.

Bu yöntemin ana farkı, fakoemülsifikasyon işleminin atlanmasıdır. Bunun yerine, iyi bir mikroskop ve küçük bir balık kancası dışında özel ekipman gerektirmez. [1]

2.7 Göz İçi Basıncı (IOP)

Göz içi basıncı (Intraoküler Basınç - IOP), göz küresi içindeki sıvıların oluşturduğu basınçtır ve ortalama olarak 27 hPa (yaklaşık 10-21 mmHg) seviyesinde bulunur. Bu basınç, gözün yapısal bütünlüğünü koruması ve optik sistemin sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için kritik bir denge unsurudur. Göz içi basınç, sulu sıvının (aköz hümmör) üretimi ve drenajı arasındaki denge sayesinde korunur. [1]

- Aköz hümmör, siliyer cisim tarafından üretilir ve gözün ön kamarasına salgılanır. Göz içi basıncının normal aralıkta olması, göz küresinin küresel şeklini korumasına ve göz içindeki tüm yapısal bileşenlerin yerinde kalmasına yardımcı olur. Ancak bu dinamik denge bozulduğunda, basıncın aşırı yükselmesi veya düşmesi çeşitli göz hastalıklarına yol açabilir. Aköz hümmör, şeffaf bir sıvıdır ve %98'i sudan oluşur.
- Kornea, lens, retina ve vitreus hümmör gibi kan dolaşımına erişimi olmayan göz dokularına besin ve oksijen sağlar.

Aköz hümmör, iris arkasındaki siliyer cisimden kanın süzülmesiyle salgılanır ve trabeküler ağ aracılığıyla Schlemm kanalı üzerinden dolaşım sistemine geri döner. Düşük IOP durumunda kornea şişebilir, yüksek olması durumunda retina hasarı riski doğar. Bu nedenle göz muayenelerinde IOP ölçümü önemlidir. Normal IOP değerleri 13 hPa ile 27 hPa arasındadır.

- Hipertoni: Basıncın 27 hPa'nın üzerine çıkmasıdır.
- Hipotoni: Basıncın 6.5 hPa'nın altına düşmesidir.

IOP Ölçüm Yöntemleri

Tonometre Kullanımı:

1. Kornea, konik bir prizmayla düzleştirilir. Bu işlem öncesinde topikal anestezi uygulanır.
2. Korneayı düzleştirmek için gereken kuvvet (F) ölçülür ve indente edilen alan (A) kullanılarak iç basınç hesaplanır: $p = FA$
3. Standart bir $A = 3.06 \text{ mm}^2$ alanı kullanılır.

Ancak ölçümler, kornea kalınlığı ve esnekliği gibi faktörlerden etkilenebilir.

- Kalın kornea: Yanlış yüksek değerler.
- İnce kornea: Yanlış düşük değerler.

Bu hatalar, ultrasonla kornea kalınlığının ölçülmesi ve tonometri okumasının düzeltilmesiyle giderilebilir. [1]

Temassız Yöntem:

- Hava üfleme (air-puff) tonometri: Pulsed hava basıncıyla korneanın saptması ölçülür. Hızlıdır ancak hata payı yüksektir (örneğin, göz kapakları veya kirpikler hava darbesini sönmüleyebilir).

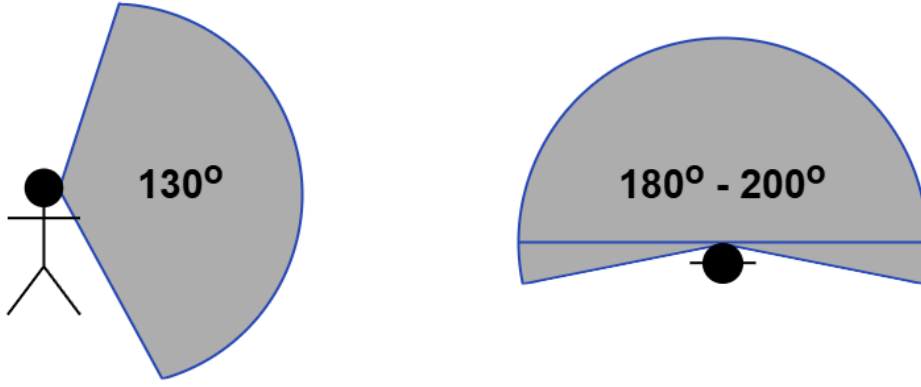
Hipertoni ve Görme Alanı Testi

Hipertonide, optik sinir veya retina hasarı meydana gelebilir, bu da görme alanının daralmasına yol açar. Görme alanı, perimetre ile test edilir. [1]

- Perimetre: İçinde beyaz bir yarım küre bulunan bir cihazdır.
- Bir göz kapatılır ve diğer göz, yarım kürenin tepesindeki bir ışığa odaklanır.
- Yarım kürede farklı konumlarda ve yoğunluklarda ışıklar yakılır. Hasta, ışığı algıladığında bir düğmeye basar.

Sonuç, gözün ışık duyarlılığına göre renklendirilmiş bir görme alanı haritasıdır:

- Normal bir gözde, görme alanı dikeyde 130° , yatayda 180° – 200° arasındadır (Şekil 4).
- Kör nokta: Optik diskte (optik sinirin ve kan damarlarının retina ile birleştiği yer) oluşur.



Şekil 4: Normal bir gözün dikey ve yatay yöndeki görme alanı.

Glokom Haritalaması:

- Glokomlu bir gözde duyarlılığın azaldığı bölgeler kahverengi olarak gösterilir.
- Hastalık ilerledikçe bu bölgeler siyahlaşabilir ve kör nokta genişleyebilir.
- Normal Tansiyon Glokomu (NTG): Normal IOP değerlerinde gelişen glokomdur ve optik siniri etkiler. Nedeni tam olarak bilinmemektedir.

Retina ve Optik Sinir İncelemesi

Retina hasarları, oftalmoskop kullanılarak incelenebilir.

- İlk versiyonlar, ışığı odaklamak için yarım küresel veya parabolik bir ayna kullanıyordu.
- Modern versiyonlar, aynayı veya prizmayı kullanarak daha geniş bir retina alanı görüntüler.

Görünüm Yöntemleri:

1. Doğrudan Oftalmoskop: Retinayı büyütülmüş (yaklaşık 15 kat), sanal ve dik bir görüntü olarak sunar.
2. Dolaylı Oftalmoskop: Retinayı gerçek, ters çevrilmiş bir görüntüyle sunar (yaklaşık 8 kat büyütme).
3. Taramalı Lazer Oftalmoskop: Göz bebeğini büyütmeden bile fundusun net görüntüsünü sağlar.

Glokom Tedavisi

- Hasar geri döndürülemez: Ganglion hücreleri ve sinir lifleri yenilenmez. Bu nedenle cerrahi müdahale, hasarı onarmaktan çok ilerlemeyi durdurmayı hedefler.
- Tedavi Yöntemleri:
 - İlaçlarla IOP düşürülebilir.
 - Cerrahi, aköz hümörün drenajını artırabilir (ekstra filtrasyon veya yapay implant ile).
 - Mikrostantler: Aköz hümör çıkışını artırmak için biyouyumlu mikrostantler test edilmektedir.

Ancak glokom tedavisi, katarakt tedavisine kıyasla daha az başarılıdır. Glokom nedeniyle tamamen kör olmuş hastalar, epiretinal veya subretinal mikroeletrot dizileri gibi implantlar sayesinde sınırlı görme kazanabilirler. Gözün ön kamarasını dolduran aköz hümör, siliyer cisim tarafından üretilerek iris ve lens arasındaki dar açıklıktan geçer ve göz bebeği yoluyla ön kamaraya ulaşır. Buradan, iris ile korneanın birleştiği bölgede bulunan drenaj açısına yönelir. Sulu sıvı, trabeküler ağ yoluyla Schlemm kanalına taşınarak episkleral damarlara geri emilir. Göz içi basıncını düşürmek amacıyla kullanılan stent implantları, aköz hümörün dışa akış hızını artırarak basıncın dengelenmesine yardımcı olur. [1]

3 Fotoreseptörler ve Transdüksiyon

3.1 Retina Yapısı

Retina, gözün arka kısmında bulunan, ışığa duyarlı hücrelerin yer aldığı ince bir dokudur. Görsel bilgiyi toplayarak sinirsel uyarılara dönüştüren retina, gözün en önemli yapılarından biridir. Retina, birkaç katmandan oluşur ve her katman, görme sürecinde belirli bir işlevi yerine getirir. Retina yapısının temel bileşenlerini ve işlevlerini anlamak, görme sürecini daha iyi kavrayabilmek için önemlidir. Retina, katmanlardan oluşur:

- Pigment epitel tabakası: Retina ile gözün dış yapıları arasında bulunan bu tabaka, ışığı emerek ışığın geri yansımalarını engeller. Ayrıca görsel pigmentlerin yenilenmesine yardımcı olur.

- Fotoreseptörler: Çubuklar (rod hücreleri) ve koniler (koni hücreleri), ışığı algılayan hücrelerdir. Çubuklar, düşük ışıktaki görme (skotopik görme) için, koniler ise renkli görme ve yüksek ışık koşullarında net görüş için gereklidir.
- İç nükleer tabaka: Bipolar hücreler, yatay hücreler ve amakrin hücrelerinin bulunduğu katmandır. Bu hücreler, görsel sinyalleri işleyip ileten nöronlar olarak görev yapar.
- Ganglion hücreleri tabakası: Retina katmanlarının en iç kısmında yer alır. Ganglion hücreleri, görsel bilgiyi beyne ileten sinir hücreleridir. Bu hücrelerin aksonları, optik siniri oluşturur.
- Sine yapılar: Retina üzerinde sinyallerin işlenmesinde yardımcı olan yapıların bulunduğu tabakalardır. Bu yapılar, ışık ve karanlık arasındaki kontrastı arttırmaya yardımcı olur. [1]

Retina Pigment Epitelinin Rolü

- Retina pigment epitelinin ana fonksiyonu, fotoreseptörler tarafından ışık Emilimi için gerekli molekülleri sağlamak ve ışık olmayan kısmı emerek geri yansımaları önlemektir.
- Melanin yoğunluğu sayesinde bu epitel, ışığın çoğunu emer ve retinanın ışıkla zarar görmesini engeller.
- Retina pigment epitelinin absorbe ettiği ışık mükemmel değildir; örneğin, flaşlı fotoğraflarda kırmızı göz etkisi görülebilir.
- Koroid, retinayı besleyen damarlar ve kapillerler içerir; oksijen ve besin sağlar, atık maddeleri toplar ve retina arkasını soğutur. [1]

Fotoreseptörlerin Çalışma Prensipleri

- Retina, karmaşık bir yapıya sahip olup, her hücre türü belirli bir işlevi yerine getirir.
- Işık, koni hücrelerinde trikromatik renk duyarlılığıyla, rod hücrelerinde ise aydınlık/karanlık duyarlılığıyla emilir.
- Işık, fotoreseptörlerde hiperpolarizasyon yaparak, retinalın distal kısmından proksimal kısmına doğru ilerler. Bu sinyaller, horizontal, bipolar ve amacrine hücreler tarafından işlenir ve son olarak gangliyon hücreleri (G) aksiyon potansiyeli üretir.
- Bu aksiyon potansiyelleri, optik sinir aracılığıyla beyne iletilir ve görsel işleme başlar.
- Müller hücreleri, retina ağındaki diğer hücreler arasında bulunur ve retina metabolizmasına destek olur. [1]

Rod ve Koni Dağılımı

- Retina üzerinde yaklaşık 120 milyon rod hücresi ve sadece 7 milyon koni hücresi bulunmaktadır, yani oran yaklaşık olarak 20:1'dir.
- Koni hücreleri, özellikle fovea bölgesinde yüksek yoğunluktadır. Fovea merkezi, gözün en yüksek görsel keskinlik bölgesidir ve yaklaşık 1.5 mm çapındadır. Fovea'nın merkezindeki koniler, dış bölgelere göre daha ince olup, yaklaşık 150,000-200,000/mm² yoğunluğundadır. Fovea, gözün optik ekseninde yer alır ve yüksek görsel keskinlik sağlar.
- Fovea dışında, koni yoğunluğu hızla azalır. Rod hücreleri ise foveanın iç kısmında bulunmaz; yoğunlukları, parafoveal bölgede artar, sonra makula dışında azalır. [1]

Nöron Liflerinin Konumu ve Kör Nokta

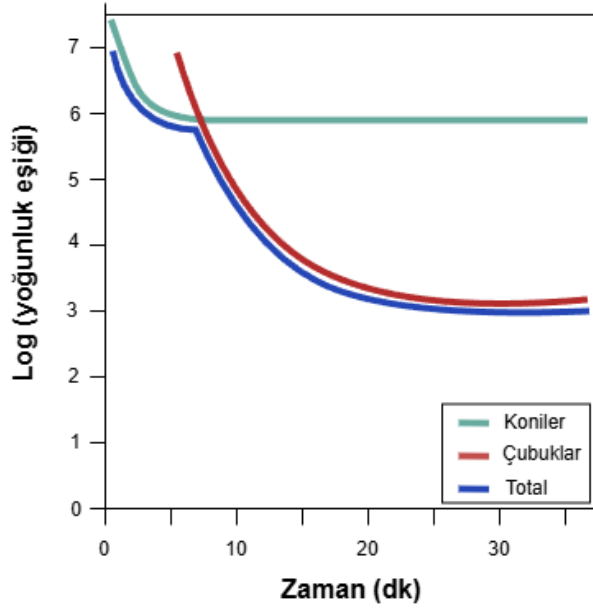
- Retina üzerindeki nöron lifleri, retina proksimal tarafında yer alır, bu da bir kör nokta oluşmasına neden olur.
- Ancak, fotoreseptörlerin ışık Emilimi ve besin alımı için epitel katmanla temas etmesi çok daha önemli olduğundan, bu katman distal tarafta bulunur.
- Retina pigment epitelinin ışık emme kapasitesi, sinir liflerinin ışık emme kapasitesinden çok daha yüksektir, bu nedenle epitelin distal tarafta bulunması gerekmektedir.

Bu yapı, ışığın retina üzerinde nasıl algılandığını ve beyne nasıl iletildiğini anlamamıza yardımcı olur. [1]

3.2 Duyarlılık ve Adaptasyon

Göz, farklı ışık koşullarına uyum sağlayarak görme duyarlılığını optimize eder. Bu süreç, fotoreseptör hücreleri olan çubuklar (rodlar) ve koniler (koniler) tarafından yönetilir. Çubuklar düşük ışık koşullarında monokromatik görme sağlarken, koniler parlak ışıktaki renkli görme yeteneği sunar. [1]

Gözün toplam ışık duyarlılığı aralığı oldukça geniştir ve tek bir fotonun algılanmasından milyonlarca fotonun işlenmesine kadar değişebilir. Görme sisteminin bu geniş dinamik aralığı, göz bebeğinin büyüüp küçülmesi, fotoreseptör hücrelerindeki kimyasal süreçler ve sinirsel güçlendirme mekanizmaları ile sağlanır. [1]



Şekil 5: Çubuk ve konilerin zamana bağlı olarak karanlık adaptasyonu.

Şekil 5'de, rod ve konilerin karanlık adaptasyonu zamanla nasıl değiştiği gösterilmektedir. Adaptasyon başlangıcı hızlıdır, ilk 5-8 dakika içinde duyarlılık 500 kat artar. Ardından, 20-30 dakika içinde daha yavaş bir adaptasyon gerçekleşir ve duyarlılık bir 2000 kat daha artar. Bu hızlı düşüşün ilk nedeni konilerdir. Ancak konilerin duyarlılığı düzleşmeye başlar ve ek duyarlılık artışı rodler tarafından sağlanır. Kohlrausch kırılması: Bu, gözdeki iki görsel sistemin varlığının erken bir göstergesidir. Duyarlılığı artırmak için üç strateji izlenir: pupilin genişletilmesi, rodlerin görsel pigmentlerinin yeniden üretilmesi ve nörolojik güçlendirme. [1]

Karanlık ve Aydınlik Adaptasyonu

Aydınlık bir ortamdan karanlığa geçildiğinde, göz başlangıçta çevresini göremez. Ancak, çubuk hücreleri devreye girerek düşük ışık seviyelerine karşı duyarlılığı artırır. Adaptasyonun ilk 5-8 dakikasında duyarlılık 500 kat artarken, 20-30 dakika içinde 2000 kata kadar yükselir. Adaptasyonun erken aşamasında koniler etkilidir, ancak daha uzun süreçte çubuklar devreye girerek gözün karanlık ortamlara uyumunu sağlar. Bu süreçte, Kohlrausch kırılması olarak adlandırılan bir nokta, çubukların baskın hale geldiği geçiş anını ifade eder. Tablo 1'de skotopik ve fotopik görsel sistemlerin temel özellikleri karşılaştırılmaktadır. [1]

Tablo 1: Fotopik ve skotopik görsel sistemin ana özellikleri.

Özellik	Fotopik (Gündüz)	Skotopik (Gece)
Alıcı	Koniler	Çubuklar
Renk	Trikromatik	Monokromatik
Pigment	Rodopsin	Rodopsin
Duyarlılık	Düşük	Yüksek
Kullanım	Gün ışığı	Alacakaranlık
Konum	Fovea	Fovea dışında
Keskinlik (Acuity)	Foveada yüksek	Genel olarak düşük

Görme adaptasyonu, ışığın dalga boyuna da bağlıdır. Purkinje Kayması olarak adlandırılan olgu nedeniyle, düşük ışık koşullarında mavi tonlar daha parlak görünürken kırmızı tonlar daha soluk algılanır. Bu durum, çubuk hücrelerinin duyarlılık maksimumunun 500 nm'de, konilerin ise 555 nm'de olmasından kaynaklanır.[1]

Duyarlılığı Etkileyen Faktörler

- Yaşlanma: Fotoreseptör hücrelerinin hassasiyet kaybetmesi, adaptasyon sürecini yavaşlatır.
- Vitamin A Eksikliği: Çubuk hücrelerindeki rodopsin üretimi azalır ve gece görme yetisi düşer.
- Göz Hastalıkları: Glokom veya retinal dejenerasyon gibi hastalıklar, duyarlılık ve adaptasyon mekanizmalarını olumsuz etkileyebilir.

Bu mekanizmalar sayesinde göz, parlak gün ışığında ve düşük ışıklı ortamlarda çevresine uyum sağlayarak optimum görmeyi sürdürür. [1]

3.3 Fototransdüksiyon

Fototransdüksiyon, ışığın retina hücrelerinde bulunan fotoreseptörler (çubuklar ve koniler) tarafından elektriksel sinyallere dönüştürülmesi sürecidir ve görme sisteminin temelini oluşturur. Çubuklar düşük ışık koşullarında çalışırken, koniler renkli görüşü sağlamak için devreye girer. Her iki fotoreseptör türü de, ışığı, içlerinde bulunan görsel pigmentler olan rhodopsin ile algılar. Rhodopsin, opsin adlı bir protein ile ışığa duyarlı retinal molekülünün birleşmesinden oluşur. Işık, retinal molekülünü uyararak 11-cis formundan all-trans formuna dönüşmesine yol açar. Bu dönüşüm, opsinden ayrılmasına neden olur ve fototransdüksiyon sürecini başlatır. Aktivasyona geçen retinal, opsinle birleşmiş halde kalır, ancak transducin adlı bir G-protein molekülü aktive olduğunda retinal, opsinden ayrılır. Bu olay “bleaching” (beyazlama) olarak bilinir. [1]

Bu süreçte, transducin molekülleri aktif hale gelir ve cGMP seviyelerini düşürür. cGMP'nin azalması, $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ kanallarının kapanmasına yol açar. Kanalların kapanması hücreyi hiperpolarize eder ve membran potansiyelini -70 mV'ye düşürür. Bu değişiklik, fotoreseptör hücrelerinden sinir hücrelerine iletilen elektriksel sinyalleri başlatır. [1]

Fototransdüksiyon, üç ana kimyasal döngüden oluşur: Rhodopsin döngüsü, transducin döngüsü ve fosfodiesteraz (PDE) döngüsü. Bu döngüler, fototransdüksiyonun temel bileşeni olan cGMP'nin parçalanmasına yol açar. Karanlıkta, çubuklar depolarize olur (yaklaşık -30 mV) ve $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ kanalları açıktır. Işık algılandığında ise, bu kanallar kapanır ve hücre daha negatif bir potansiyele, yani -70 mV'ye geçer. Bu değişim, glutamat salınımının azalmasına yol açar ve bipolar hücreler aksiyon potansiyelleri üretmeye başlar. [1]

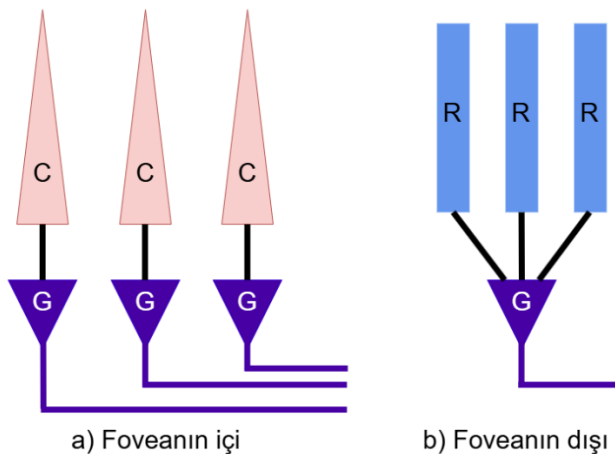
Konilerde ise mavi, yeşil ve kırmızı ışığı algılayan üç farklı opsin türü bulunur. Her koni türü, belirli bir ışık dalga boyuna duyarlıdır ve bu, renkli görmeyi sağlar. Farklı opsin türlerinin aynı anda aktive olması, ara renklerin algılanmasına imkân verir. Böylece, ışık sinyalleri, retina hücrelerinden beyne doğru iletilir ve görsel algılamayı sağlar.[1]

3.4 Retina Sinyal İşleme

Retina, görsel sinyallerin işlenmesinde önemli bir rol oynar ve bu süreç, retina içindeki hücreler arasında karmaşık bir etkileşimle başlar. Fotoreseptör hücreler (çubuklar ve koniler), ışığı algılar ve bu bilgiyi elektriksel sinyallere dönüştürür. Işık, fotoreseptörlerdeki rhodopsin gibi görsel pigmentlerle emilir ve hücrelerin hiperpolarizasyonuna yol açar. Bu değişim, sinyali bipolar hücrelere ileterek işlemeyi başlatır. [1]

Bipolar hücreler, aldıkları sinyalleri ganglion hücrelerine iletir. Ganglion hücreleri ise aksiyon potansiyelleri üreterek bilgiyi beyne iletir. Retina, kontrast algısını artırmak için yatay ve amakrin hücreler gibi ara hücreler aracılığıyla lateral bağlantılar kurar. Yatay hücreler, bipolar hücreler arasında yan inhibisyon yaparak görsel kontrastı güçlendirirken, amakrin hücreleri, rod bipolar hücrelerini ganglion hücrelerine bağlar. [1]

Fovea, yüksek mekansal çözünürlük sağlayan bir bölgedir; burada her koni hücresi, tek bir bipolar ve ganglion hücresine bağlanır. Bu 1:1 bağlantı, beyin input konumlarını tam olarak kaydetmesini sağlar ve yüksek görsel keskinliği destekler. Fovea dışındaki bölgelerde ise birden fazla fotoreseptör bir ganglion hücresine bağlanır, bu da mekansal çözünürlüğü düşürür ancak ışık-karanlık kontrastlarını daha hassas algılamayı sağlar. Bu fenomen, Şekil 6'da gösterilmektedir; burada fovea içinde (a) her koni hücresinin bir bipolar ve ganglion hücresine bağlandığı, dış kısımlarda ise (b) birden fazla rod hücresinin bir ganglion hücresine bağlandığı gösterilmektedir. [1]



Şekil 6: Bipolar hücreleri göstermeyen basitleştirilmiş bir versiyonda foveanın içindeki (a) ve dışındaki (b) reseptör alanları.

Rodlar, düşük ışıktaki (skotopik) görmeyi sağlarken, koniler daha çok renkli görme ve gündüz (fotopik) görme işlevini üstlenir. Fovea, rod hücrelerinden yoksundur ve burada konilerin yüksek yoğunluğu bulunur. Fovea'daki 1:1 bağlantı, bu bölgedeki yüksek görsel keskinliği destekler. Bipolar hücreler, yalnızca rod veya konilerden gelen inputları alacak şekilde özelleşmiştir, her ikisinden de almazlar. Bipolar hücreler, aksiyon potansiyelleri yerine gradyan potansiyelleri üretir. [1]

Retina, ışık ve karanlık arasında ayırım yapabilmek için iki antagonistik sistemi kullanır. ON ve OFF bipolar hücreleri, ışık ve karanlık sinyallerini ayrı ayrı işler, böylece beyin bu bilgileri daha ayrıntılı ve hassas bir şekilde analiz edebilir. Işık algılandığında glutamat konsantrasyonu azalır, bu da ON ve OFF hücrelerinin farklı şekilde tepki vermesini sağlar. Bu süreç, ışık-karanlık kontrastları ve detayları daha etkili bir şekilde algılayabilmemize olanak tanır. Retina sinyal iletimi süreci, ışık ve karanlık arasındaki ayrımları yaparak ve lateral inhibisyon mekanizmalarıyla kontrastları artırarak görsel bilgiyi işler ve beynimize iletmek üzere hazırlar. [1]

3.5 Alıcı Alanlar

Retina üzerindeki her bir nöron (fotoreseptör, bipolar, amakrin, yatay, ganglion) bir görme alanını kapsar. Bu alan, nöronun aktivitesini değiştiren ışık uyarıcısının etkilediği bölgedir ve bu bölge o nöronun alıcı alanı olarak adlandırılır. Fotoreseptörlerin alıcı alanları, doğrudan ışık noktasına odaklanırken, retina katmanlarındaki diğer hücrelerle bağlantılar kurularak daha karmaşık hale gelir. Alıcı alanların boyutu, retina üzerindeki konumla orantılıdır; fovea bölgesinde küçüktür, ancak eksantrik bölgelerde büyür. Bipolar hücrelerin alıcı alanı genellikle yuvarlak şekildedir. Ancak alıcı alanın merkezine uygulanan ışık uyarısı, çevresine çarpan ışığın tersine bir etki yaratır. Örneğin, ON-center hücrelerinin merkezine ışık uygulandığında, bu hücre aktive olurken, çevresine ışık çarptığında bu hücre devre dışı kalır ve OFF-center hücreleri uyarılır. Bu etkileşim yatay hücrelerin işleviyle gerçekleşir. Alıcı alanların merkez ve çevresi arasındaki bu antagonizma, görsel sinyallerin doğru bir şekilde iletilmesini sağlar. [1]

Ganglion hücrelerinin de merkez-çevre antagonizmasına sahip alıcı alanları vardır. Ancak bipolar hücrelerden farklı olarak, ganglion hücreleri aksiyon potansiyellerinin frekansını arttırarak ya da azaltarak tepki verirler. ON ve OFF ganglion hücreleri, bu merkezin ve çevresinin yanıtlarına göre farklı şekilde aktive olur. Yanal inhibisyon, kontrastı artırma amacı güder ve görsel algıyı iyileştirir. Bu süreç, merkez ve çevre arasındaki sınırdaki kontrastı artırarak çevresel detayların daha net algılanmasını sağlar. Yanal inhibisyon, retina düzeyinde görsel kontrastın önemli bir ögesidir ve görsel algı için kritik bir rol oynar. [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52], [53], [54].

Conclusion

Göz, çevremizdeki dünyayı algılayabilmemiz için oldukça karmaşık ve etkili bir organ olup, görsel bilginin toplanması ve işlenmesi sürecinde sayısız biyolojik mekanizmanın birleşiminden oluşur. Işığın fotoreseptör hücreleri tarafından algılanması, retina hücreleri arasındaki etkileşimler ve sinyal iletimi, görsel sistemin temel işlevlerini yerine getiren kritik adımlardır. Fototransdüksiyon süreci, ışığın retina üzerindeki fotoreseptörler tarafından kimyasal sinyallere dönüştürülmesiyle başlar ve bu sinyaller retina sinir hücreleri aracılığıyla beyne iletilir. Retina içindeki her bir hücre tipi, farklı işlevlere sahip olup, ışık ve karanlık arasındaki farkları daha hassas bir şekilde algılamamıza yardımcı olur. Retina sinyal işleme süreci, fotoreseptör hücrelerinin ışığa verdiği yanıtların daha karmaşık ve entegre bir biçimde işlenmesini sağlar. Bu işleme sürecinde, alıcı alanlar, yanal inhibisyon ve merkezi çevre etkileşimleri gibi faktörler, görsel kontrastı artırarak daha keskin bir görsel algı oluşturur. Retina içindeki sinyal iletimindeki bu ince mekanizmalar, görsel algımızın doğruluğunu, netliğini ve kontrast hassasiyetini büyük ölçüde etkiler. Özellikle fovea gibi görsel netliğin en yüksek olduğu bölgelerde, bu sistemlerin mükemmel uyumu, görsel keskinliğin sağlanmasında kritik bir rol oynar. [1]

Fovea dışında ise, ışığa duyarlı rod hücrelerinin etkisiyle, düşük ışık koşullarında daha hassas bir görüş sağlanırken, koniler renk algısını yönlendirir. Bu farklı hücre türlerinin iş birliği, çevremizdeki dünya hakkında zengin, ayrıntılı ve dinamik bir görsel algı oluşturur. Ayrıca, retina içindeki yatay ve amakrin hücrelerinin birbirleriyle kurduğu yan bağlantılar, görsel işleme sürecinde kontrastı artıran önemli bir rol oynar. Bu süreç, yalnızca görsel netliği değil, aynı zamanda ışık ve karanlık arasındaki geçişlerin doğru algılanmasını da sağlar. Gözün bu kadar hassas ve entegre bir şekilde çalışması, sadece görsel algıyı değil, aynı zamanda görsel sinyalleri işleyip beyne ileten nörolojik yapıları da etkiler. Göz ve retina üzerine yapılan çalışmalar, görme bozuklukları ve göz hastalıklarının nasıl meydana geldiğine dair yeni anlayışlar kazandırmakta ve bu sorunların tedavisine yönelik yeni yöntemlerin geliştirilmesinin önünü açmaktadır. Gözün görsel işleme kapasitesinin daha iyi anlaşılması, yalnızca tıp alanında değil, aynı zamanda yapay zekâ ve görüntü

işleme teknolojilerinde de yeni ilerlemelere yol açabilir. Bu nedenle, gözün karmaşık işleyişi üzerine yapılacak derinlemesine araştırmalar, görme biliminin sınırlarını genişletmek ve görme yetisini etkileyen hastalıkların tedavisinde önemli adımlar atmak için büyük bir potansiyele sahiptir. [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52], [53], [54].

References

1. Hartmut Zabel, Volume 1: Medical Physics, Physical Aspects of Organs and Imaging, ISBN: 978-3-11- 037281-6, Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, 2017.
2. Elmas, Emin Taner, ELMAS's Theory of Thermodynamics": A Scientific Approach for 5th Law of Thermodynamics -A Theoretical Application Example for Medical Thermodynamics. Op Acc J Bio Sci & Res 2(1)-2020. DOI: 10.46718/JBGSR.2020.01.000030
3. Emin Taner ELMAS*. Medical Treatment Method of Alzheimer's Disease & Parkinson's Disease by the Help of the Natural Musical Sound of Nây-ı Şerif, Instrument of Ney (Ney: Turkish Reed Flute, Nay). IJCMCR. 2024; 42(3): 004 DOI: 10.46998/IJCMCR.2024.42.001039
4. Elmas, Emin Taner (2020) Medical Treatment Method of "Bio-robotic Resonance and Thermodynamical Interaction" with Analogy of "Frequency – Resonance Setting Formation" on the Application of "Algorithm for Smart Drugs Controlled by a Bio-robotic System" developed for the "Treatment of Covid-19, Coronavirus and Virus Infections". Open Access Journal of Biogeneric Science and Research (BGSR), Op Acc J Bio Sci & Res 1: 1. DOI: 10.46718/JBGSR.2 020.01.000007.
5. Elmas Emin Taner (2020) Scope of Applications for Medical Technique at Science and Engineering, Open Access Journal of Biogeneric Science and Research (BGSR), Op Acc J Bio Sci & Res 1: 1. DOI: 10.46718/JBGSR.2020.01.000002.
6. Emin Taner ELMAS (2024) System Design and Development of a Novel Unique Neuro-Physical Medical Treatment Method for SMA-SPINAL MUSCULAR ATROPHIA-Disease and for Similar Neurological Muscle Diseases. Herculean Res 4(1):90-97
7. Fevzi Daş, Emin Taner Elmas and İhsan Ömür Bucak, Book Chapter: Innovative Use of Machine Learning-Aided Virtual Reality and Natural Language Processing Technologies in Dyslexia Diagnosis and Treatment Phases; From the Edited Volume Digital Frontiers - Healthcare, Education, and Society in the Metaverse Era;(2024) , Written By Fevzi Daş, Emin Taner Elmas and İhsan Ömür Bucak, DOI: 10.5772/intechopen.1006621, IntechOpen Limited, UNITED KINGDOM; indexed in the Book Citation Index in Web of Science™ Core Collection (BKCI)
8. Emin Taner ELMAS (2024) Design of Bionic Eye and Artificial Vision System; a Unique Project "Mobile Bio-Eye-Tronic System". Herculean Res 4(1):97-100 <https://dx.doi.org/10.70222/hres23>
9. Emin Taner ELMAS*. Project for "Amphibious Mobile Snow Track Ambulance" for Healthcare System. Am J Biomed Sci & Res. 2024 22(4) AJBSR.MS.ID.002990, DOI: 10.34297/AJBSR.2024.22.002990
10. Emin Taner ELMAS*. The first "Olive Seedlings" and "Artichoke Seedlings" Planted in Iğdır Province, Turkey. Am J Biomed Sci & Res. 2024 22(5) AJBSR.MS.ID.002996, DOI: 10.34297/AJBSR.2024.22.002996
11. Emin T. Elmas, & İhsan Ö. Bucak. (2023). Modeling and Simulation of Smart-Drug Algorithms Through Frequency Modulation for the Treatment of Covid-19 and Similar Viruses. Global Journal of Research in Medical Sciences, 3(5), 1–6. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10051793>
12. Emin T. E., & İhsan Ömür B. (2024). FM Modulated Smart Drug Algorithm for the treatment of Cancer Cells. In Global Journal of Research in Medical Sciences (Vol. 4, Number 1, pp. 1–6). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10463529>
13. Emin Taner ELMAS. (2023). Prototype Design, Production and Functioning of a Portable (Movable), Home-Type (Domestical) Hemodialysis Machine (Unit). In Global Journal of Research in Medical Sciences (Vol. 3, Number 6, pp. 11–12). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10252972>
14. Elmas, Emin Taner (2019) Thermodynamical Balance Associated with Energy Transfer Analysis of the Universe Space as a Pressure Vessel Analogy. Journal of Applied Sciences, Redelwe International Publications 2019(1): RDAPS- 10002.
15. Elmas, Emin Taner (2017) Productivity and Organizational Management (The Book) (Chapter 7): Prospective Characteristics of Contemporary Engineer (By the Approach of Mechanical Engineering) Contribution and Role of the Mechanical Engineer to the Organization Management and Productivity. Machado Carolina, Davim J Paulo (Eds.), DEGRUYTER, Walter de Gruyter GmbH, Berlin / Boston, Spain (ISBN:978-3-11-035545-1)
16. Elmas, Emin Taner (2017) Prospective Characteristics of Contemporary Engineer (By the Approach of MechanicalEngineering) Contribution and Role of the Mechanical Engineer to the Organization Management and Productivity). DeGruyter, Germany (DOI 10.1515 / 9783110355796-007)
17. ELMAS, Emin Taner, & ALMA, M. H. (2025). Iğdır University ISO 50001 Energy Management System Certification Studies. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 5, Number 2, pp. 6–24). <https://doi.org/10.5281/zenodo.15011984>

18. Hartmut Zabel, Medical Physics, Volume2: Radiology, Lasers, Nanoparticles and Prosthetics, ISBN: 978-3-11-055310-9, Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, 2017.
19. Steven Vogel, Comparative Biomechanics – Life's Physical World, Published by Princeton University Press, ISBN:978-0-691-15566-1, USA, 2013
20. Roland Ennos, Solid Biomechanics, Published by Princeton University Press, ISBN:978-0-691-13550-2, USA, 2012
21. Mark Strikman, Kevork Spartalian, Milton W. Cole, Applications of Modern Physics in Medicine, Princeton University Press, ISBN:978-0-691-12586-2, USA, 2015
22. Emin Taner Elmas. Design of Bio-Artificial Liver Organ. J Biomed Sci Biotech Res. 2024. 2(3): 1-4. DOI: doi.org/10.61440/JBSBR.2024.v2.12
23. ELMAS, E. T. (2024). Design of Bionic Ear-Cochlear Implant and Artificial Hearing System; a Unique Project "Mobile Bio-Ear-Tronic System". Journal homepage: <https://gjrpublishation.com/gjrms>, 4(02). <http://doi.org/10.5281/zenodo.12751385>
24. min Taner Elmas. A Review for Combined Cycle Power Plants. Bi-omed J Sci & Tech Res 58(1)-2024. BJSTR. MS.ID.009087. DOI: 10.26717/BJSTR.2024.58.009087
25. ELMAS, Emin Taner. (2024). Dimensional Unit Analysis Applications for Heat Pipe Design. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 5, pp. 12–26). <https://doi.org/10.5281/zenodo.13741540>
26. ELMAS, Emin Taner. (2024). Calculation of the Filling Amount of Working Fluid to be Placed in a Heat Pipe. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 5, pp. 100–108). <https://doi.org/10.5281/zenodo.13844847>
27. ELMAS, Emin Taner. (2024). Providing Fully Developed Flow for Waste Exhaust Gas at the Inlet Region of a Heat Pipe Air Recuperator. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 5, pp. 118–124). <https://doi.org/10.5281/zenodo.13931542>
28. Emin Taner Elmas, (2024), ONLINE BOOKLET - E -Print - A Review for Combined Cycle Power Plants: <https://biomedres.us/view-reprints/82/a-review-for-combined-cycle-power-plants/> DOI: 10.26717/BJSTR.2024.58.009087
29. Emin Taner ELMAS, Doktora (Ph.D.) Tezi, "Yüksek Sıcaklıklı, Isı Borulu, Isı Geri Kazanım Ünitelerinin Tasarım Parametrelerinin Termodinamiksel ve Deneysel Analizi", Tez Danışmanı:Prof. Dr. Ali Güngör, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Termodinamik Bilim Dalı, İzmir, 2011
30. Elmas, Emin Taner, (1999), Yüksek Lisans (M.Sc.) Tezi, "Evaporation Plant For Recyling of Caustic Soda", Thesis Advisor: Prof. Dr. Fehmi Akdoğan, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Bilim Dalı, İzmir.
31. Emin Taner E. (2023). Thermodynamical And Experimental Analysis of Design Parameters of a Heat Pipe Air Recuperator. Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences, 3(6), 6–33. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10116309>
32. Emin T. E. (2023). Design, Production, Installation, Commissioning, Energy Management and Project Management of an Energy Park Plant Consisting of Renewable Energy Systems Established at Iğdır University. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 3, Number 6, pp. 67–82). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10406670>
33. ÇELİK ÜRETİMİNDE ELEKTRİK ARK OCAKLARINDA ENERJİ MALİYETLERİNİN VE ENERJİ VERİMLİLİK FAKTÖRLERİNİN ARAŞTIRILMASI INVESTIGATION ON ENERGY COSTS AND ENERGY EFFICIENCY FACTORS OF ELECTRIC ARC FURNACE FOR STEEL PRODUCTION, Fenerbahçe Üniversitesi Tasarım, Mimarlık ve Mühendislik Dergisi - Journal of Design, Architecture & Engineering Hasan TAMSÖZ *, Emin Taner ELMAS ** FBU-DAE 2021 1 (3): 163-180
34. SİNER TESİSLERİNDE ENERJİ KULLANIM NOKTALARI VE ENERJİYİ VERİMLİ KULLANACAK YÖNTEMLERİN BELİRLENMESİ DETERMINATION OF ENERGY UTILIZATION POINTS AND THE METHODS USING THE EFFICIENT ENERGY FOR SINTERING PLANTS, Fenerbahçe Üniversitesi Tasarım, Mimarlık ve Mühendislik Dergisi - Journal of Design, Architecture & Engineering Adem KAYA*, Emin Taner ELMAS** FBU-DAE 2022 2 (2): 170-181
35. Emin Taner ELMAS. (2024). The Electrical Energy Production Possibility Research Study by using the Geothermal Hot Water Resources, which is a a kind of Renewable Energy Resource, located at the Region of Mollakara Village which is a part of Diyadin Town and City of Ağrı, Turkey. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 1, pp. 90–101). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10729333>
36. ELMAS, Emin Taner. (2024). Energy Analysis, Energy Survey, Energy Efficiency and Energy Management Research carried out at Iğdır University. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 2, pp. 12–30). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10828077>
37. ELMAS, Emin Taner. (2024). A Research Study of Salt Dome (Salt Cave) Usage Possibility for CAES – Compressed Air Energy Storage Systems. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 2, pp. 128–131). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10980421>

38. ELMAS, Emin Taner. (2024). Wankel Rotary Piston Engine Design Project. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 3, pp. 1–4). <https://doi.org/10.5281/zenodo.11117047>
39. ELMAS, Emin Taner. (2024). An innovative solar dish type collector – concentrator system having an original – unique geometrical mathematical model called as DODECAGON which has 12 equal segments. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 3, pp. 31–38). <https://doi.org/10.5281/zenodo.11397848>
40. Emin Taner ELMAS*. Waste Heat Recovery Boilers (WHRBs) and Heat Recovery Steam Generators (HRSGs) used for Co-generation and Combined Cycle Power Plants. *Op Acc J Bio Sci & Res* 12(1)-2024. DOI: 10.46718/JBGSR.2024.12.000284
41. ELMAS, Emin Taner. (2024). Presentation and Curriculum of Division of Motor Vehicles and Transportation Technologies & Department of Automotive Technology at Vocational School of Higher Education for Technical Sciences at Iğdır University, Turkey. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 3, pp. 60–67). <https://doi.org/10.5281/zenodo.12536211>
42. Emin Taner ELMAS. (2023). Design and Production of a Unique Hand-Made Energy-Efficient 4 x 4 – Four Wheel Drive (4wd – 4 Matic) Traction System Electric Automobile. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 3, Number 6, pp. 48–51). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10359170>
43. ELMAS, Emin Taner. (2024). Three – Pass Fire Tube Boilers for production of Steam, Hot Water and Superheated Water. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 4, pp. 29–38). <https://doi.org/10.5281/zenodo.12741030>
44. Elmas, Emin Taner, Evaporation Plant for Recycling of Caustic Soda, *INTERNATIONAL JOURNAL of ENGINEERING TECHNOLOGIES-IJET* Emin Taner Elmas., Vol.3, No.3, 2017
45. Elmas, Emin Taner, (2014), Çağımızın Mühendisinden Beklenenler, Gece Kitaplığı, ISBN:9786053244158
46. Emin Taner ELMAS* and Levent OĞUL. The Effects of Medicine and Music Therapy Practices on Human Health. *IJCMCR*. 2025; 50(2): 003, DOI: 10.46998/IJCMCR.2025.50.001233
47. Emin Taner E, Servet K. (2025). Biomechanical Analysis of Transtibial Prosthesis Designed for Runners. *Biomedical and Clinical Research Journal*, 1(2); DOI: <http://02.2025/BCRJ/007>.
48. ET Elmas and MA Cinibulak (2025) Fundamental Scientific and Technical Issues related with the “Hip Replacement Design and Biomechanical Analysis”. *Journal of Material Science and Nanotechnology, Matsci Nano J*, 2025
49. Kunduracıoğlu, İ. (2018). Examining the Interface of Lego Mindstorms Ev3 Robot Programming. *Journal of Educational Technology & Online Learning*, 1(1), 28–46. <https://doi.org/10.31681/jetol.372826>
50. Kunduracıoglu, I. (2024). CNN Models Approaches for Robust Classification of Apple Diseases. *Computer and Decision Making: An International Journal*, 1, 235–251. <https://doi.org/10.59543/comdem.v1i.10957>
51. Kunduracıoglu, I. (2024). Utilizing ResNet Architectures for Identification of Tomato Diseases. *Journal of Intelligent Decision Making and Information Science*, 1, 104–119. <https://jidmis.org/index.php/jidmis/article/view/11949>
52. ELMAS, Emin Taner, & KUNDURACIOĞLU, I. (2025). A Model for Second Law of Thermodynamics, Relationship between Health, Disease, Aging, Death Processes and Consciousness, Nervous System and Time. In *Global Journal of Research in Medical Sciences* (Vol. 5, Number 2, pp. 1–6). <https://doi.org/10.5281/zenodo.14973559>
53. ELMAS, Emin Taner, & KUNDURACIOĞLU, I. (2025). Metabolic Heat Production with Energy Transfer and Laws of Human Thermodynamics: The Energy Balance of the Human Body. In *Global Journal of Research in Medical Sciences* (Vol. 5, Number 2, pp. 7–14). <https://doi.org/10.5281/zenodo.14973620>
54. Elmas ET, Kunduracıoğlu I (2025) Artificial Heart Design and Biomechanical Analysis. *Open Access Journal of Medicine and Healthcare*, Research Article 1(1): 01-06.