



# İSTİRAHAT MEMBRAN POTANSİYELİ & AKSİYON POTANSİYELİ

Prof.Dr. Mitat KOZ

# İstirahat Membran Potansiyeli

---

- ▶ Bütün hücreler istirahat halindeyken hücre zarıyla ayrılmış bir potansiyel farkına sahiptirler.
- ▶ Hücre zarının içi dışına nazaran negatif yüklüdür.
- ▶ Bu potansiyel farkına **istirahat membran potansiyeli** denir.
- ▶ Uyarılabilir hücrelerde dinlenim membran potansiyeli:  $-70$  ila  $-90$  mV



# İyonların difüzyonu

- Hücre zarı;
  - İki katlı lipid tabaka
  - Seçici geçirgen
  - İyonlara karşı farklı difüzyon kapasitelerine sahip
- Membranın iki tarafında iyonların konsantrasyonları arasında oluşan farklar membran potansiyellerini oluşturur

# Organizmada iyonların dağılımı

- Hücre dışı ortam  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$  iyonlarından
- Hücre içi ortam  $\text{K}^+$  iyonlarından zengindir
- Ayrıca hücre içinde asla hücreyi terk edemeyen negatif yüklü protein anyonlar vardır
- Normal hücre zarı  $\text{K}^+$ 'a  $\text{Na}^+$ 'a 100 kat daha geçirgendir



Uyarılabilen hücrelerde, istirahat membran potansiyelinin oluşmasında rol oynayan iyonlar,

► Tek değerlikli  $K^+$ ,  $Na^+$  ve  $Cl^-$  iyonları ve bu iyonların difüzyon (sızma) kanallarından geçiş özellikleri

iyon	Hücre İçi (mEq/l)	Hücre Dışı (mEq/l)	Oran
$Na^+$	14	142	10
$K^+$	140	4	35
$Cl^-$	9	108	12

Belirli bir konsantrasyon farkında bu gücü dengeleyen elektriksel yük farkı Nerst denklemi ile bulunur.

$$EMF \text{ (in millivolts)} = \pm 61 \log \frac{C_1}{C_2}$$

# GOLDMAN'IN SABİT SAHA DENKLEMİ- GOLDMAN-HODGKIN-KATZ

$$\text{EMF(milivolt)} = -61 \times \log X \frac{((PK^+ \times \text{Kons}K^+_i) + (PNa^+ \times \text{Kons}Na^+_i) + (PCl^- \times \text{Kons}Cl^-_d))}{((PK^+ \times \text{Kons}K^+_d) + (PNa^+ \times \text{Kons}Na^+_d) + (PCl^- \times \text{Kons}Cl^-_i))}$$

- ▶ Bu hesaplamalar sonucunda uyarılabilir hücrelerde istirahat membran potansiyelinin,
- ▶ Hücrelerin tipine göre, -10 ila -100 mV arasında değiştiği;
- ▶ sinir hücrelerinde -70 - -80 mV;
- ▶ İskelet kasında -90 mV;
- ▶ Kalp ve düz kasların uyarı doğuran hücrelerinde -50, -65 mV kadar olduğu saptanmıştır.
- ▶ Salgı bezleri, eritrositler gibi uyarılamayan hücrelerde bu potansiyel fark, -10, -20 mV

# AKSIYON POTANSİYELLERİ UYARILMA (EXCITATION)

---

- ▶ Uyarılabilen hücrelerde zar, istirahat durumunda **polarize** (2 kutuplu) halde iken, fiziksel, kimyasal veya elektriksel bir uyaran ile **depolarize** edilebilir.
  - ▶ Bunun için uyarının (stimulus), hücre zarında pozitif yüklü iyonlara ait ligand veya voltaj bağımlı kanalların açılmasına yetecek şiddette (**eşik şiddet**) olması gerekir.
  - ▶ Hücre içine (+) yük girişiyle, membran potansiyeli atesleme seviyesine kadar (-50, -60 mV) değiştirilebilirse,
  - ▶ Na<sup>+</sup> un bütün voltaja bağlı kanalları açılacağından; Na<sup>+</sup>, hızla hücre içine akar ve bir aksiyon potansiyeli başlar.
- 



## "Hep veya Hiç Yasası"

---

- ▶ Aksiyon potansiyelinin uyarılma eşiği vardır
  - ▶ Uyarılabilen (excitable) bir hücre eşik ve eşik üstü bir uyarana tek tip bir aksiyon potansiyeli ile yanıt verir.
  - ▶ Eşik altı uyarana ile bir aksiyon potansiyeli oluşmaz.
  - ▶ Buna "Hep veya Hiç Yasası" denir
  - ▶ Bir sinir hücresi, bir kas hücresi ve kalbin tümü hep veya hiç yasasına uyar.
  - ▶ Ancak vücudumuzda aksonlar ve iskelet kası hücreleri tek tek değil; binlercesi bir araya gelerek sinir demetlerini (siyatik sinir gibi) ve kas kitlelerini (gastroknemius kası gibi) oluşturur.
- 





# Aksiyon

## Potansiyeli Evreleri

- ▶ **Depolarizasyon**
- ▶ **Repolarizasyon**
- ▶ **Hiperpolarizasyon**
- ▶ **Hipopolarizasyon**
- ▶ **Refrakter Peryot**
  - ▶ **Absolut (kesin) refrakter peryot**
  - ▶ **Rrelatif (kısmi) refrakter perot**

▶ *Bu terimler istirahat membran potansiyeline göre hücre zarı potansiyelindeki değişiklikleri ifade etmek için kullanılır.*



# ÖZETLE AKSİYON POTANSİYELİ

---

- ▶ İstirahat durumunda membran  $K^+$  iyonlarına 50-100 kat daha geçirgen ( $Na^+$ 'a) göre (sızma kanallarından)
- ▶ Sinir uyarıldığında  $Na^+$  kanalları aktif hale geçer ve  $Na^+$  geçirgenliği 5000 kat artar (voltaj kapılı kanallardan).
- ▶ Ancak çok kısa zamanda kapanır.



# Depolarizasyon

---

- ▶ Hücreye uyarının verildiği andan itibaren, hücre içine giren (+) yüklü iyonlar dolayısıyla membranın polarize durumu bozulur ve depolarizasyon başlar.
- ▶ Membran potansiyeli yaklaşık **-50, -55 mV'lara** ulaştığında, ***bütün voltaja bağlı Na<sup>+</sup> kanalları açılır***
- ▶ Na<sup>+</sup>, gümbür gümbür hücreye girer ve hücre içini pozitifleştirir.
- ▶ Na<sup>+</sup>, hücre içini +35 mV yapana kadar hücreye girer.
- ▶ Bazı hücrelerde potansiyel; +20 mV gibi daha düşük değerlerde kalır.



# Depolarizasyon

---

- ▶ Na zar potansiyelini kendi denge potansiyeli olan +60 mV'a kadar pozitilleştirmek isteyecektir.
- ▶ Ancak Na<sup>+</sup> **un aktivasyon kapıları çok kısa sürede (0.1 ms) inaktivasyon** konumuna geçer,
- ▶ Na<sup>+</sup>-**K' ATPaz**, Na<sup>+</sup>'un hücre içinde en yüksek düzeyde olduğu bu dönemde **maksimal derecede aktifleşir ve** bu pozitif değerlerde **K<sup>+</sup> voltaj kapıları da açılır.**
- ▶ Bu engellemeler dolayısı ile Na<sup>+</sup> hücre içini +60 mV'a kadar değiştiremez ve depolarizasyonun tepe noktası +30, +35 mV'larda kalır.



# Repolarizasyon

---

- ▶ Tepe noktasında ***K<sup>+</sup>'un kapılarının açılması*** ve *K<sup>+</sup>'un hücreden çıkmaya başlaması ile **repolarizasyon** dönemi başlar, hücre hızla (+) yük kaybetmeye başlar.*
- ▶ Repolarizasyon, membran potansiyelinin başlangıçtaki polarizasyon voltajına ininceye kadar devam eder,
- ▶ Hatta biraz daha negatif değerlere iner yani zar **hiperpolarize** olur (-80, -90 mV).



# Hiperpolarizasyon

---

- ▶ ***Hiperpolarizasyon döneminde bir hücrenin uyarılması zordur ve daha yüksek bir eşik uyarana gerektirir.***
  - ▶ ***Hiperpolarizasyonun nedeni,  $K^+$  voltaj kapılarının,  $Na^+$  voltaj kapıları gibi hemen inaktive olmayıp; 10-15 ms gibi uzun süre açık kalmasıdır.***
- 



## ***Absolut (kesin) refrakter period (ARP)***

---

- ▶ Aksiyon potansiyelinin depolarizasyon döneminde ve repolarizasyonun ilk 1/3'lük döneminde hücre yeni gelecek uyarılara yanıt vermez.
- ▶ Bu sürece ***absolut (kesin) refrakter period (ARP)*** denir.



## *Relatif (kısmi) refrakter periodu*

---

- ▶ Repolarizasyonun ikinci 2/3 lük dönemini, ***relatif (kısmi) refrakter periodu (RRP)*** oluşturur ( $\text{Na}^+$  kapılarının bir kısmı inaktiften, normal kapalı konuma geçmiş olup; bunlar tekrar açılabilir).
- ▶ Hücrenin RRP'da uyarılması mümkün ama zordur.





# Hipopolarizasyon

---

- ▶ Repolarizasyon sürecinde, polarize duruma geçene kadar kısa bir ***hipopolarizasyon dönemi*** (membran potansiyelinin tekrar -50, -70 mV olduğu dönemler) ortaya çıkar.
- ▶ Hücreler, *hipopolarizasyon döneminde daha kolay ve daha düşük eşik uyarana ile uyarılabilir.*
- ▶ Hipopolarizasyon dönemine bazı yazarlar, *süper normal faz veya after depolarization* demektedir.

