

# DUYU FİZYOLOJİSİ

**Doç. Dr. Emrah Şefik Abamor**

# Duyu Sistemi

Duyu sistemi, hem organlar arasındaki entegrasyonun hem de kişi-dış çevre ilişkisinin kurulmasını sağlayan sistemdir.

Duyu organları, stimülasyonlar (uyarılmalar) sonucu çevreden aldığı bilgiyi elektrik impulslarına çevirirler.

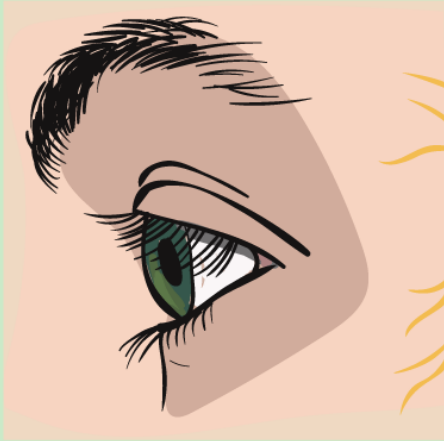
Duyu belirli bir uyararla meydana gelen bilinçli bir olaydır.



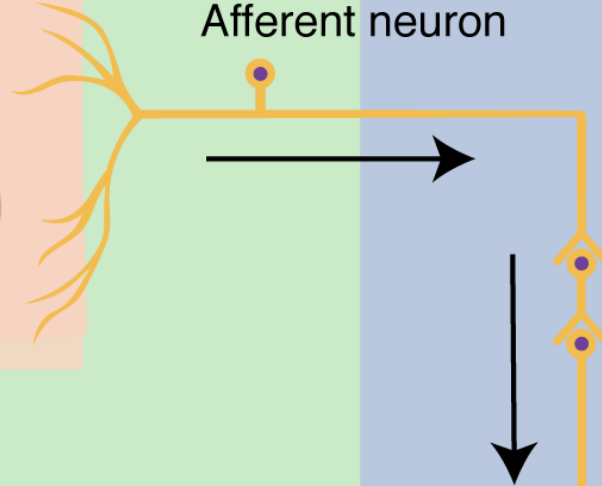
## Peripheral nervous system

## Central nervous system

Sensory information



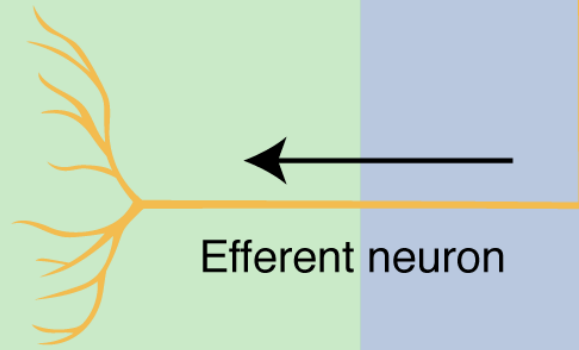
Afferent neuron



Integration



Efferent neuron



Effector organ





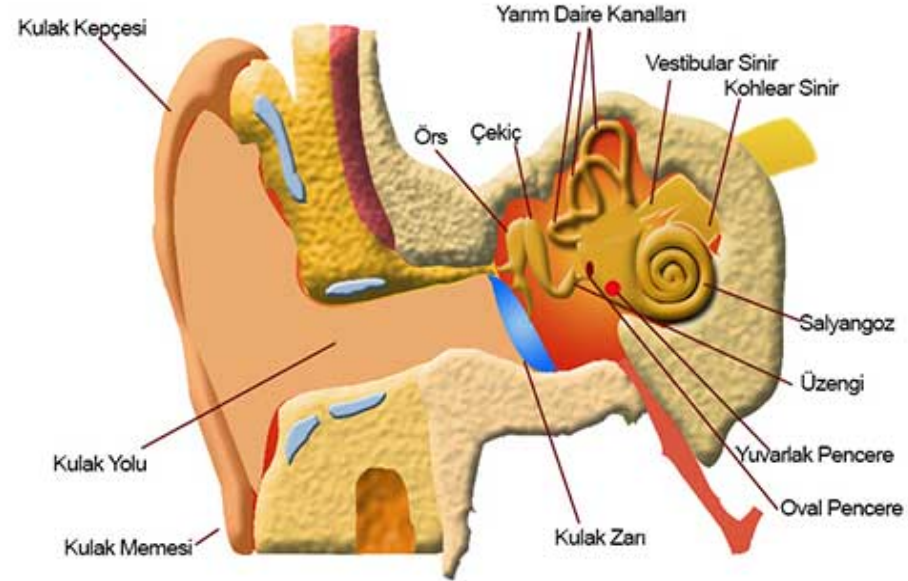
## Duyunun Oluşması

---

- Duyunun meydana gelebilmesi için;
  1. reseptör hücrenin uyarılması ve reseptörde oluşan potansiyelin (reseptör potansiyeli) aksiyon potansiyeline dönüşmesi,
  2. meydana gelen potansiyelin afferent yollarla duyu merkezine taşınması,
  3. duyu merkezinin gelen uyarıyı değerlendirdikten sonra cevaplaması gerekir.

# İŞİTME

- İşitme organı kulak cisimlerin titreşimi sonucu oluşan ve ses adı verilen dalgalara duyarlıdır.
  - Kulak (auris), çevredeki ses dalgalarını toplar ve beynin işleyebileceği sinirsel iletilere çevirir.
  - Böylece duyma işlemi gerçekleştirir.
- Kulak aynı zamanda beden dengesinin sağlanmasında da rol oynar.**



# Sesin Özellikleri

- Sesin iki temel belirleyicisi **frekansı ve şiddetidir.**
- Sesin şiddeti doğrudan kulak zarına ulaşan mekanik basınçla ilişkilidir ve desibel (dB) olarak ölçülür. Kulağımız 0-140 dB arası sesleri algılar.
- 140 dB kulakta ağrı, kulak zarında yırtılma gibi etkiler yapar.

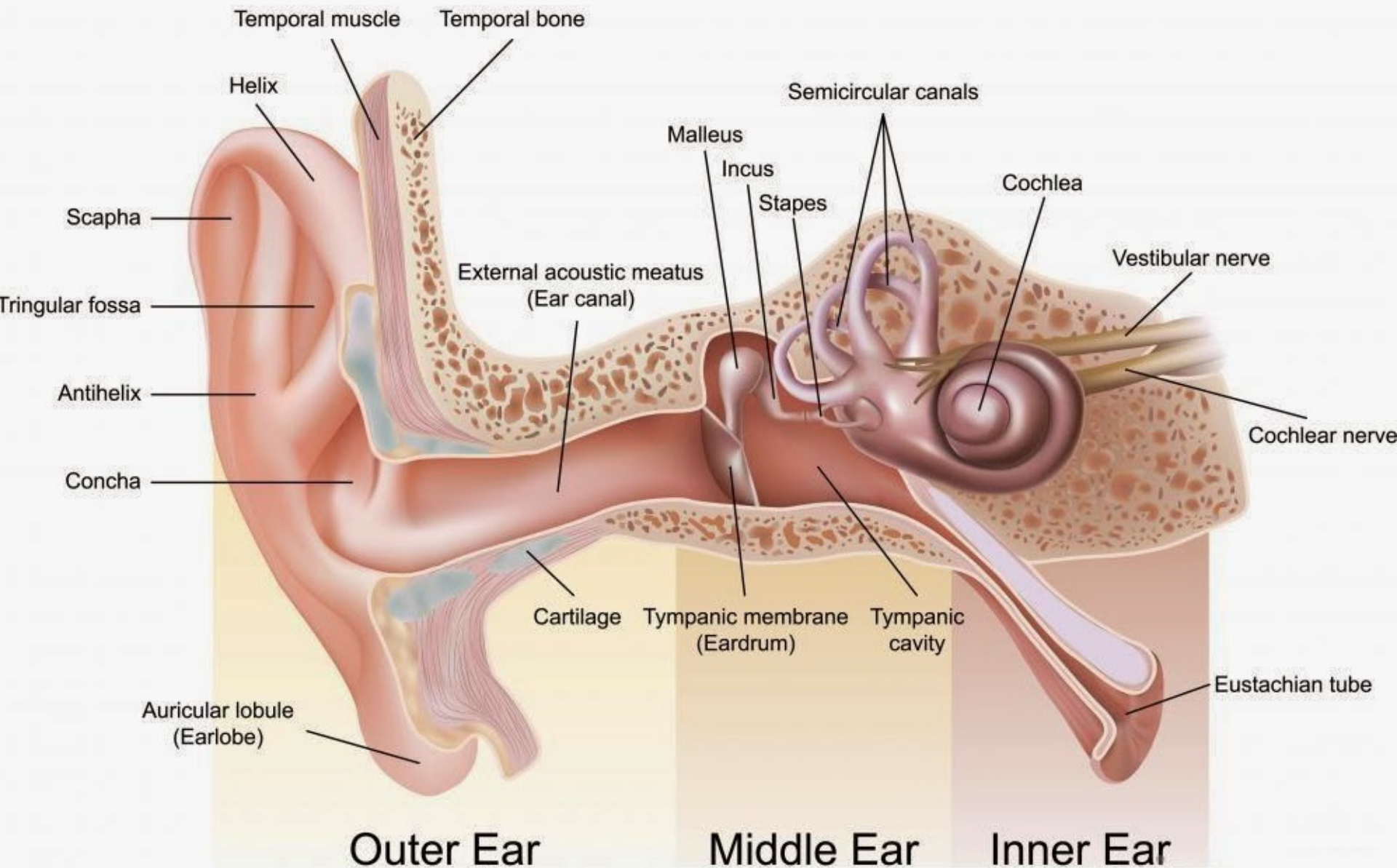
# Sesin Özellikleri

- Frekans ise saniyede geçen titreşim sayısıdır ve birimi hertz'dir (Hz). İnsan kulağı 20-20.000 Hz arasındaki sesleri duyar. Bu sınırın altındaki seslere infrasonik, üstündeki seslere de ultrasonik sesler denir.

| Canlı Türü | İşitme Aralığı Frekansı (Hz) | Ses Üretme Aralığı Frekansı (Hz) |
|------------|------------------------------|----------------------------------|
| Köpek      | 15–50.000                    | 450–1080                         |
| Kedi       | 60–65.000                    | 760–1520                         |
| Yunus      | 150–150.000                  | 7000–120.000                     |
| Yarasa     | 1000–120.000                 | 10.000–120.000                   |

# Sesin İletilmesi

- Kulağın her bir kısmı özel bir amaçla sesi algılamak için çalışmaktadır.
- Dış kulak ses dalgalarını toplayıp orta kulağa iletmekten; orta kulak aldığı ses dalgalarının enerjisini değiştirerek sıkıştırılmış dalgalar şeklinde iç kulağa iletmekten sorumludur.
- İç kulak ise aldığı bu ses dalgalarını sinir sinyallerine dönüştürerek beyne gönderir ve beyinde sesin algılanıp yorumlanması gerçekleşir.





# Kulak Bölümleri

- Kulak üç bölümde incelenir:
- a) Dış kulak b) Orta kulak c) İç kulak
- Bu üç bölümün tamamı işitme ile ilgili fonksiyonları gerçekleştirirler
- Denge ile ilgili olanlar yapılar:
  1. Yarım daire kanalları
  2. Utrikulus
  3. Sakkulus

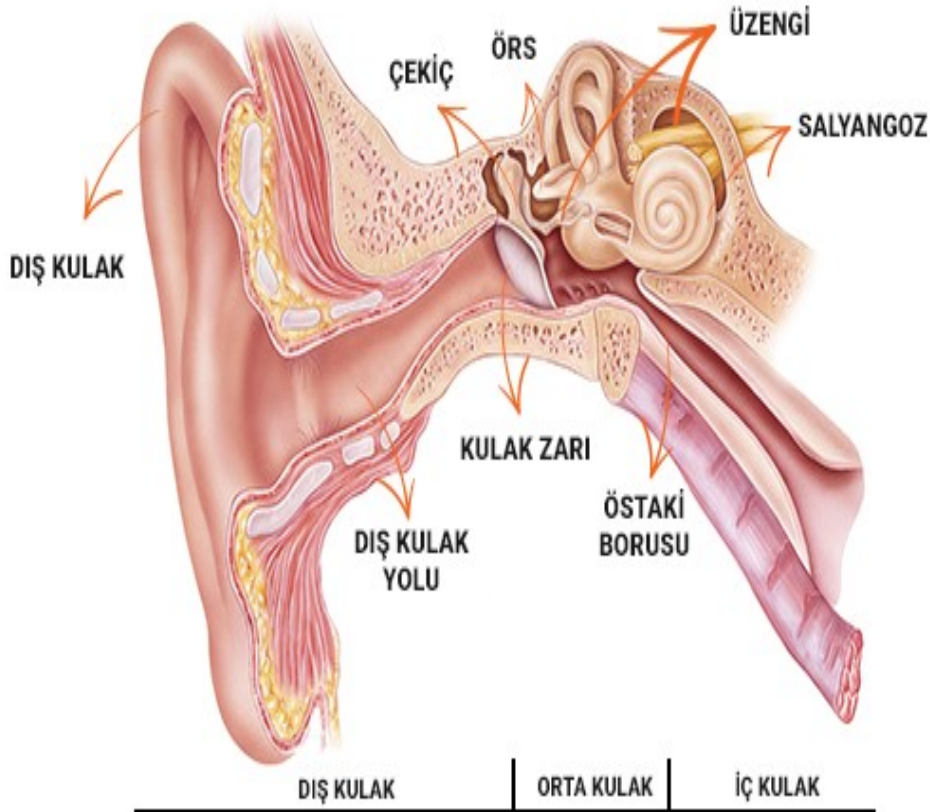


# Dış Kulak

3 ana bölümden oluşur:

1. Kulak kepçesi,
2. Dış kulak kanalı,
3. Kulak zarı (timpanik membran)

# Dış Kulak

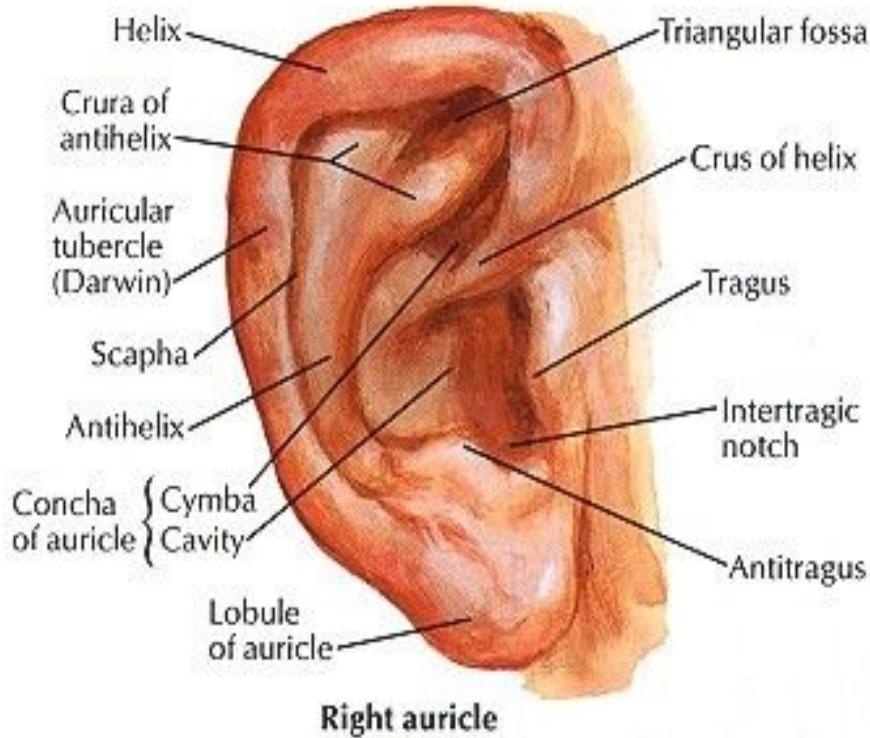


- Kulak kepçesi kıkırdak bir yapıdan oluşur ve havada yayılan titreşimleri toplayarak dış kulak kanalına iletmek ve ayrıca sesin yönünün belirlenmesine yardımcı olmak görevini gerçekleştirir.

# Sesin Yönünü Belirlenmesi

- Dış kulak sesin geldiği yönün tayini bakımından oldukça önemlidir. Sesin yönü 2 şekilde belirlenebilir:
  1. Sesin kulağa giriş zamanları arasındaki fark
  2. Sesin her iki kulaktaki şiddetleri arasındaki fark

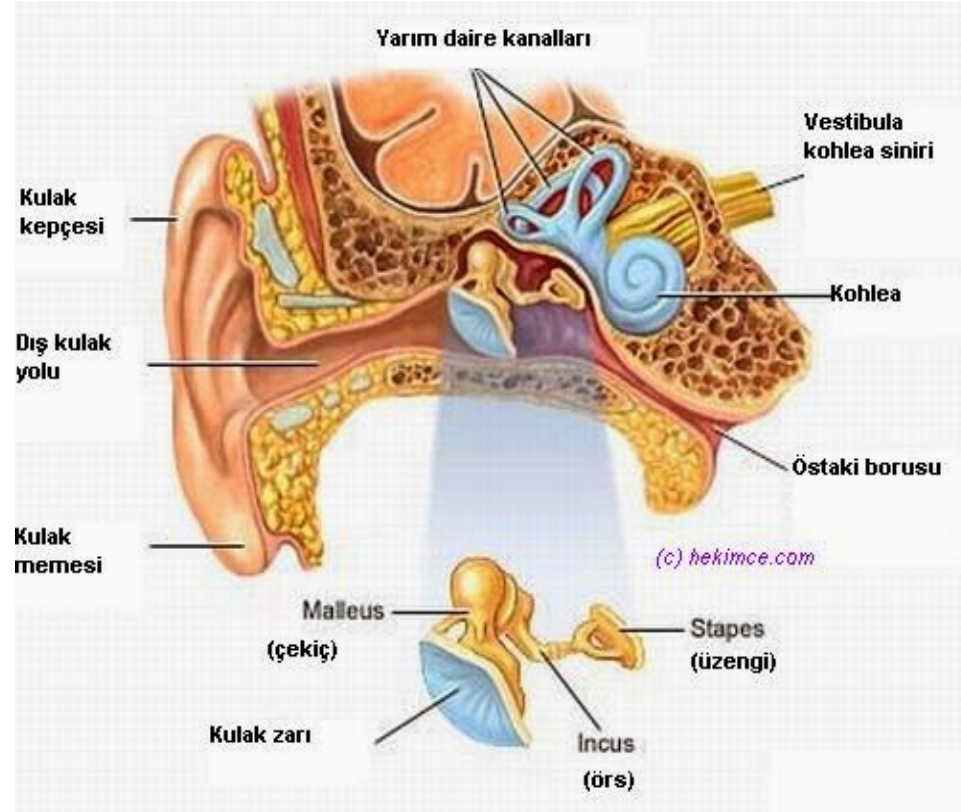
# Kulak Kepçesi (Aurcula)



- Başın her iki yanında, çene eklemlerinin hemen arkasında bulunur. Kıvrılmış bir huni şeklinde ve girintili çıkıntılıdır. Deri ile örtülmüş kıkırdak yapıdan oluşur.
- Kulak kepçesi ses dalgalarını toplayarak, yaklaşık 2,5 cm uzunluğundaki kulak yoluna aktarır.

# Dış Kulak Kanalı

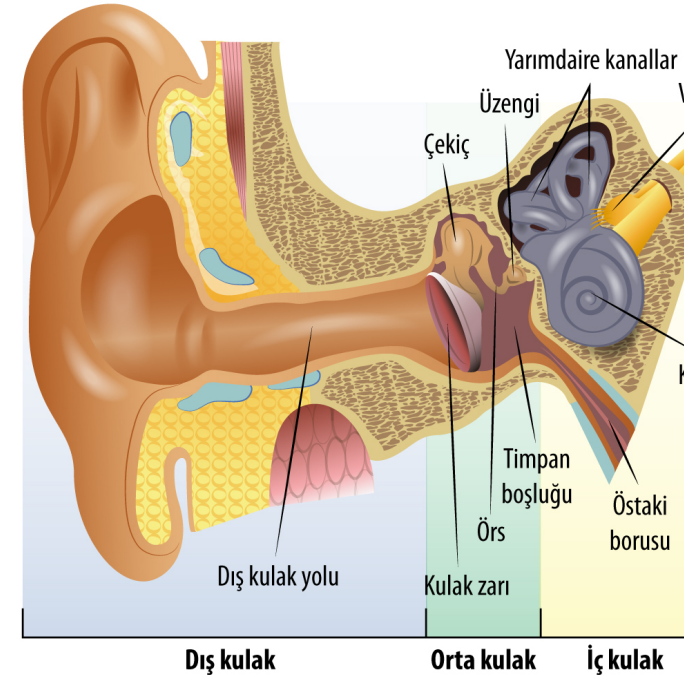
- Yetişkin bir bireyde dış kulak yolunun 1/3'ü kıkırdak yapıdan, 2/3'lük iç kısım ise kemikten oluşur.
- Dış kulak yolundaki deride kıllar ve yağ bezleri bulunur. Dış kulak yolunun sonunda "kulak zarı"(timpanik zar) bulunur. Oval bir şekle sahiptir ve oldukça incedir.
- Dış kulak yolunda bulunan kıllar, kulak zarını dış etmelere karşı korur.



# Orta Kulak

- Timpan zarı ile cochlea'nın oval penceresi arasında kalan boşluğa orta kulak denir.
- Orta kulak östaki borusu (odituvar kanal) ile nazofarinkse (geniz, üst yutak) açılır. Östaki borusu genellikle kapalı olmakla birlikte yutma, çiğneme ve esneme sırasında açılır ve böylelikle kulak zarının iki tarafı arasındaki basıncı eşit tutar.

## Kulağın Yapısı



# Timpanik Membran

- Dış kulak yolunu orta kulaktan ayırır. Kulak zarı oval, yarı saydam bir zardır ve 3 tabakadan oluşmuştur. **Dış kulak yolu tarafı yassı epitelle orta kulak tarafı tek katlı kübik epitelle döşelidir.** Arada kollajen, elastik fibril ve fibroblastlardan oluşan bağ dokusu vardır.

# Timpanik membran

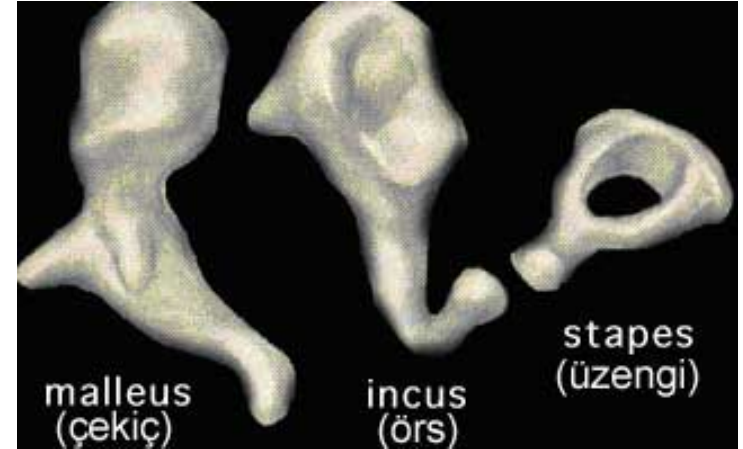
- Çekiç kemiği ile bağlantılı olduğundan, zarı titreştiren ses dalgaları aynı zamanda çekiç kemiğini de titreştirir ve çekicin hareketi diğer iki kemiği (örs ve üzengiye) de hareket ettirir.
- Ses dalgaları büyük alanlı kulak zarından küçük bir alana sahip olan üzengiye geldiğinde yoğunlaşır ve ses yaklaşık 15-20 defa büyütülerek iletilir (kaldıraç teorisi)



# Orta Kulak

- Orta kulakta 3 adet kemikçik bulunur:

1. Malleus (çekiç)
2. Incus (örs)
3. Stapes (üzengi)



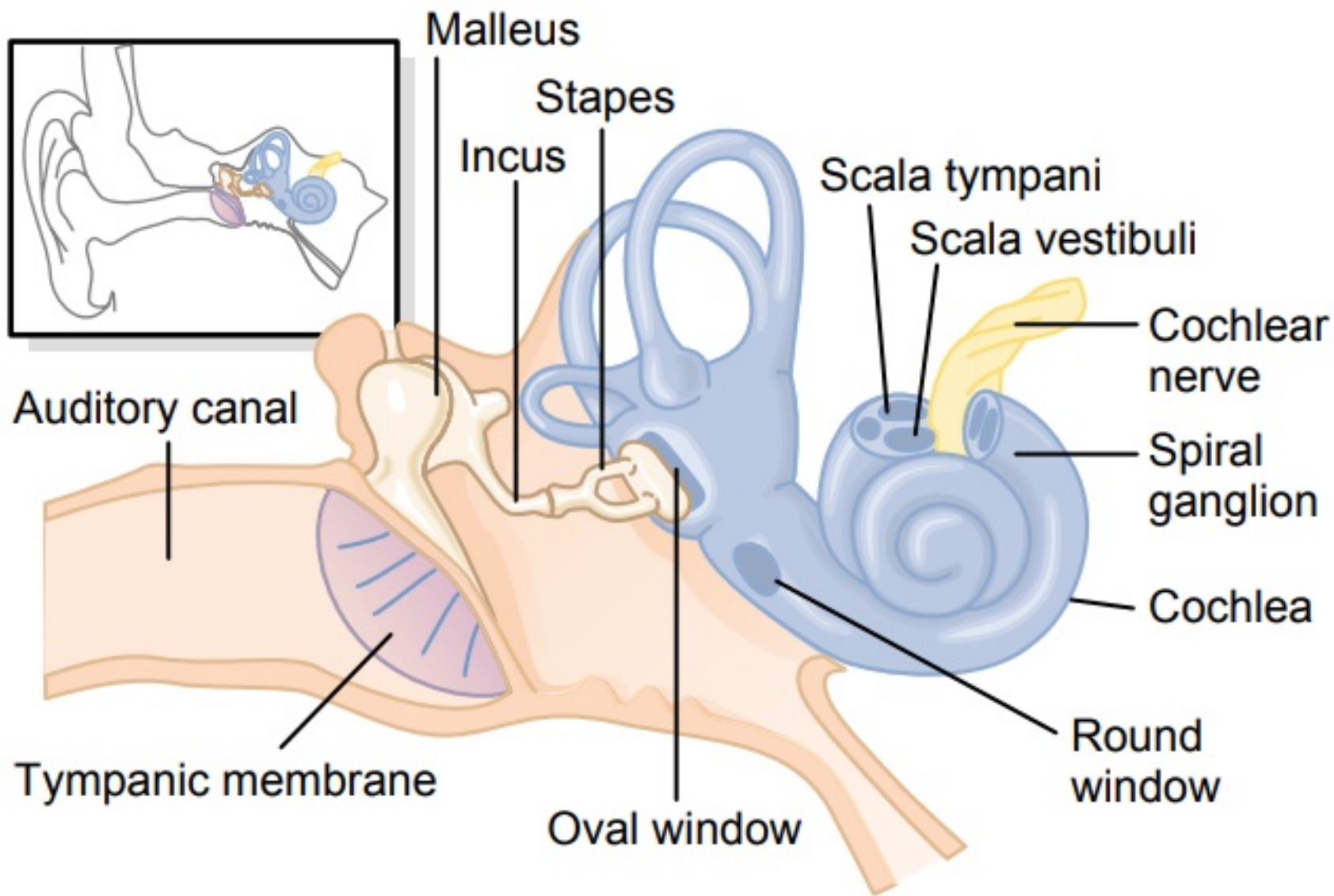
- Kemikçikler timpan zarındaki titreşimlerin genliğini azaltarak basıncını artıran bir kaldıraç sistemi oluşturur.



## Orta Kulakta Ses İletimi

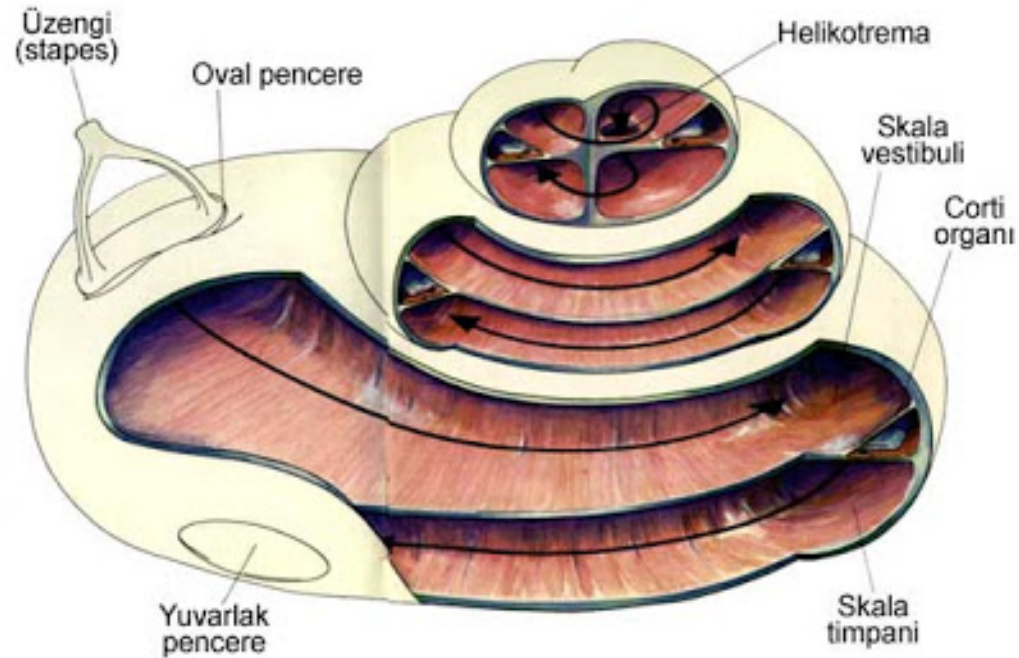
---

- Timpan zarının tam ortasına malleus'un kolu tutunmuştur. Malleus'un diğer ucu ise incus kemiğine bağlıdır. Böylelikle malleus her hareket ettiğinde incus da hareket eder.
- İncusun diğer ucu stapes'in kök kısmı ile eklem yapar. Stapes tabanı ise iç kulağın başlangıcı olan oval pencereye bağlıdır. Oval pencere sesleri iç kulakta bulunan cochlea'ya iletir.



# İç Kulak

- İşitme olayının sinirsel ögeleri iç kulakta yer alır. **Burada içi sıvı dolu ve uzunlamasına 3 bölümden (skala vestibuli, skala media ve skala timpani) oluşan helezonik bir yapı bulunur. Bu yapıya koklea denir.**

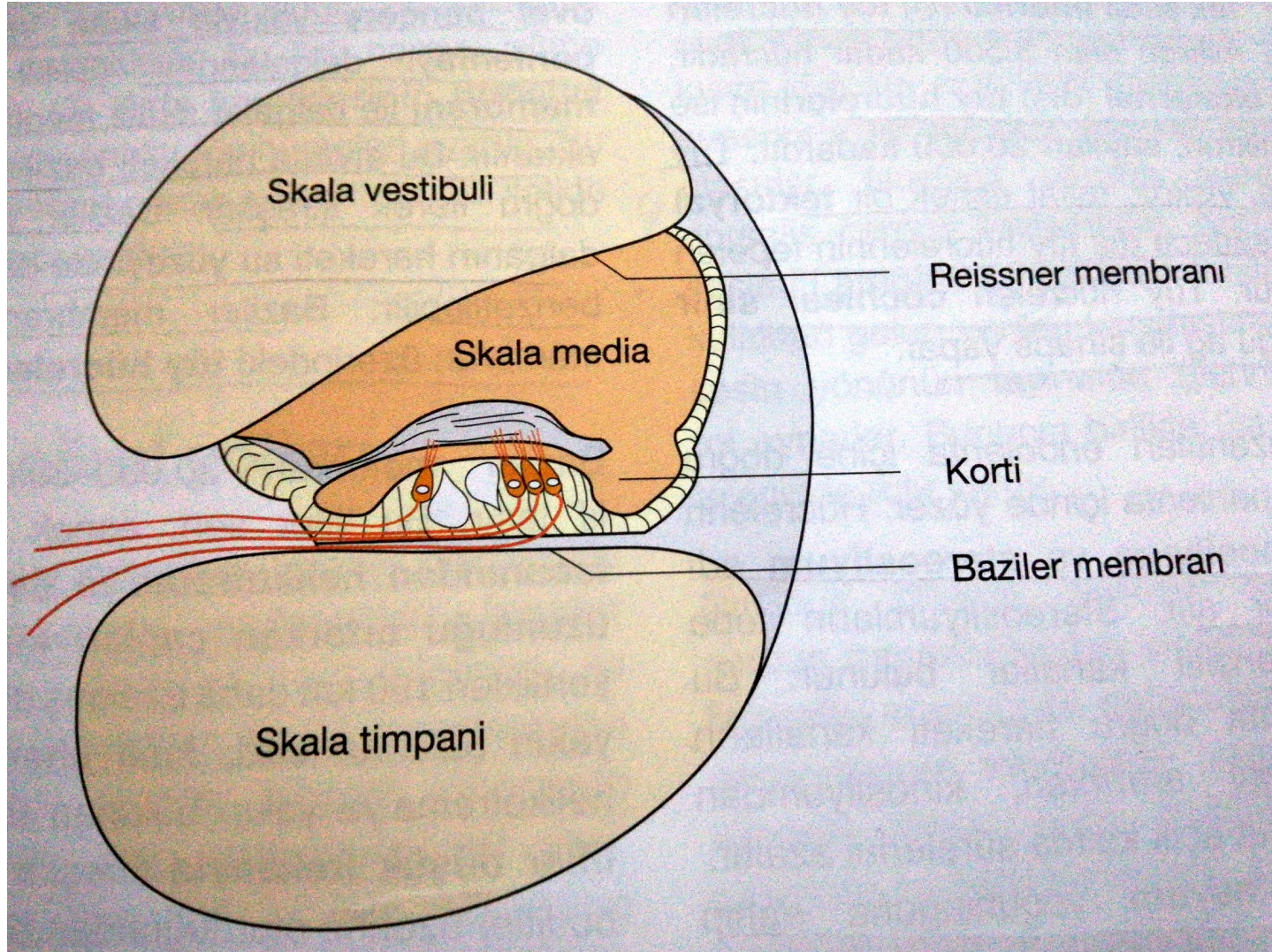


## İç Kulak

- Skala media, özel bir damar ağının aktivitesine bağlı olarak sentezlenip salgılanan, potasyum derişimi oldukça yüksek bir sıvıyla (“endolenf” sıvısı ile) doludur.
- Skala media ile skala vestibuli’yi ‘Reissner zarı’ ayırır. Skala timpani ile skala media’yı ise “baziler zar” ayırır.
- Skala timpani ve skala vestibüli, perilenf sıvısı ile doludur. Endolenf ve perilenf sıvıları birbirlerine karışmaz.



# Skalalar ve Corti Organının Yapısı



# İç Kulak

- **Skala vestibuli:** Oval pencere bu kısma bağlıdır. Perilenfa ile doludur.
- **Reissner membranı (vestibüler membran):** Skala vestibuli ve skala media arasındaki, titreşimlerin aktarılmasına olanak sağlayacak incelikteki membrandır. Perilenfa ve endolenfanın karışmasını önler.
- **Skala media:** Endolenfa ile doludur.

# İç Kulak

- **Baziler membran:** skala media ve skala timpaniyi birbirinden ayırır.
- **Skala timpani:** Perilenfa içerir. Cochlea ve yuvarlak pencere sayesinde orta kulakla ilişkilidir.
- **Corti organı:** Baziler membran yüzeyiyle ilişkilidir. Mekanik uyarıları alan reseptör görevindeki tüy hücreleri burada bulunur. Tüy hücreleri ses titreşimlerine karşı sinir uyarıları doğurur.

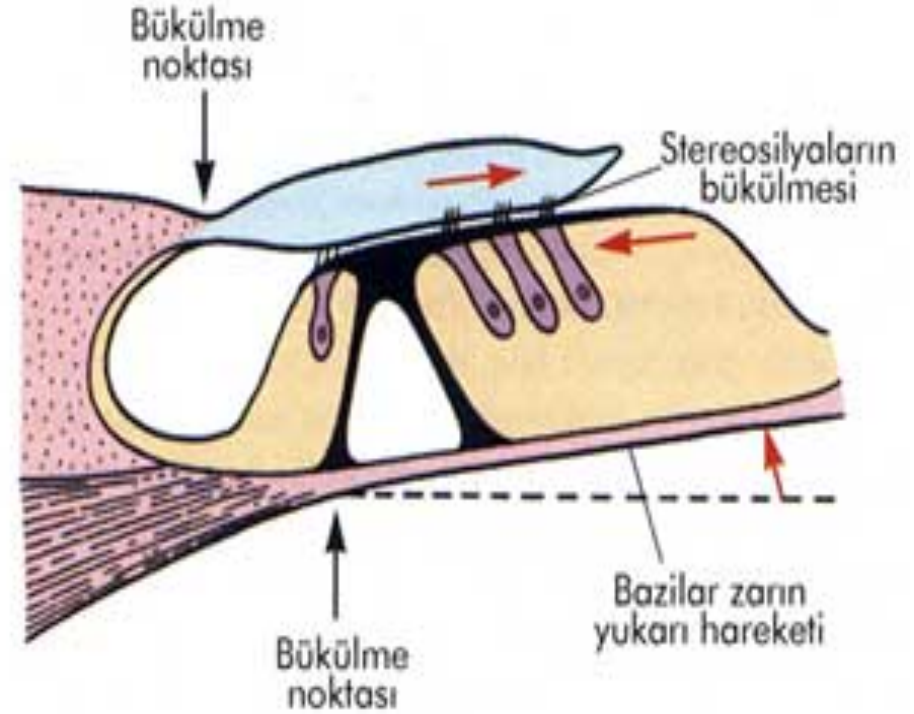
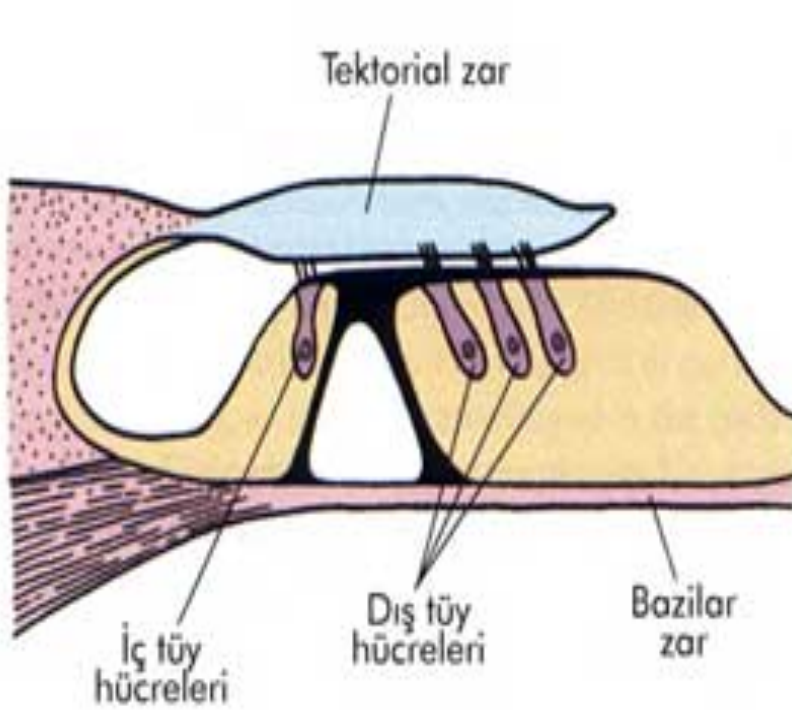


# İç Kulakta Ses İletimi

- Baziler zar oldukça kompleks bir yapıdır ve üzerinde “Corti organı”nı taşır. Corti organı baziler membranın skala media yüzünde yer alan, duyu (tüy) ve destek hücrelerinden oluşan reseptör organıdır.
- Stapes kemiğinin tabanı, kokleanın tabanında bulunan ve kokleanın girişini oluşturan ‘yuvarlak pencere’ ile temas halindedir. Stapes tabanının oval pencereye doğru hareketi perilenf sıvısını skala vestibuli boyunca hareket ettirir.
- Perilenfin bu hareketi hem endolenfin hem de baziler membranın titreşmesine neden olur.

# İç Kulakta Ses İletimi

- Korti organı baziler zardaki titreşimlere yanıt olarak sinir uyarıları üreten reseptör organdır.
- Korti organı, tüy hücreleri ve destek hücrelerinden oluşur. Tüy hücreleri 'iç' ve 'dış' tüy hücreleri olmak üzere ikiye ayrılır.
- Tüy hücre sayısı 16.000 civarındadır ve bunların yaklaşık %80'ini dış tüy hücreleri (DTH) oluşturur.



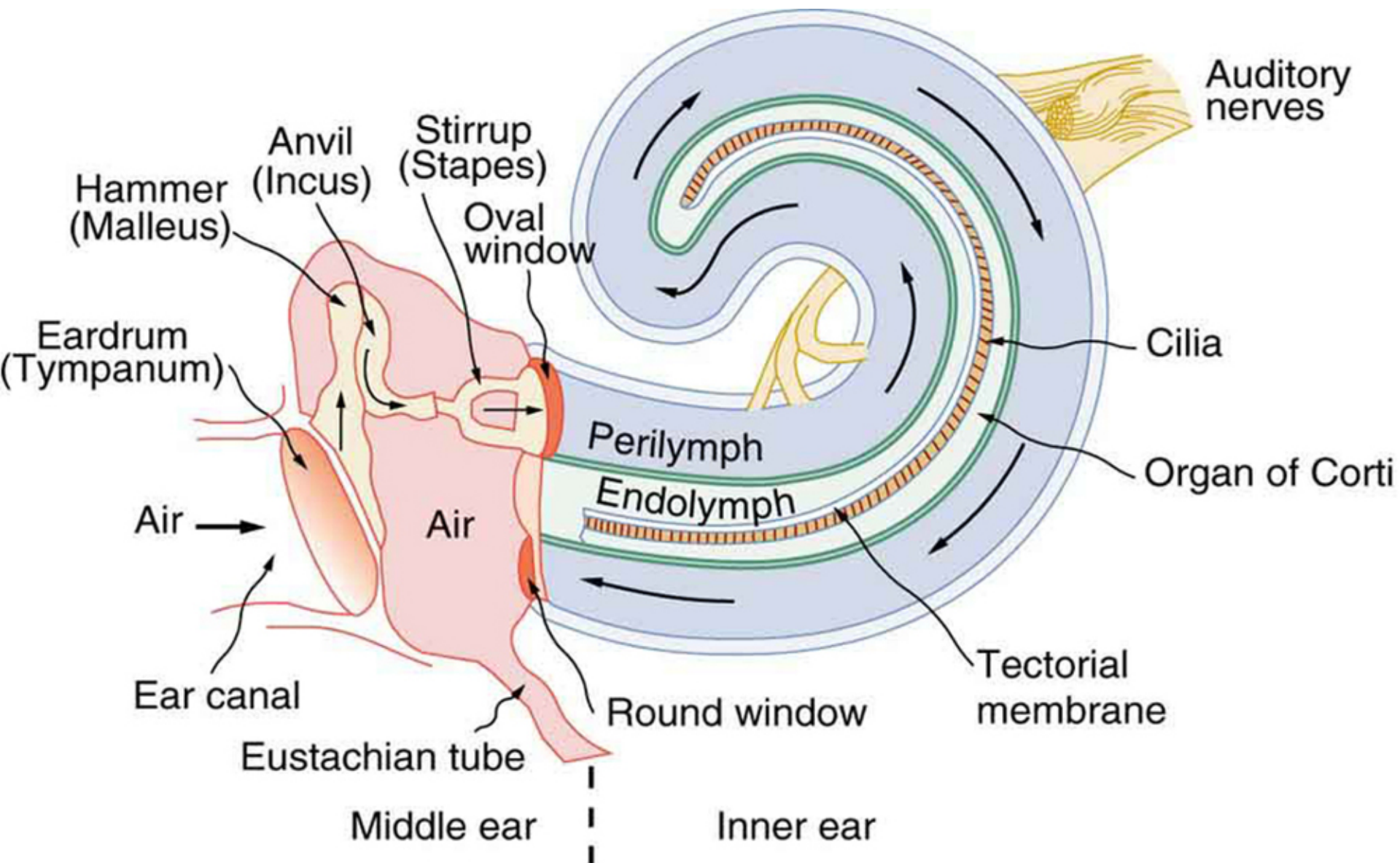
*Corti organının çalışma mekanizması. Baziler zarın titreşimi, tektorial zar içine gömülü durumdaki tüy hücre uzantılarının (stereosilya) bükülmesine neden olur. Bu mekanik etki, hücrelerin elektriksel potansiyellerini değiştirerek, ses titreşimlerini elektriksel sinir sinyallerine dönüştürür.*

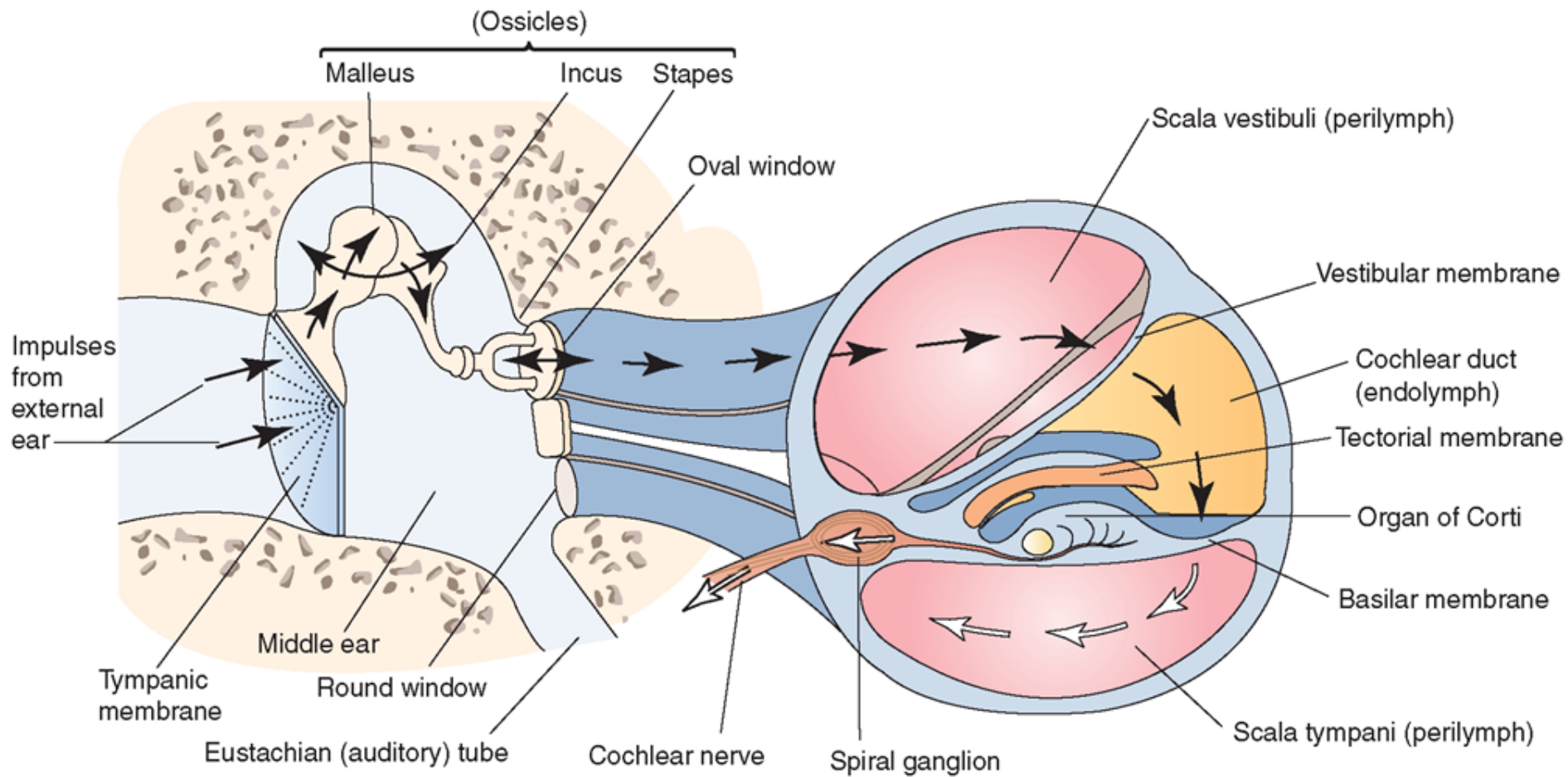
# İç Kulakta Ses İletimi

- Baziler zarın titreşmesi birbirlerine tutunmuş olan silyaların bir yöne eğilmesine neden olur.
- Bu eğilme hareketiyle tüylerin tektoryal membrana sürtünmesi tüy hücresinde 200-300 adet katyon iletici kanalın açılmasını sağlar ve yüksek potasyum konsantrasyonu içeren endolenf sıvısında tüy hücrelerine doğru pozitif yüklü potasyum iyonları akar.
- Bu pozitif yük tüy hücresinin depolarizasyonuna neden olur. Baziler zarın aşağı doğru hareketi ile silyalar zıt yönde bükülür ve hücre hiperpolarize olur.

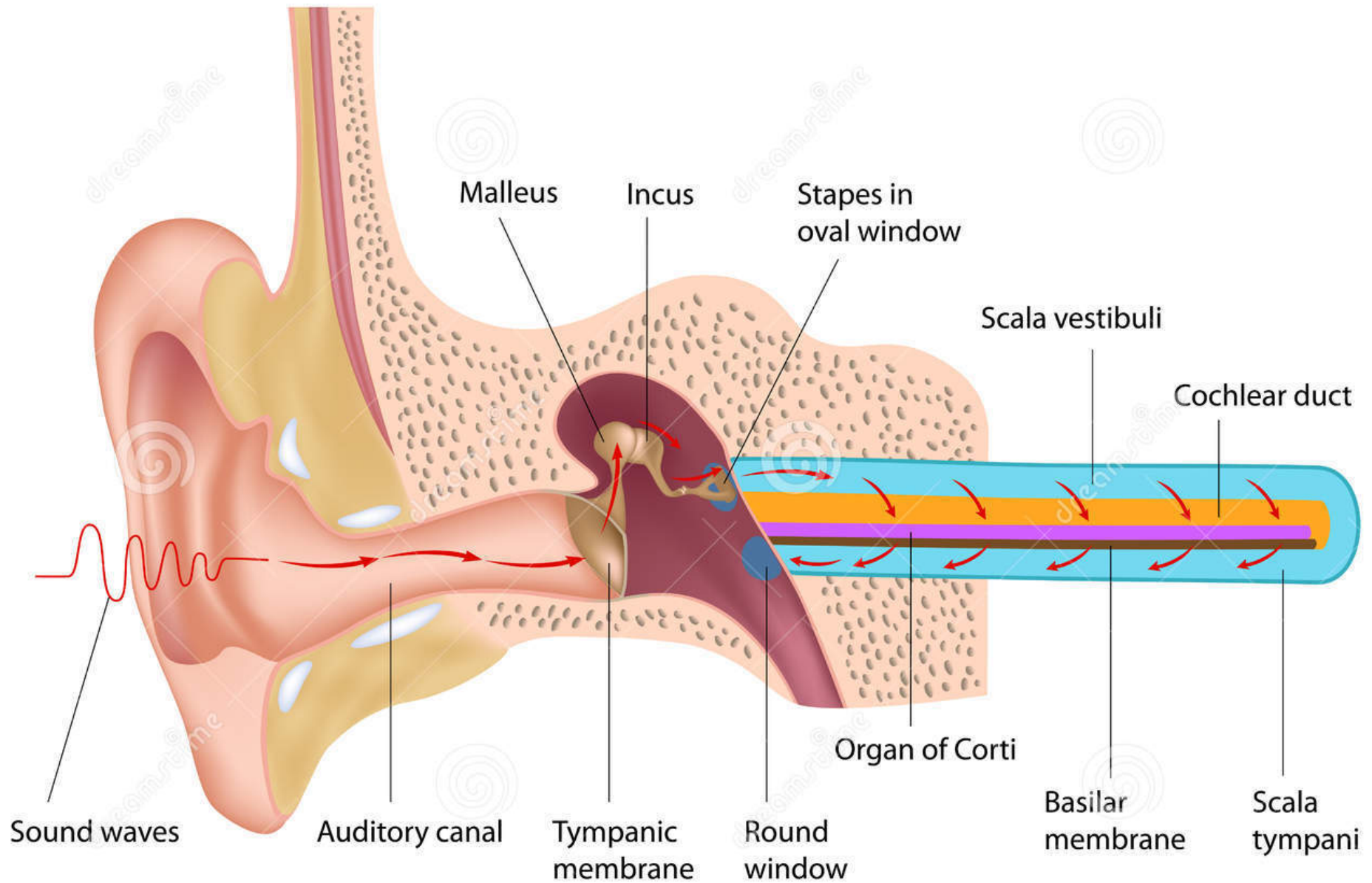
# İç Kulakta Ses İletimi

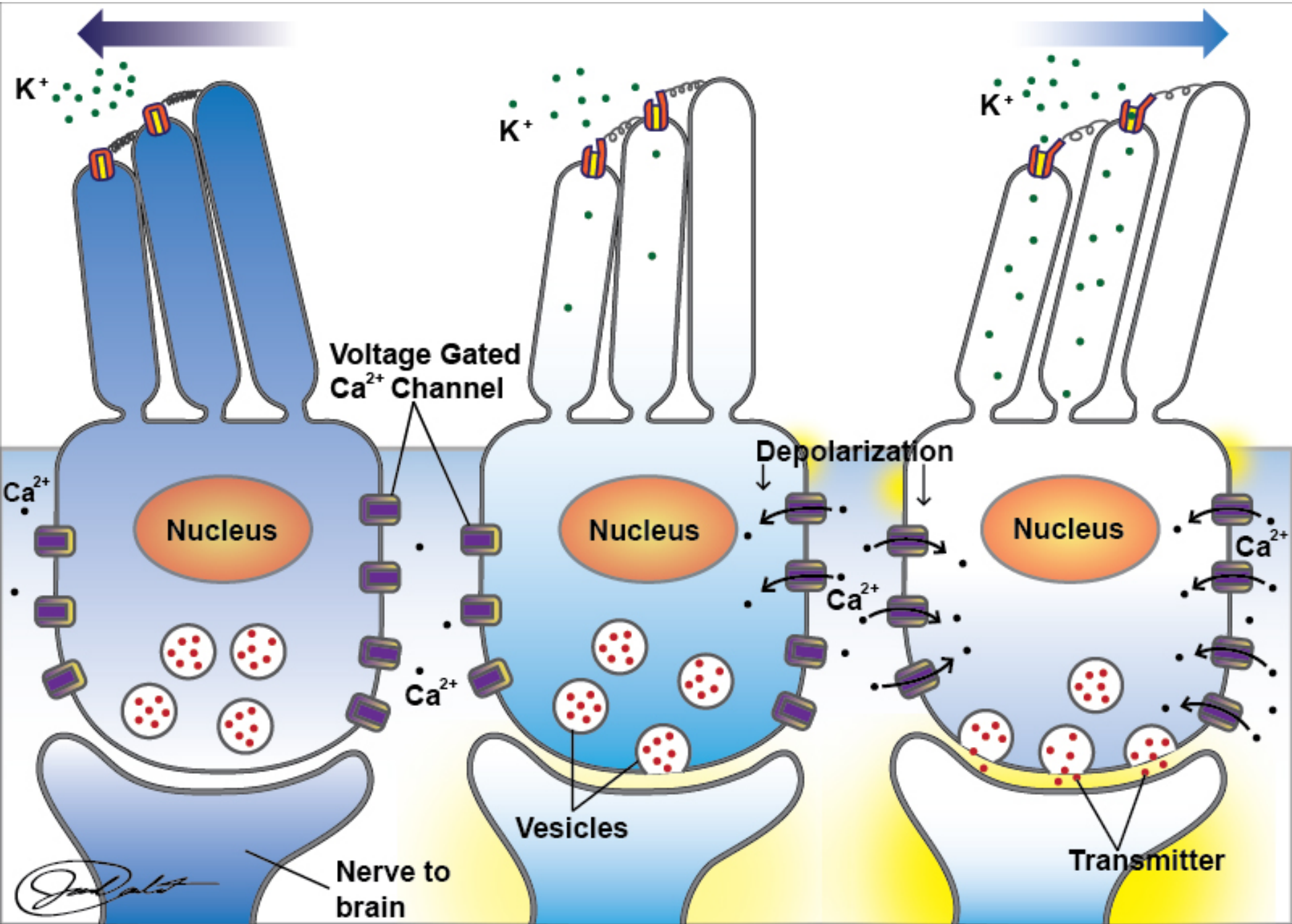
- Bu sayede tüy hücrelerinde değişken bir reseptör potansiyeli yaratılarak hücrenin tabanı ile sinaps yapan koklear sinir hücreleri uyarılmış olunur. Böylece tüy hücreleri mekanik enerjiyi nöral sinyallere dönüştürürler.



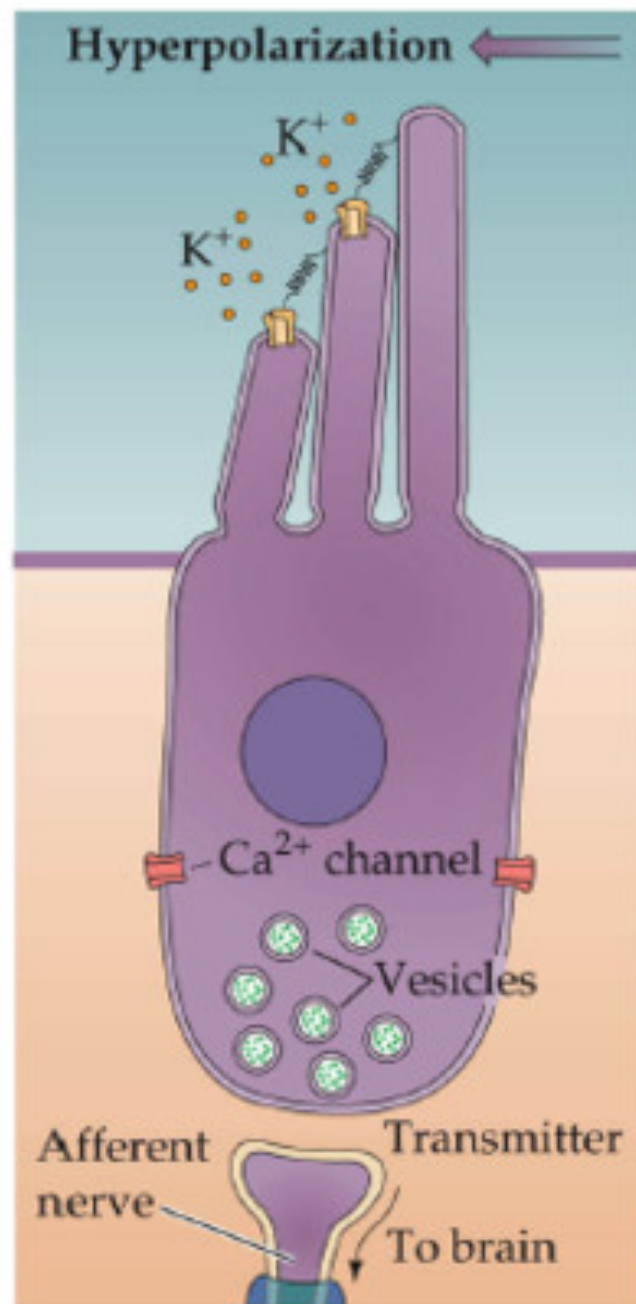




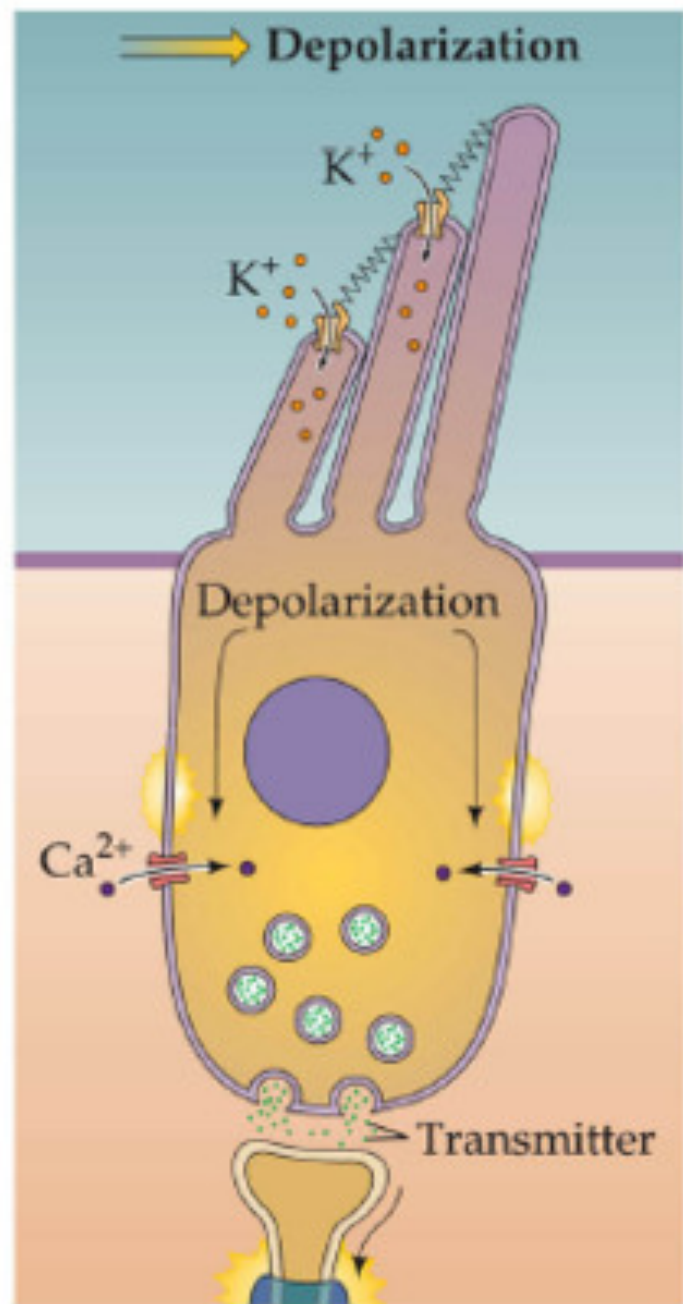




(A)



(B)



# İç Kulakta Ses Dalgalarının İletilmesi

- Ses dalgaları corti organına 3 yolla iletilir;
  1. Dış kulak yoluyla gelen dalgalar timpan zarını titreştirir, kemikçikler üzerinden oval pencereye oradan da corti organına gelir. En iyi iletim bu yolla olur. Hava iletimi de denir.
  2. Kemikçikler yoluyla iletim yapılamadığında titreşimler orta kulaktaki havayı titreştirir ve bu havanın titreşimleri yuvarlak pencere ile iç kulağa iletilir. Skala timpaniden yukarı doğru bir sallanma oluşur ve duyma gerçekleşir. Bu ileti normal işitme için önem taşımaz.
  3. Kafa kemiklerinin titreşimi de doğrudan iç kulağa katılır ve tüy hücreleri uyarılır. Bu iletim türü kemik iletimi olarak da adlandırılır.

# Sağırılık

- İki tip sağırılık vardır;
- 1. **İleti sağırılığı:** dış veya orta kulakta ses iletiminin bozulmasına bağlı olarak oluşur. Tedavi ile düzeltilebilir.
- 2. **Sinirsel sağırılık:** Tüy hücreleri veya sinir yollarının hasarına bağlıdır. Düzeltilemez.

# İşitme Testleri

- İleti ve sinirsel sağırılık diyapozonla yapılan testlerle ayırt edilebilir.
- **Rinne testi:** Hava ve kemik yoluyla işitmenin karşılaştırılması esasına dayanır. Böylece işitme kaybının kulağın hangi bölümünde olduğu saptanır.
- **Weber testi:** Titreşen diyapozon kafatası üzerine orta hatta yerleştirilir. Normalde ses iki kulakta da eşit hissedilmelidir. Eğer ileti tipi bir bozukluk varsa, bu bozukluk olan kulakta ses daha şiddetli hissedilir.



# Odyometre

- Odyometrede genellikle 125-8.000 Hz arasındaki saf ses tonları kullanılarak her iki kulağın işitme eşiği saptanır.
- İşitme eşiği her iki kulakta hava ve kemik yolu için ayrı ayrı ölçülür.

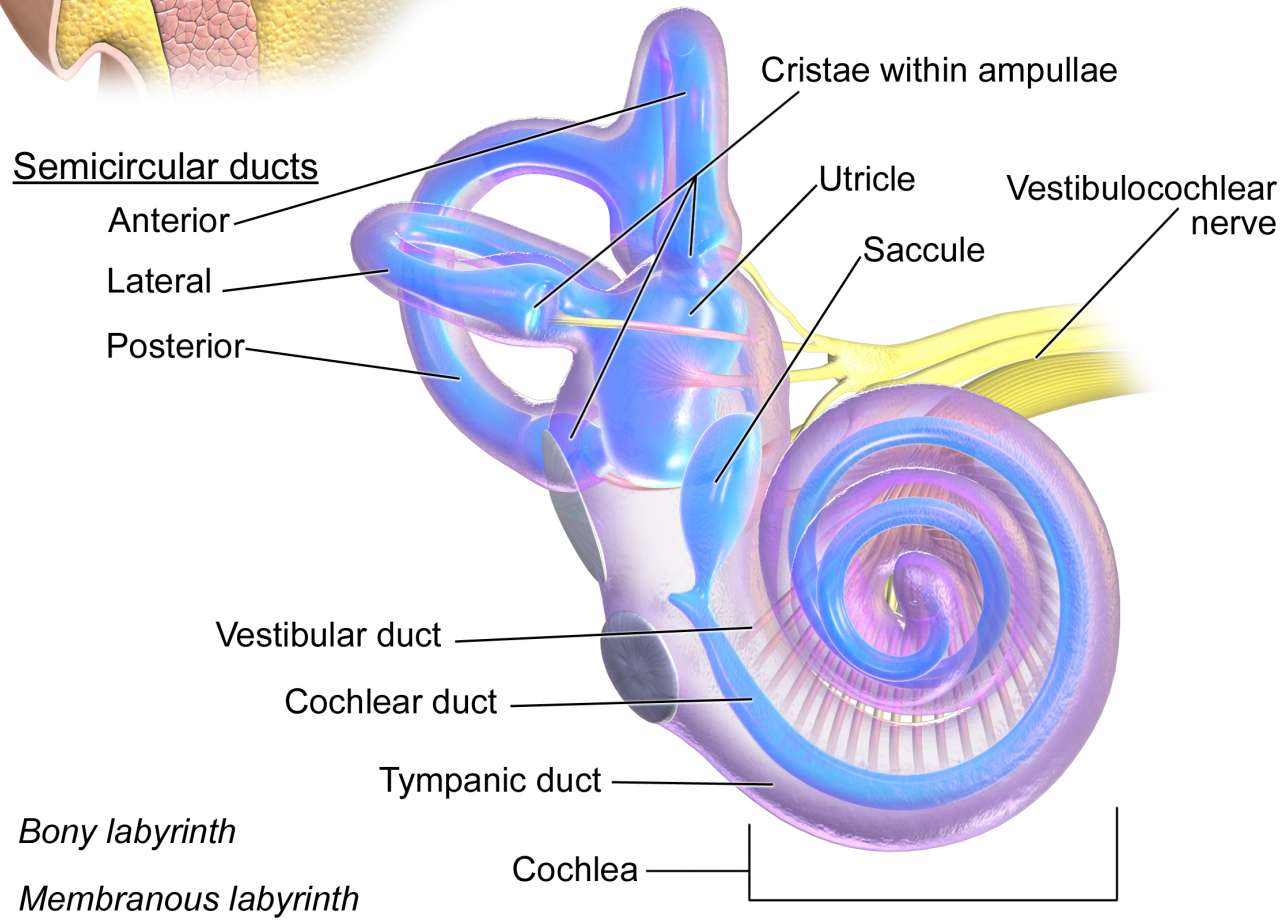
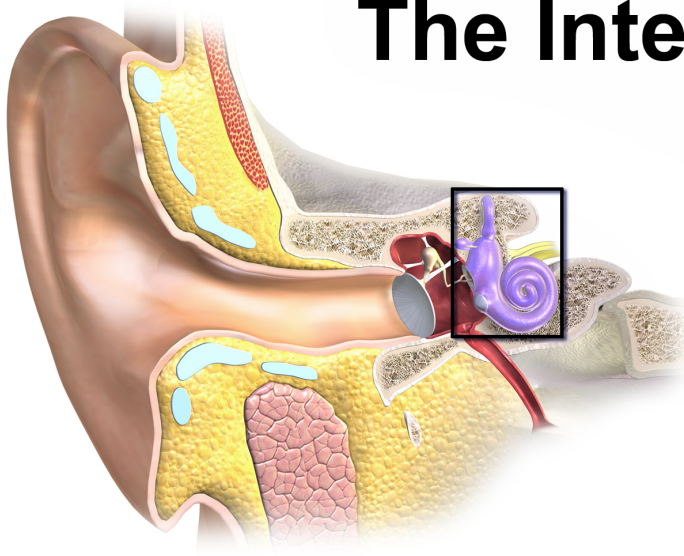




# İç Kulakta Denge Mekanizması

- Cochlea içindeki sıvı yolu ile yine iç kulakta yer alan sakkulus (tulumcuk), utrikul (kesecik) ve semisirküler (yarım daire) kanalları ile iletişim halindedir.
- Yarım daire kanalların tulumcuğa bağlandığı yere ampula denir.
- Sakkulus, utrikul ve semisirküler kanallar denge ile ilgilidir.

# The Internal Ear



# DENGE OLAYI

- Vücudun dengesinin sağlanmasında iç kulakta bulunan yapılar etkilidir. Bunlar kesecik, tulumcuk ve yarım daire kanallarıdır.
- Kesecik ve tulumcuk yerçekimine karşı yapılan hareketlerde oluşan konum değişikliklerini algılar. Yarım daire kanalları ise kişinin dönmesi ile oluşan konum değişikliklerini algılar.

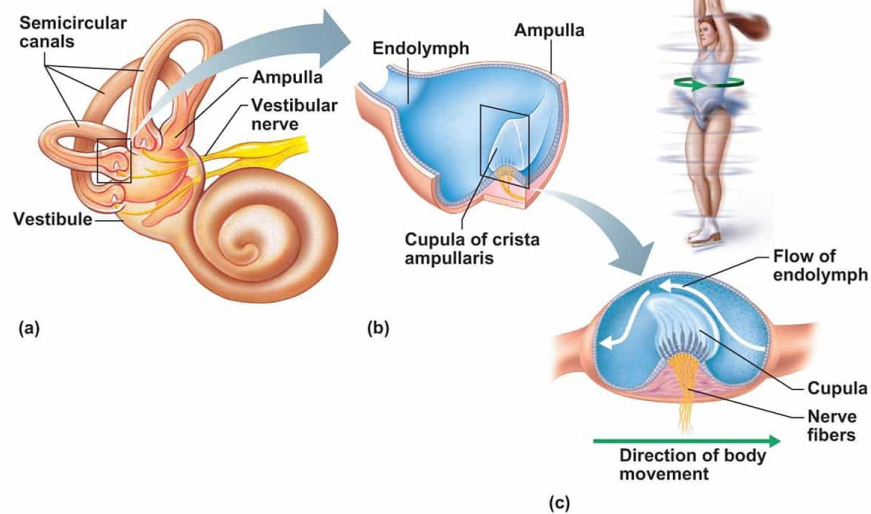
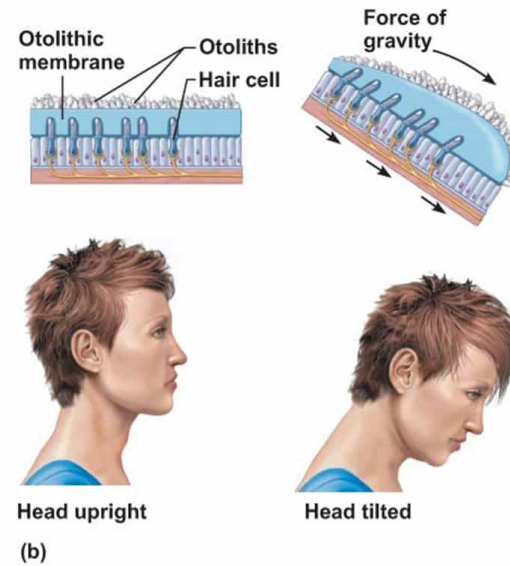
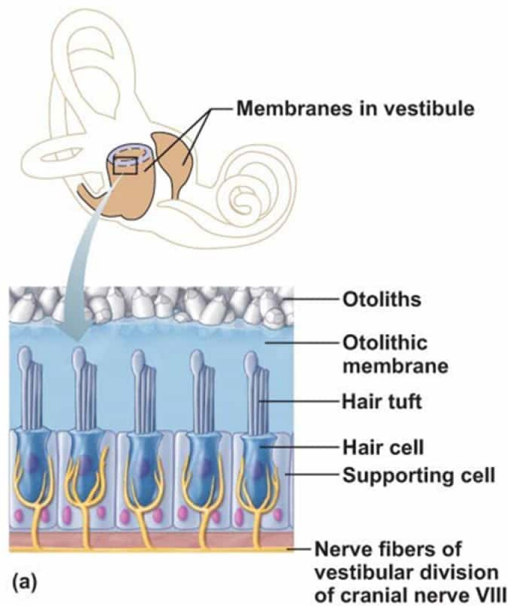
## DENGE OLAYI

- **A- Kesecik ve tulumcuğun algılaması:** Kesecik ve tulumcuğun tabanında silli duyu hücreleri bulunur. Bu hücrelerin tüyleri jelatinimsi bir madde içine doğru uzanır. Bu jelatinimsi madde içinde otolit adında denge taşları bulunur Vücudun konum değiştirdiğinde bu taşlar hareket ederek duyu hücrelerine basınç uygular. Basınç değişikliği ile hücrelerde impuls oluşur ve İmpuls denge siniriyle beyne ulaşır .Bu şekilde vücudun konum değişikliği algılanır.

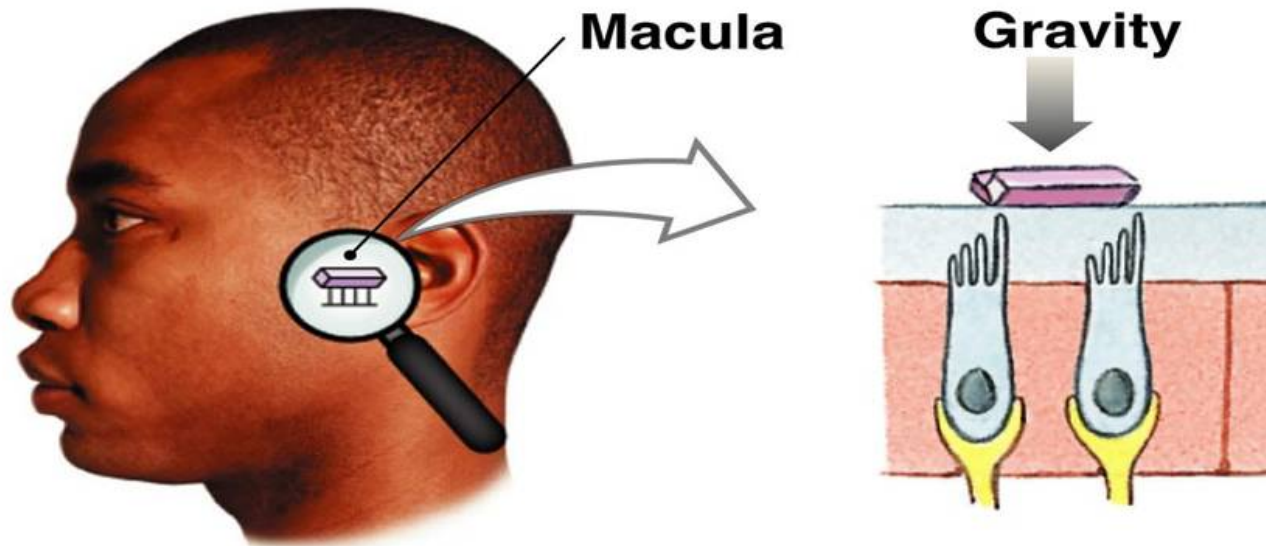
# DENGE OLAYI

- **B-Yarım daire kanallarının algılaması:** Yarım daire kanallarının tabanında ampula adı verilen şişkin bir bölüm bulunur. Burada bulunan tüylü duyu hücreleri endolenften daha yoğun olan jelatinimsi bir madde içine doğru uzantılar yapmıştır.
- Başınızı yada vücudunuzu döndürdüğünüzde yarım daire kanalları da vücutla birlikte hareket eder. Bu durum da ampula içinde bulunan jelatinimsi maddenin hareketine neden olur.
- Bu maddenin hareketi duyu hücrelerinde basınç değişimine yol açar ve denge sinirlerinde impuls oluşturur. Oluşan impulslar beyinciğe taşınır . Beyincik hareketin yönünü algılar ve bunu beyin kabuğuna iletir. Böylece vücuttaki denge (pozisyon) değişiklikleri algılanır.

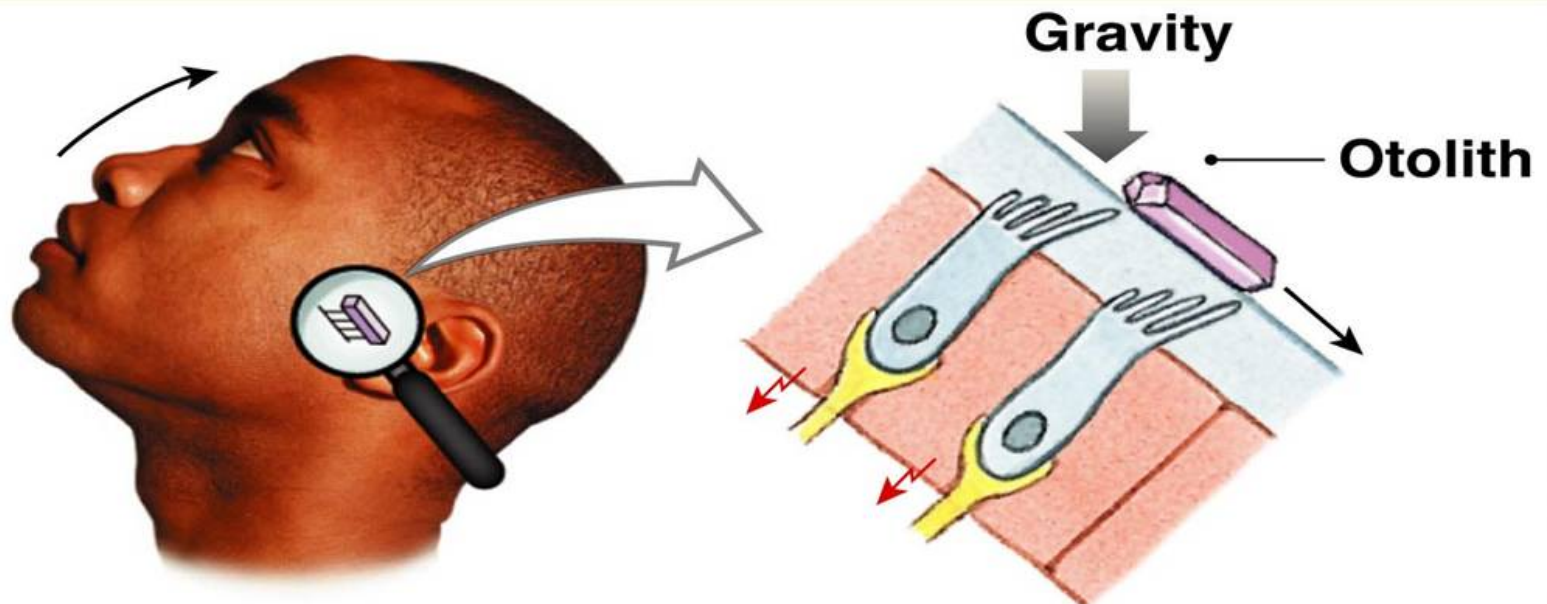
# Static and Dynamic Equilibrium



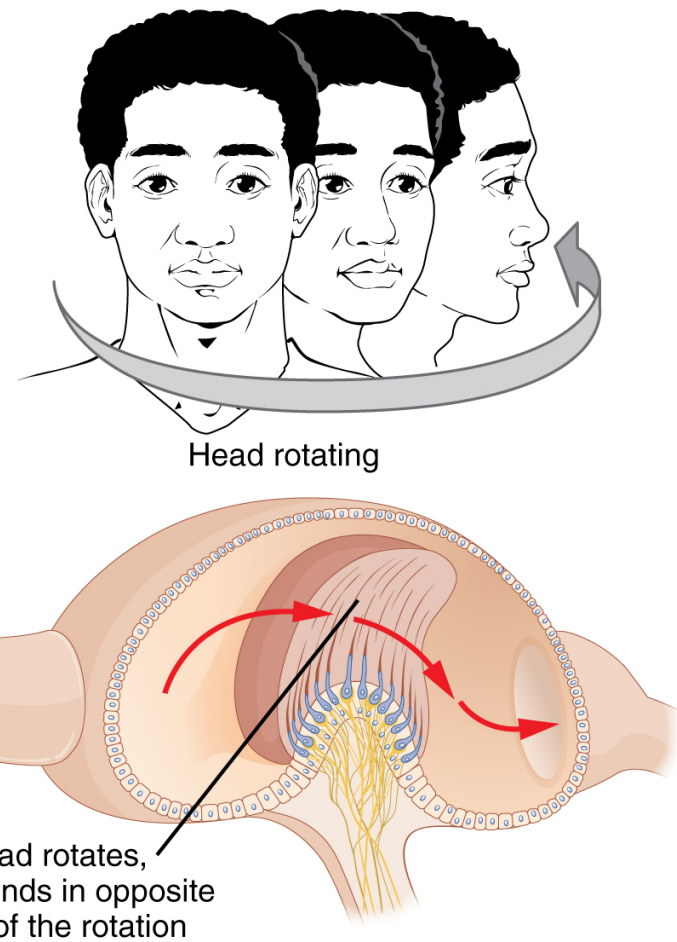
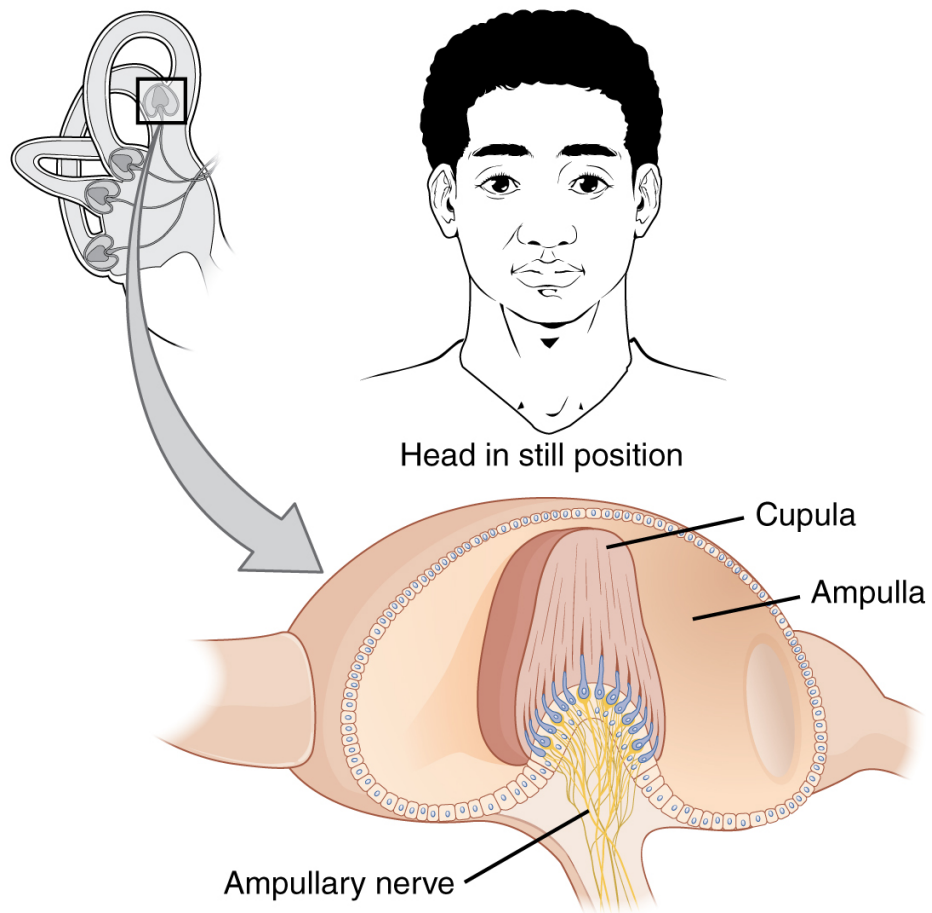
### **(a) Head in neutral position**



### **(b) Head tilted posteriorly**

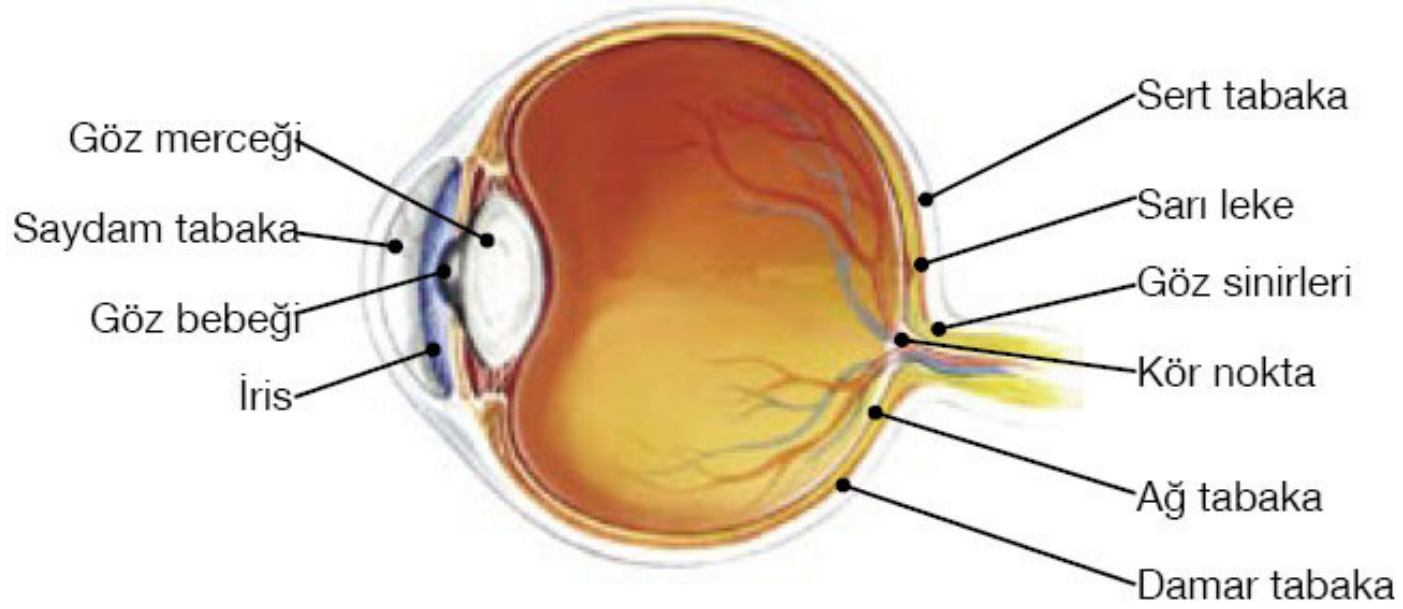




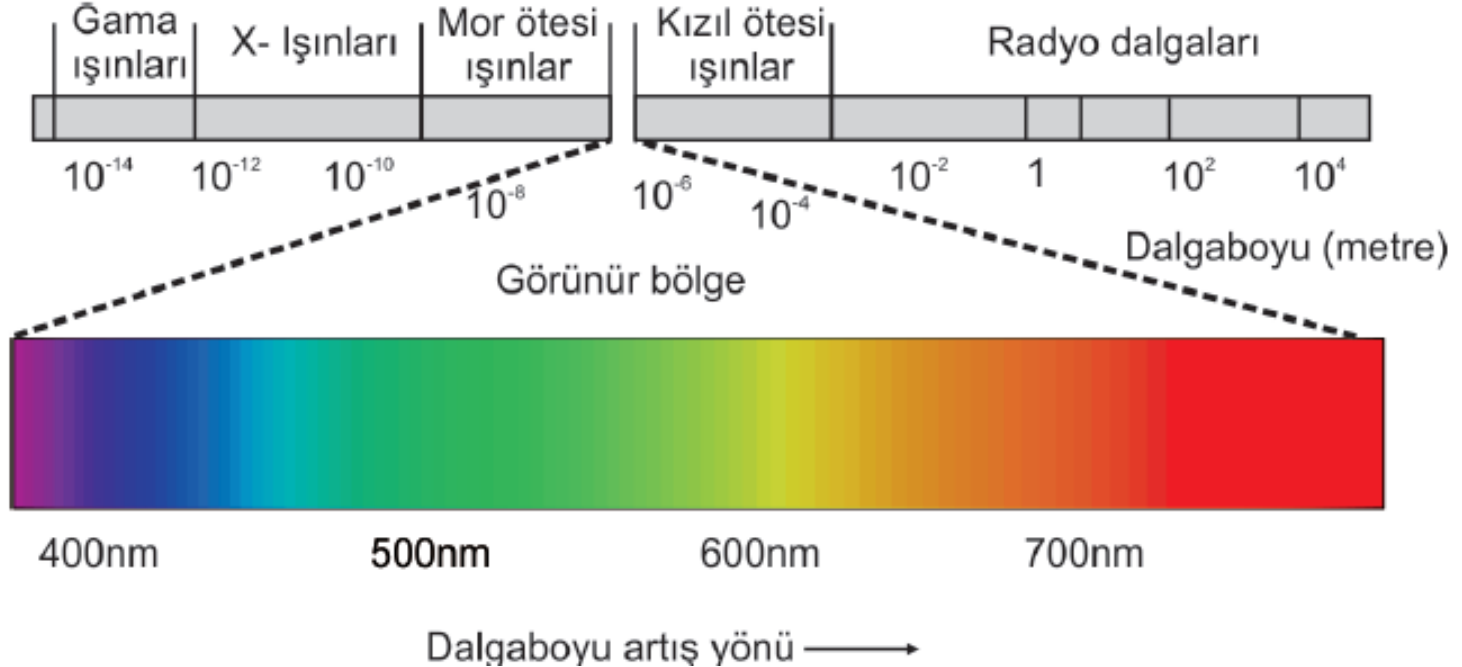


# Görme

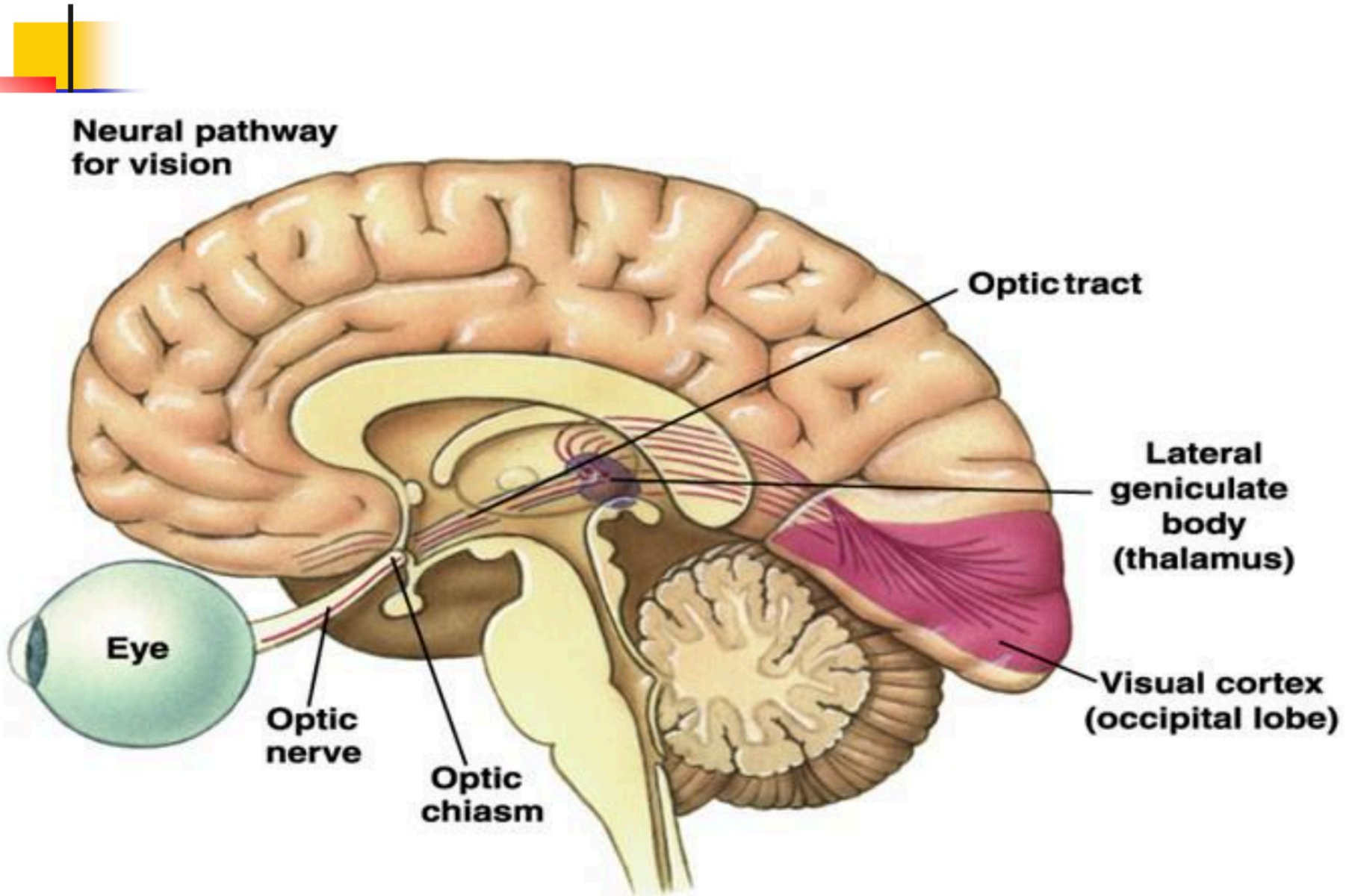
- **Göz:** Reseptör bir tabaka, ışınları bu tabakada toplayan kırıcı bir sistem ve reseptör tabakada oluşan potansiyeli ileten sinirsel bir sistemden meydana gelir.



- **Işık:** retinadaki fotoreseptörleri uyarak görme olayını sağlama yeteneğine sahip radyasyon frekanslarıdır.
- Görülebilen frekansların dalga boyu 400-700 nm arasında değişir.

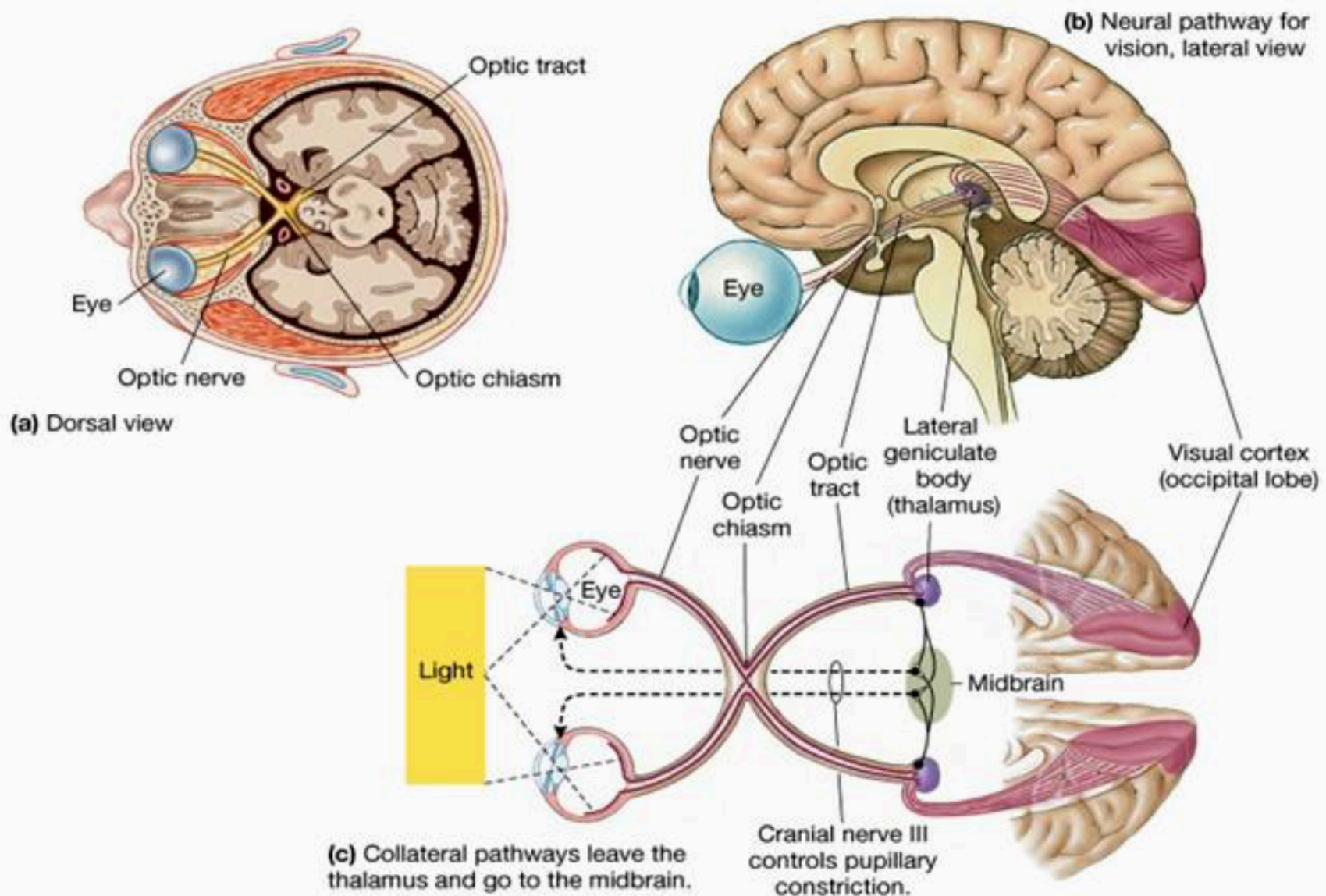


# Görme Yolları

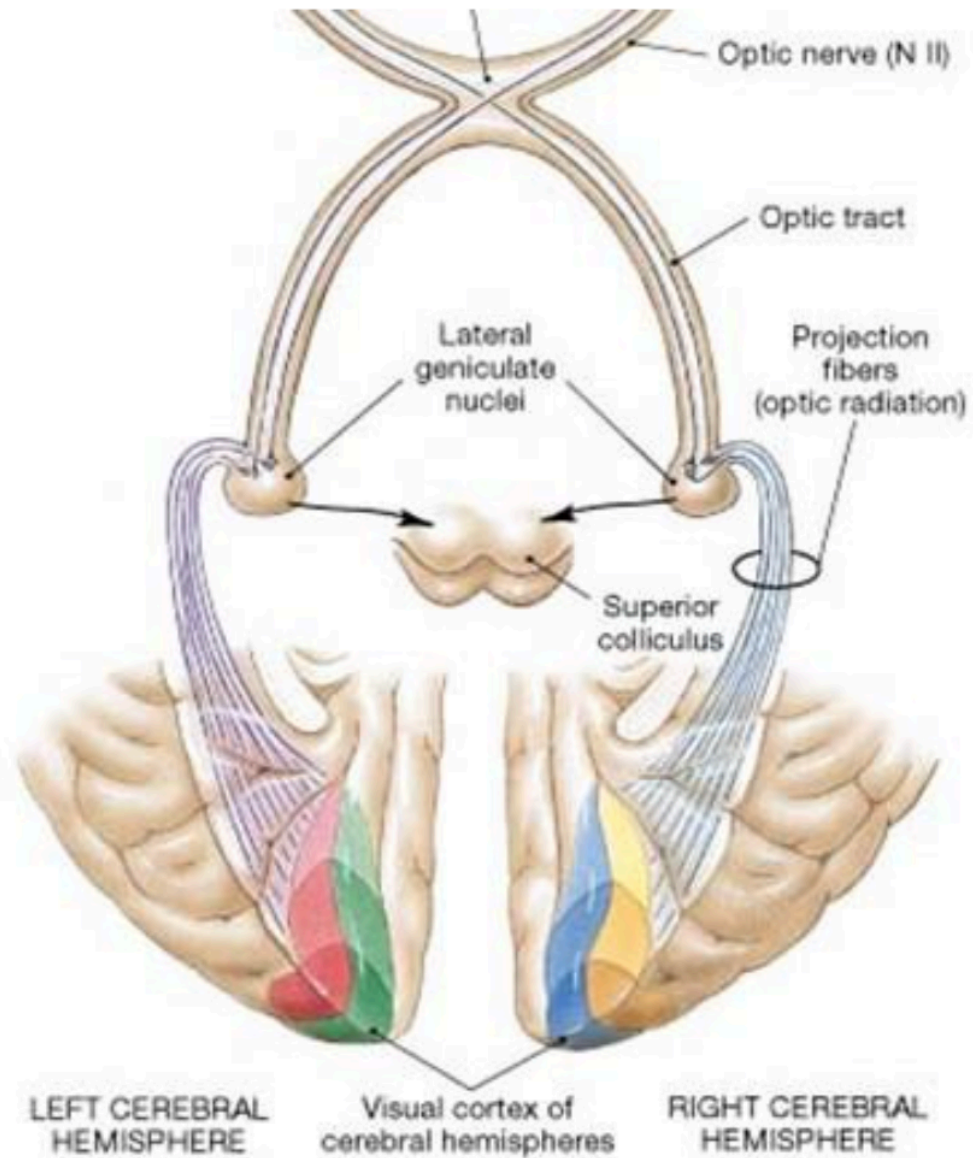
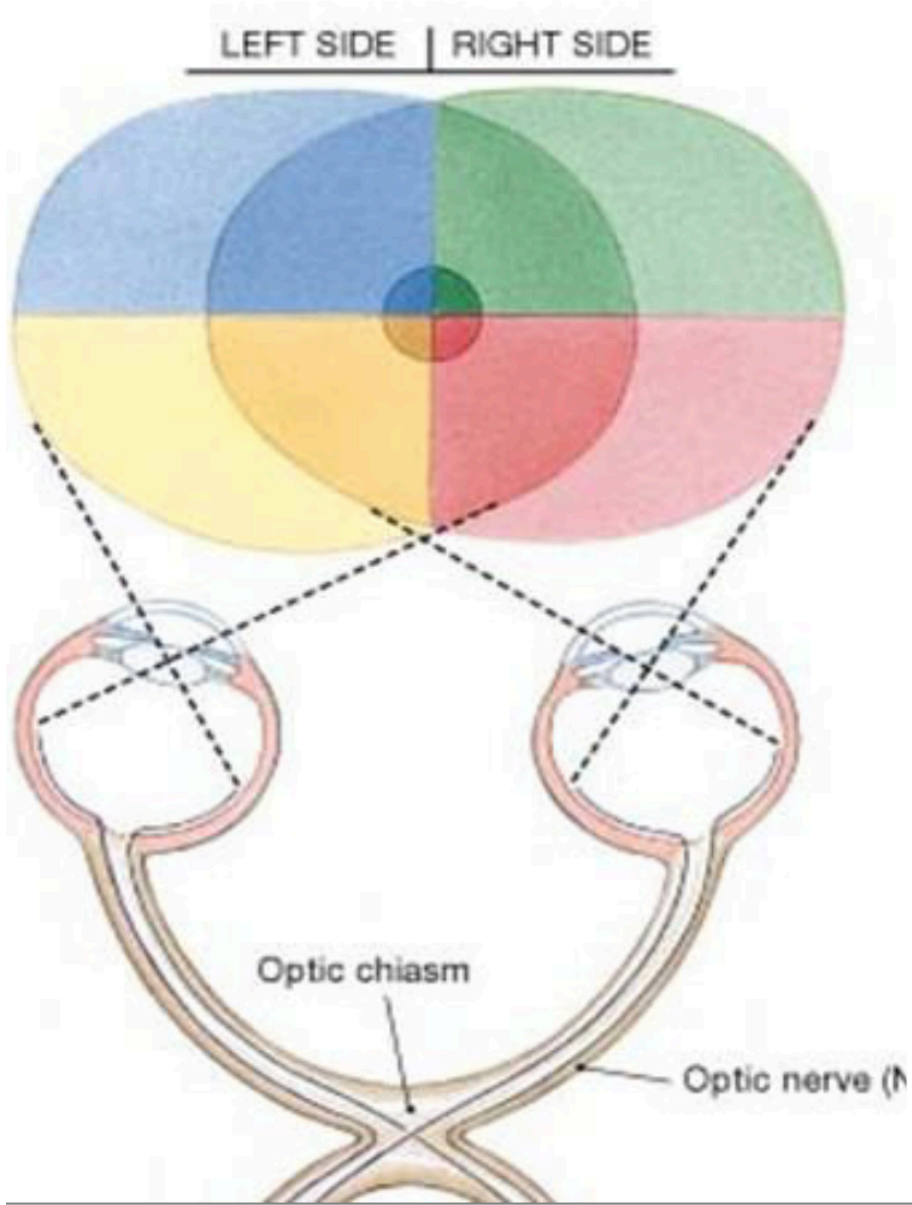




# Görme Yolları

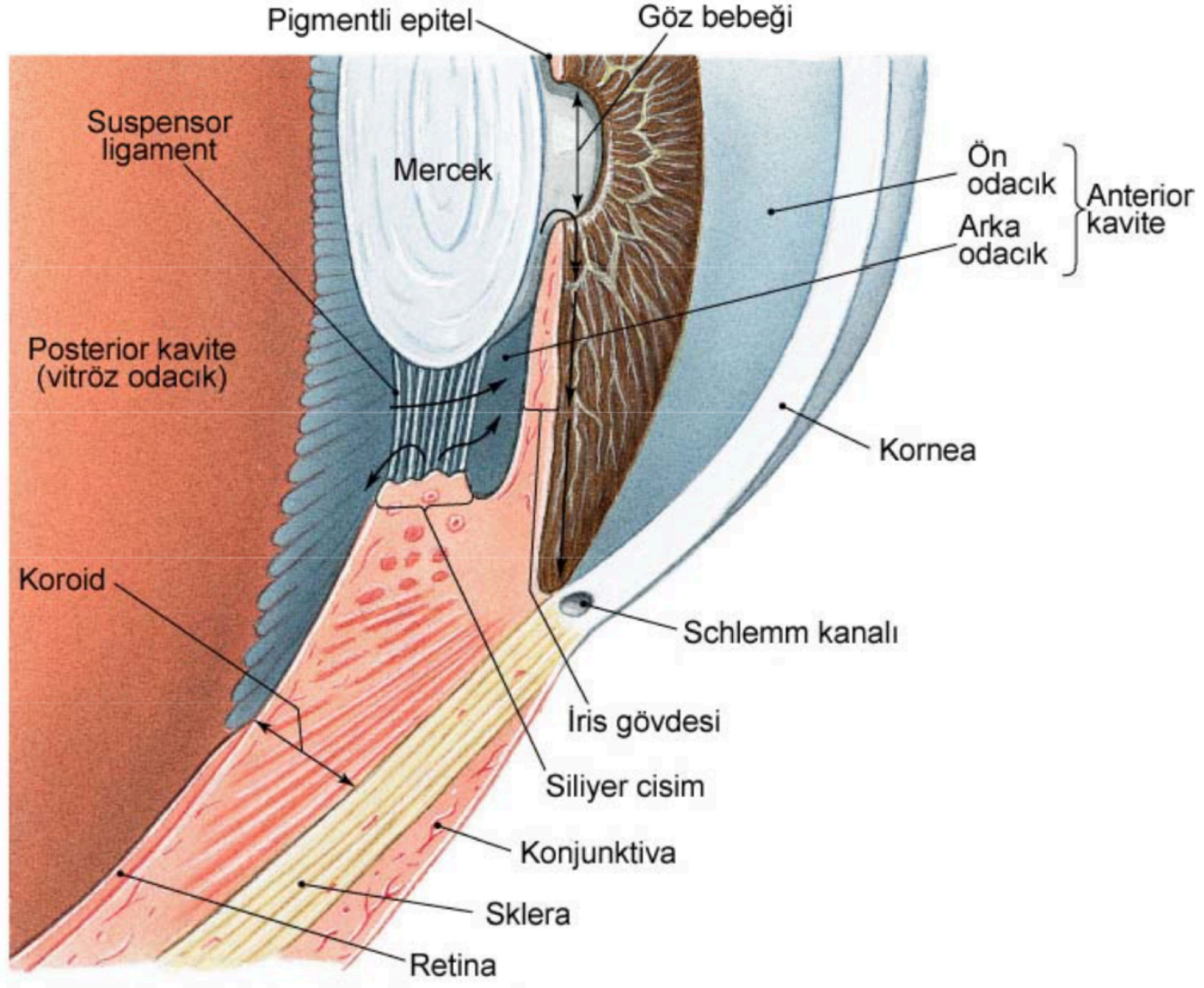


# GÖRME YOLLARI





# Gözün Sıvı Sistemi





# Gözün Anatomisi

- Dıştan içe doğru;
  1. **fibröz,**
  2. **vasküler ve**
  3. **duyusal** olmak üzere 3 tabakadan oluşur.

**Fibröz tabaka:** Göz küresinin şeklinin korunmasını sağlar ve kaslar bu bölgeye tutunur. Arka bölümü beyaz olup sclera, ön bölümü saydam olup kornea olarak adlandırılır.

## • Outer Layer

- Sclera- white of eyes
  - Covers most of the eye surface
- Cornea- anterior, transparent region that admits light into the eye

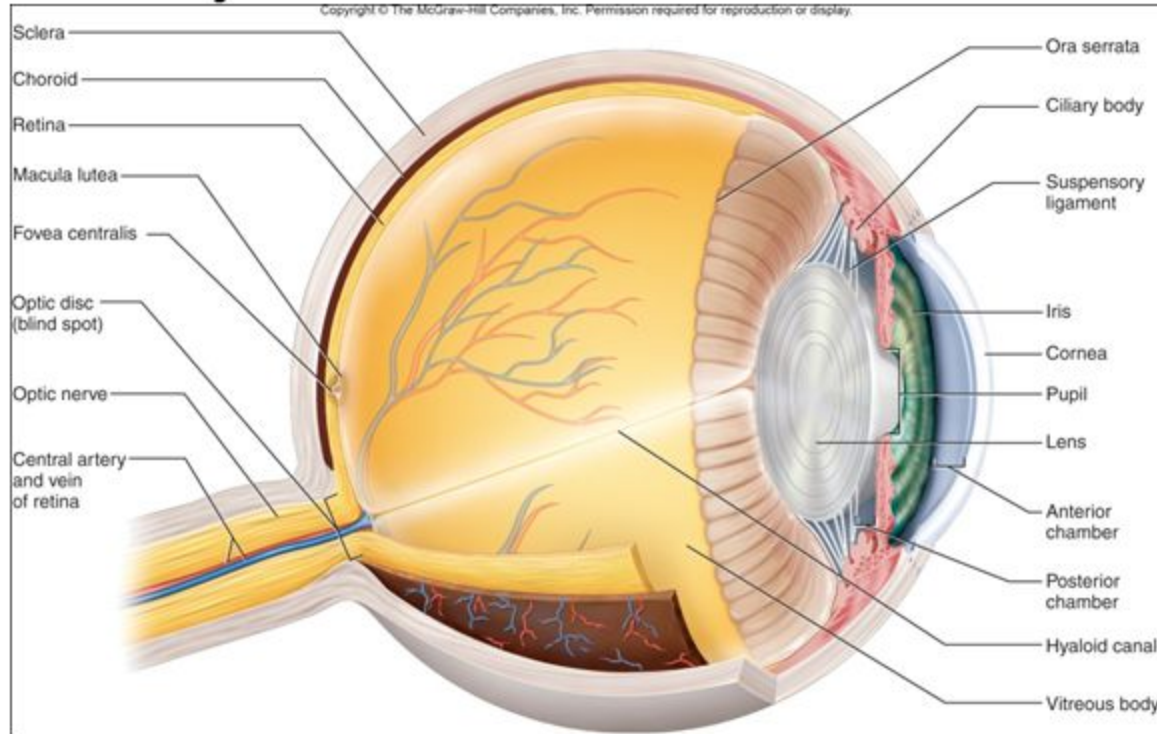
## • Middle Layer

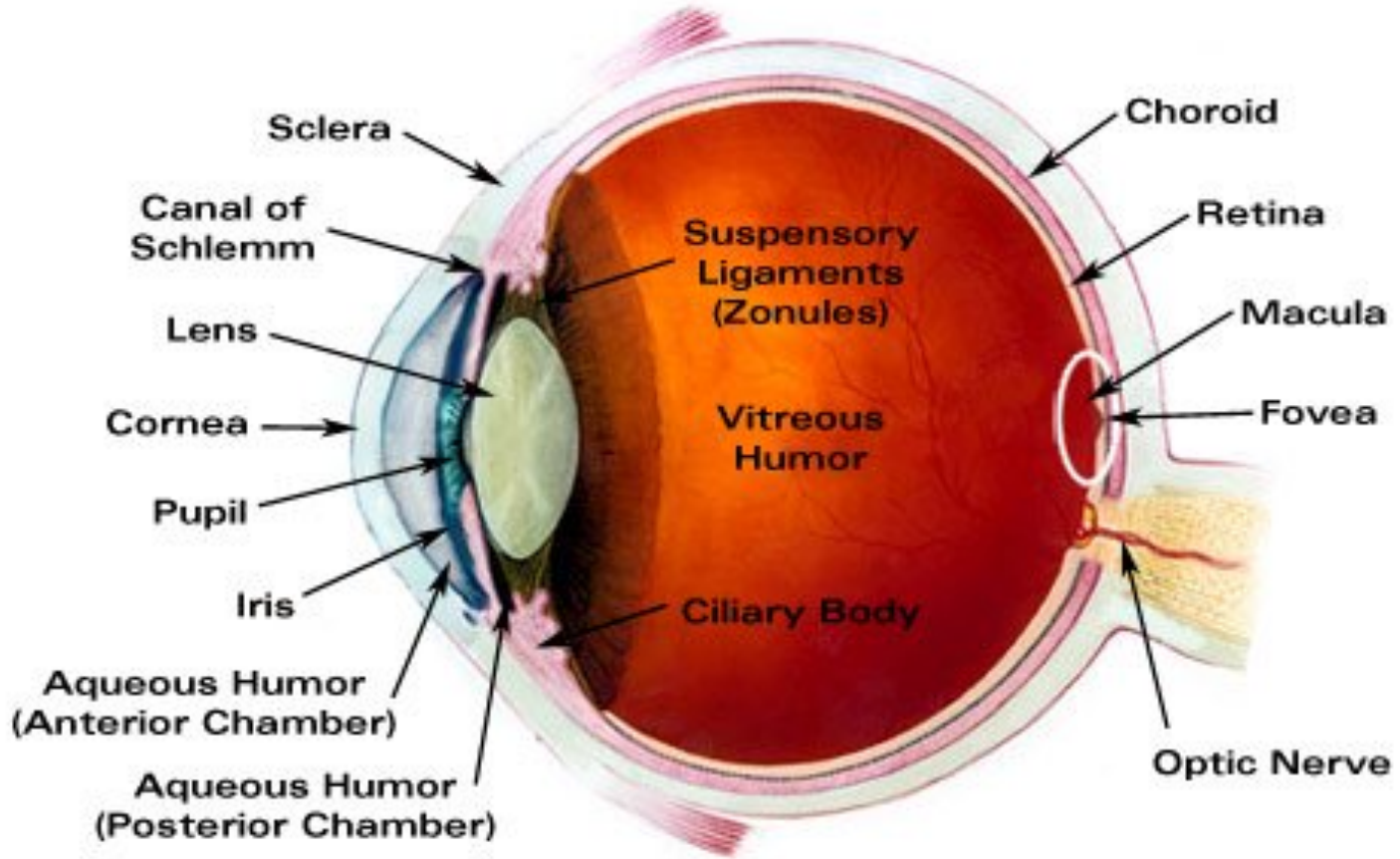
- Choroid- highly vascular, deeply pigmented
- Iris- extension of choroid, controls diameter of pupil
- Ciliary muscles- found on posterior region of iris
  - Controls lens, pupil
- Pupil- central opening of iris

## • Inner Layer

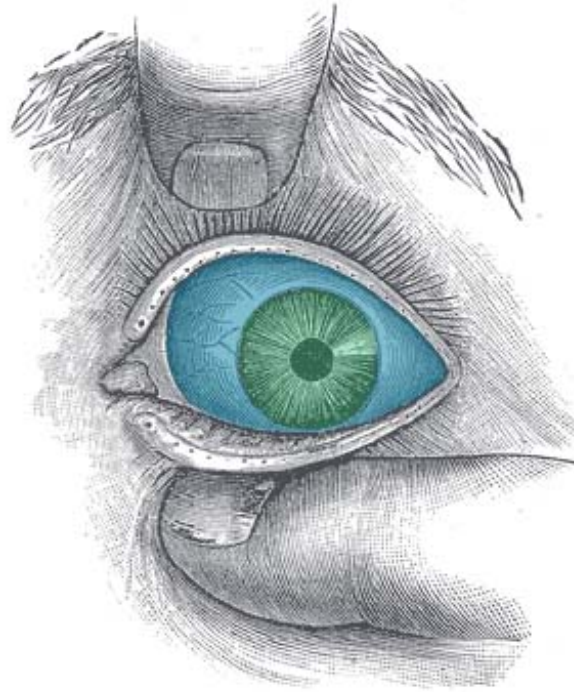
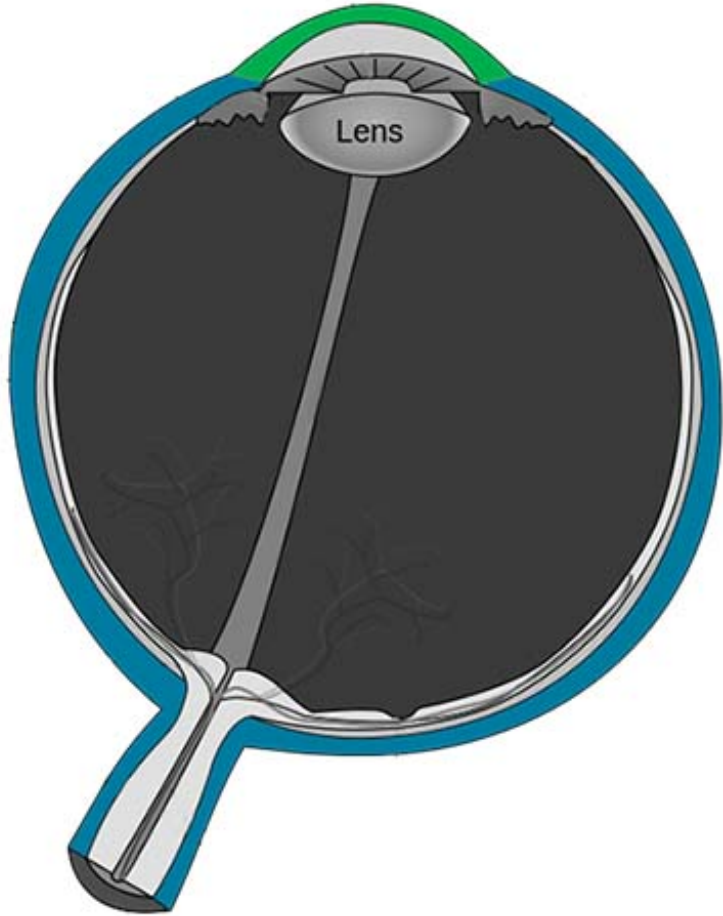
- Retina
- Beginning of optic nerve

# 3 Layers





**Korneanın** başlıca iki **görevi** vardır. Birincisi, gözün içindeki yapıları korumak, ikincisi ise dışarıdan **gelen ışığı kırarak retina adı verilen ve görmeyi sağlayan sinir tabasına net bir şekilde odaklamaktır.**



 **Cornea**

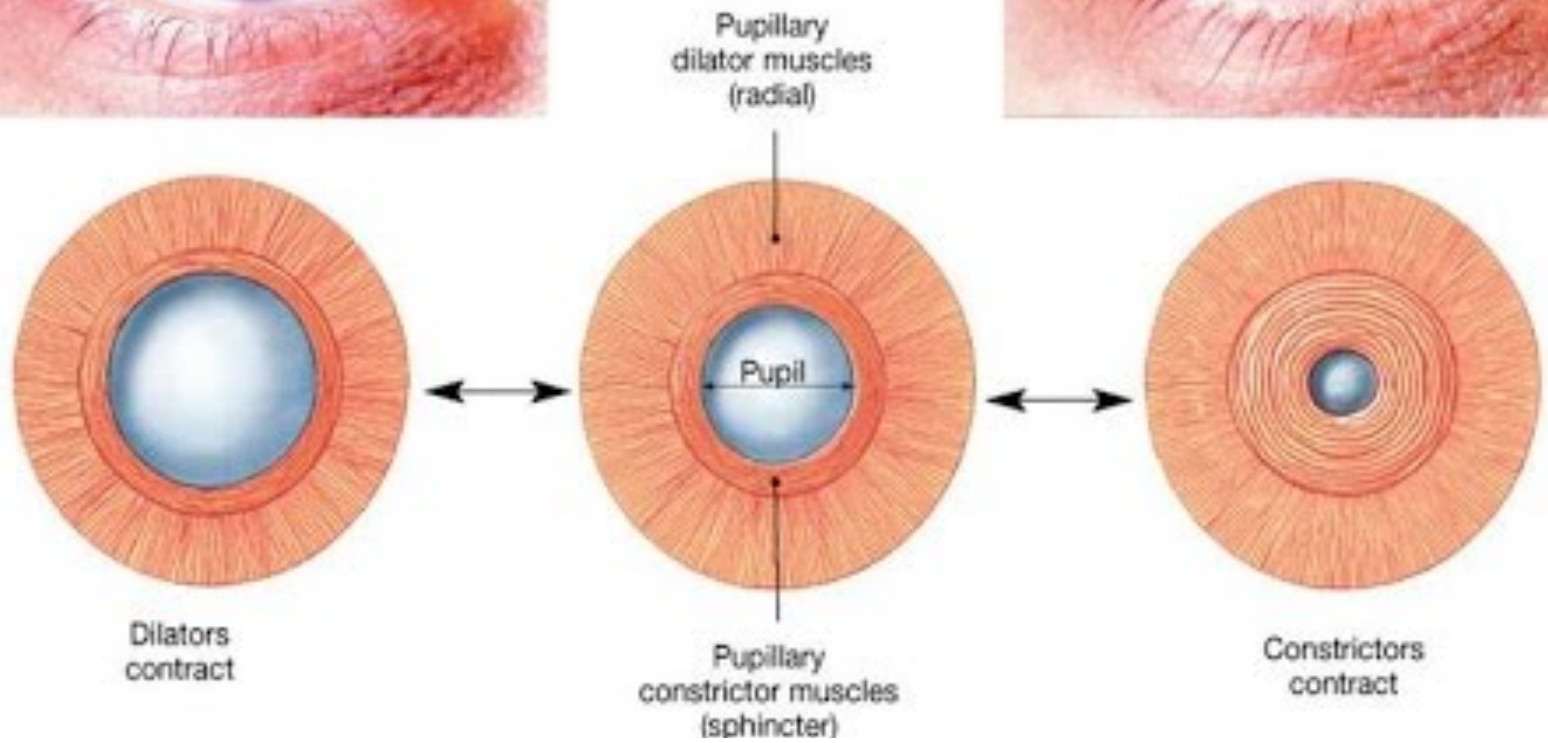
 **Sclera**

# Gözün Tabakaları

**Vasküler tabaka:** kan damarları ve pigment açısından zengindir.

- Arkadan öne doğru 3 bölümden oluşur: choroidea, corpus ciliare ve iris.
- Corpus ciliare otonom sinirlerin kontrolündeki kasları içerir. Lens bu bölüme tutunur.
- İris lensin önünde kasılıp gevşeyen bir diyafram gibi hareket eder. Yapısında düz kaslar bulunur. Ortasındaki açıklığa göz bebeği (pupilla) denir.
- **İris:** Göze rengini veren damarsal tabakadır. Yapısındaki kaslarla kasılıp gevşemesi ortasında boşluk olan göz bebeğinin büyüyüp küçülmesini sağlar. Aydınlıkta küçülmesi karanlıkta büyümesi ile göze giren ışık ışınlarını dengeler.

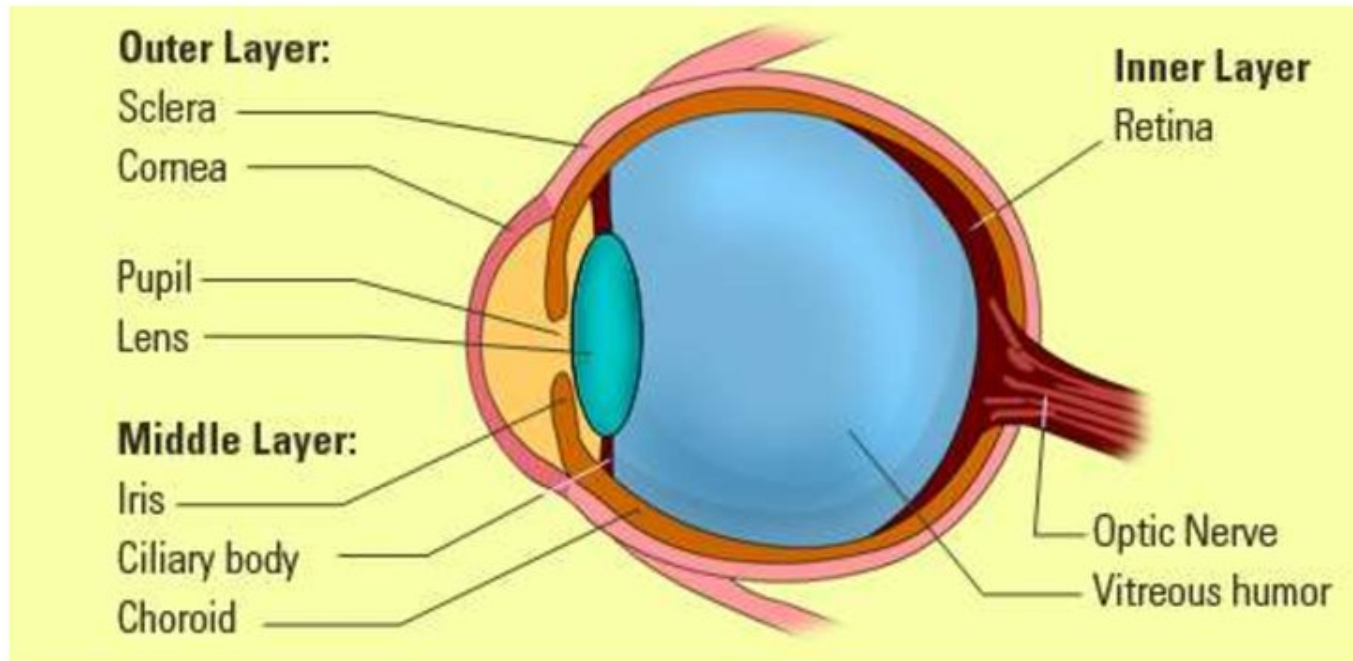






# Eye structure

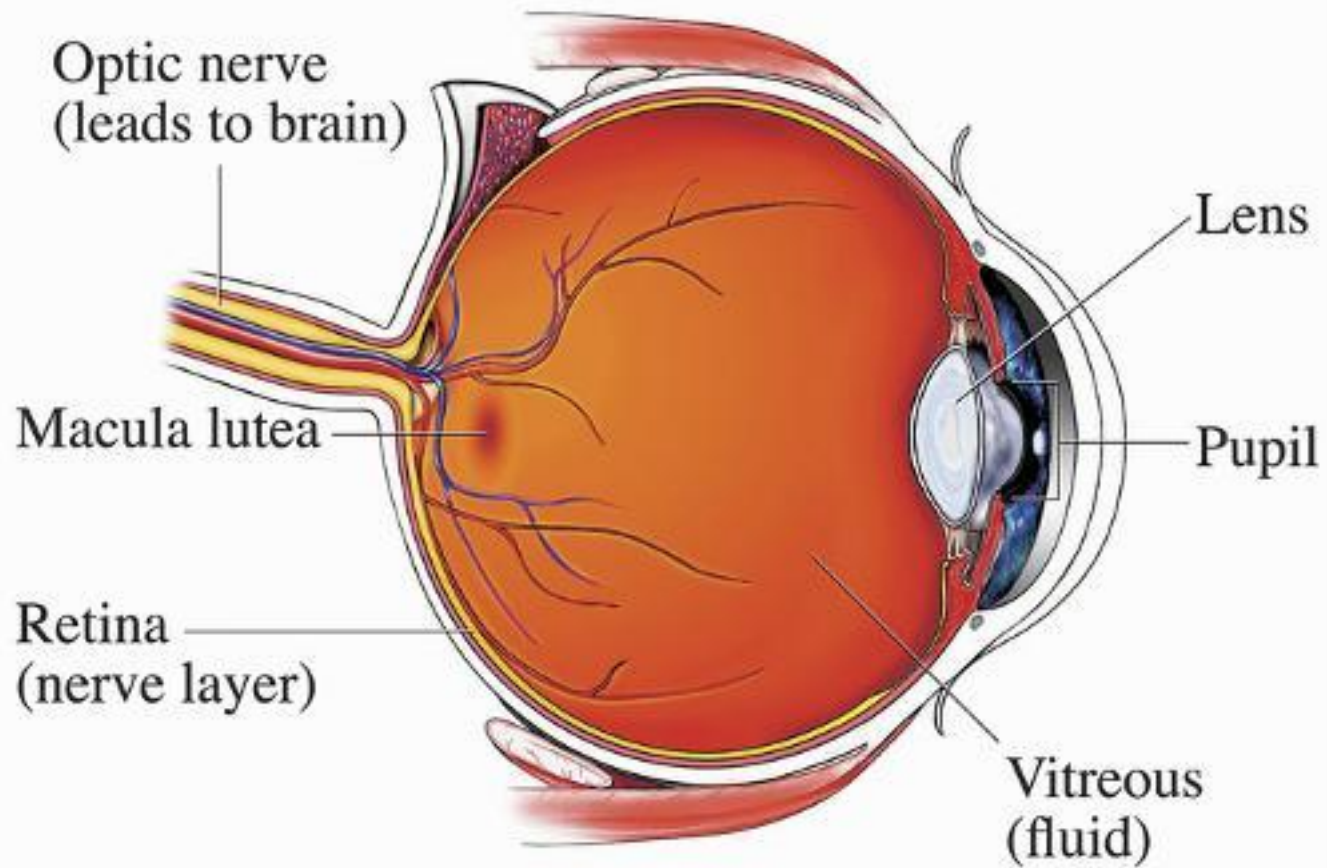
- Eye is a complicated organ.
- It consists of three layers: **inner**, **outer** and **middle**.



# Göz Tabakaları

**Duyusal tabaka:** Gözün en iç tabakasıdır. Retina olarak adlandırılır. Görme reseptörleri olarak görev yapan koni ve basil hücreleri bu tabakada bulunur. Çok sayıda nöron içerir.

- Retinanın en iyi gören alanına sarı leke (makula lutea), ışığa duyarsız kısmına ise kör nokta (Mariotte lekesi) denir.



# Retina

- **Göz dibi (retina)**: İki kısımdan oluşur:

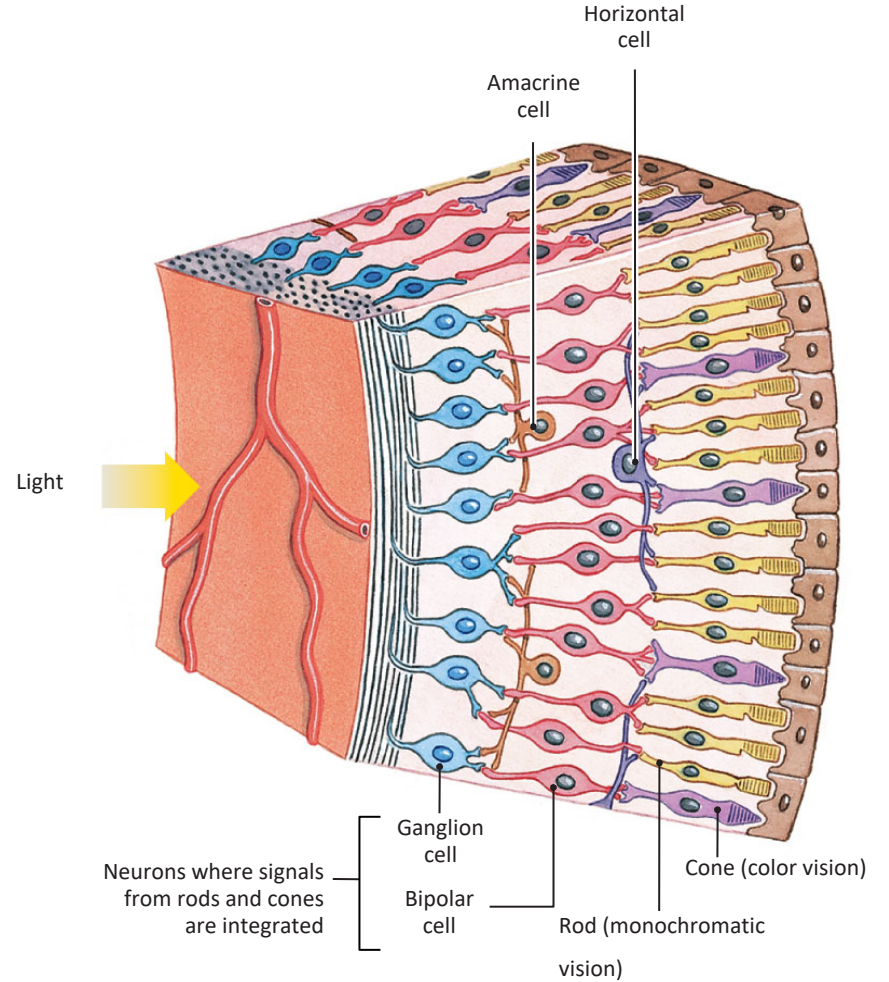
1. Kör nokta: Sinir ve damarlar buradan girip çıkar. Optik sinirin retinadan ayrıldığı kısma optik disk denir. Retinayı besleyen sinir ve damarlar buradan geçer. Koni ve basil hücreleri bulunmaz.
2. Görme merkezi: Sarı leke (makula lutea) da denir. Sarı lekenin tam ortası görmenin en iyi olduğu alandır ve burada sadece koni hücreleri bulunur.

# Gözü Koruyan Yapılar

- **Gözyaşı:** Göz kapaklarını kayganlaştırma, gözü rahatsız edici maddelerden arındırma, kornea yüzeyini düzeltme ve kurumayı önleme gibi görevleri vardır. Aynı zamanda yapısında enfeksiyon önleyici lizozim ve immünoglobulin A bulundurur.

# Retina

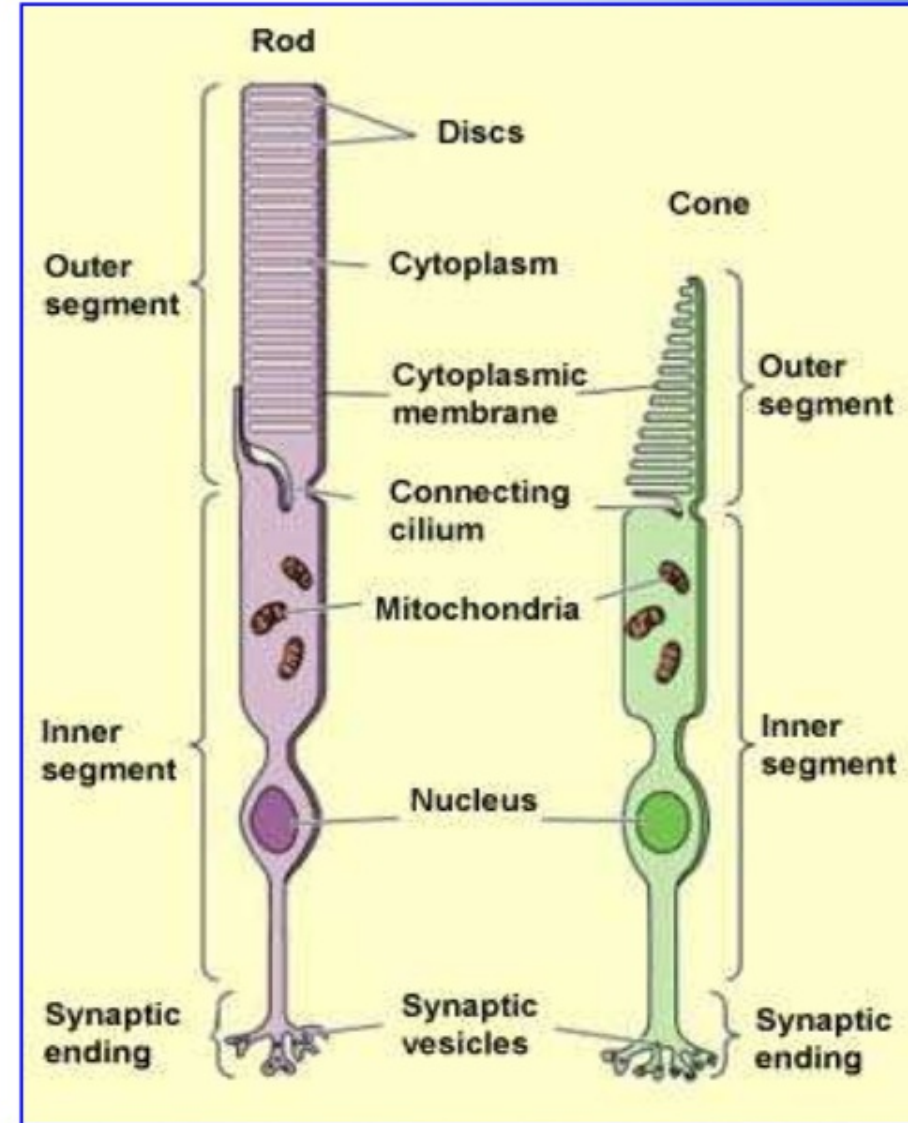
- **Basil** ve **koniler** ile *4 tip* nöron içerir Bu nöronlar **bipolar hücreler, gangliyon hücreleri, horizontal hücreler** ve **amakrin hücreler**'dir
- Koroide bitişik olan basil ve koniler bipolar hücrelerle, bunlar da gangliyon hücreleri ile sinaps yapar. Gangliyon hücre aksonları bir araya gelerek gözü **optik sinir** olarak terk eder





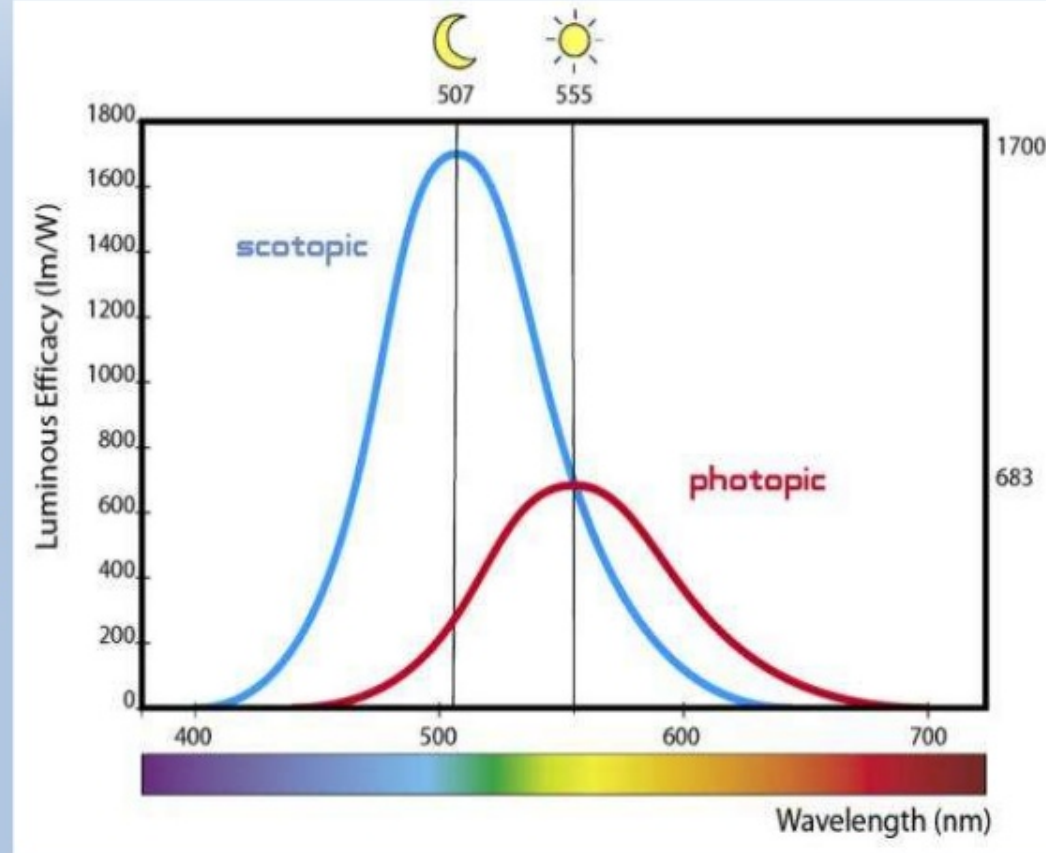
# Fotoreseptörler (1)

- Fotoreseptörler, **dış segment**, **iç segment** ve **sinaptik** bölümlere ayrılır
- Dış segmentler** değişime uğramış silialar olup düzenli yassı kese grupları veya zardan yapılmış disklerden oluşmuştur
- Bu kese ve diskler ışıkla reaksiyona girerek görme yollarında AP başlatan **fotosensitif bileşikler** içerir



# Fotoreseptörler (5)

- Basiller ışığa son derece duyarlı olup **gece görmeyi** (**skotopik** görme) sağlar
- Skotopik görme, nesnelerin ayrıntıları ve **rengini** saptamayamaz
- Koni sistemi büyük bir keskinliğe sahiptir ve **parlak ışıktaki görme** (**fotopik görme**) ile **renk görmeden** sorumludur



## Fotoreseptörler (Koni ve basil)

- Basillerdeki rodopsin 505 nm dalga boyunda ışığa maksimum duyarlık gösterirler. Konilerdeki iyodopsin 440, 535, 565 nm dalga boylarındaki ışığa yanıt vererek renk görmeye yarayan 3 ayrı renk pigmenti bulunur.

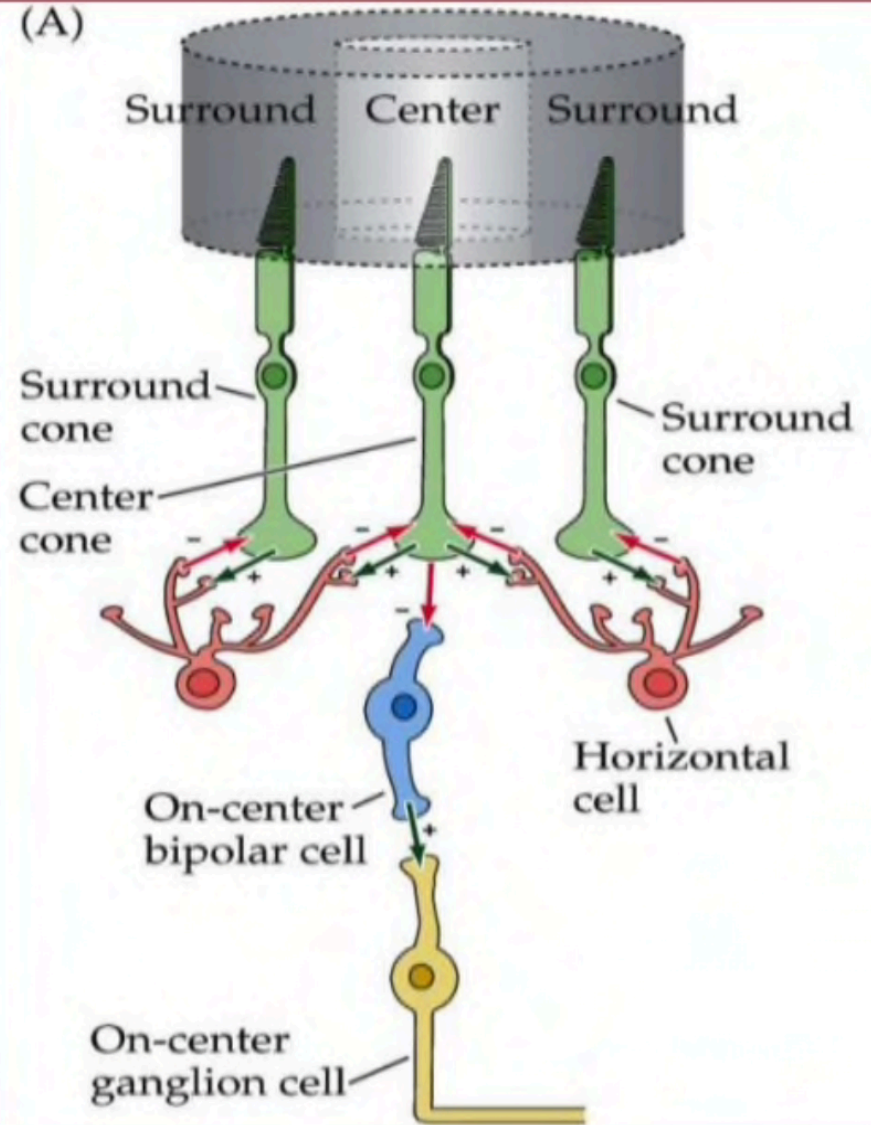
# Fotoreseptörler (6)

| BASİLER                                                                                                             | KONİLER                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Işığa duyarlılığı yüksektir, gece görüşü için özelleşmiştir</li></ul>       | <ul style="list-style-type: none"><li>• Işığa duyarlılığı düşüktür, gündüz görüşü için özelleşmiştir</li></ul> |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Daha çok ışığı yakalayabilmek için, fotopigment miktarı yüksektir</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Fotopigment miktarı düşüktür</li></ul>                                 |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Amplifikasyon özelliği yüksektir. Tek fotonu saptayabilir.</li></ul>        | <ul style="list-style-type: none"><li>• Amplifikasyon özelliği düşüktür</li></ul>                              |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Gün ışığında satüre olur</li></ul>                                          | <ul style="list-style-type: none"><li>• Sadece yoğun ışıktı satüre olur</li></ul>                              |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Noktasal ışığa daha duyarlıdır</li></ul>                                    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Eksensel ışınlarđ daha duyarlıdır</li></ul>                            |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Yavaş yanıt, uzun bütünleştirme zamanı</li></ul>                            | <ul style="list-style-type: none"><li>• Hızlı yanıt, kısa bütünleştirme zamanı</li></ul>                       |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Ardışık ateşlemeler yavaş</li></ul>                                         | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ardışık ateşlemeler hızlı</li></ul>                                    |



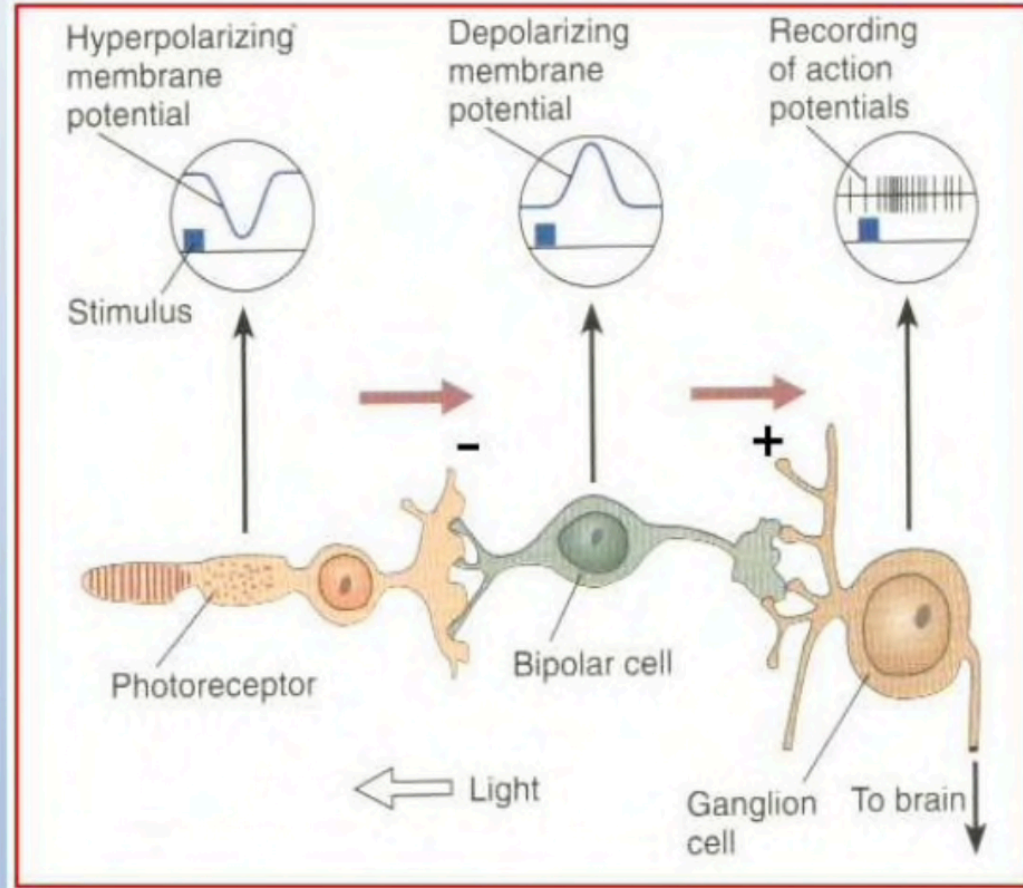
# FOTORESEPTÖRDE AKSİYON POTANSİYELİ OLUŞUMU

- Retinadaki potansiyel değişiklikler, ışığın basil ve konilerdeki ışığa duyarlı bileşiklere etkisi ile oluşturulur
- Işık ile bu bileşiklerin yapıları değişir ve nöral aktiviteyi başlatan bir dizi olayı tetikler



# FOTORESEPTÖRDE AKSİYON POTANSİYELİ OLUŞUMU

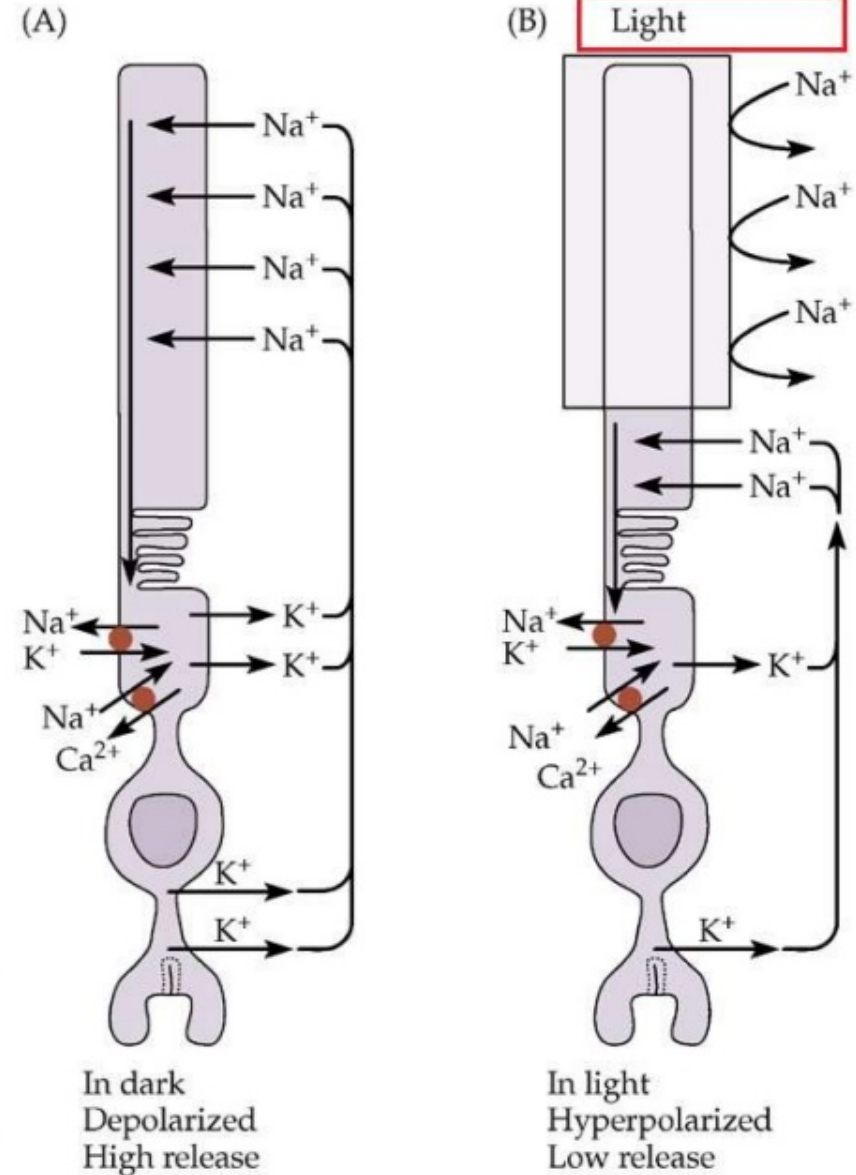
- Gözde, reseptör potansiyelleri lokal, basamaklı potansiyellerdir ve iletilen AP **gangliyon** hücrelerinde üretilir
- Basıl, koni ve horizontal hücrelerin yanıtları **hiperpolarize**,
- Bipolar hücrelerin yanıtları ise hem **hiperpolarize** hem de **depolarize edici** türde
- Amakrin hücreler gangliyon hücreleri tarafından üretilen ilerleyici dikenler için **depolarize edici potansiyeller** ve dikenler üretir

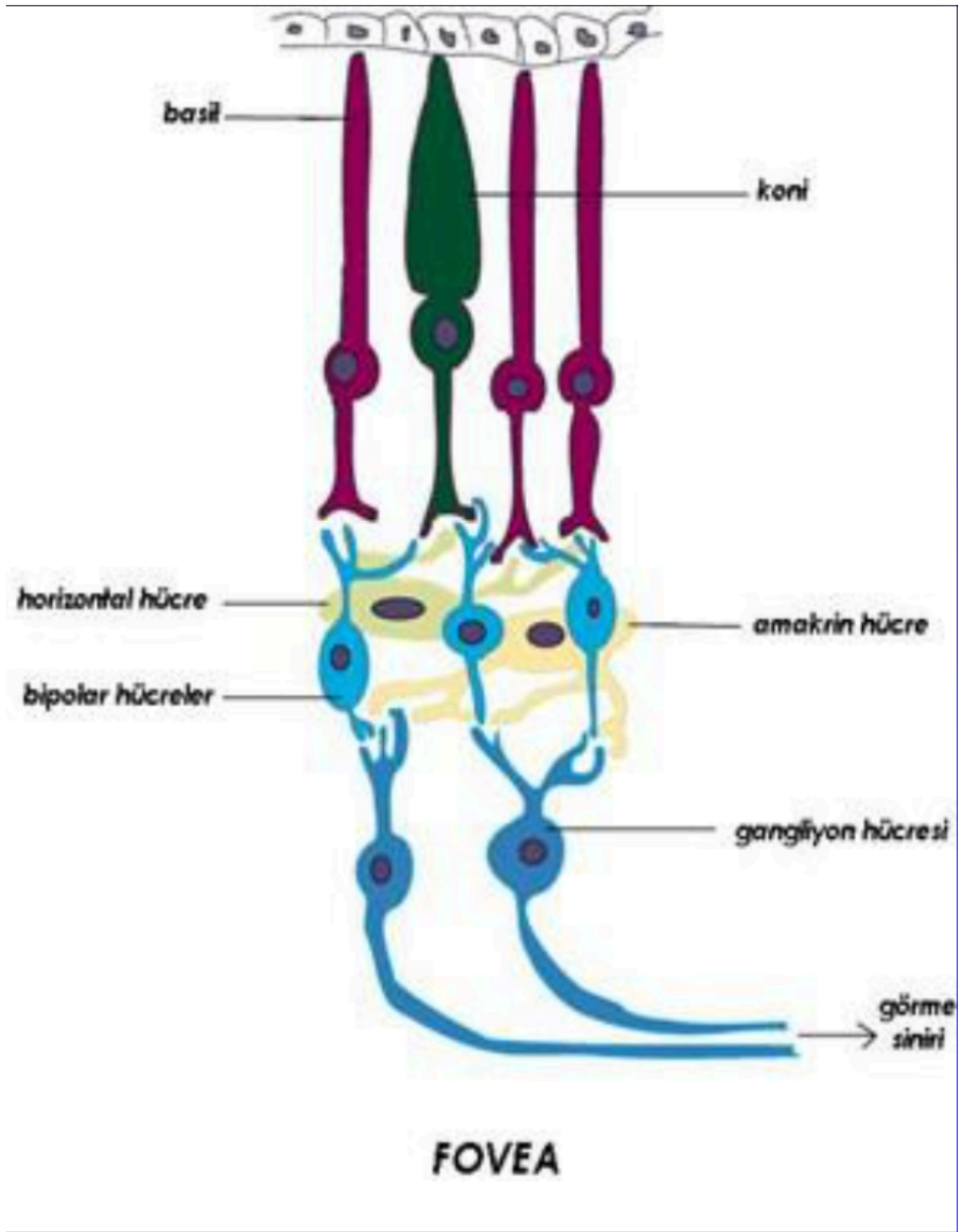




# Fotoreseptör Potansiyellerin İyonik Temeli

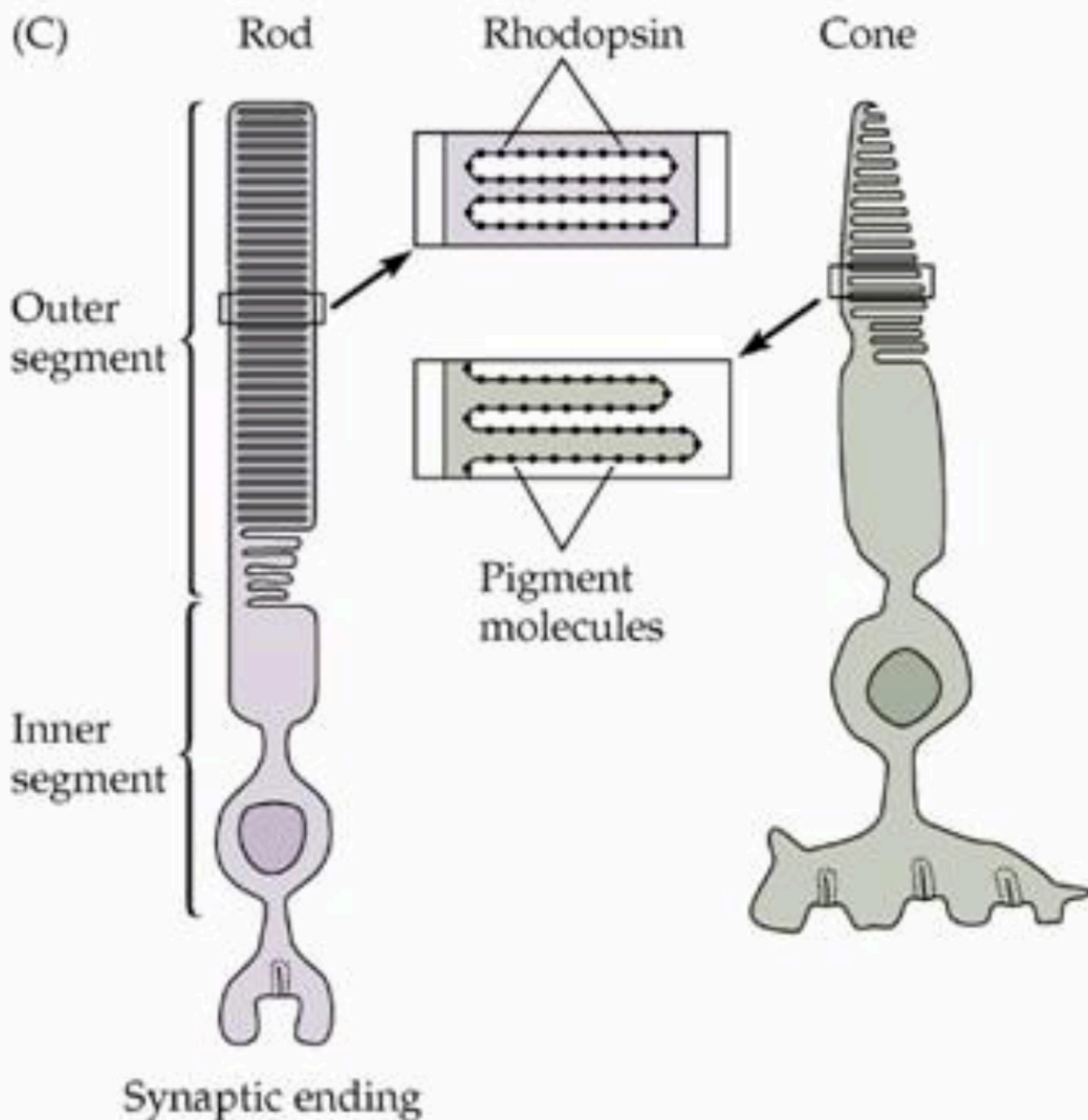
- Basil ve konilerin dış segmentindeki  $\text{Na}^+$  kanalları karanlıkta açıktır ve iç segmentten dış segmente iyon akışı olur
- İç segmentteki  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  pompası iyonik dengeyi sürdürür. Karanlıkta sinaptik transmitter kararlı şekilde salınır
- Işık dış segmente çarptığında  $\text{Na}^+$  kanalları kapanır ve **hiperpolarizasyon** gelişir
- Bu ise sinaptik transmitter salınmasını azaltır ve bu da **gangliyon hücrelerinde** AP oluşturur





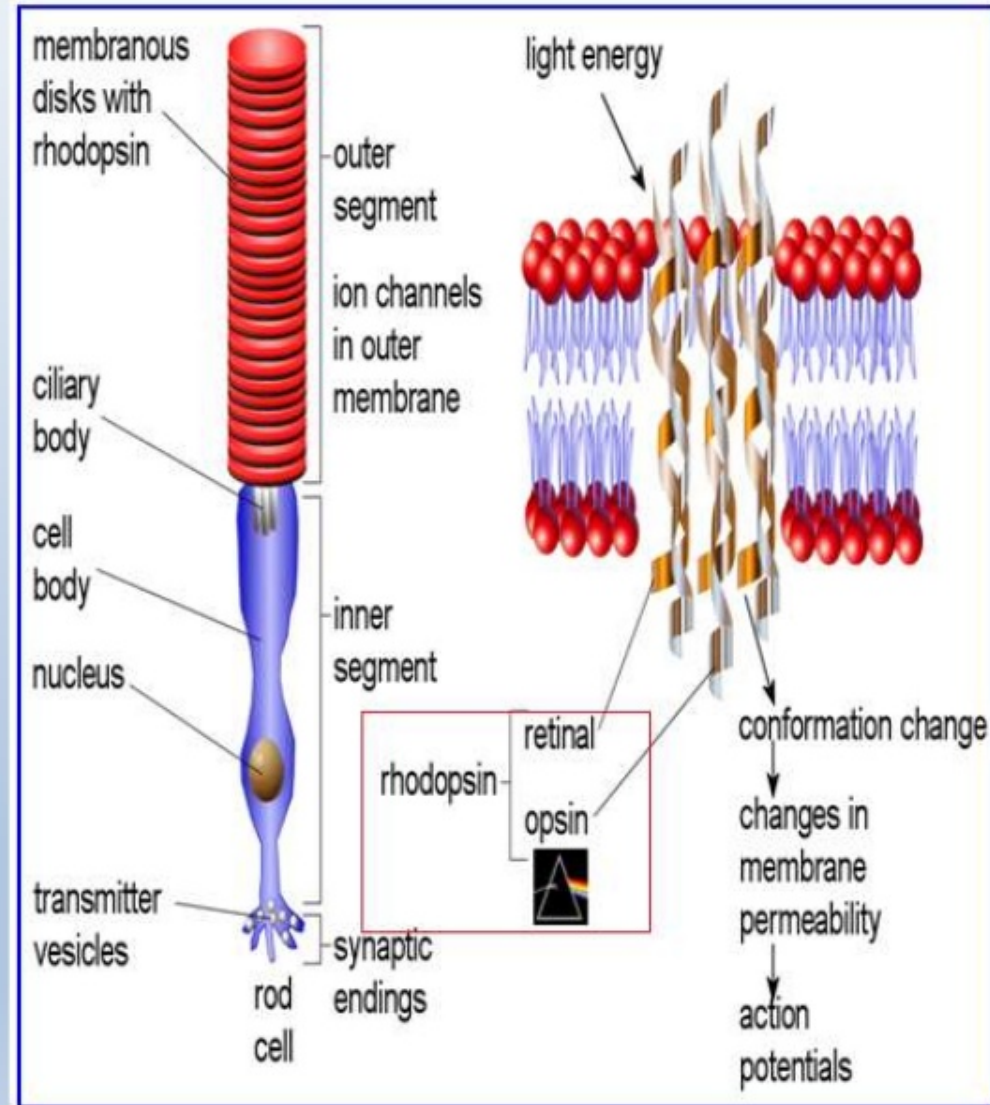
# Fotoreseptörler

- Dış segment Basillerde ince ve uzun, konilerde konik bir yapıya sahiptir.
- İç segment, sitoplazma ve sitoplazmik organelleri içerir. Özellikle mitokondri miktarı fazladır ve fotoreseptör işlevi için enerji sağlamada önemlidirler.
- Sinaptik gövde, koni yada basilin sonraki sinir hücreleri olan, horizontal ve bipolar hücreler ile bağlantı sağlayan bölümdür.



# Fotosensitif Bileşikler

- Fotosensitif bileşikler **opsin** adlı bir protein ile A1 vit aldehydi olan **retinen1'**den yapılmıştır
- Retinenler aldehid olduklarından **retinaller** olarak da adlandırılır
- A vit ise alkol olduklarından bunlara **retinoller** denir
- Rodopsin → opsin + retinal

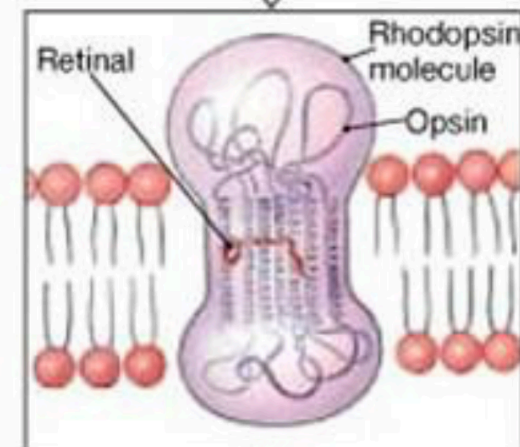
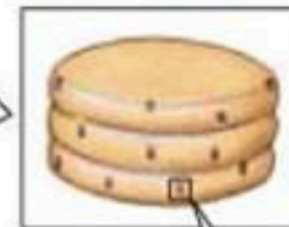
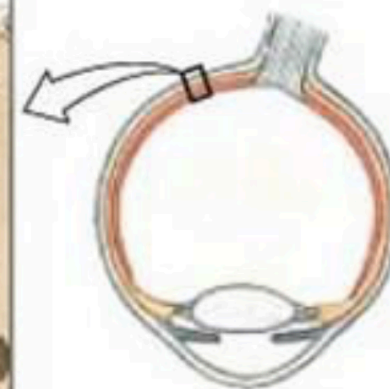
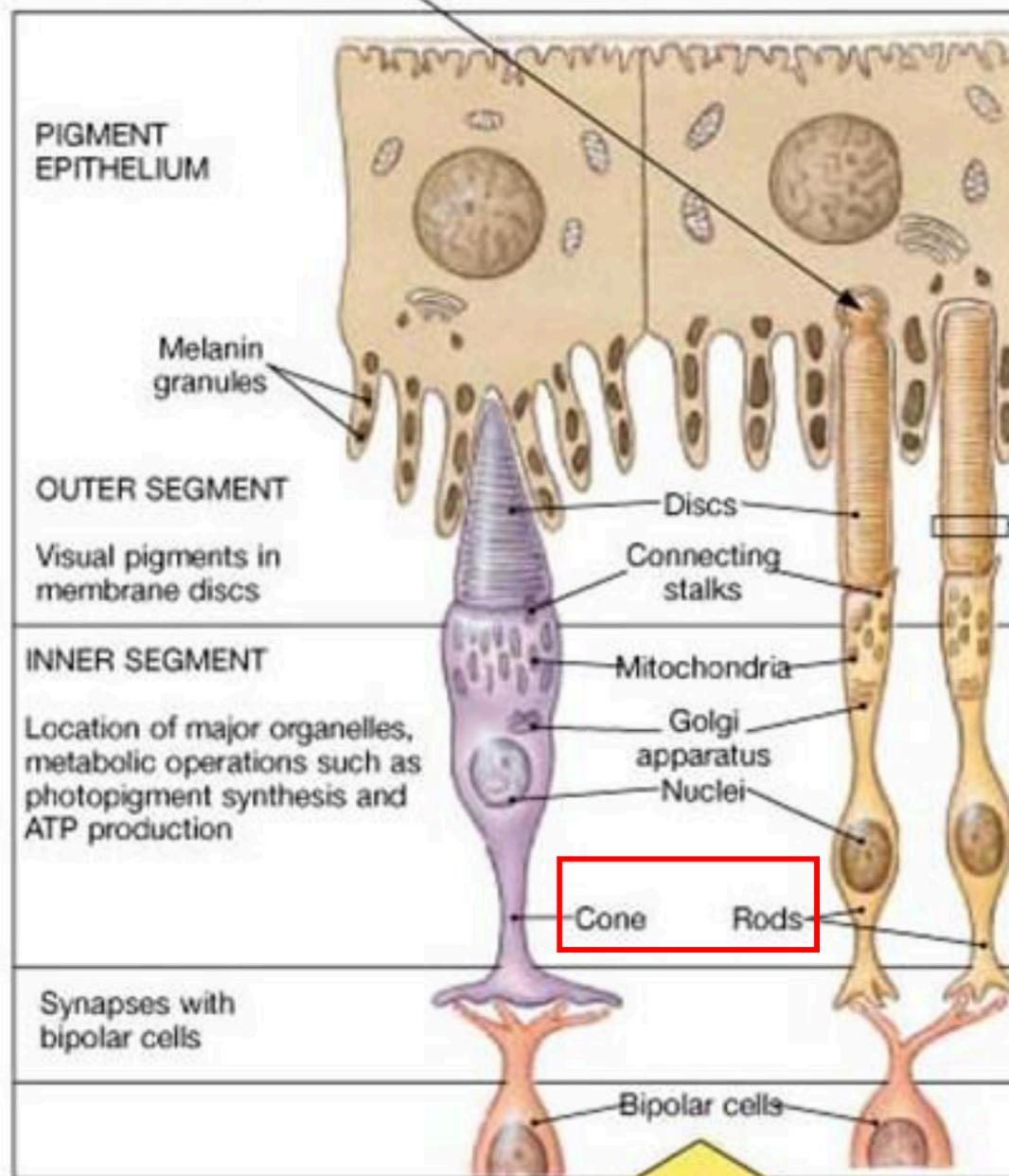


# Dış Segment

- Fotosensitif pigmentler opsin adlı bir protein ile A1 vitamininin aldehidi olan retinal' den yapılmıştır.
- Rodopsin ve renk pigmentleri disklerin zarına transmembran proteinler şeklinde katılırlar. Yalnızca pigmentler dış segmentin tüm kütlesinin yüzde 40'ını oluştururlar.



Old discs at tip are phagocytized by pigment epithelial cells



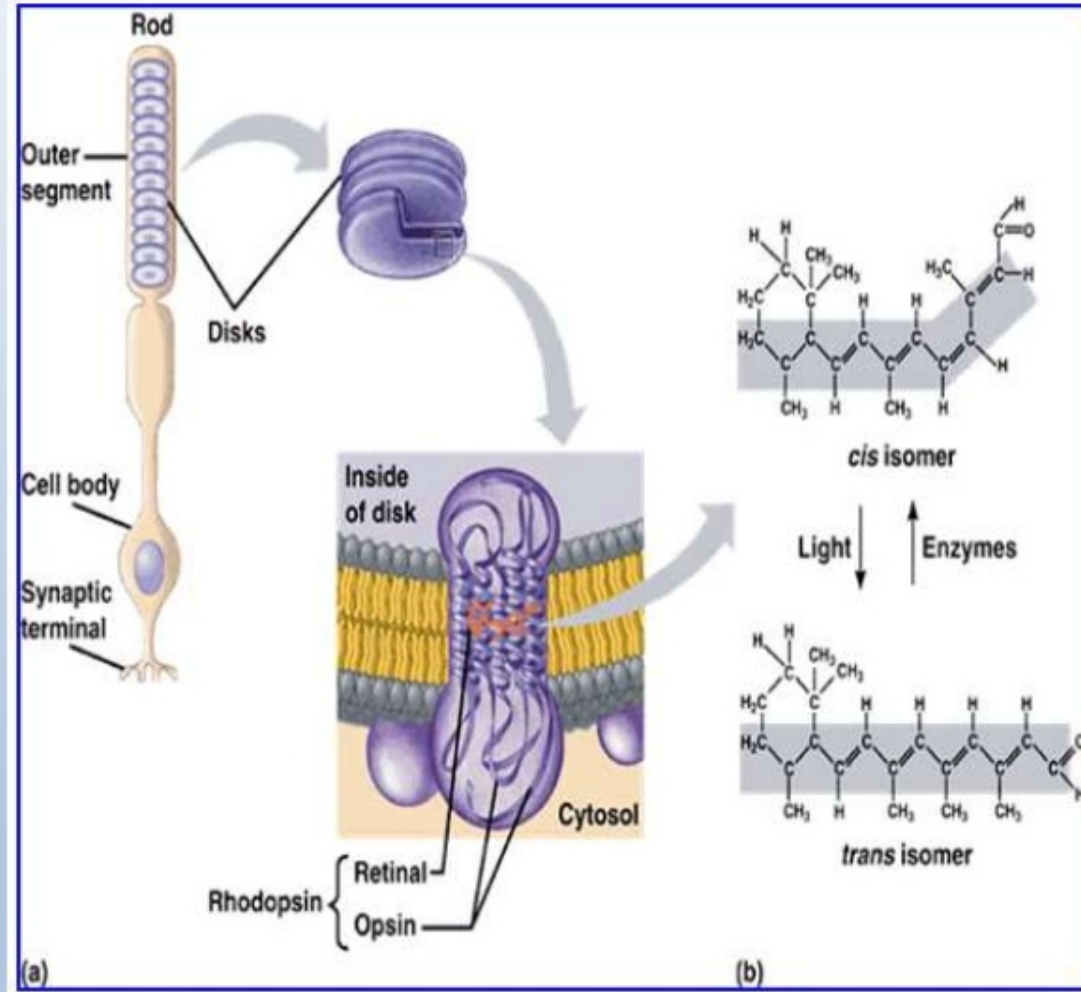
(b)

(a)

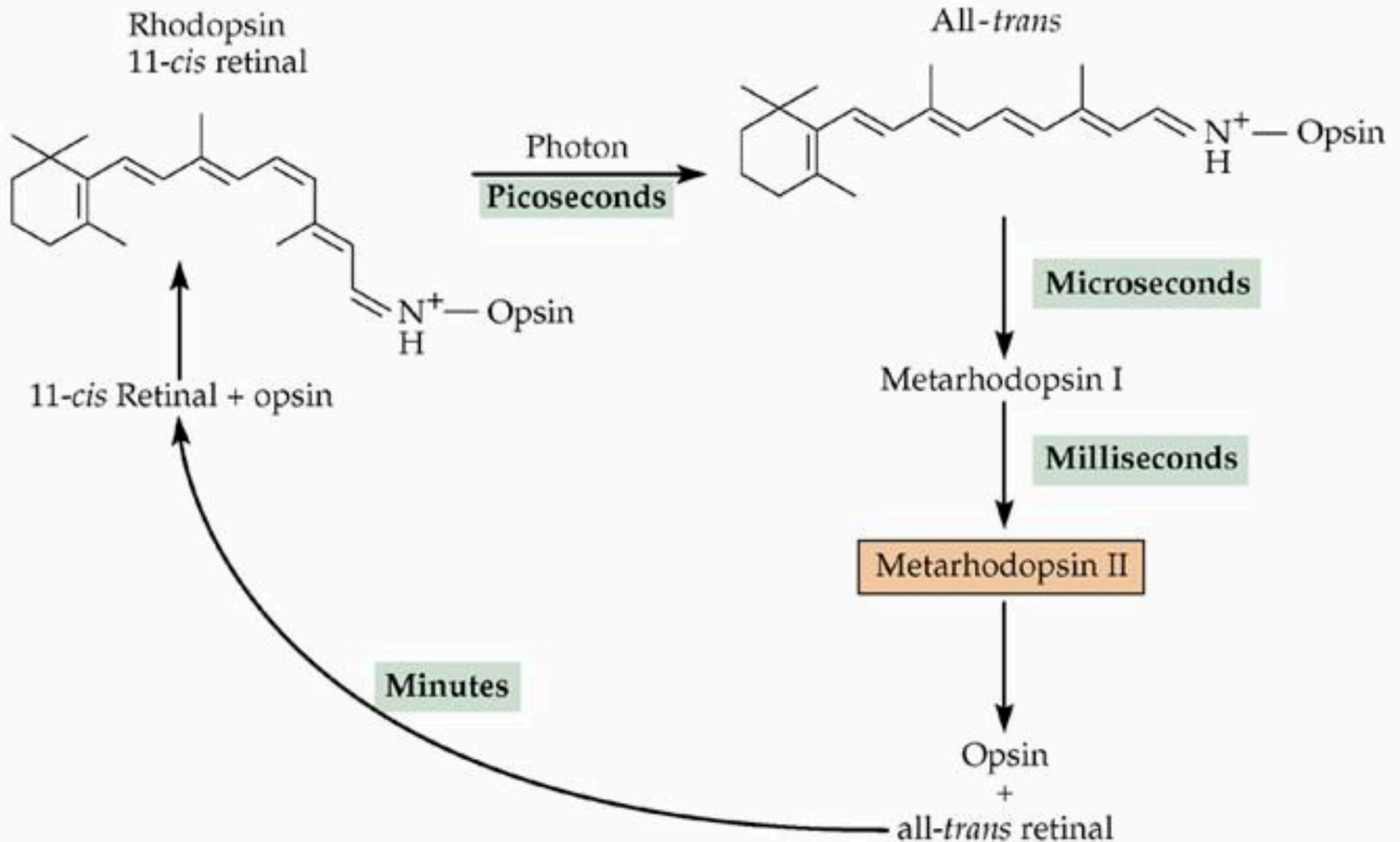
LIGHT

# Rodopsin<sub>1</sub>

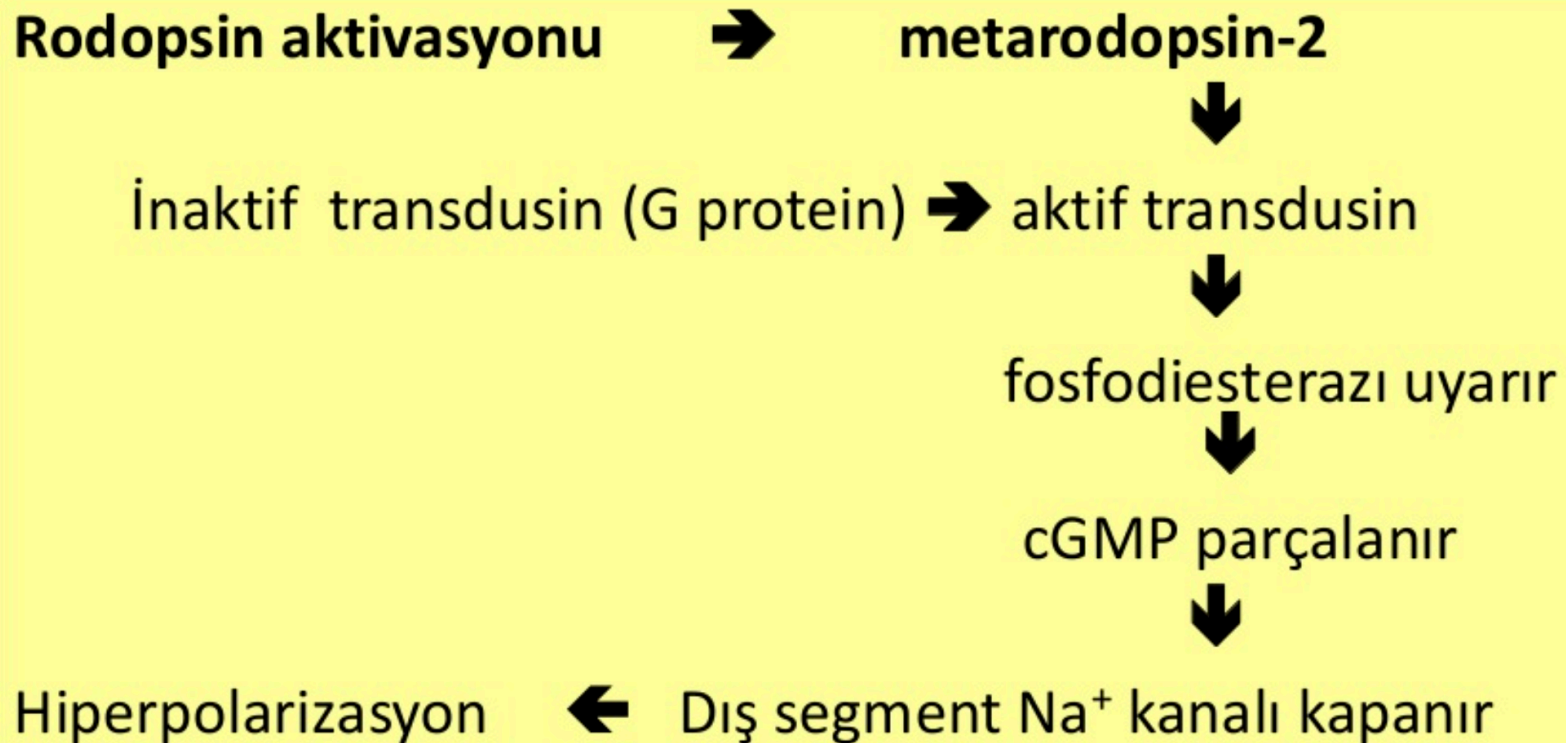
- Basillerdeki fotosensitif pigment **rodopsindir**
- Bunun opsinine **skotopsin** denir. Rodopsin 505 nm dalga boyunda ışığa maksimum duyarlılık gösterir
- Ayrıca G proteinlerine kenetlenmiş birçok **serpantin reseptöründen** bir tanesidir
- Karanlıkta, rodopsindeki retinal **11-cis** kurgusundadır.
- Işığın tek etkisi retinali **all-trans** izomerine dönüştürür



# RODOPSIN SIKLUSU

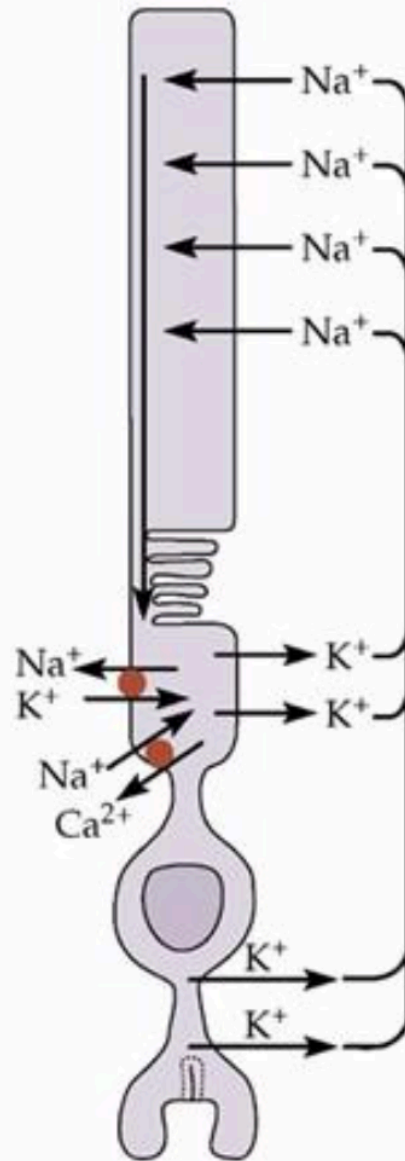


# Fotoreseptör Potansiyel





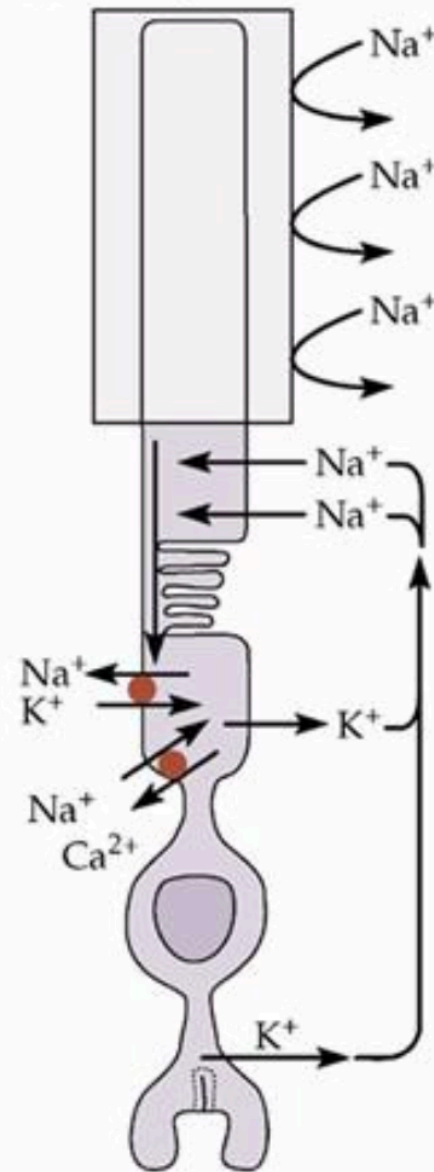
(A)



In dark  
Depolarized  
High release

(B)

Light



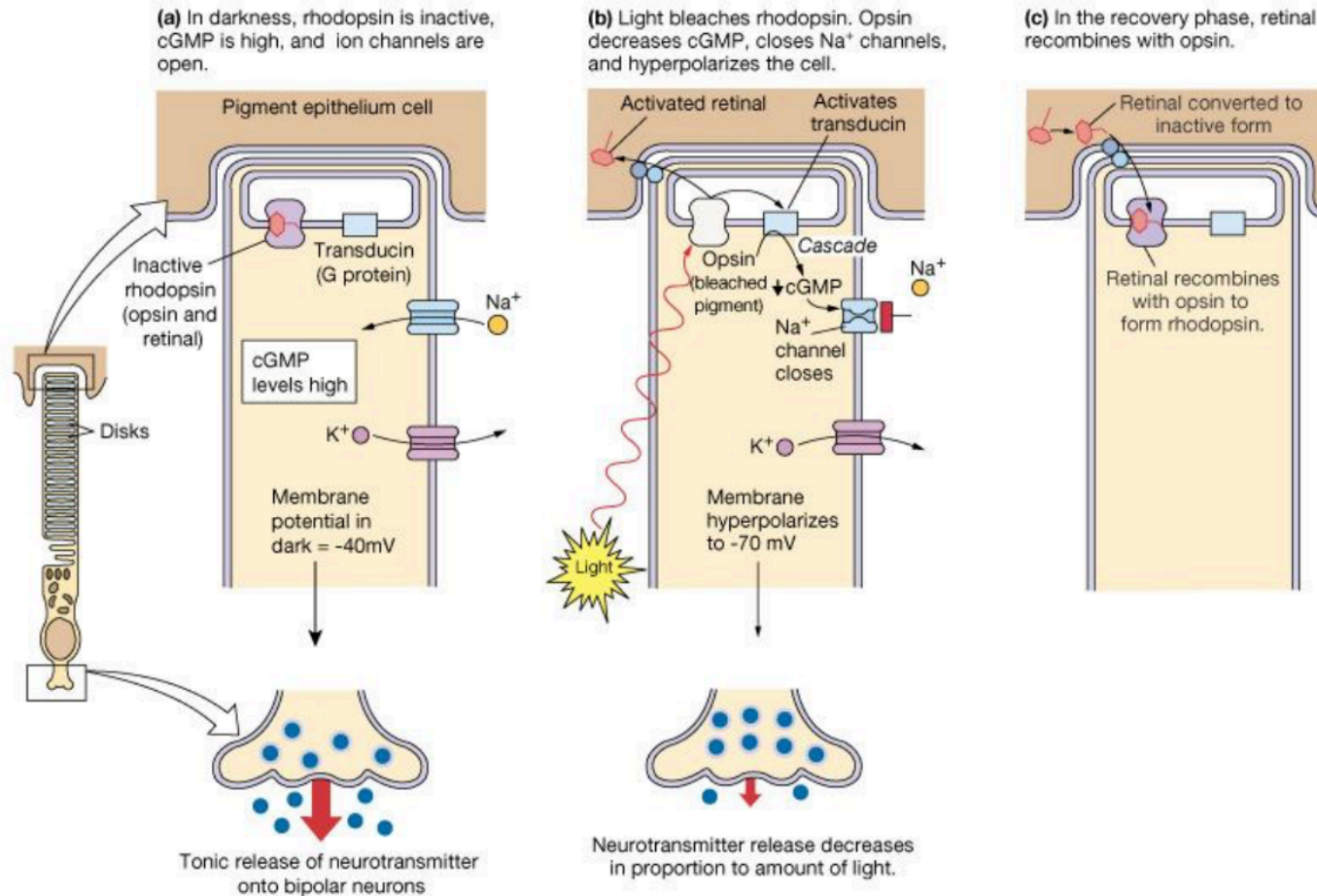
In light  
Hyperpolarized  
Low release

# Görme reseptörlerinde reseptör potansiyeli

- Karanlıkta basil yada koninin membranı sodyum ve potasyuma eşit derecede geçirgendir.  $(-40)$  mV'luk istirahat potansiyeline neden olur.  
Maksimum ışık şiddetinde membran potansiyeli  $(-70)$ - $(-80)$  mV'a yaklaşır.
- Basillerde hiperpolarizasyon 0.3 sn'de tepe değerine ulaşır ve 1 sn'den daha uzun sürer. Konilerde bu değişiklikler dört kat daha hızlı olur.



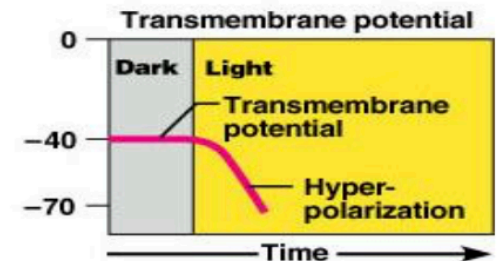
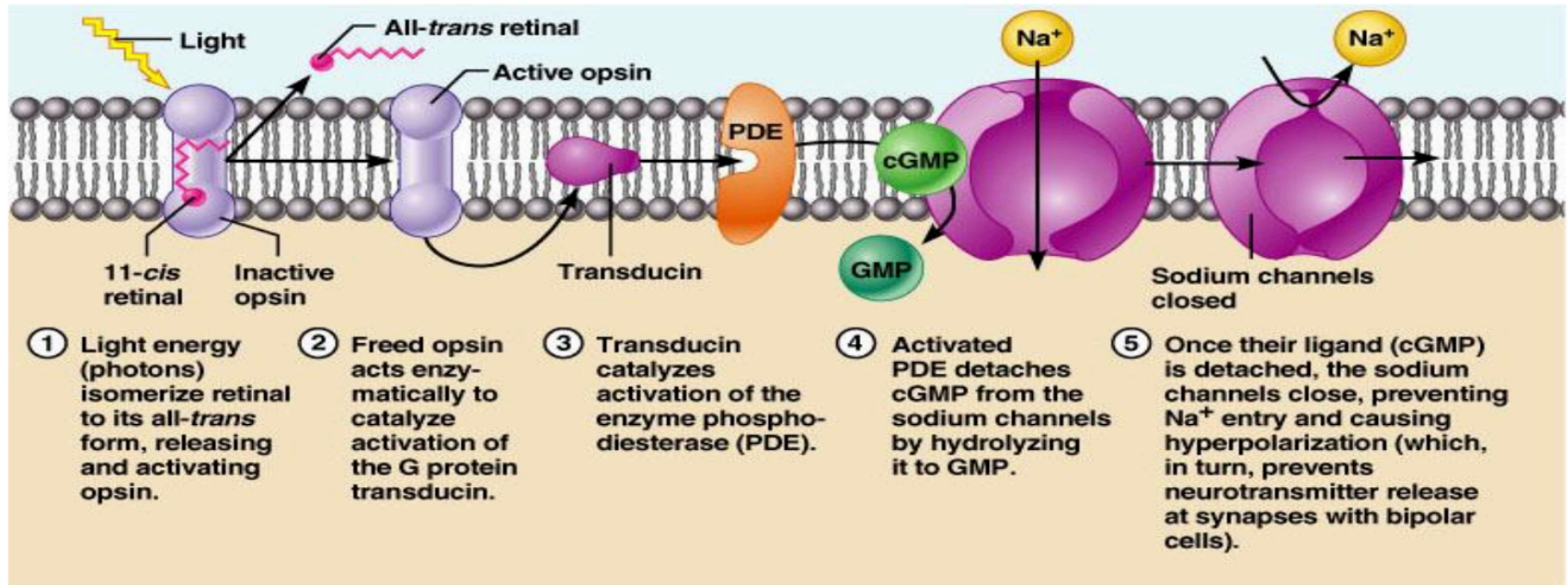
# Reseptör Potansiyeli 1



# **Rodopsin parçalanmasının membran sodyum iletkenliğini azaltma mekanizması**

1. Işık, rodopsinin 11-cis-retinal parçasını uyararak metarodopsin 2 oluşumuna yol açar.
2. Metarodopsin 2, basilin disk ve hücre membranında inaktif bir protein olan transdusini (G protein) aktif hale döndürmek için enzim gibi işlev görür.
3. Uyarılmış transdusin, çok sayıda fosfodiesteraz molekülünü uyarır.
4. Siklik GMP (siklik guanozin monofosfat molekülü), basilin dis zarının sodyum kanal proteinine bağlanarak kanalın açık durumda kalmasını sağlayan bir moleküldür. Işık fosfodiesteraz cGMP'yi parçalar. Böylece cGMP düzeylerinde azalma sodyum kanallarının kapanmasına neden olur. Sodyum iyonlarının akışındaki bu azalma, basilleri uyaran nedendir.
5. Yaklaşık 1 sn içinde, basilde bulunan başka bir enzim olan rodopsin kinaz, rodopsini inaktive eder ve sodyum kanalları normal durumuna geri döner.

# Phototransduction



# Light

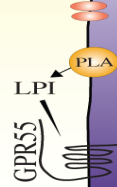
Rod cell hyperpolarized

Outer segments

Na<sup>+</sup>/Ca<sup>++</sup> channels closed

Active rhodopsin

Inner segments

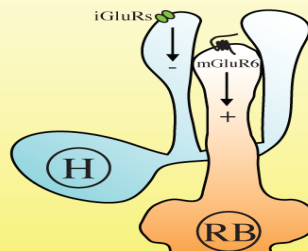


Ca<sup>++</sup>

In presence of light, low activation of GPR55 by LPI decreases the release of glutamate

Synaptic terminals

Low glutamate release



# Dark

Rod cell depolarized

Na<sup>+</sup>/Ca<sup>++</sup> channels open

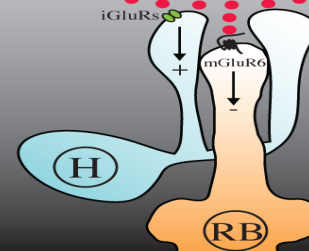
Inactive rhodopsin



Ca<sup>++</sup>

In the dark, high activation of GPR55 by LPI enhances the release of glutamate

High glutamate release



# Aydınlığa uyum

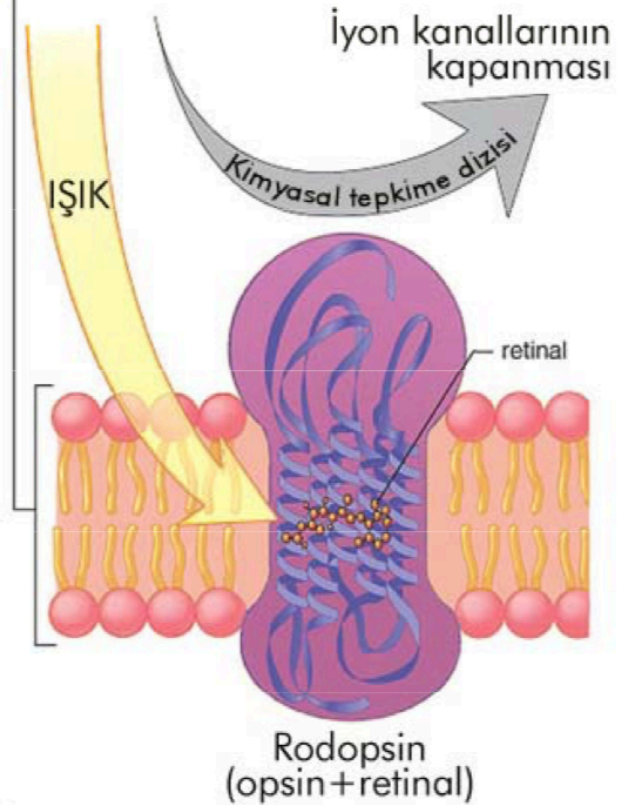
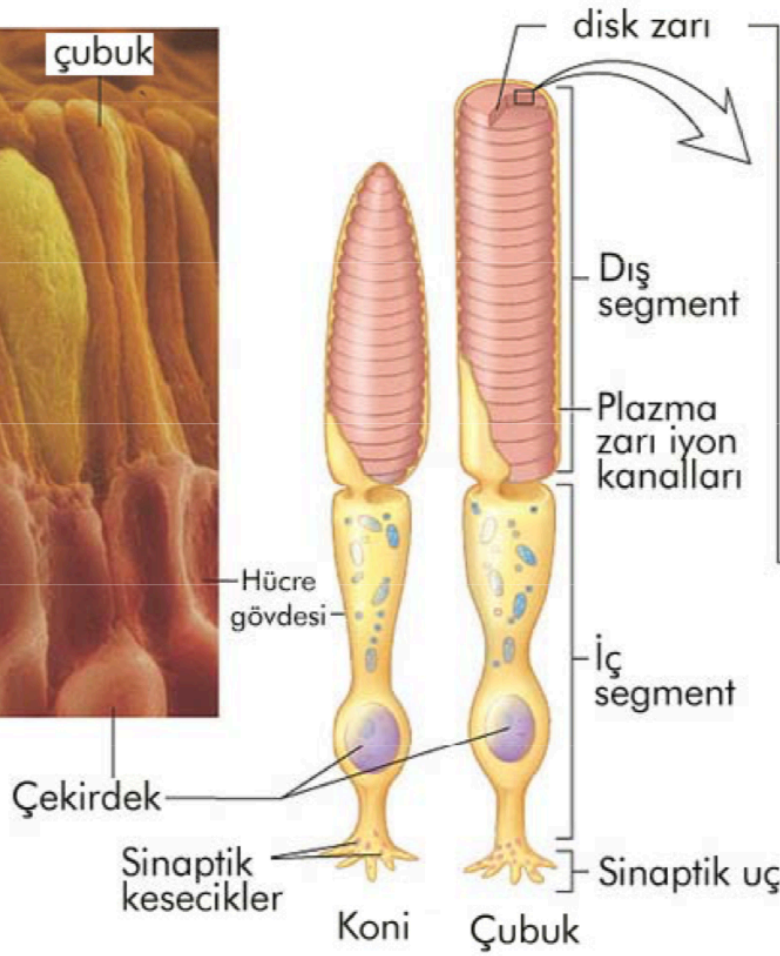
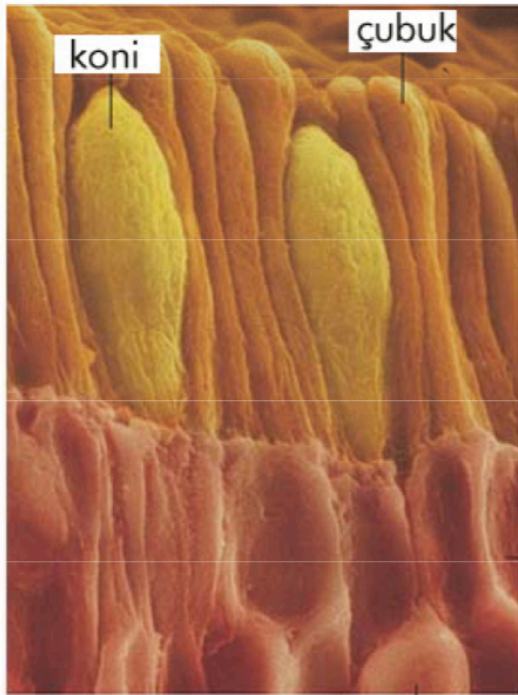
- Eğer bir kişi uzun süre parlak ışıktadır, **basil ve konilerdeki fotokimyasal maddeler rodopsin kinaz ile retinal ve opsinlere geri dönüşmüş olacaktır.** Retinalin çoğu da A vitaminine dönüşecektir. Buna bağlı gözün ışığa duyarlılığı azalır. Koniler basillerden daha hızlı bir uyum sağlar.

# Karanlığa Uyum

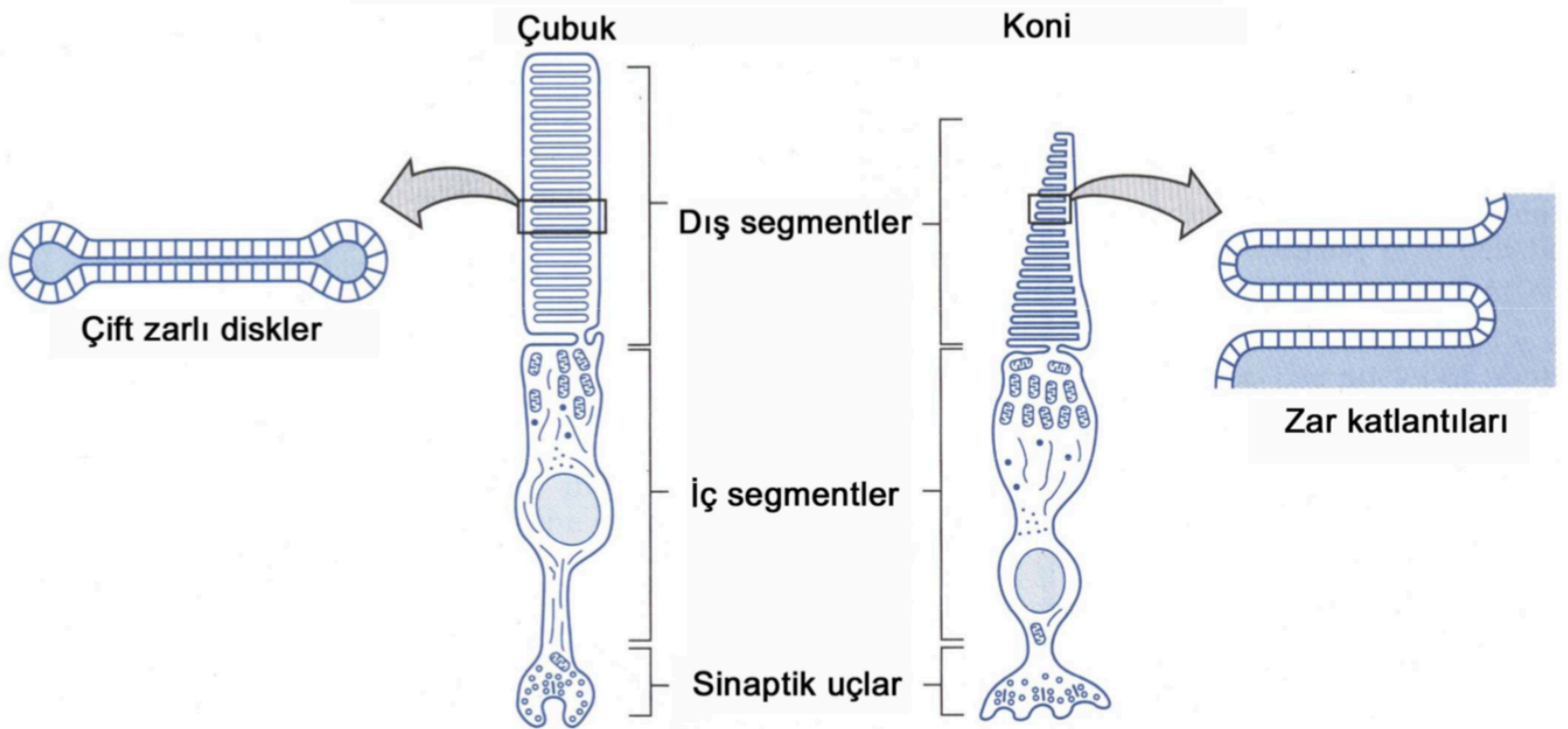
- Kişi uzun süre karanlıkta kalırsa, basil ve konilerdeki retinal ve opsinler yeniden ışığa duyarlı pigmentlere (rhodopsin) dönüşür. A vitamini de retinale dönüştürülür. Buna karanlığa uyum denir.
- Basiller yavaş uyum sağlarlar, fakat hassasiyetleri gittikçe artarak, dk hatta saatlerce uyum sağlarlar .Karanlığa ilk gelince retina duyarlılığı düşüktür. Bir dakikada hassasiyet 10 kez artar. 20 dk sonra 6000, 40 dk sonra ise duyarlılık kez artmıştır.



# Retina: Fotoresseptörler



# Retina: Fotoresseptörler



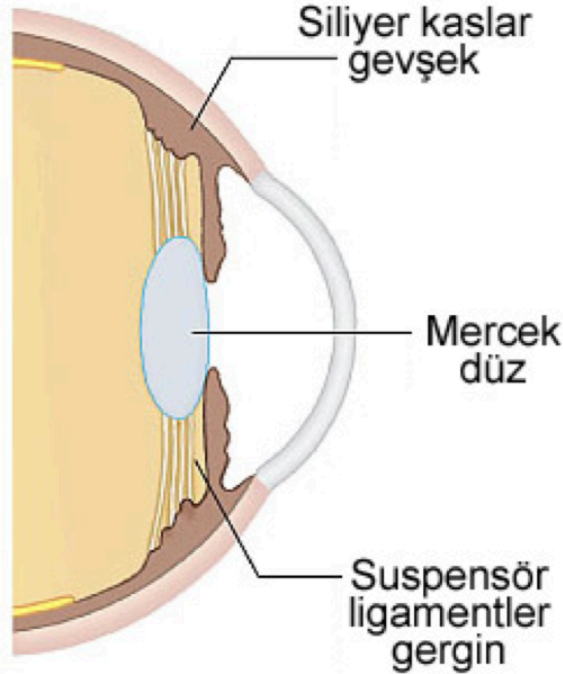
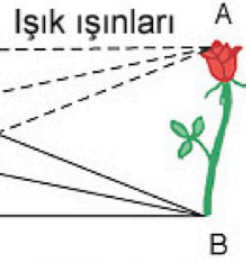
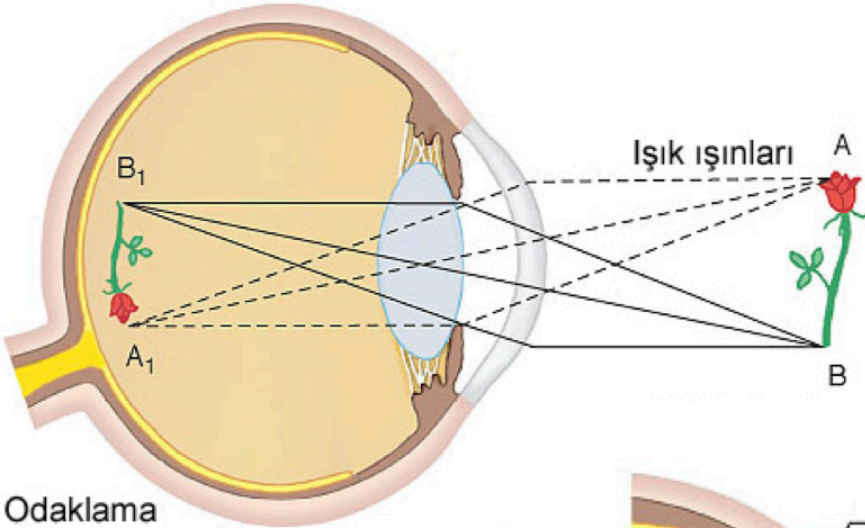
# Retinal nöronlar tarafından salınan nörotransmitterler

- ♣ **Basil ve konilerden** → **bipolar hücrelere** → glutamat aracılığıyla ileti sağlanır.
- ♣ **Horizontal hücreler**; kimyasaldan çok elektriksel ileti vardır.
- ♣ **Amakrin hücreler**; GABA, glisin, dopamin, asetilkolin (Ach), indolamin
- ♣ **Bipolar, horizontal, interpleksiform hücreler**; nörotransmitterleri kesin değildir.
- ♣ **Ganglion hücreleri** görme sinyallerini her zaman aksiyon potansiyeli ile ileten tek retinal sinir hücresidir.

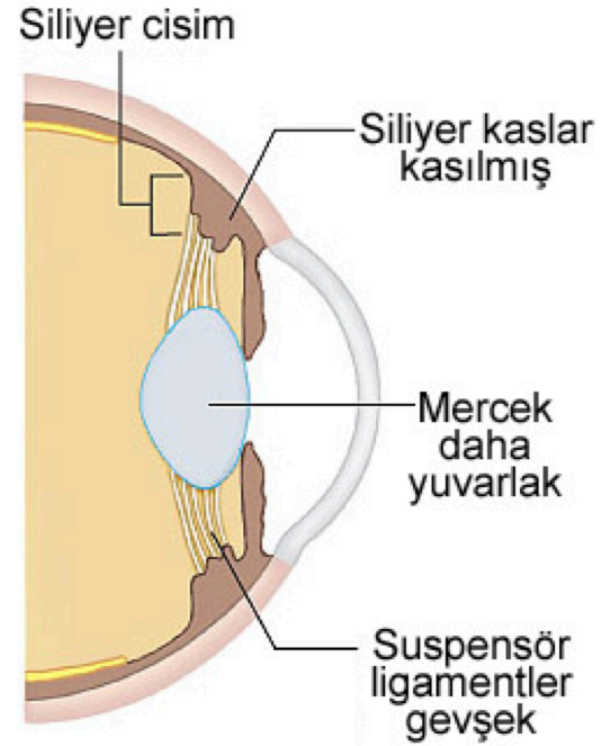
# Akomodasyon

- Lensin kırma gücünü artıran ya da azaltan işleme denir.
- Gözde akomodasyon işlemi corpus cilliare bölümüne lensin tutunmasını sağlayan kaslarla gerçekleştirir. Bu kaslar kasıldığında lens küresel bir şekil alır ve kırma gücü artar. Gevşediğinde ise lensin yassı şekil alarak kırma gücünün azalmasına neden olur.
- **Akomodasyon kuvveti:** En kuvvetli akomodasyonda meydana gelen kırma gücü artışına denir.

# Uzaklığa Uyum (akomodasyon)



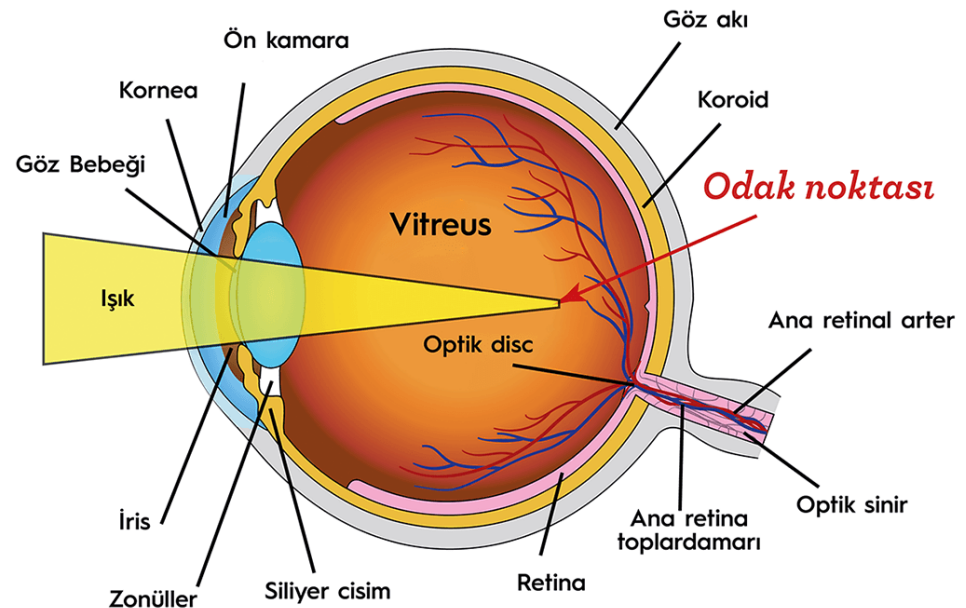
UZAK BİR NESNEYE  
ODAKLANMA



YAKIN BİR NESNEYE  
ODAKLANMA

# 1. Miyopi

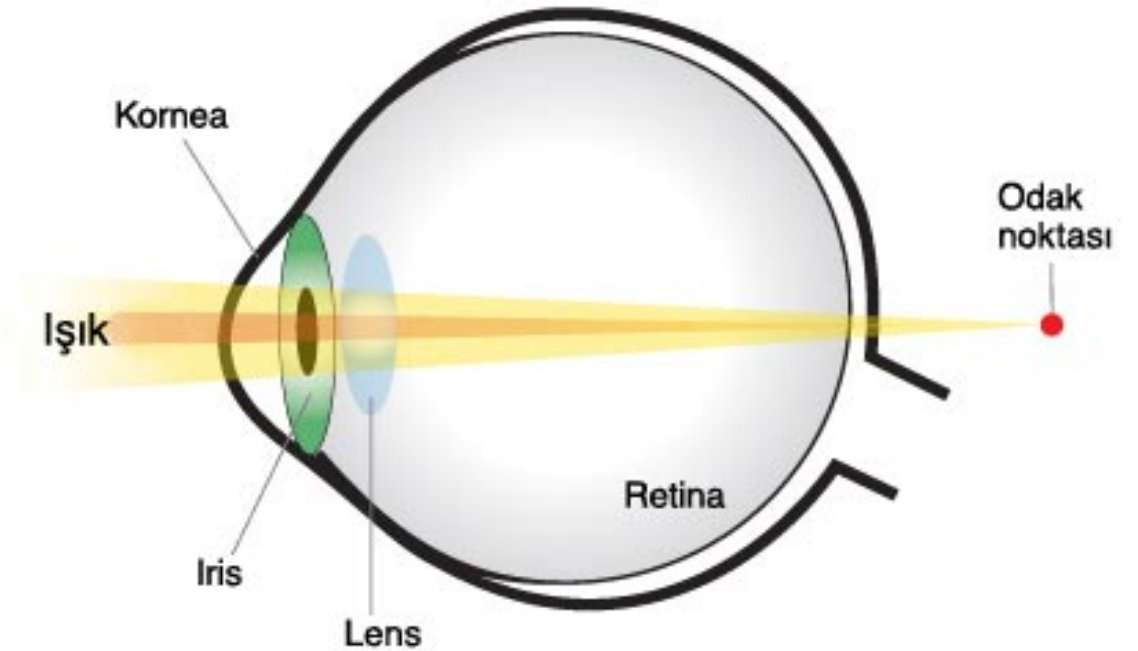
Göz küresinin uzun olması veya kırma ortamının kırma gücünün artmasına bağlı olarak gözlenir. Görüntü retinanın önüne düşer. Yakıdaki cisimler net görünürken uzak cisimleri görmede güçlük yaşanır. Konkav merceklerle düzeltilir.





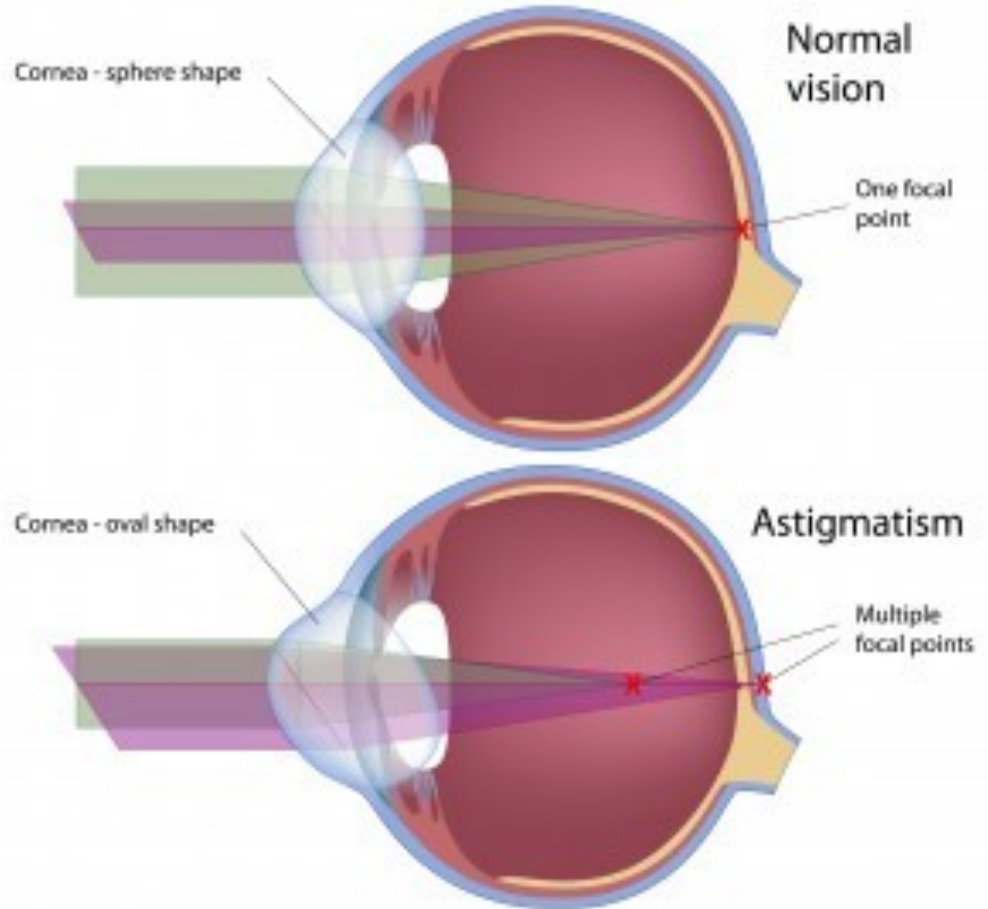
## 2. Hipermetropi

Göz küresinin kısa olması veya kırma ortamının kırıcılığının azalmasından kaynaklanır. Görüntü retinanın arkasına odaklanır. Uzak net görünürken yakındaki cisimleri görmede güçlük yaşanır. Konveks merceklerle düzeltilebilir.

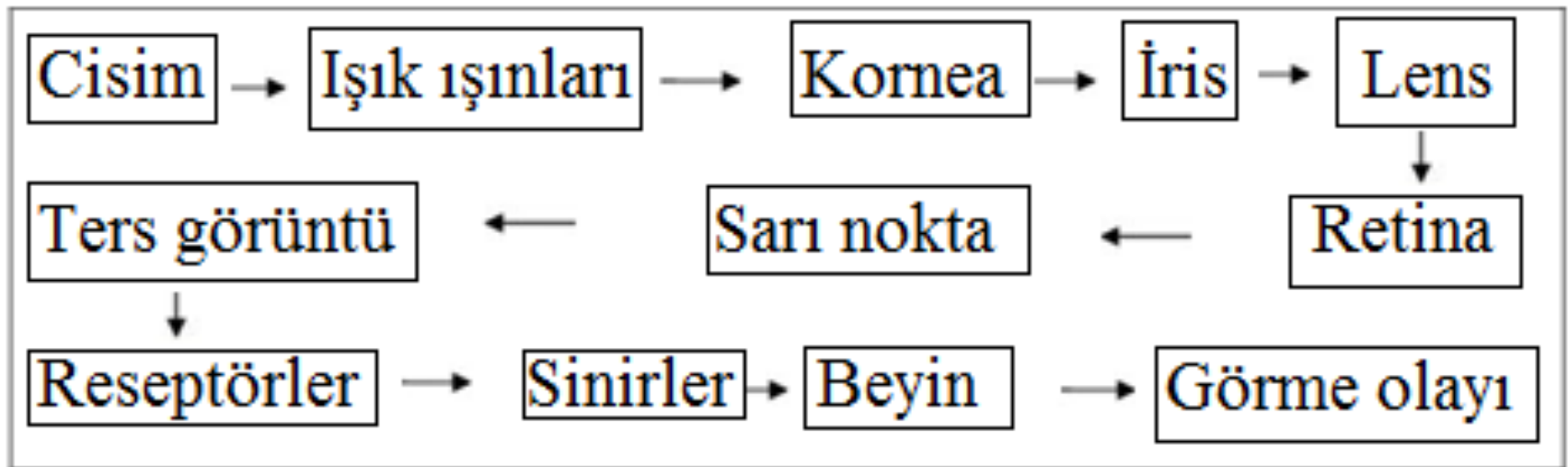


### 3. Astigmatizm

Lens ve korneanın yapısal bozukluğundan kaynaklanır. Işık tek bir noktada odaklanamaz. Silindirik mercekle düzeltilir.



# Görme Yolu



- Renk körlüğü: Koni hücrelerinin bir tipinin bulunmaması durumunda kişinin bazı renkleri ayırt edememesi durumudur. Örneğin 525-675 nm dalga boylar arasındaki yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı renkler, kırmızı ve yeşil duyarlı koniler sayesinde ayırt edilir. Bu koni hücrelerinden birinin eksik olması durumunda kişi 4 rengi de birbirinden ayırt edemez.

