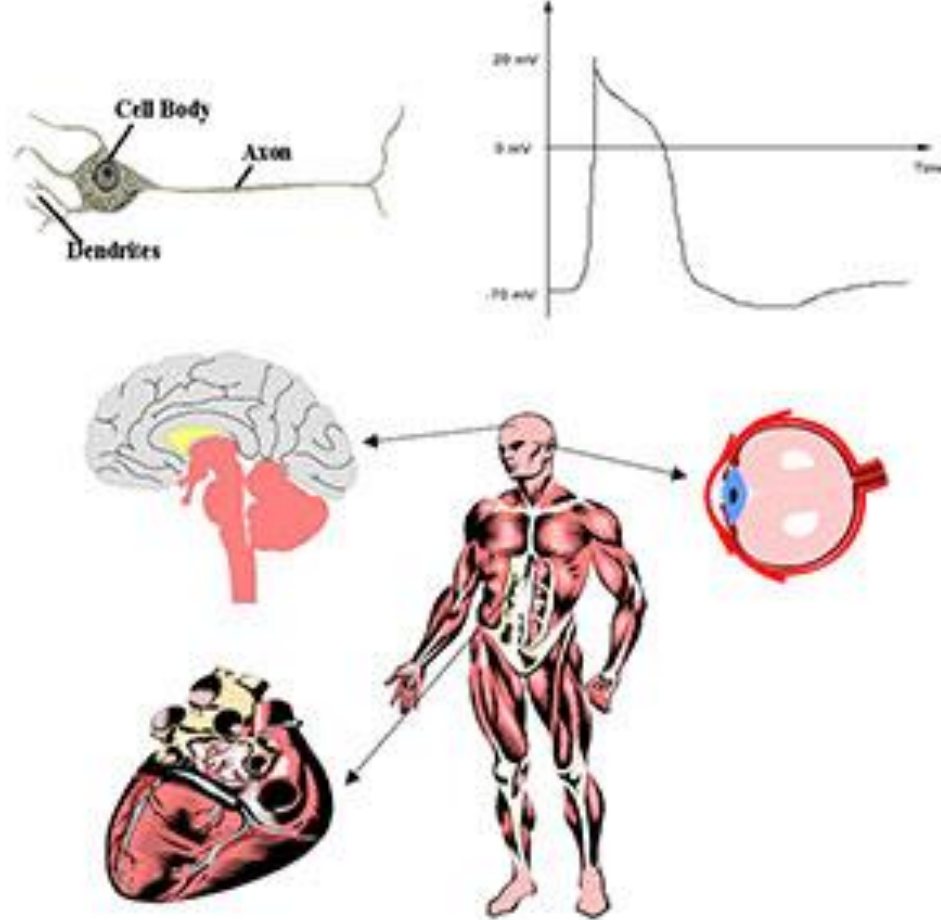
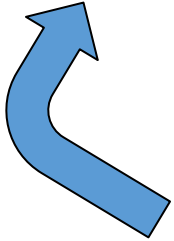


BİYOPOTANSİYELLER



Doç. Dr. Ayşegül Akar
OMÜ Tıp Fakültesi Biyofizik AD

- **EKG**
- **EEG**
- **EMG**
- **TENS**
- **ERG (Elektroretinografi)**
- **Uyarılmış potansiyeller**
- **Olaya ilişkin potansiyeller**
- **ECoG (Elektrokortikografi)**
- **TMS (Transkranyal manyetik stimülasyon)**
- **EKT (Elektrokonvulsiv terapi)**
- **Akım kısılacı**
- **Voltaj kısılacı**



Hücrelerde elektriksel potansiyeller:

- **İstirahat membran potansiyeli**
- **Dereceli potansiyeller**
 - **Reseptör potansiyeli**
 - **Sinaptik potansiyeller (EPSP, IPSP)**
- **Aksiyon potansiyeli**
 - **Kalp ritim bozuklukları**
 - **Uzamış QT sendromu-K,Na**
 - **Konjenital miyotoni-Cl**
 - **Epilepsi**
 - **Bazı yılan, balık ve örümcek zehirleri**
 - **Hiperkalemi**



ELEKTRİĞE GENEL BAKIŞ

Akım (I),

Net bir yük hareketi olunca elektrik akımı oluşur

Akımın birimi amper (A) = bir saniyede 1 C yükün akımı
 $= 1/1.6 \times 10^{-19} = 6.24 \times 10^{18}$ proton

Voltaj (V),

Elektrik yükü dengesizliğinden kaynaklanan potansiyel farkıdır

Direnç (R),

elektronların hareketini engelleyen bir etmendir

Tersi ise iletkenlik olarak adlandırılır

Direnç birimi ohm (Ω),

İletkenlik (g) birimi Siemens (S)

$$g = 1/R$$

$$R = \rho l / A$$

Deniz suyu = 20 $\Omega \cdot \text{cm}$

SF = 60 $\Omega \cdot \text{cm}$

Sitoplazma = 150 $\Omega \cdot \text{cm}$

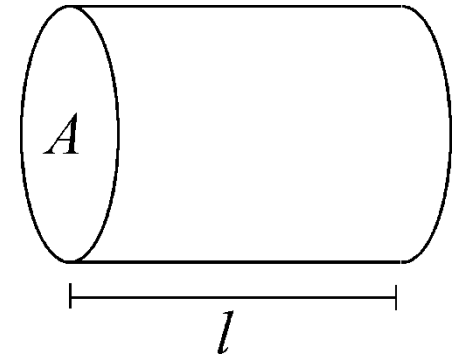
Membran = 10^{15} $\Omega \cdot \text{cm}$

Metaller = 10^{-6} $\Omega \cdot \text{cm}$

ρ = öz direnç
rezistivite, 1cm^3 için
direnç, $\Omega \cdot \text{cm}$

l = uzunluk

A = kesit alanı



Akım-voltaj-direnç ilişkisi

Ohm kanunu

1 Ohm dirençten geçen 1 Amper akım 1 Volt potansiyel farkı oluşturur

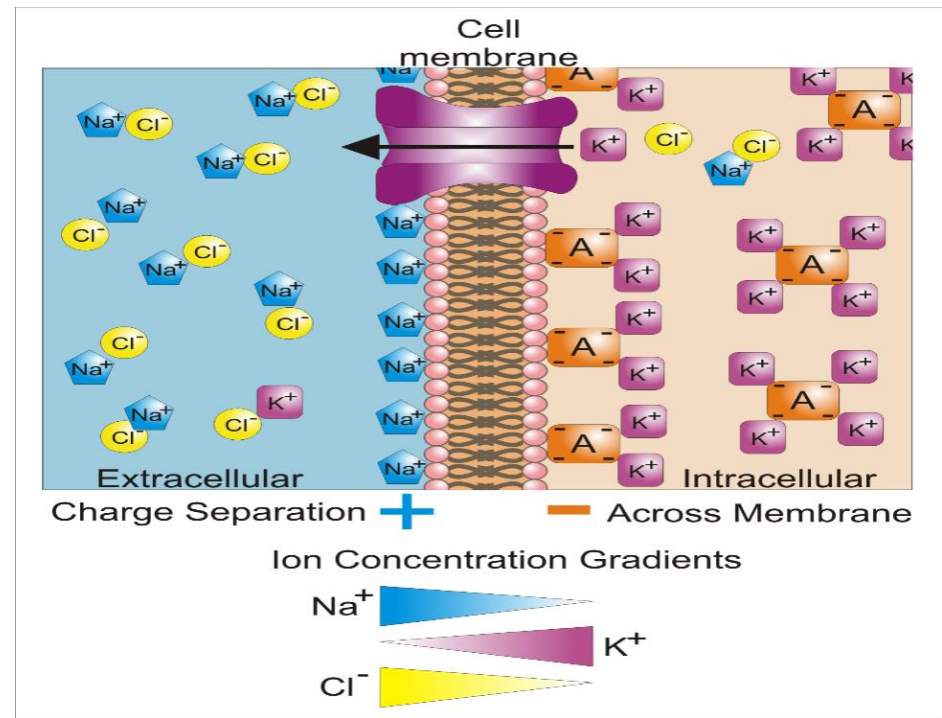
$$V = IR$$

$$I = V/R$$

$$I = gV$$

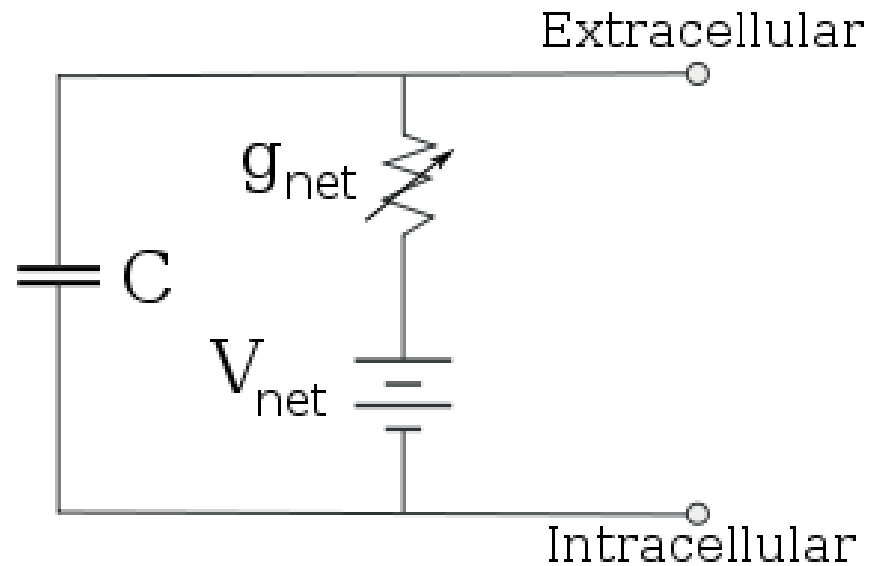
İyonik Akım (I),

$$I = \frac{V}{R} = \frac{-90mV}{10M\Omega} = -9nA$$



Kapasitif Akım (I),

$$i = C \frac{dV}{dt}$$



Kapasitör

-İletken olmayan bir materyelle ayrılmış iki iletken yüzeyden oluşan elektrik devresi elemanıdır

-Bir voltaj kaynağı kapasitöre bağlanırsa, kapasitörün bir tarafında +, diğer tarafında – yükler toplanır

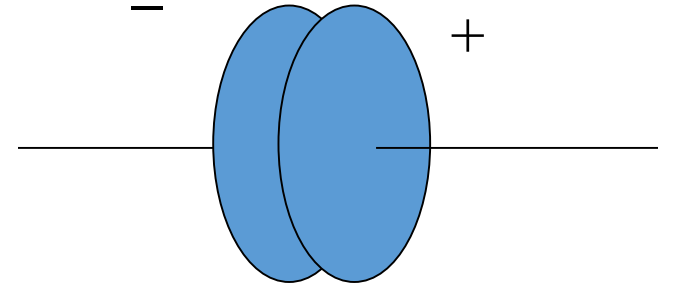
-Kapasitans

-yüzey alanı (A)

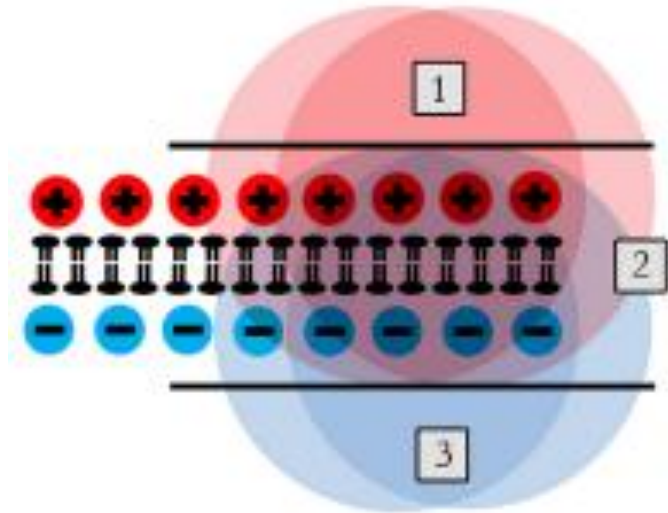
-Dielektrik sabiti (ϵ)

-Plakalar arası mesafe (d)

ile orantılıdır



$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 A}{d}$$



- Kapasitans (C), kapasitörün iki uç arasında ΔV voltajında depolayabildiği yük (Q) miktarıdır

-Membran kapasitansı hücre büyüklüğü ile artar

-Hücre membranları kapasitansı $1\mu\text{F}/\text{cm}^2$

- 25 μm çaplı nöron, $\sim 80 \text{ pF}$

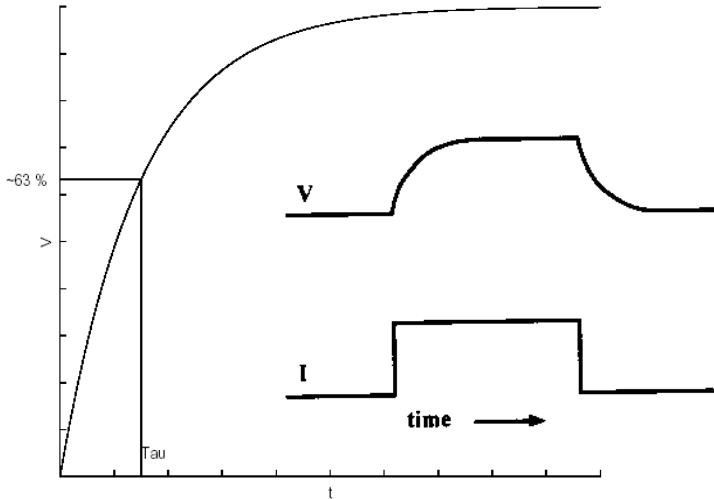


Figure 6: Voltage over time across a series RC circuit.

$$i = C \frac{dV}{dt}$$

$$C = q/V$$

C: kapasitans (Farad)

q : yük (Coloumb)

I ; akım (Amper)

V ; Potansiyel (Volt)

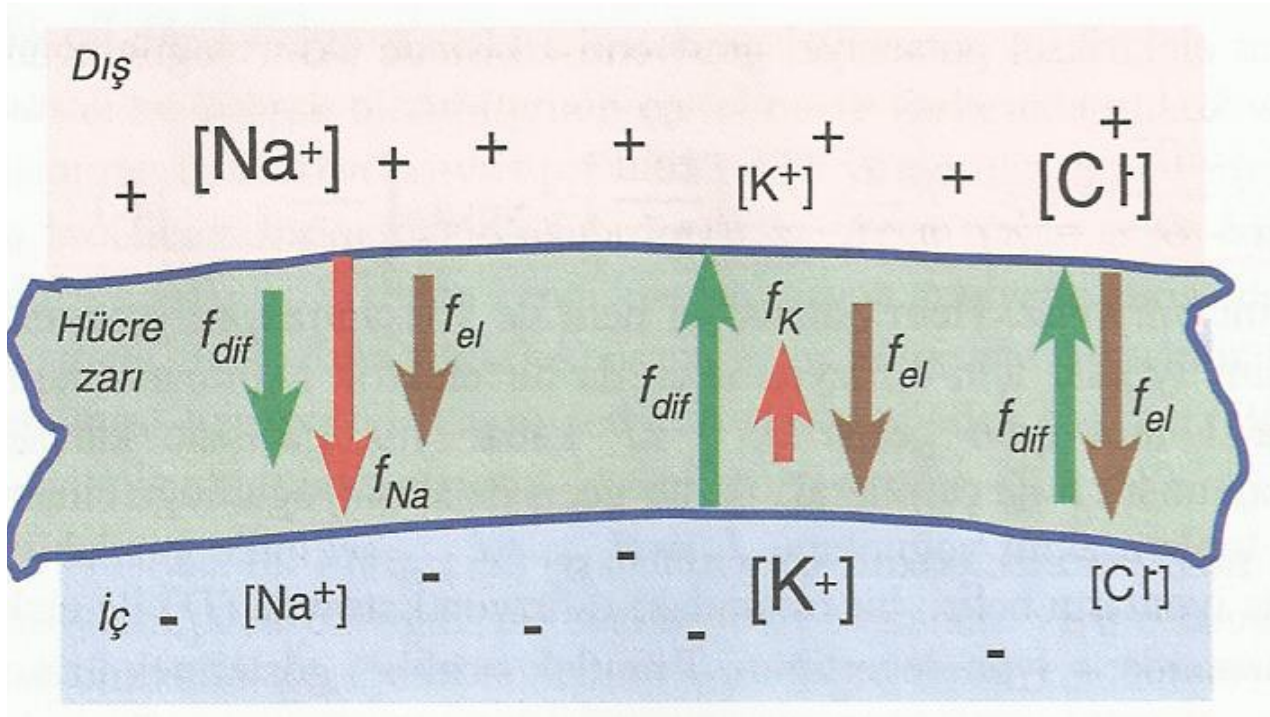
-Kapasitör bulunan bir elektrik devresine akım uygulandığında, voltaj gecikmeli olarak değişir

-Nedeni, akımın önce kapasitörün yüklerini değiştirmesi

$$\tau = \text{zaman sabiti} = RC$$

-Devreye uygulanan akımın sebep olduğu voltajın nihai değerinin %63'üne ($1-1/e$) ulaşana kadar geçen zaman-10 μs -1 sn

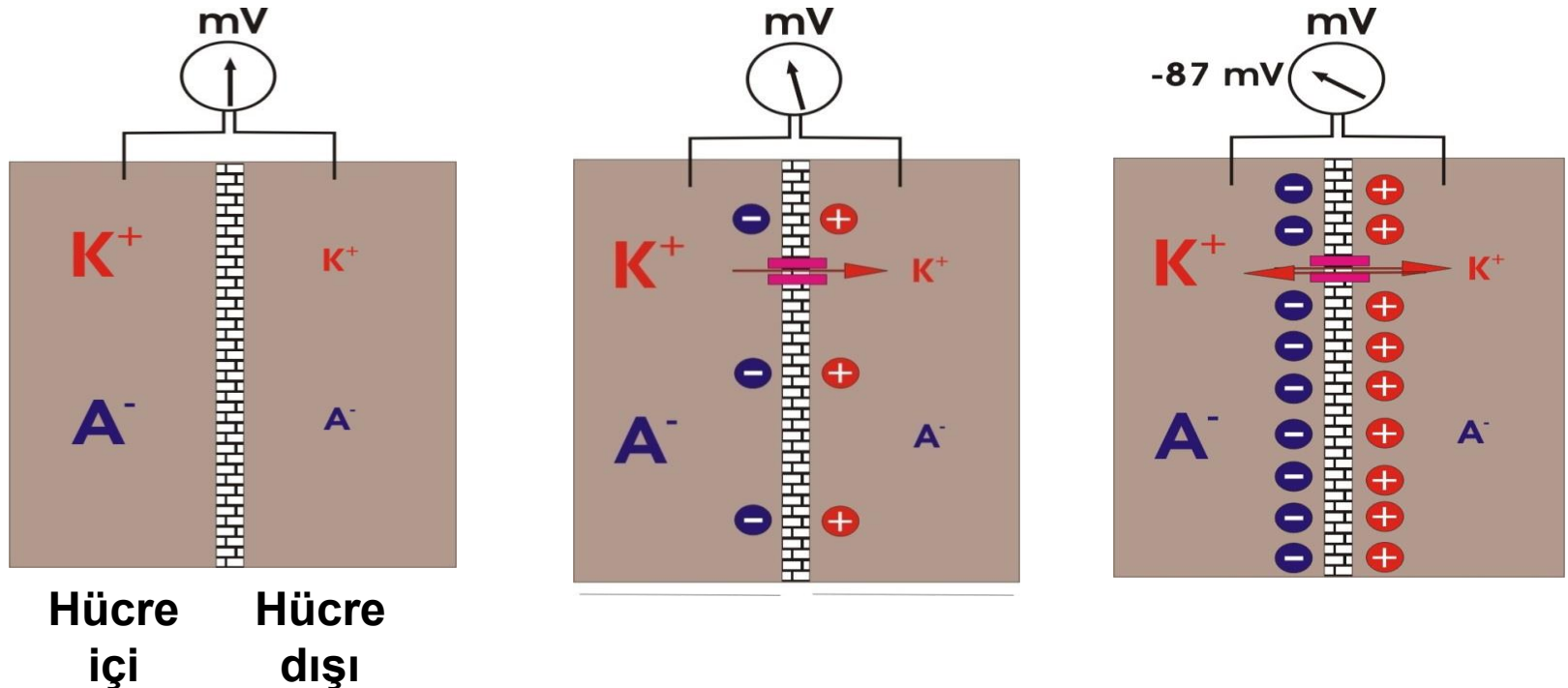
PASİF NÖRAL MEMBRAN YAPISI



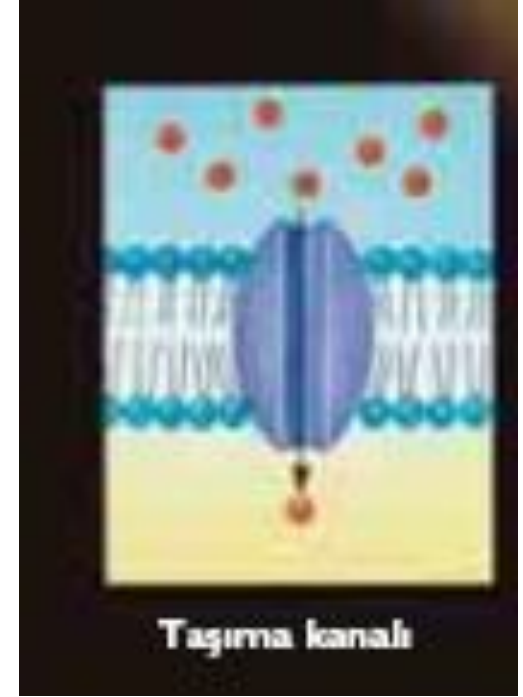
Denge potansiyelinde, elektrik gradyanı konsantrasyon gradyanını dengeler

Elektriksel Potansiyeller

- Yüklü obje (iyon), farklı gravitasyonel potansiyel noktaları arasında yukarı ve aşağı hareket eden kütleli bir obje gibi elektriksel potansiyeli farklı olan yerler arasında hareket ettiğinden enerji kazanır veya kaybeder.
- Elektriksel potansiyel farkı V veya ΔV olarak gösterilir ve birimi Volt olarak ölçülür.

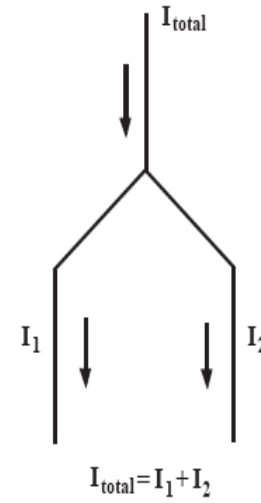


- Lipit cellüler mebran boyunca potansiyel farkı (trans membran potansiyeli) hücre zarı boyunca iyonları hareket ettirmek için kimyasal enerji kullanan pompa proteinler tarafından meydana getirilir.
- Lipit membran iyi bir yalıtkan olduğundan, iyonları iletebilen açık porların veya kanalların varlığı ile transmembran potansiyeli sürdürülmektedir.

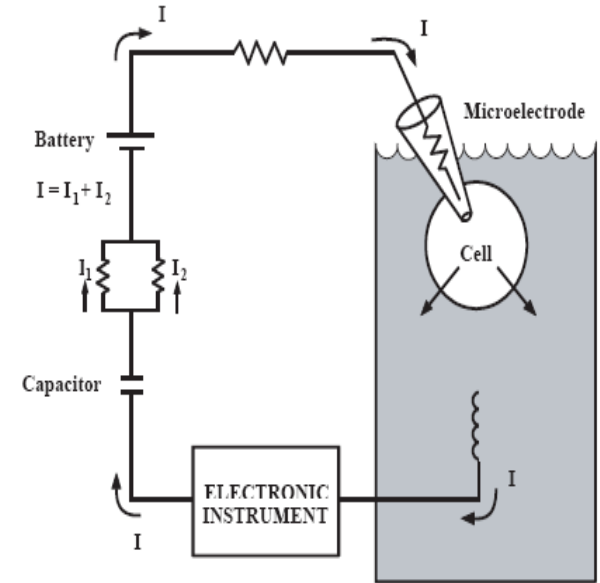


- **Elektrofizyolojiksel olayı anlamaya yardım eden akım hakkında iki yararlı kural:**

- 1) **Akım dallanma noktası(düğüm noktası) nda korunur. (Şekil a)**
- 2) **Akım daima tam bir devre içinde akar (Şekil b)**



Şekil a: Akımın korunumu



Şekil b: Elektriksel devre

Elektrofizyolojik ölçümlerde, akımlar kapasitörler (kondansatörler), dirençler, iyon kanalları, amplifikatörler (yükselteç), elektrotlar ve diğer birimler yolu ile aktarılabilir, fakat tam bir devre içinde akarlar.

DİRENÇLER VE İLETKENLİKLER

- Paralel iletkenliklerin en önemli uygulaması iyon kanallarıdır.
- Membrandaki bazı iyon kanalları eş zamanlı olarak açık olduğunda toplam iletkenlik, açık kanalların iletkenliklerinin ayrı ayrı toplamından elde edilir.

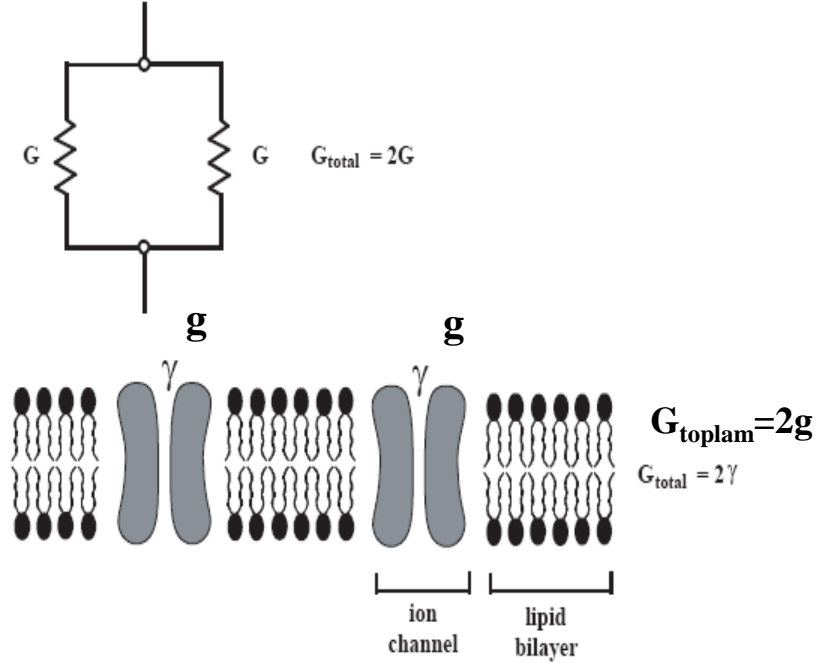


Figure 1.3: Summation of conductance.

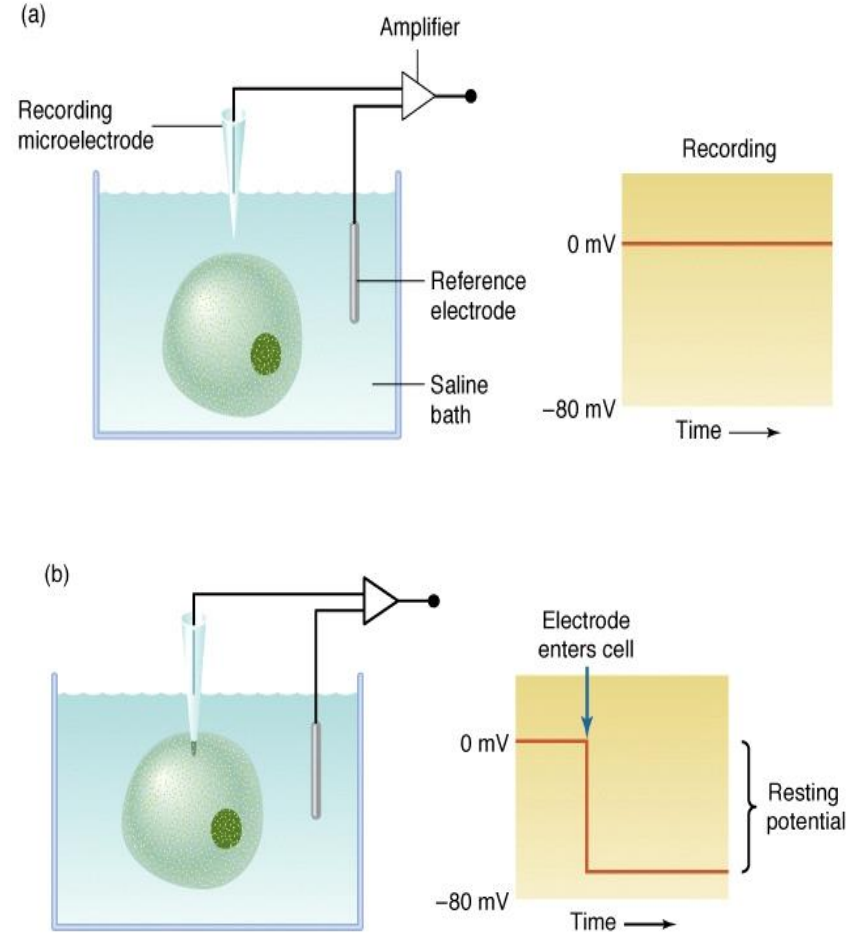
Conductances in parallel summate together, whether they are resistors or channels.

$$R=1/G$$

Direnç(Ohm, Ω) İletkenlik(Siemens, S)

İstirahat membran potansiyeli (İMP) -dinlenim zar potansiyeli

- Bir hücrenin impuls üretmediği durumda hücre membranı içi ve dışı arasındaki elektriksel potansiyel farkı
- İMP, iyonların hücre içi ve dışında **eşit olmayan dağılımlarından** kaynaklanır
- Sinir hücrelerinde hücre içinde, dışarıya göre daha fazla negatif yük vardır
- Na^+ ve Cl^- hücre dışında fazla, K^+ ve bazı anyonlar hücre içinde fazla
- Çoğu nöronlarda İMP -65 mV kadardır



Nerst denklemi

Bir iyonun hücre içi ve dışı konsantrasyonları ve yükü biliniyorsa, hücre membranının o iyon için denge potansiyeli hesaplanabilir

$$W_R = zEF \quad \begin{array}{l} \text{Elektriksel} \\ \text{güç} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Kimyasal} \\ \text{güç} \end{array} \quad W_D = RT \cdot \ln \frac{[K^+]_o}{[K^+]_i}$$

$$zEF = RT \cdot \ln \frac{[K^+]_o}{[K^+]_i}$$

$$E_K = \frac{RT}{zF} \cdot \ln \frac{[K^+]_o}{[K^+]_i}$$

$$T=273.16^\circ\text{C}$$

$$R=8.31451 \text{ joules/mol } K^\circ$$

$$F=96485.3 \text{ C/mol}$$

$$Z=\text{yük değeri}$$

$$E_K = -87 \text{ mV}$$
$$E_{Na} = +62 \text{ mV}$$
$$E_{Cl} = -68 \text{ mV}$$

Gerçekte nöronlar Na iyonlarına az, K⁺ ve Cl⁻ iyonlarına daha fazla geçirgendir

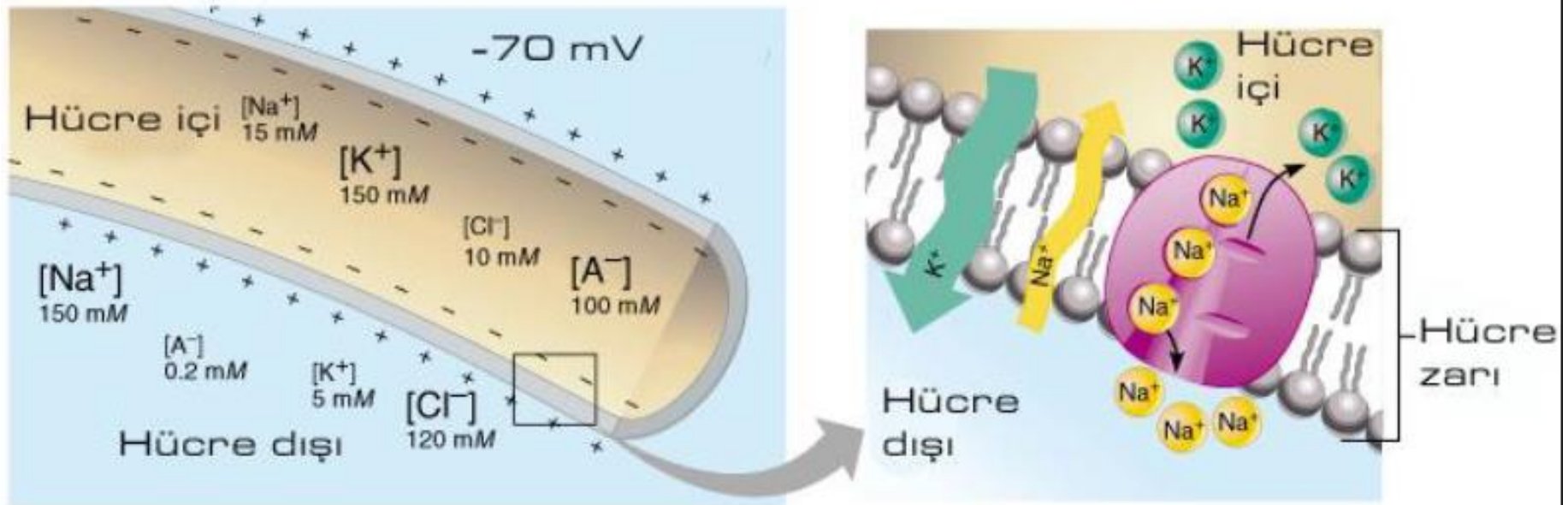
Nöronlarda, P_{Na}=1, P_K=100, P_{Cl}=5

Goldman-Hodgkin-Katz Denklemi

$$V_m = 61.54 \log \frac{P_K [K^+]_o + P_{Na} [Na^+]_o + P_{Cl} [Cl^-]_i}{P_K [K^+]_i + P_{Na} [Na^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_o} \rightarrow V_m = -65 \text{ mV}$$

Kas hücrelerinde, büyük nöronlarda daha negatif -80 – -90 mV

- Membran istirahat potansiyeli, kalın iskelet kası ve sinir lifinde -90 milivolt, daha ince iskelet kası ve sinir lifinde ise -40 ile -60 mV arasındadır



Zar Potansiyeli

- Zar potansiyel deęiřimi
 - Zarın iyonlara geęirgenlięinin deęiřmesi
 - Zardan geçen iyon miktarının değişmesi
- **Sinyal tipleri:**
 - Dereceli potansiyeller
 - Aksiyon potansiyeli

Dereceli Potansiyeller

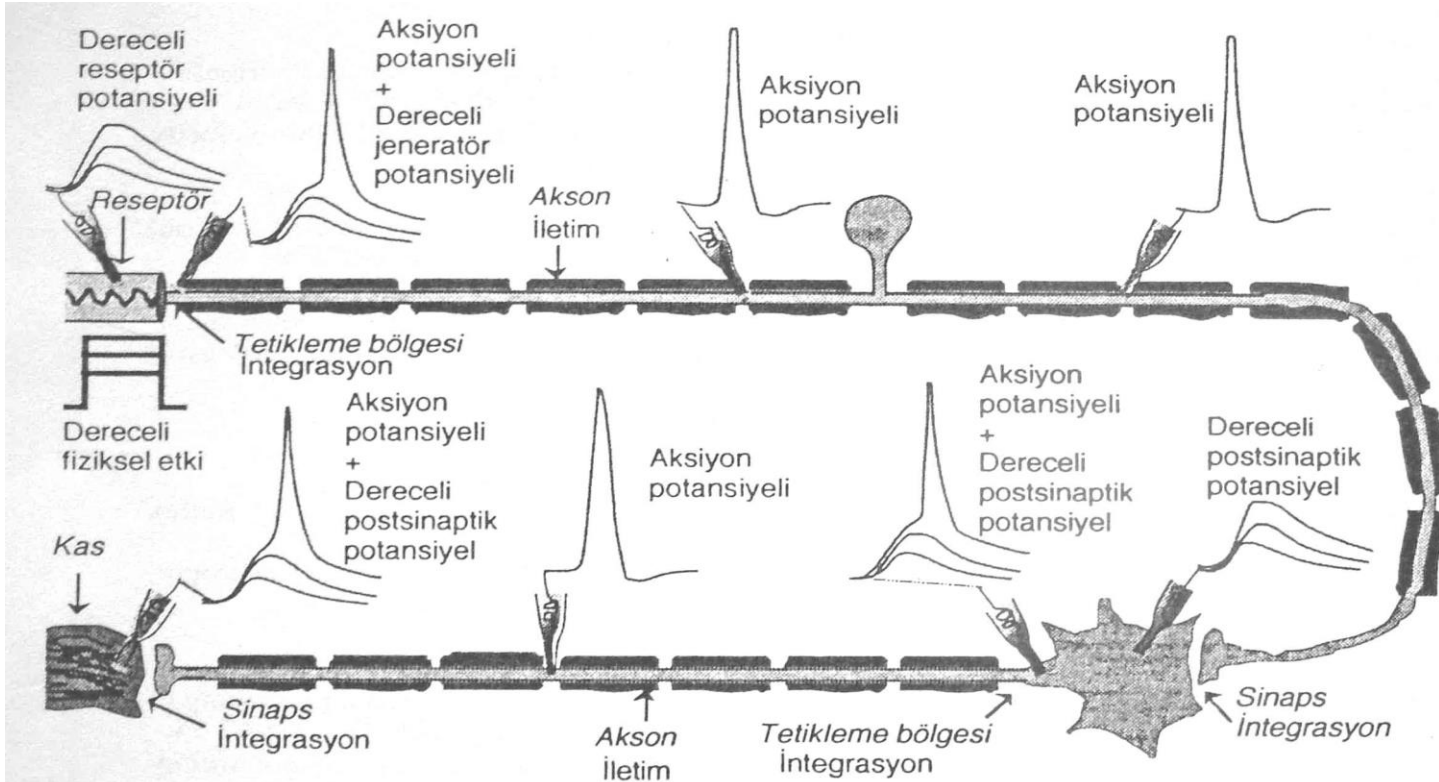
- DERECELİ POTANSİYELLER
- Yerel, kısa süreli deęiřimi
- Mesafeyle etkisi azdır
 - *Potansiyelin yüksekliği, neden olan uyarının şiddeti ile ilişkilidir*
 - *Yeterli řiddete ulařabilen dereceli potansiyeller aksiyon potansiyelini bařlatabilir*

Dereceli potansiyeller

•Reseptör potansiyeli

•Sinaptik potansiyeller (EPSP, IPSP)

Aksiyon potansiyeli

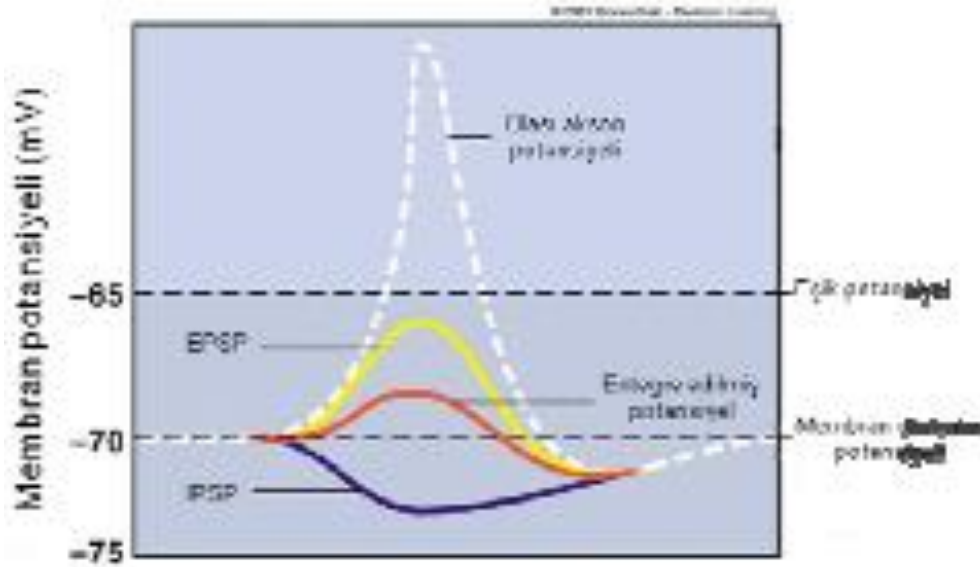


Şek. 7-1. Uyarılabilir hücreler arasında bilgi aktarımı sırasında gözlenen özel adlı potansiyel değişimleri ve hücreler boyunca bilgi iletimine aracılık eden aksiyon potansiyelleri.

Dereceli potansiyeller

Sinaptik potansiyeller (Eksitator Post Sinaptik Potansiyel EPSP, İnhibitör Post Sinaptik Potansiyel-IPSP)

Aksiyon potansiyeli

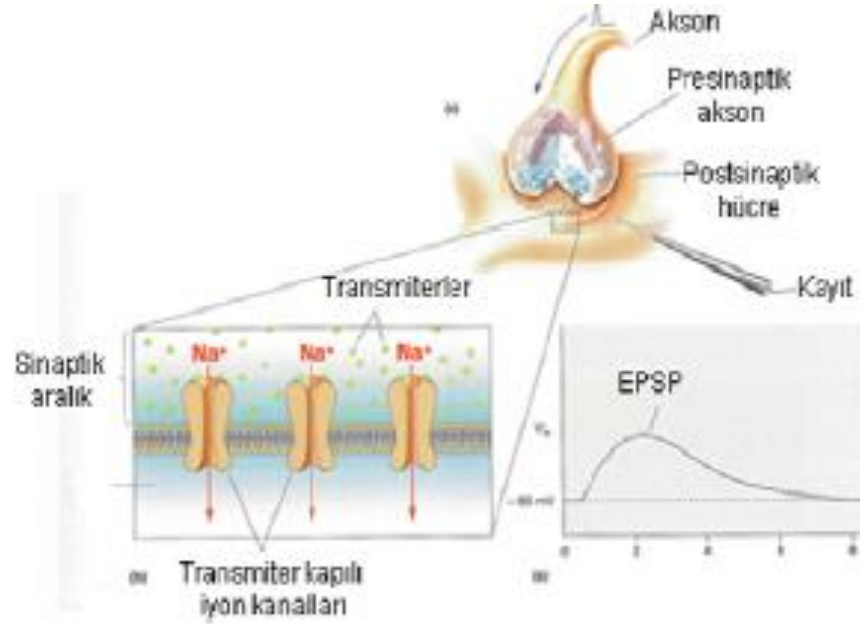
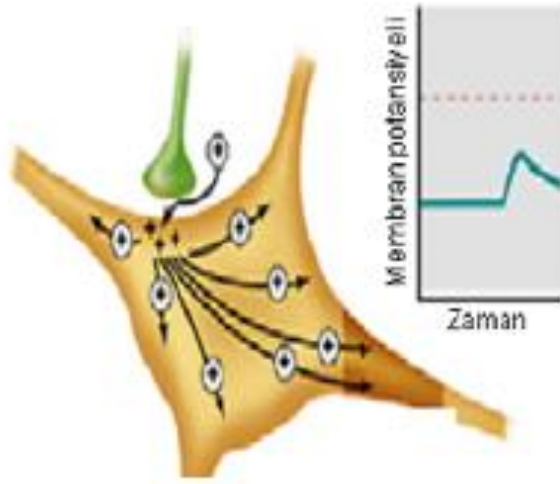


Postsinaptik hücrede oluşan postsinaptik potansiyellerin integrasyonu

Dereceli potansiyeller

Sinaptik potansiyeller (Eksitator Post Sinaptik Potansiyel EPSP)

Aksiyon potansiyeli

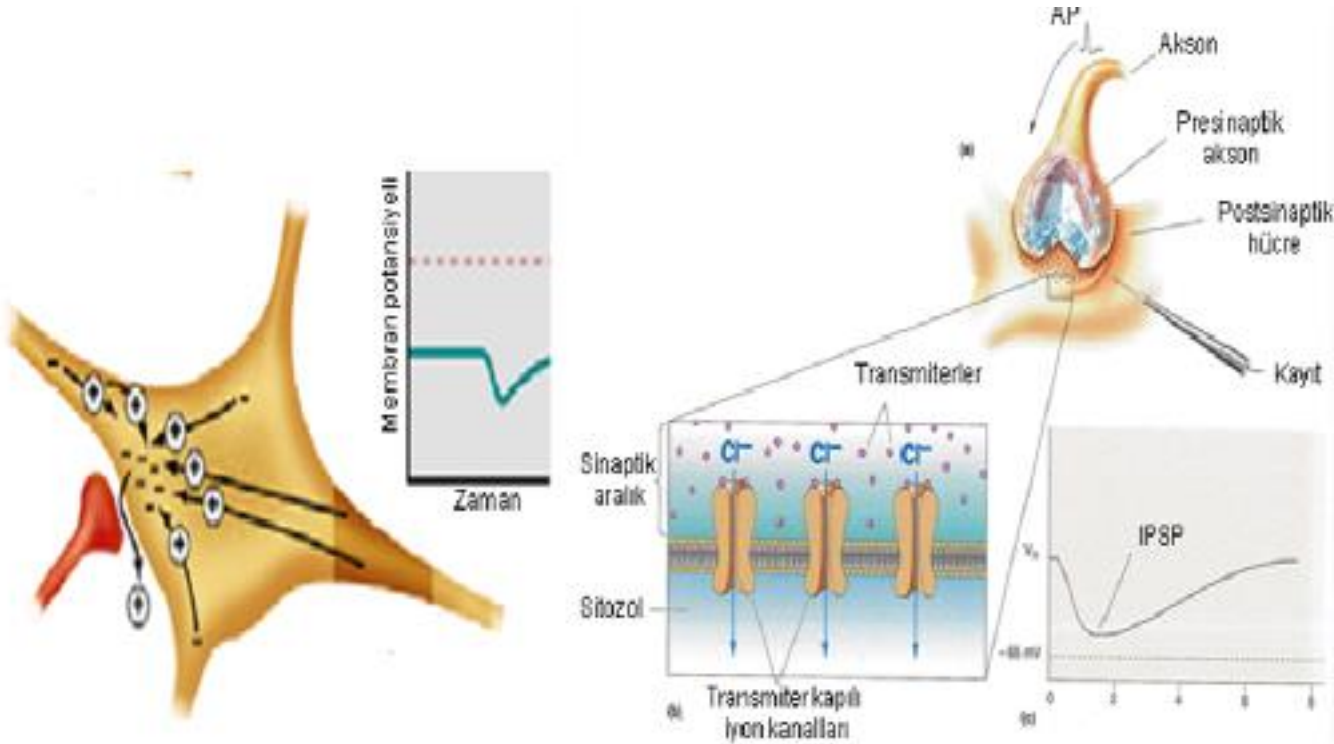


Presinaptik bir uyarı ile Eksitator PostSinaptik Potansiyelin oluşması

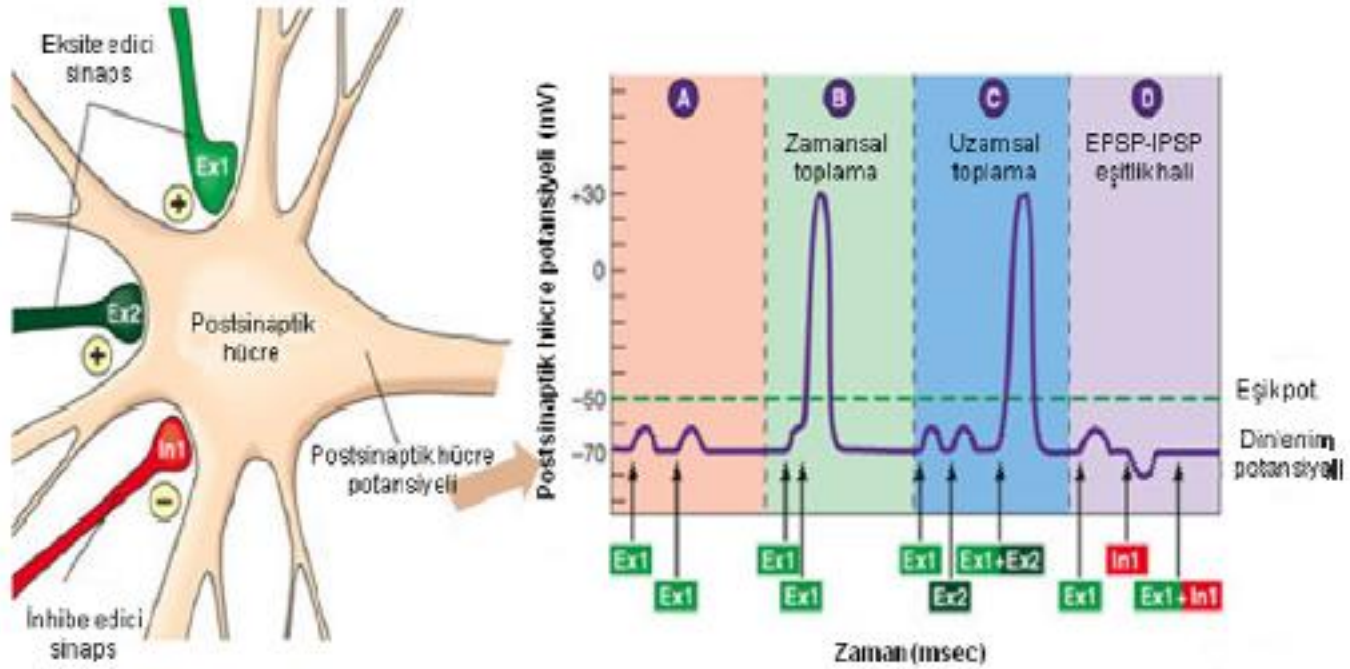
Dereceli potansiyeller

Sinaptik potansiyeller (Inhibitör Post Sinaptik Potansiyel-IPSP)

Aksiyon potansiyeli



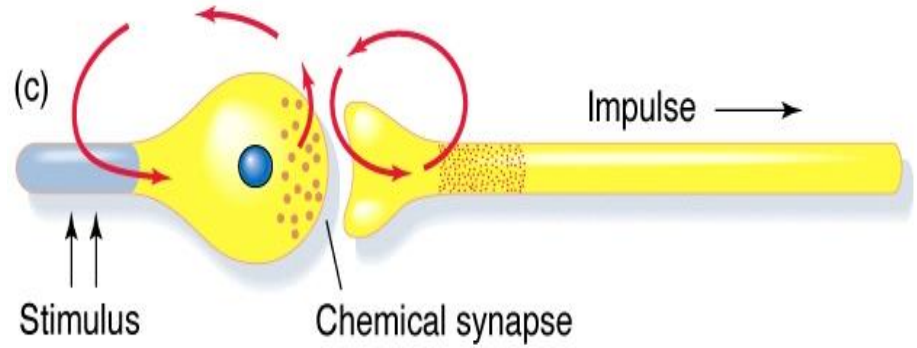
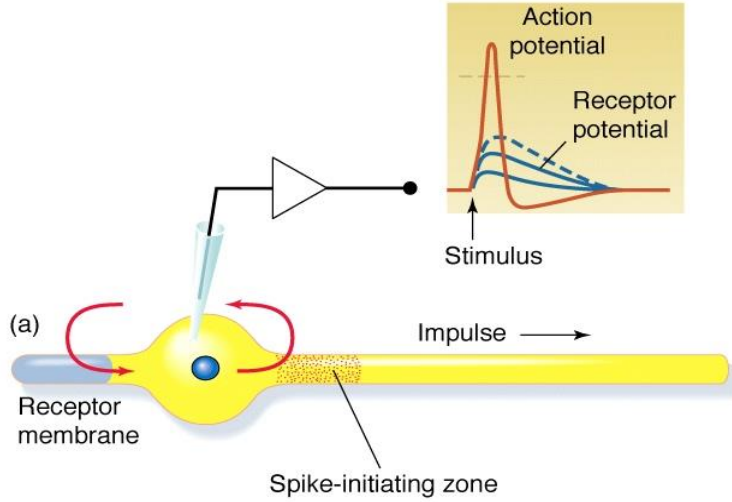
Inhibitör PostSinaptik Potansiyelin oluşumu



Ardışık yada eşzamanlı oluşturulan presinaptik uyarıların oluşturdukları postsinaptik potansiyellerin görünümü.

Dereceli potansiyeller

• Reseptör potansiyeli



- Reseptör hücrenin kendi aksonu vardır ve AP oluşturabilir
 - Reseptör hücre aksonunda AP oluşur
- Reseptör hücre kendi aksonu ile AP'yi MSS'ne iletir

Örn. Koku reseptörü

- Reseptör hücrenin aksonu yoktur ve AP oluşturmaz
- Bir duysal nöronla sinaps yapar
 - Reseptör potansiyelini kimyasal olarak aktarır
- Postsinaptik duysal nöronda AP oluşur
 - AP MSS'ne iletir

Örn. Tat reseptörü

Hücrelerde elektriksel potansiyeller:

- İstirahat membran potansiyeli
- Dereceli potansiyeller
 - Reseptör potansiyeli
 - Sinaptik potansiyeller (EPSP, IPSP)
- Aksiyon potansiyeli

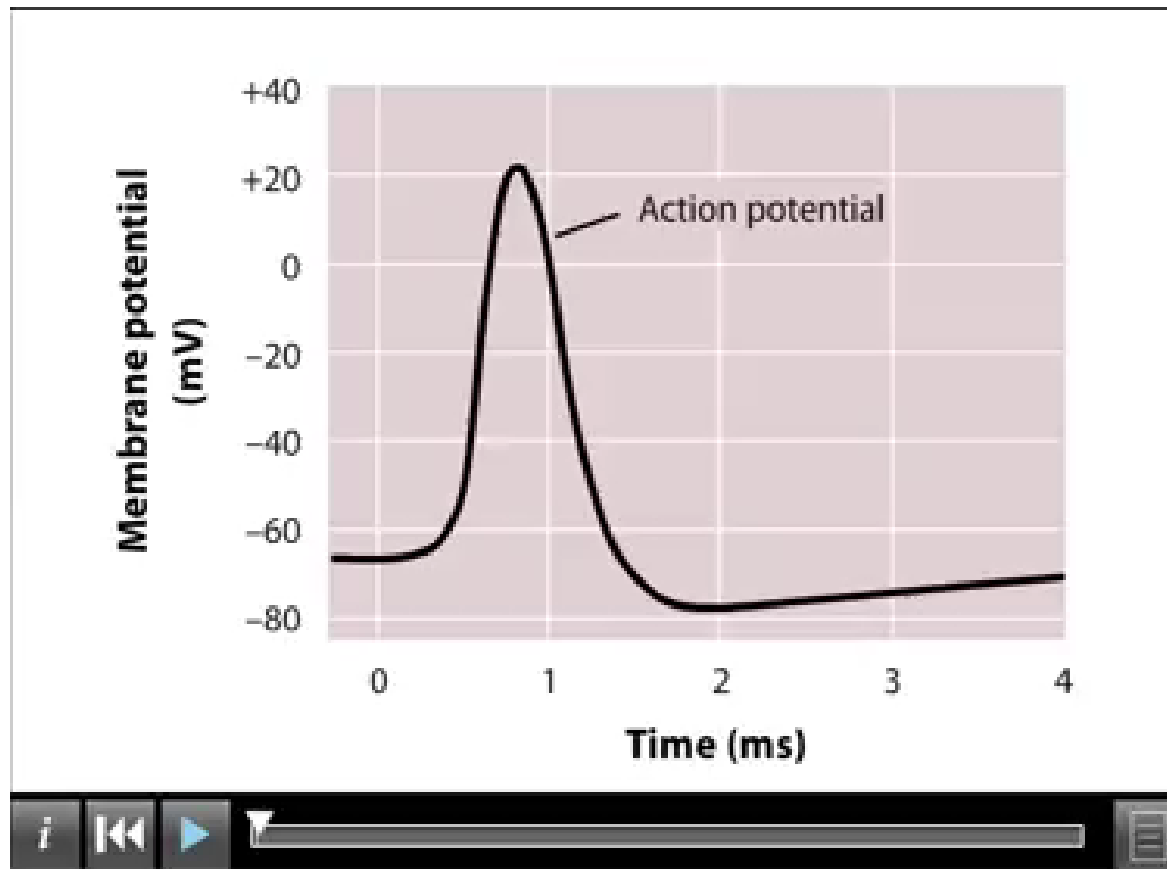


Membran potansiyelinde hızlı ve geçici değişiklikler

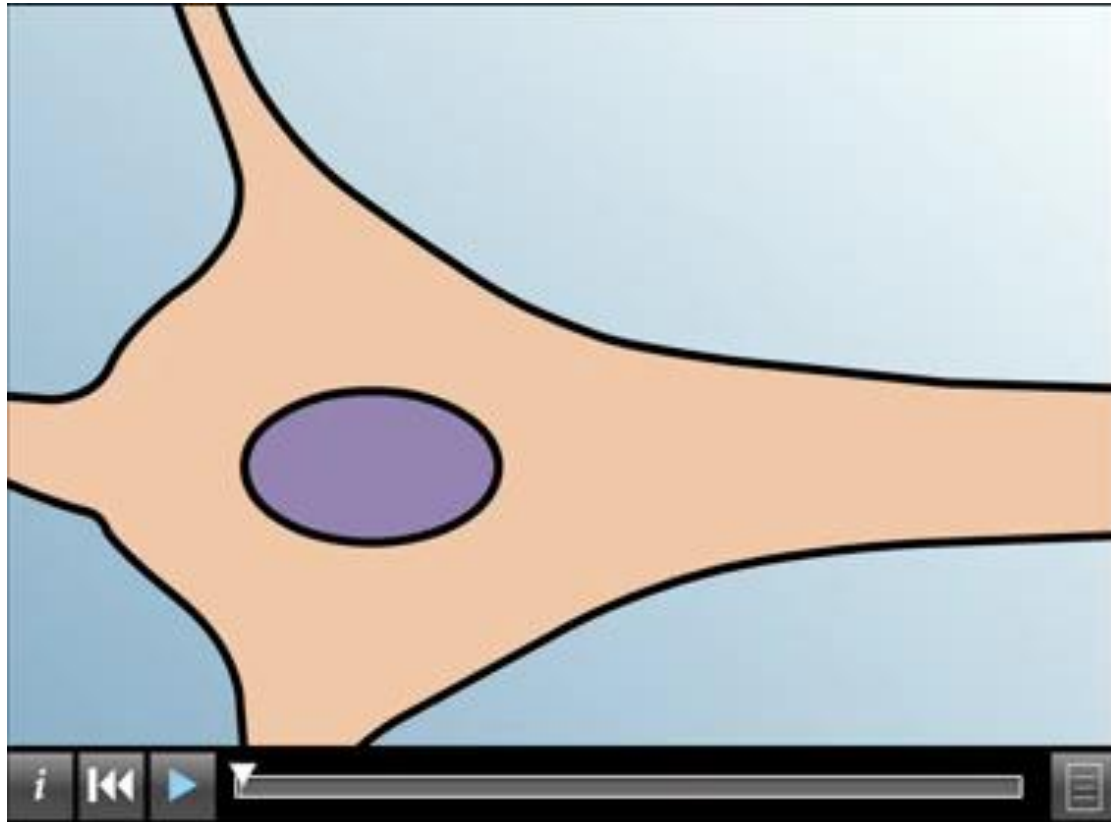
Uyarılabilir hücreler

Kimyasal, mekanik, ışık, elektriksel uyarılar

- Nöron
- Kas hücresi
- Salgı hücresi
- Reseptör hücre



The action potential arises from the coordinated activation of two conductances—a sodium conductance that activates rapidly and drives the rising phase of the action potential, and a potassium conductance that activates more slowly and contributes to the falling phase of the action potential and the undershoot. How can we learn more about the behavior of these conductances?



The patch clamp method is used to study the properties of a small patch of membrane. In this technique, a glass pipette with a very small opening is used to make tight contact with a tiny area, or patch, of neuronal membrane. After the application of a small amount of suction to the back of the pipette, the seal between pipette and membrane becomes so tight that no ions can flow between the pipette and the membrane.