

Aksiyon potansiyelinin yayılmasına etkili faktörler ve saltatorik iletimin tartışılması

Doç.Dr. Erkan Tuncay

KABLO TEORİSİ: ELEKTOTONİK İLETİM

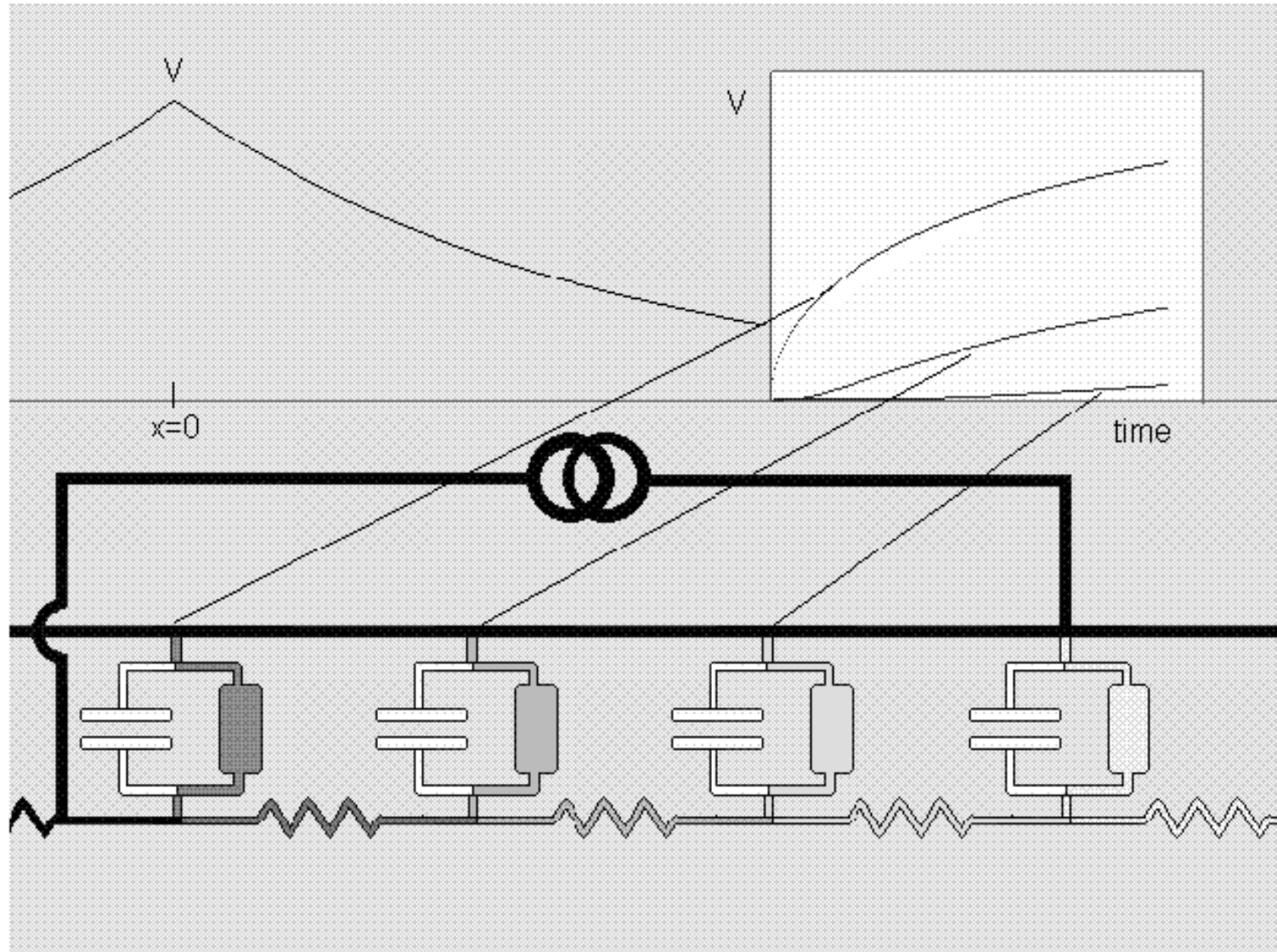
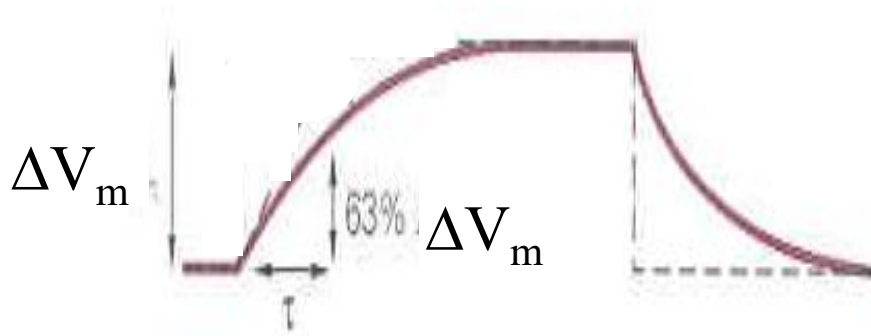


Figure 33. The passive voltage spread in an axon where a current has been injected at $x=0$. Inset shows V vs time in three spots.

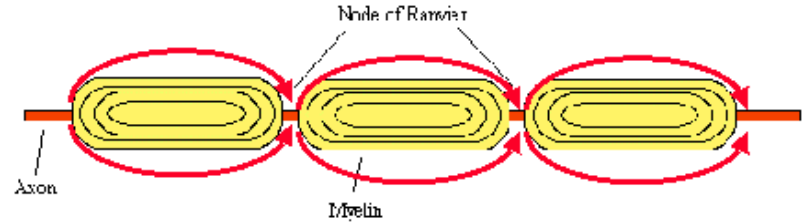
Zaman sabiti

$$\tau = R_m C_m \quad 1-20 \text{ ms}$$



Zaman sabiti akson boyutlarına bağlı değil

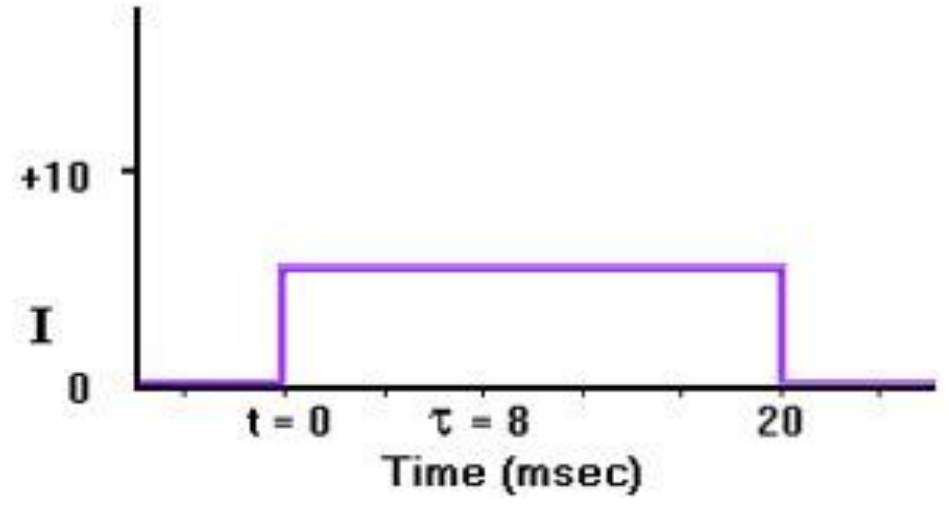
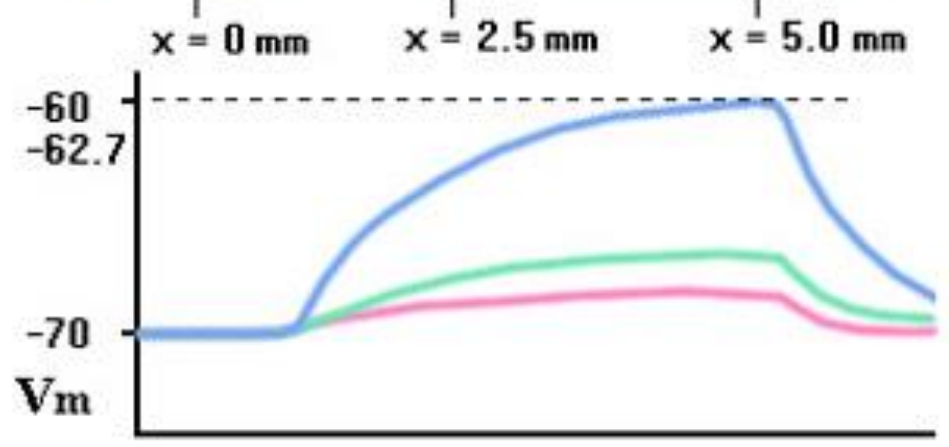
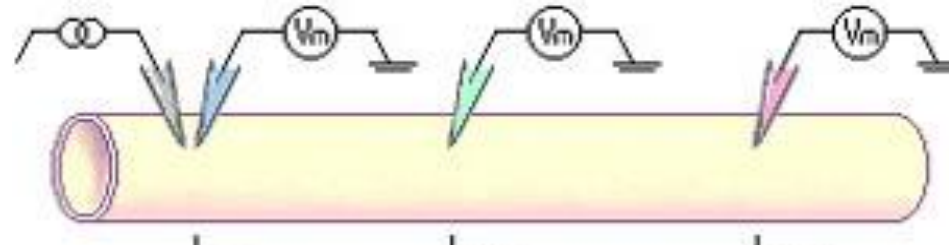
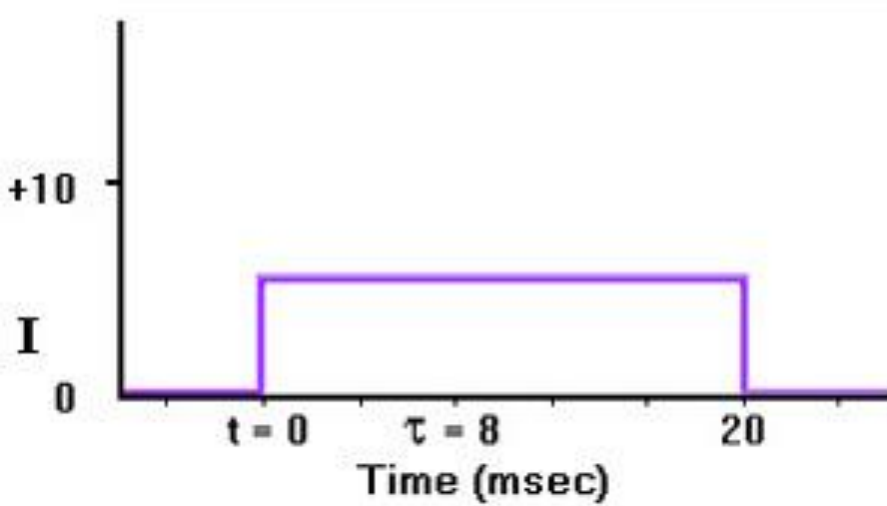
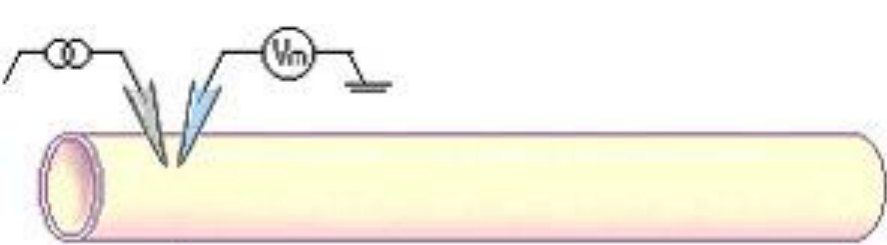
$$C = k\epsilon_0 A/d$$

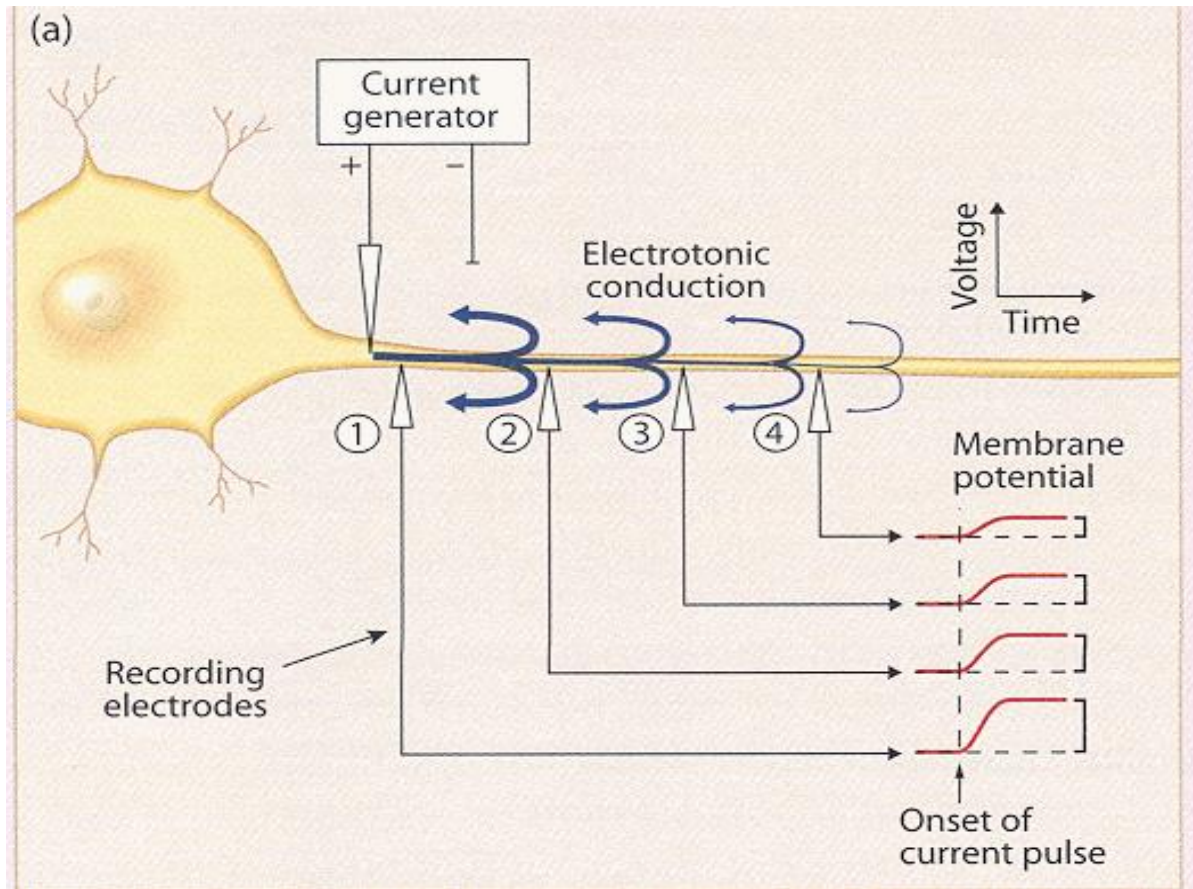


Zaman sabiti küçük olan zarlar kolay ve çabuk depolarize olurlar ve bu nedenle hızlı iletirler

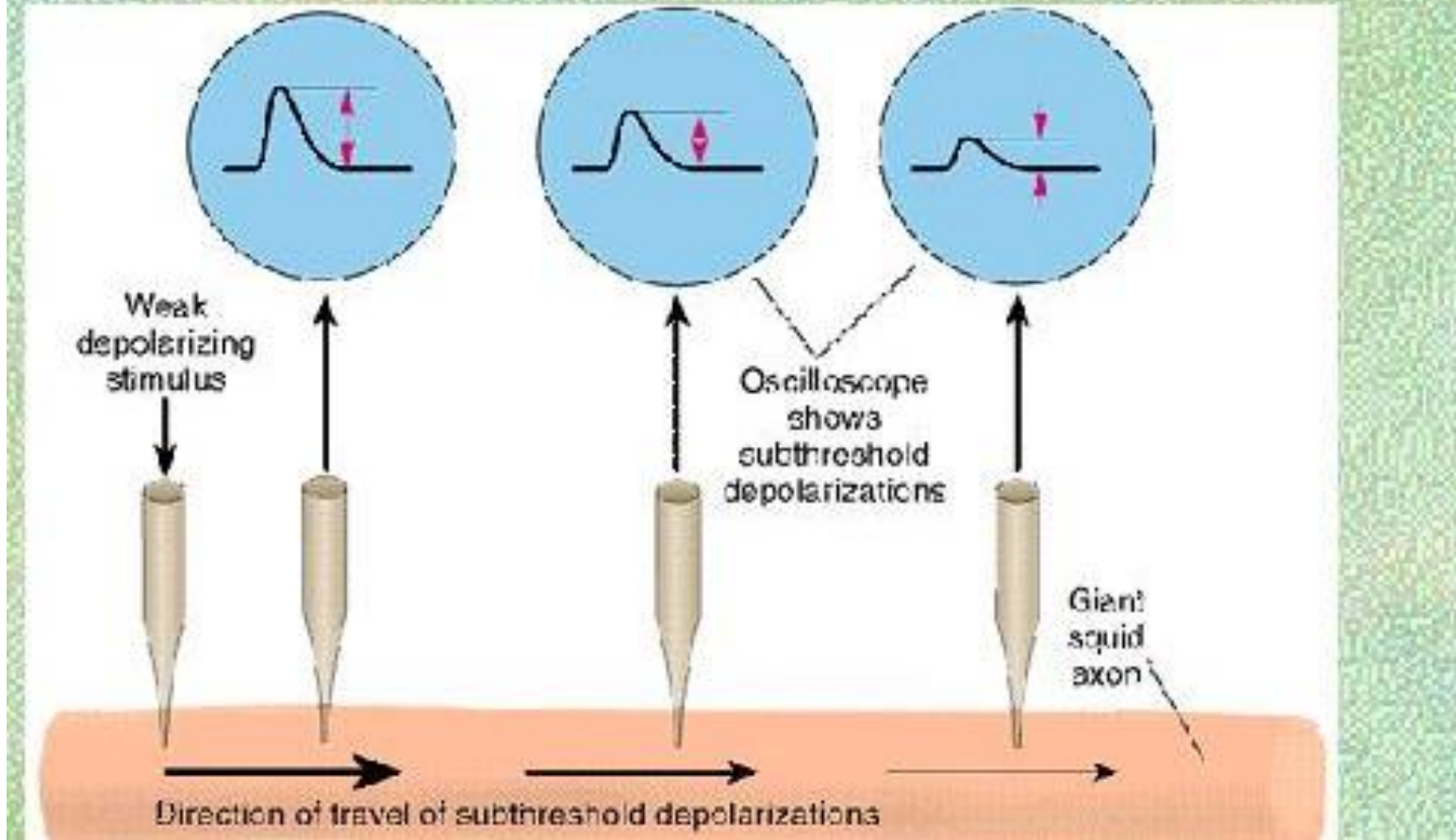
$k = 2-3$:membranın dielektrik sabiti

$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$:boşluğun geçirgenliği

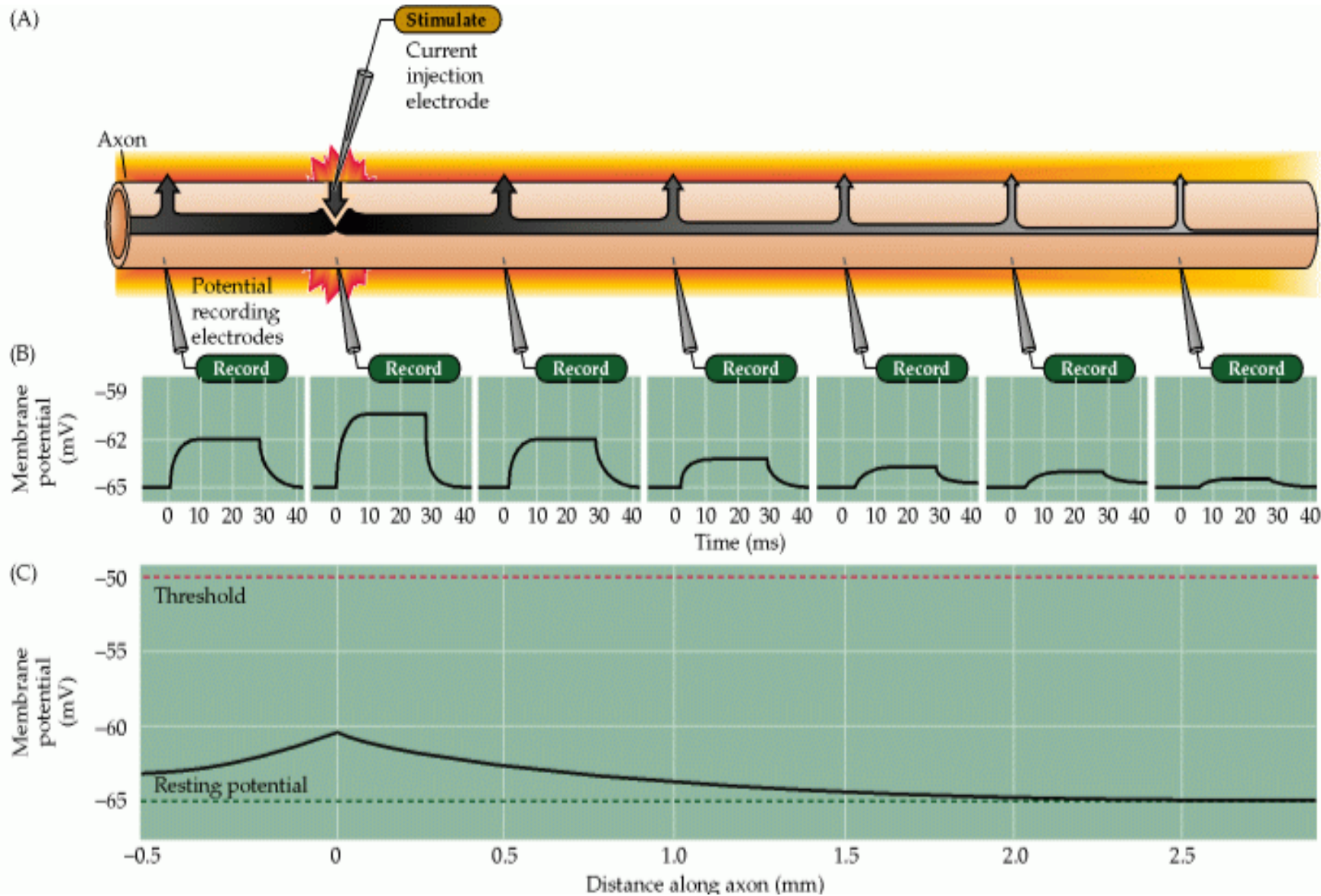




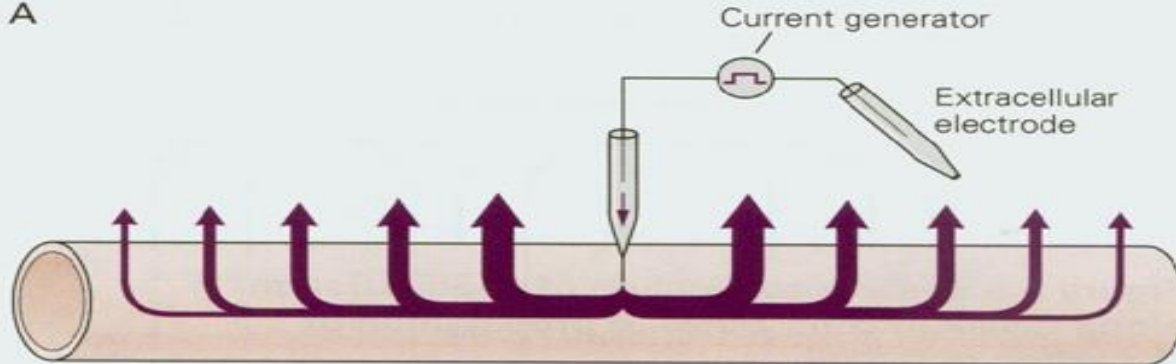
Decremental conduction



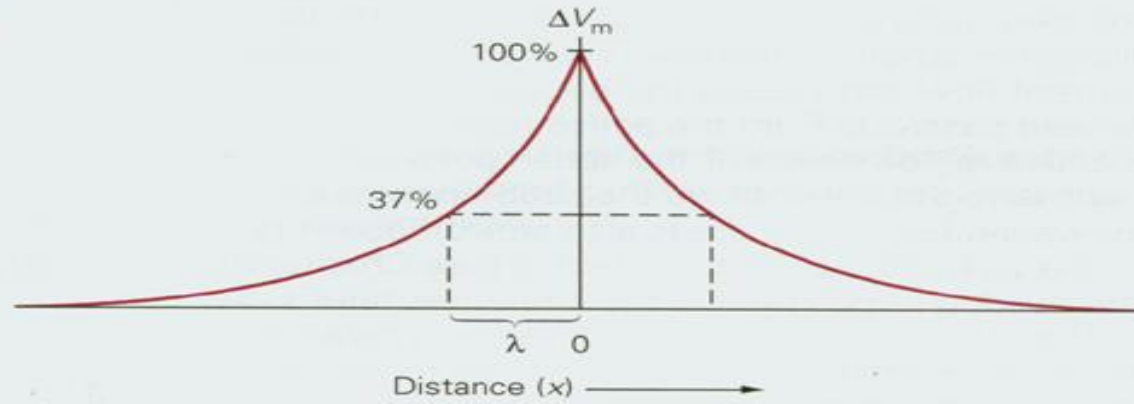
Yerel potansiyeli genliği uzaklığa bağlı olarak azalır.

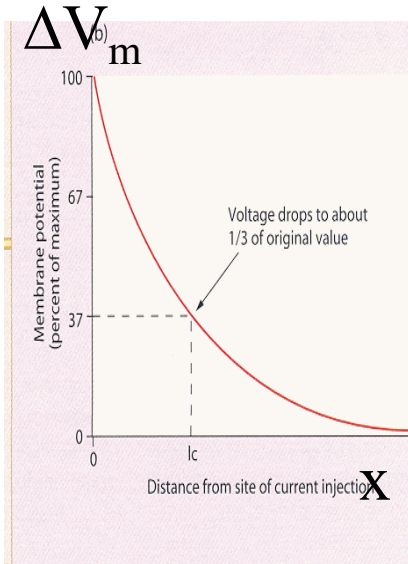


A



B

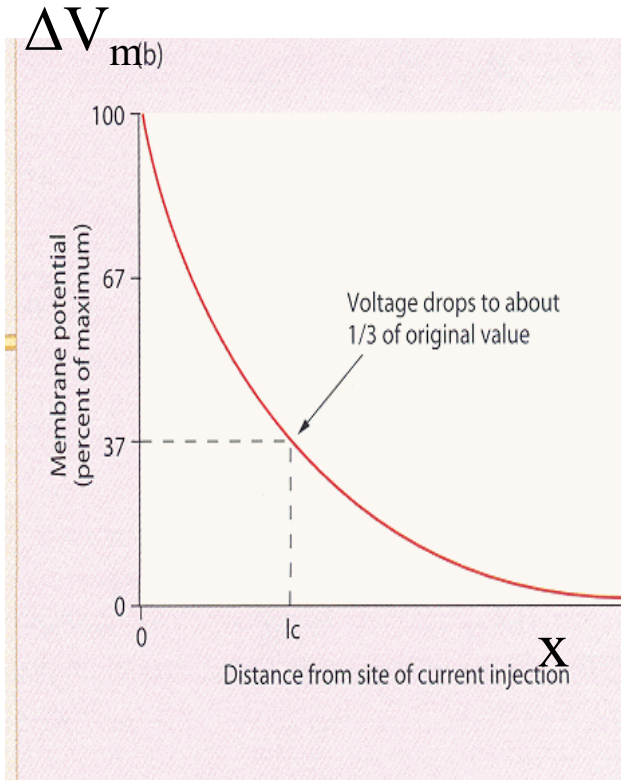




$$\Delta V_m = \Delta V_o e^{-x/\lambda}$$

Uzunluk(kablo) sabiti : λ

Uzunluk(kablo) sabiti : λ



ΔV_0 in $1/e$ 'sine
Düşmesi için
gerekli uzunluk

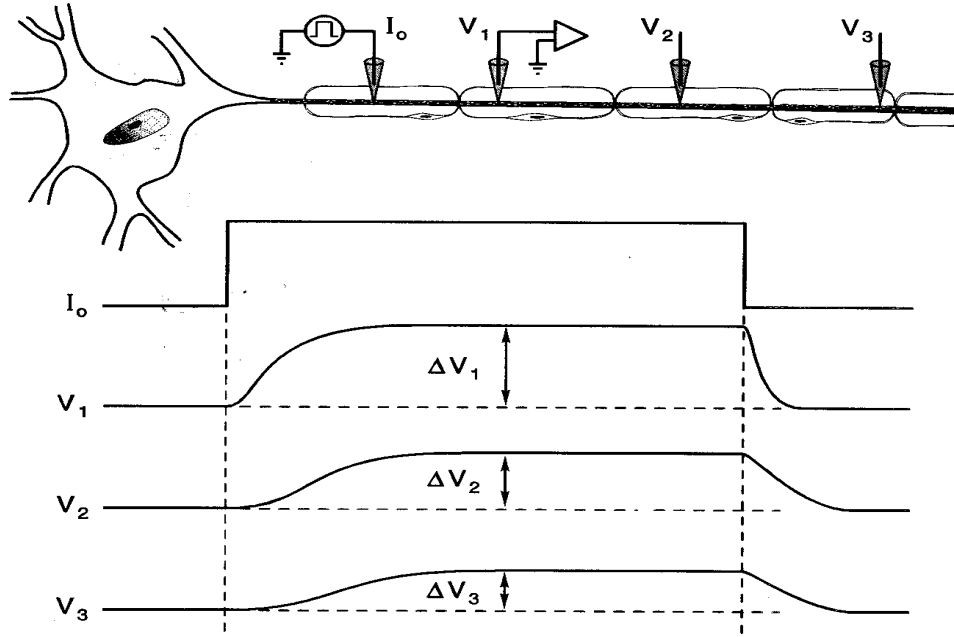
$$\lambda = \sqrt{r_m / r_a}$$

r_m \rightarrow

1 cm uzunluğun
direnci

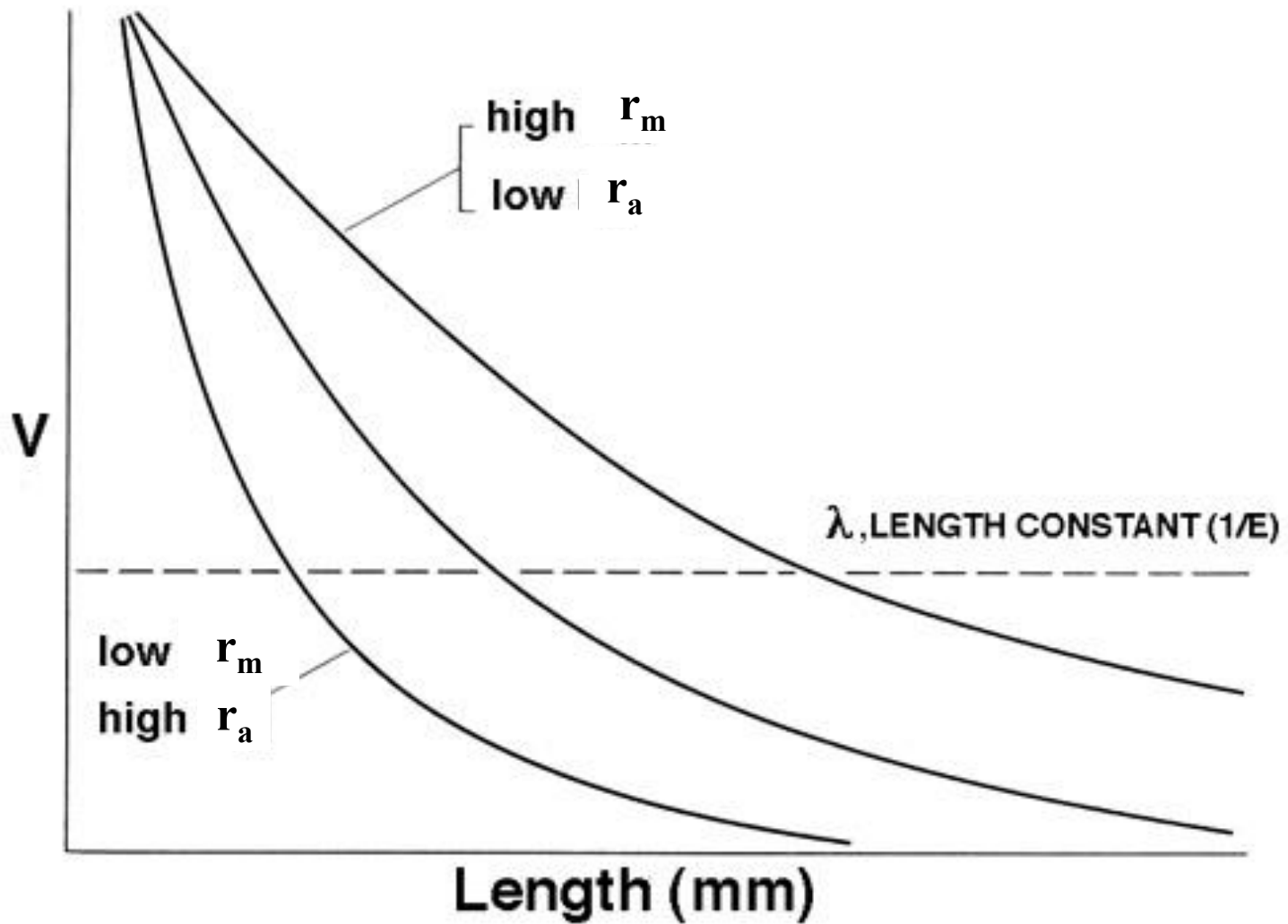
Ohm cm

and Propagation of APs



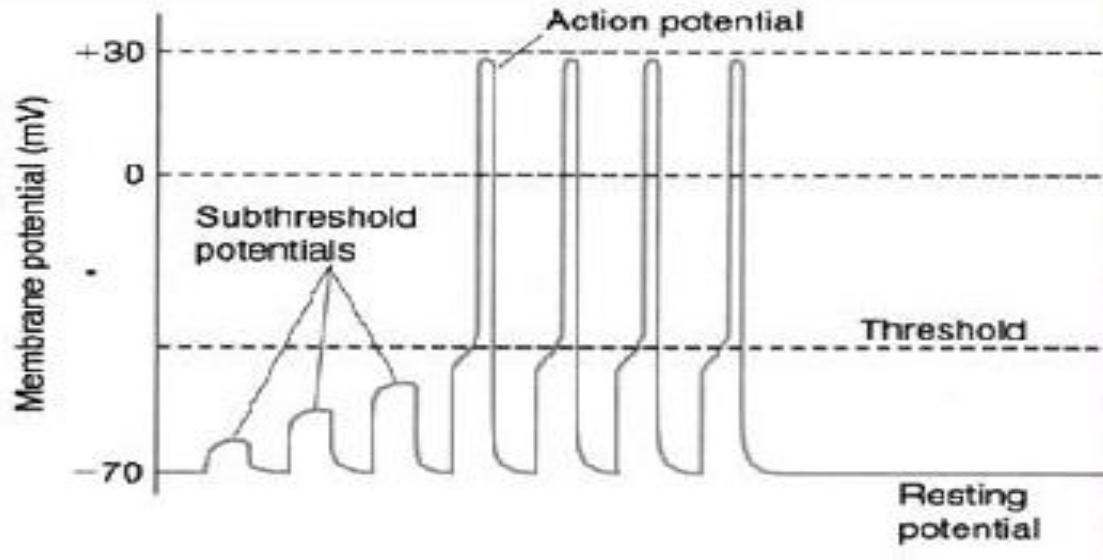
$\tau_m = r_m C_m$ zar zaman sabiti (s), $\lambda_m = \sqrt{r_m/r_i}$ zar uzay sabiti

potansiyel farkının akson boyunca pasif iletilmesine elektrotonik iletim adı verilir

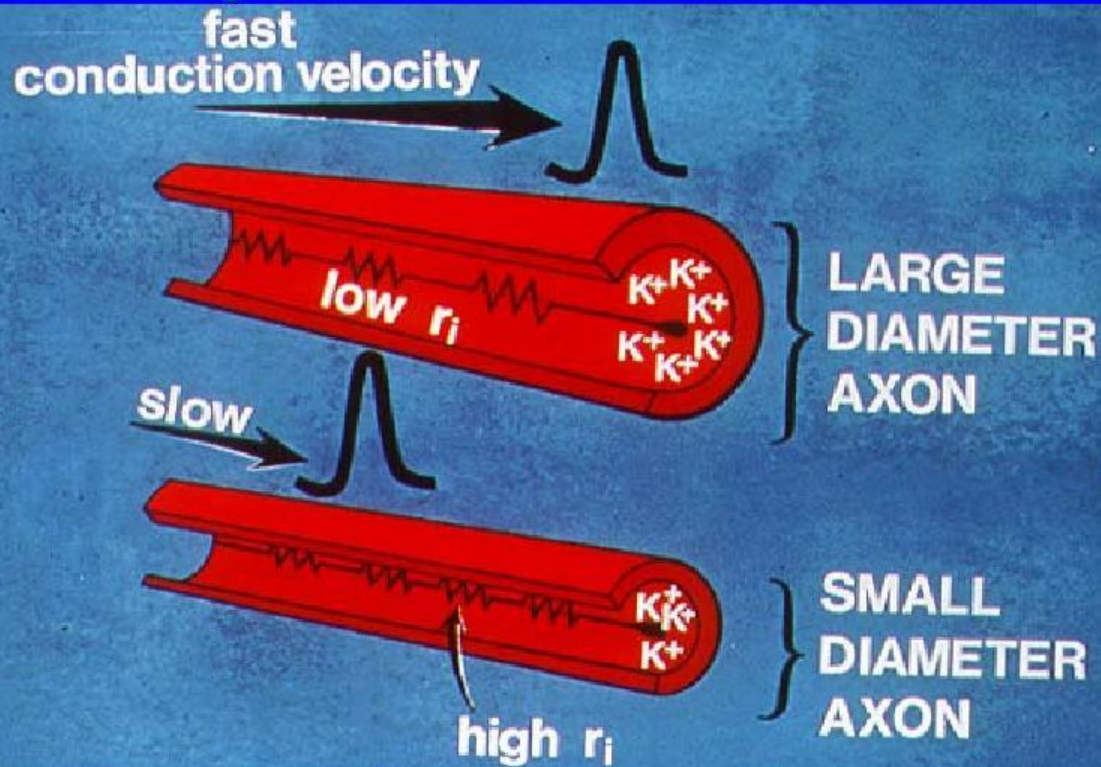


Stimulus-Response: Threshold

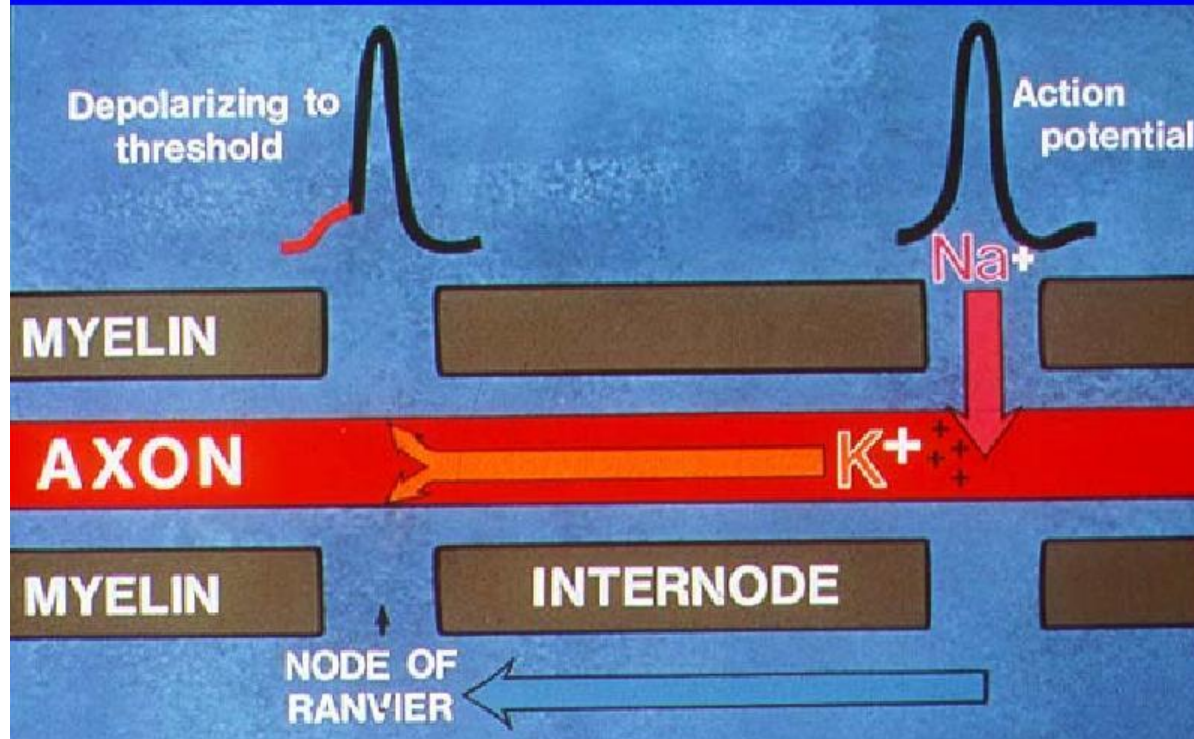
Yerel potansiyelin belirli bir eşiği geğmesi durumunda A.P oluşur.



Impact of Axon Diameter

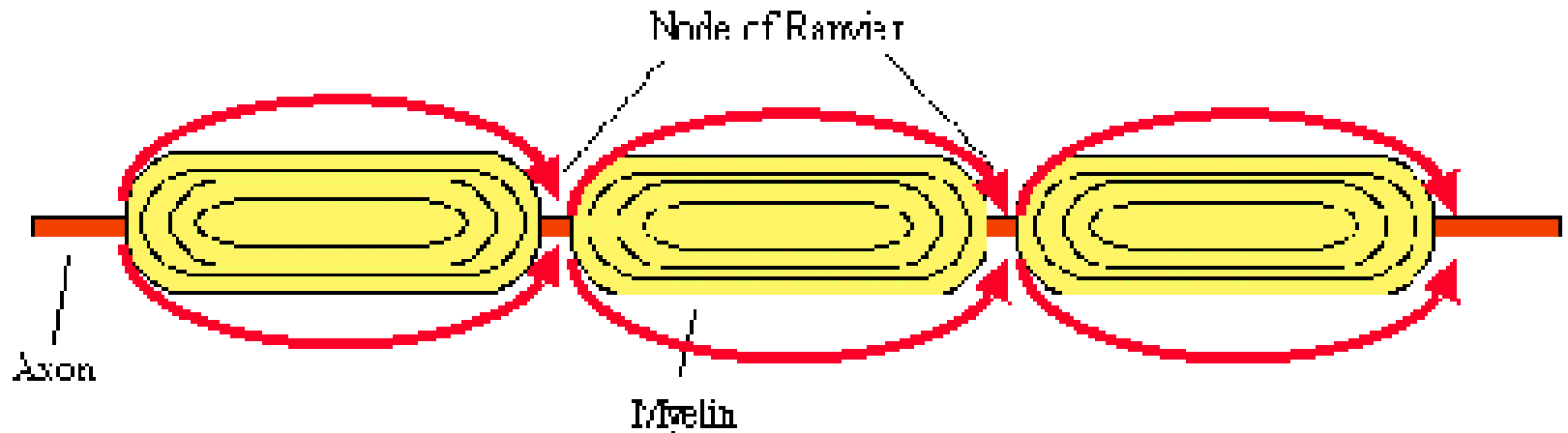


Nodes of Ranvier



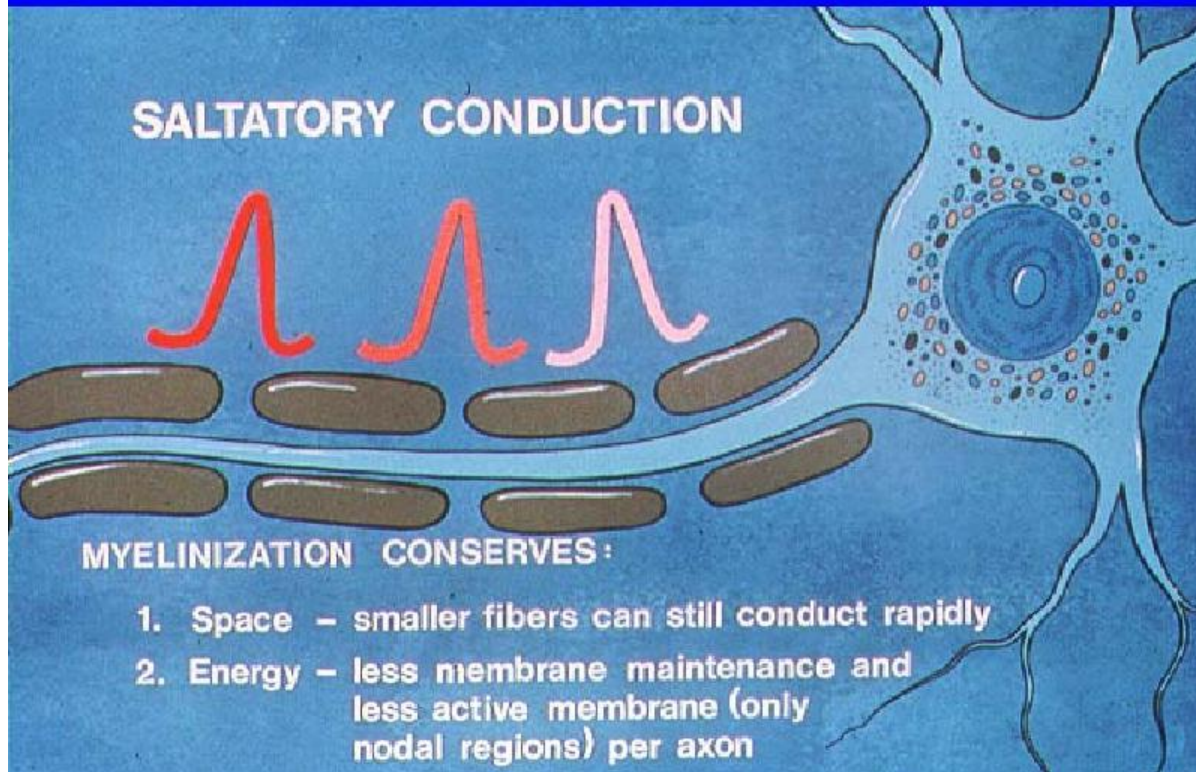
SALTATORİK İLETİM

SALTATORY CONDUCTION



Benefits

SALTATORY CONDUCTION



MYELINIZATION CONSERVES:

1. Space – smaller fibers can still conduct rapidly
2. Energy – less membrane maintenance and less active membrane (only nodal regions) per axon

AKSİYON POTANSİYELİ YAYILMA HIZINI BELİRLEYEN FAKTÖRLER

Uyarılabilirliği yüksek olan liflerin iletim hızı da büyük olur.

- a. Birim yüzey başına zar sığası C_m küçüldükçe hız artmaktadır. Miyelin tabakası sığayı küçülttüğünden iletim hızını arttırıcı yöne rol oynar.
- b. Akson yarıçapı arttıkça iletim hızı da artmaktadır. miyelinsiz liflerde iletim hızı yarıçapın yaklaşık olarak karekökü ile, miyelinli liflerde ise yarıçapla doğru orantılı bulunmaktadır.

$$v=6.10^6.a$$

- c. Sodyum iletkenliği tepe değeri, g_{Na} büyüdükçe, yani birim yüzeydeki sodyum kanalları sayısı çoğaldıkça iletim hızı artmaktadır.
- d. Aksoplazmanın öziletkenliği büyüdükçe iletim hızı artmaktadır
- e. İletim hızı sıcaklıkla artmaktadır.

AKTİF Na-K POMPASI

Pompanın temel işlevi zarı iletme hazır durumda tutmaya yöneliktir.

1. Sodyum ve potasyum iyonları kanallardan serbest enerjinin azaldığı yönde, aktif pompa ile ise serbest enerjinin arttığı yönde taşınırlar
2. Pompalar enerji kaynağı olarak ATP kullanırlar.
3. Belirli konsantrasyonlarda tetrodotoksin (TTX) sodyum kanallarını, tetraetilamonyum (TEA) ise potasyum kanallarını bloke ederlerken, bunların pompa üzerinde bir etkileri gözlenmemiştir. Ouabain ise pompayı durdururken kanal geçişlerinde etkisizdirler.
4. Dış ortamdaki Ca^{2+} artması eşiği yükseltirken pompa üzerinde etkisizdir.
5. Sodyum kanallarındaki Li^+ iyonları Na^+ iyonlarından pek ayırt edilemezken Li^+ iyonları pompa aracılığı ile taşınmamaktadır.
6. Çeşitli zarlarda birim yüzeydeki sodyum kanalları sayısı $70-500 \text{ 1}/\mu\text{m}^2$ olarak belirlenirken, aktif pompa sayısı $4000 \text{ 1}/\mu\text{m}^2$ dolayında bulunmaktadır.

GOLDMAN-HODGKIN-KATZ BAGINTISI

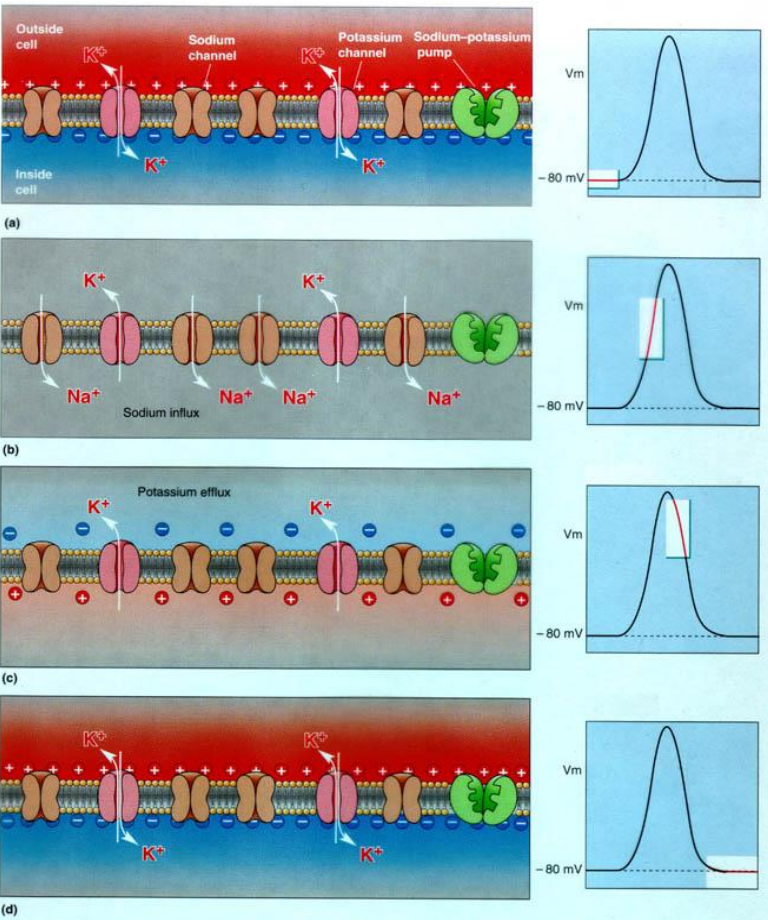
$$E_m = \frac{RT}{F} \ln \left(\frac{P_{Na} [Na^+]^{dış} + P_K [K^+]^{dış} + P_{Cl} [Cl^-]^{iç}}{P_{Na} [Na^+]^{iç} + P_K [K^+]^{iç} + P_{Cl} [Cl^-]^{dış}} \right)$$

HODGKIN-HUXLEY AKSIYON POTANSİYELİ YAYILMA BAGINTISI

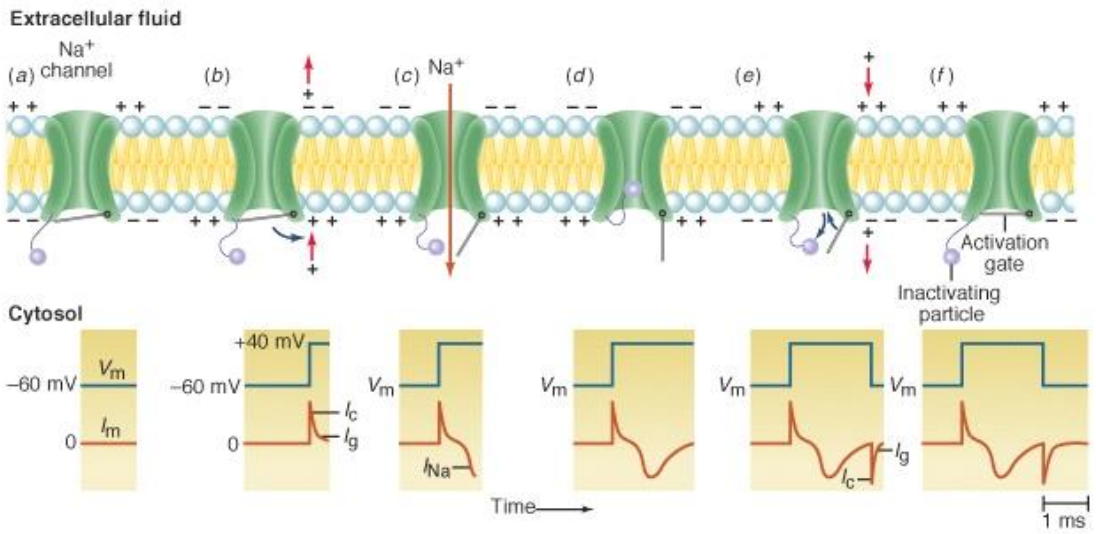
$$\left(\frac{a}{2} \rho_i v^2 \right) \frac{d^2 E_m}{dt^2} = m^3 h g_{Na} (E_m - E_{Na}) + n^4 g_K (E_m - E_K) + g_L (E - E_L) + C \frac{\partial E_m}{\partial t}$$

(1) Voltaj-kapılı iyon kanal sayısı/ μm^2 zar

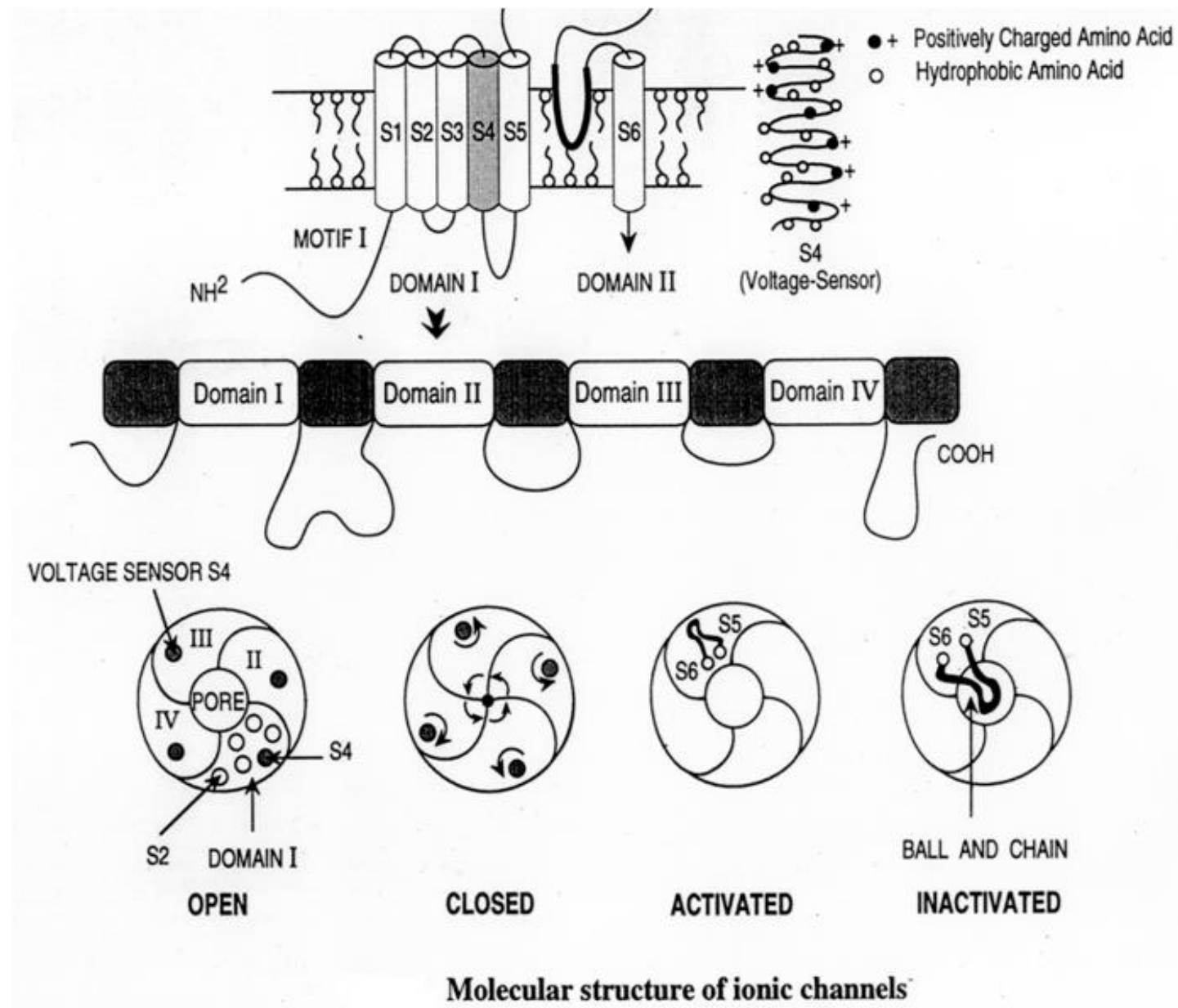
HODGKIN-HUXLEY AKSIYON POTANSİYELİ YAYILMA BAGINTISI



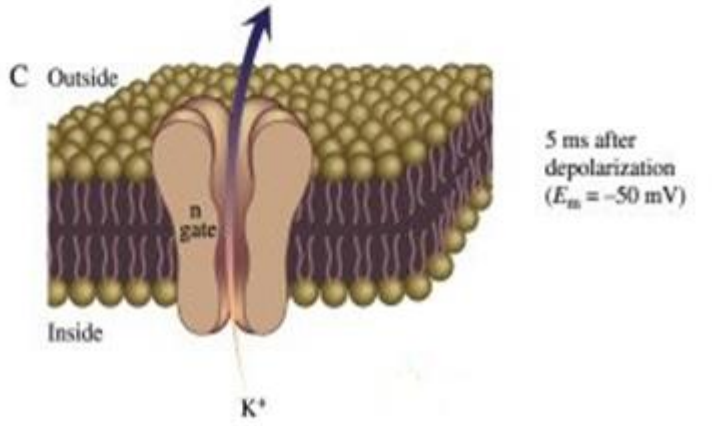
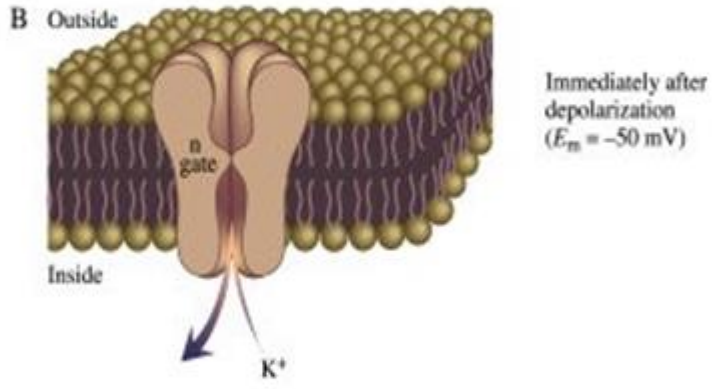
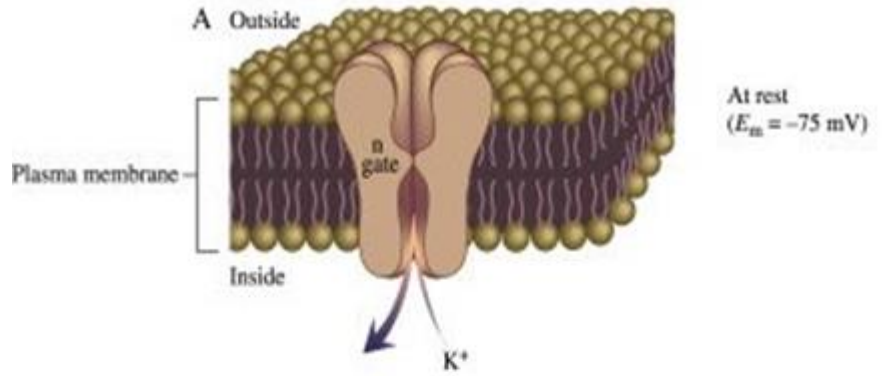
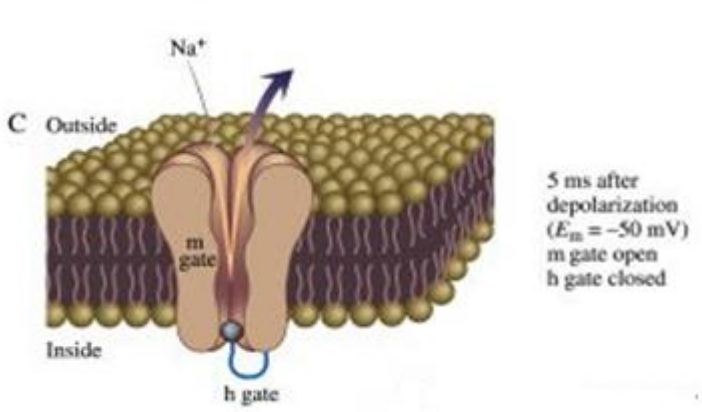
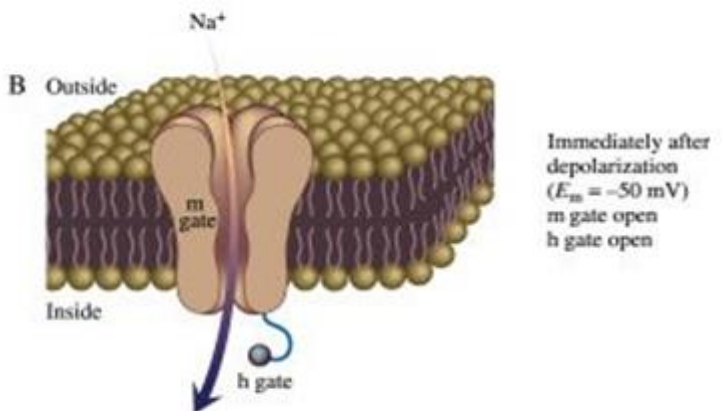
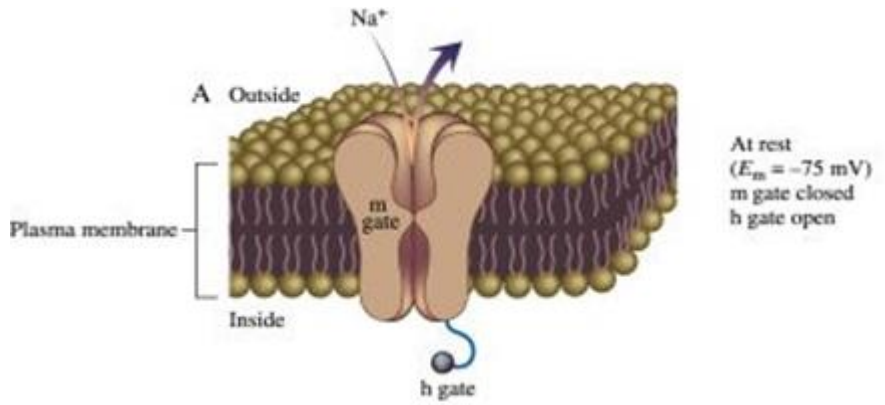
$$\left(\frac{a}{2} \rho_i v^2\right) \frac{d^2 E_m}{dt^2} = m^3 h g_{Na} (E_m - E_{Na}) + n^4 g_K (E_m - E_K) + g_L (E - E_L) + C \frac{\partial E_m}{\partial t}$$



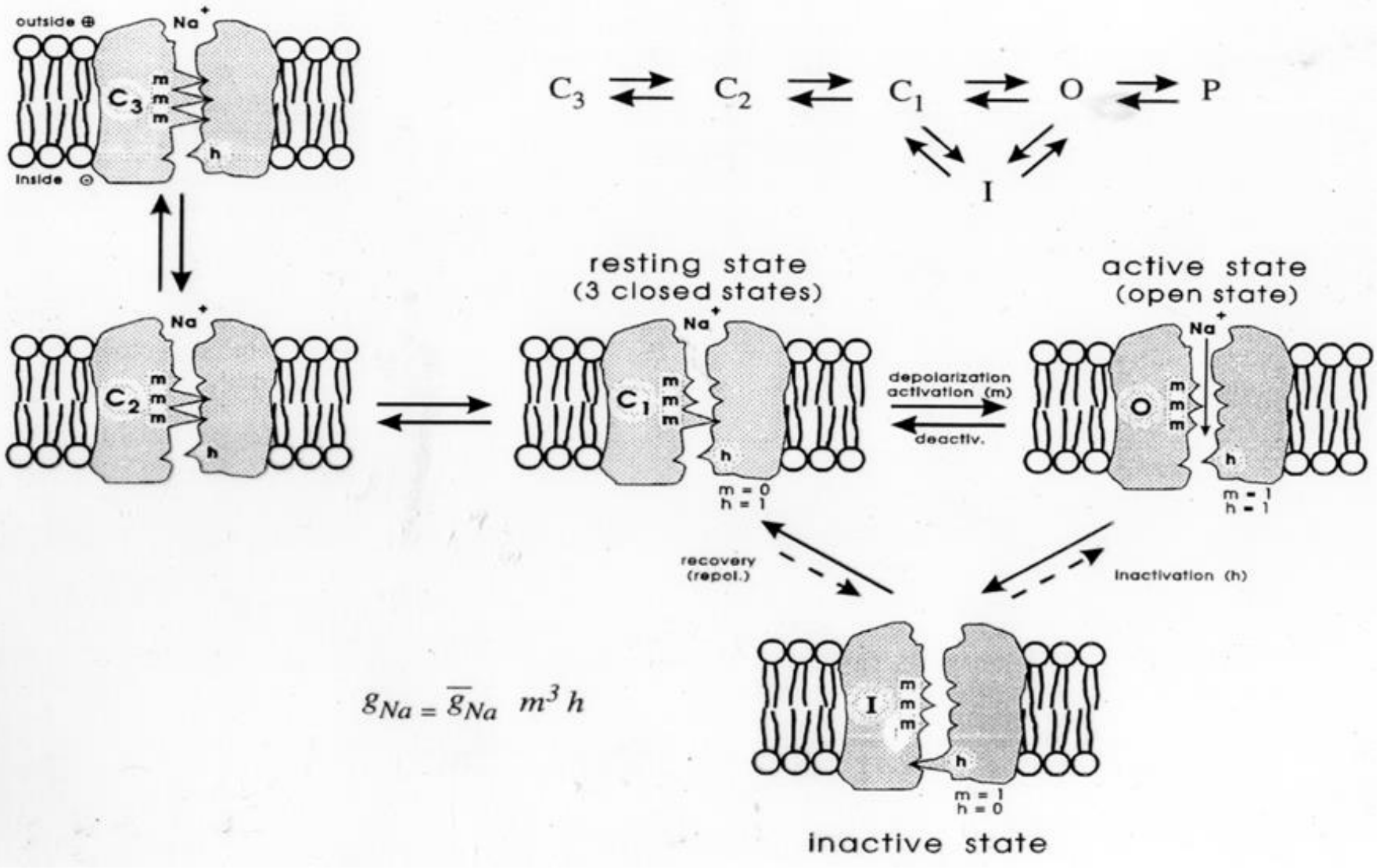
(2) Voltaj-kapılı iyon kanallarının kapıları



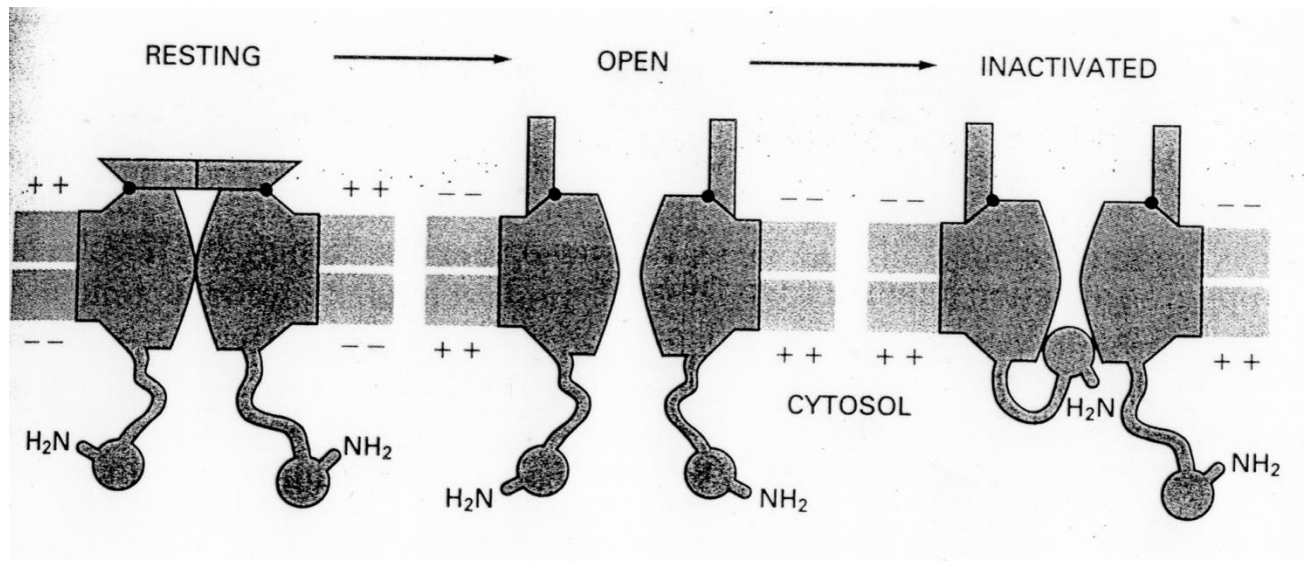
(2) Voltaj-kapılı iyon kanallarının kapıları



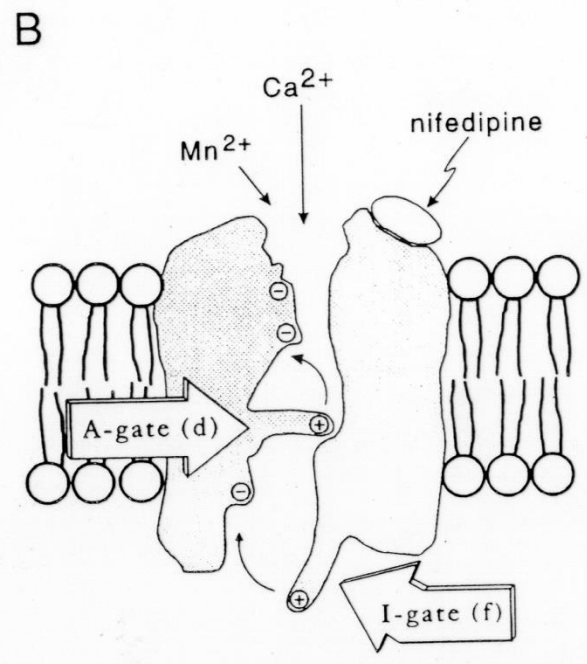
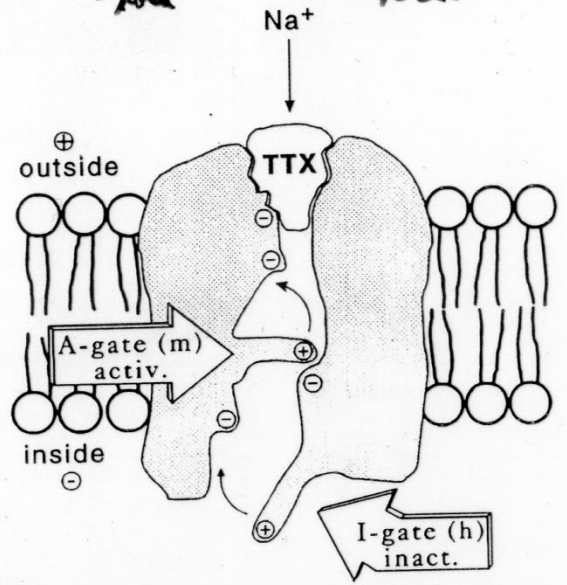
(2) Voltaj-kapılı iyon kanallarının kapıları



(2) Voltaj-kapılı iyon kanallarının kapıları

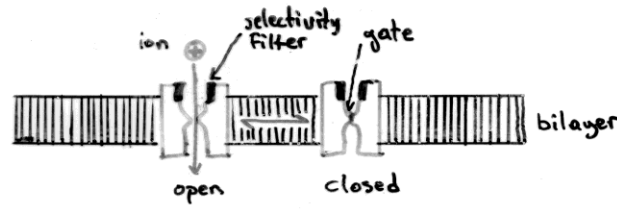


A $I_{Na} = m^3 h \bar{g}_{Na} (E - E_{Na})$

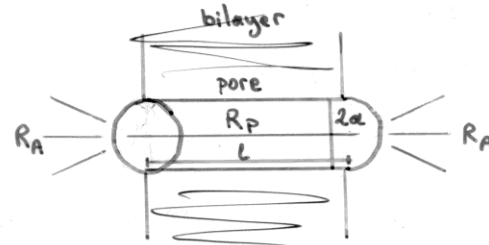


B $I_{Ca} = d^2 f \bar{g}_{Ca} (E - E_{Ca})$

(3) Voltaj-kapılı iyon kanallarının fiziksel boyutları



Bir iyon kanalının sematik gösterimi



Bir kanalın bir silindir olarak modelize edilmesi

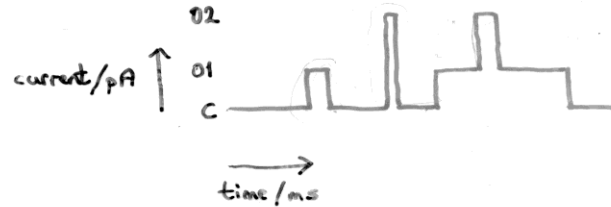
Bu porun uzunluğu l , yarıçapı a

Kanal direnci $R = R_p + R_A$

R_p : por direnci $= \rho l / (\pi a^2)$ g : elektrolit çözeltisinin σ direnci

R_A : access direnci: iyonlar porun içine girerken veya çıkarken oluşan direnci $= g / 2a$

Kanal iletkenliği $G = \frac{1}{R} = \frac{1}{(R_p + R_A)} = \pi a^2 / [g(l + a/2)]$



İyon-kanallarının temel özellikleri - tek kanal iletkenliği

Örnek: $l = 3 \text{ nm}$, $a = 0.5 \text{ nm}$ $g = 0.13 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ (0.5 M KCl eşdeğeri)

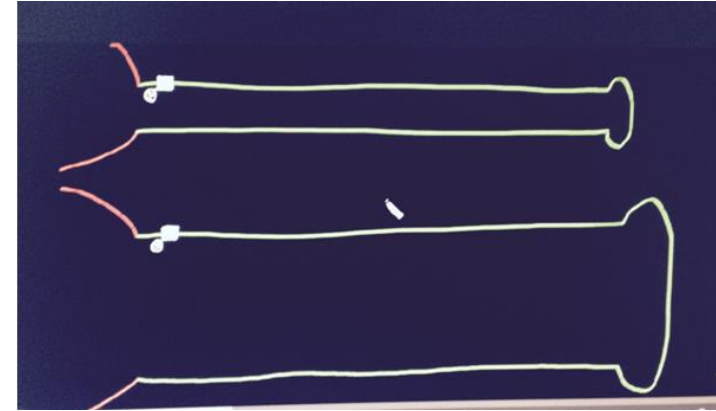
$R_p = 5 \times 10^8 \text{ } \Omega$, $R_A = 1.3 \times 10^8 \text{ } \Omega$ $R = 6.3 \times 10^8 \text{ } \Omega$

Not: R_A 'nın katkısı 20% $G = 1.6 \text{ nS}$

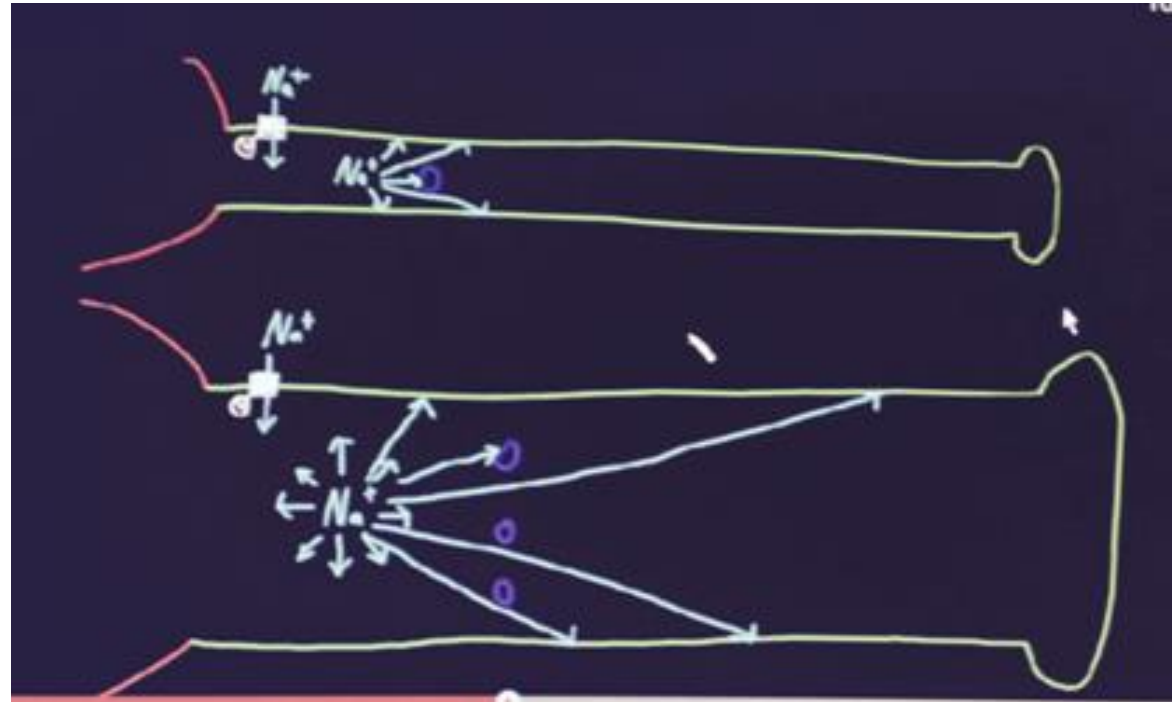
(4) Aksoplazma iletkenliği ve akson çapı

HODGKIN-HUXLEY AKSIYON POTANSİYELİ YAYILMA BAĞINTISI

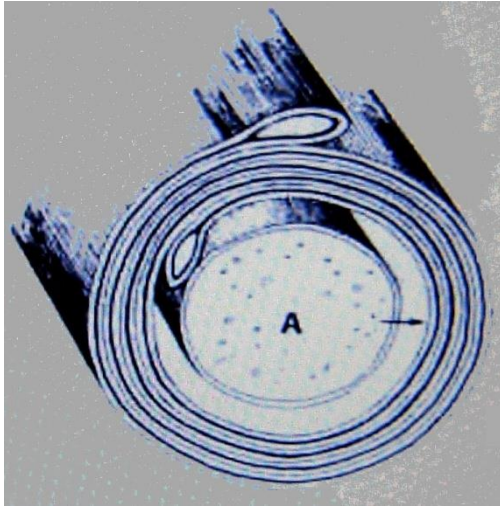
$$(a/2 \rho_i v^2) \frac{d^2 E_m}{dt^2} = m^3 h g_{Na} (E_m - E_{Na}) + n^4 g_K (E_m - E_K) + g_L (E - E_L) + C \frac{\partial E_m}{\partial t}$$



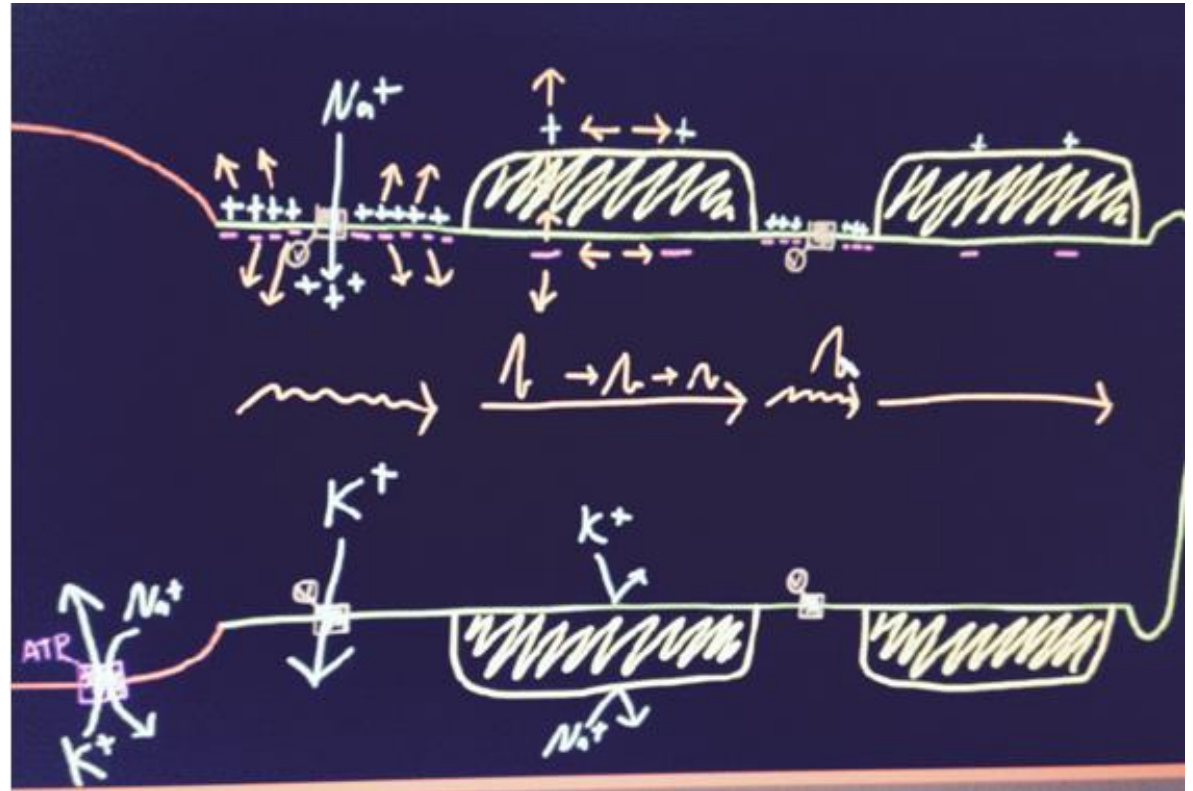
$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$



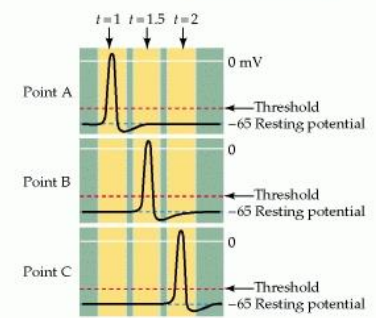
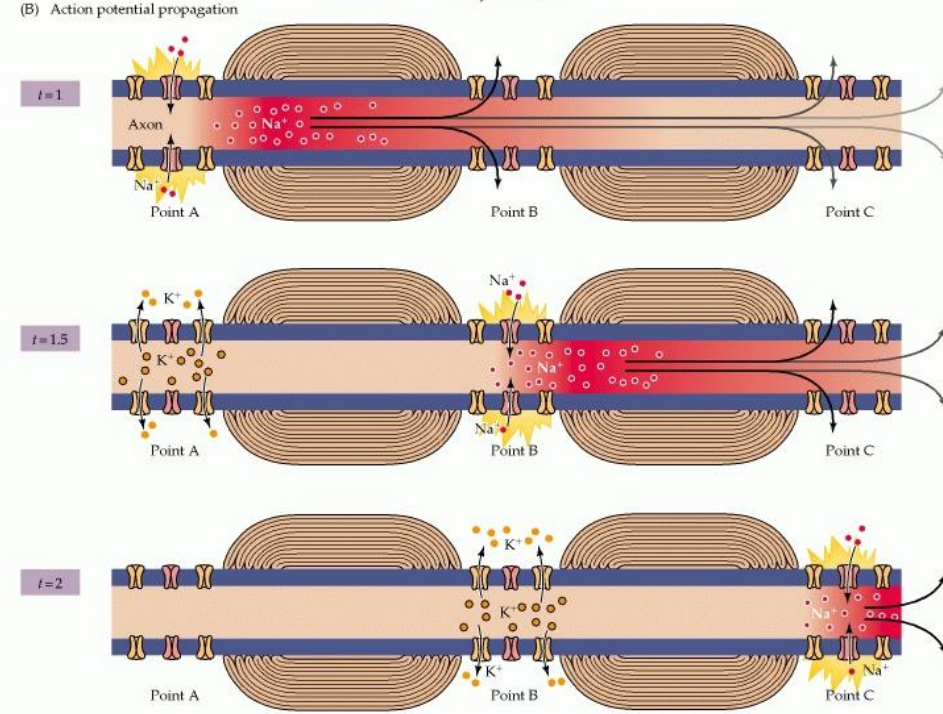
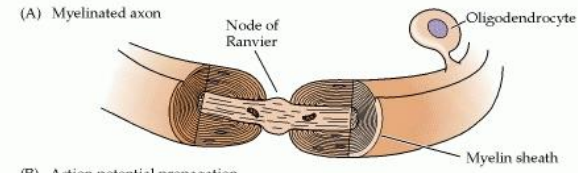
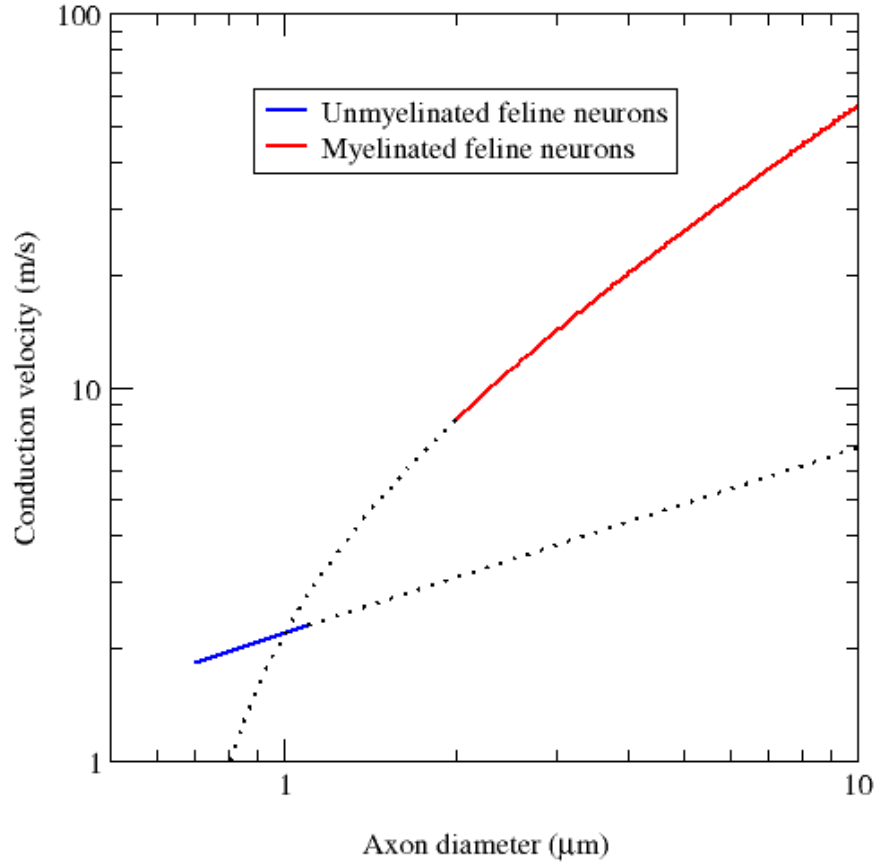
(5) Miyelin tabakası



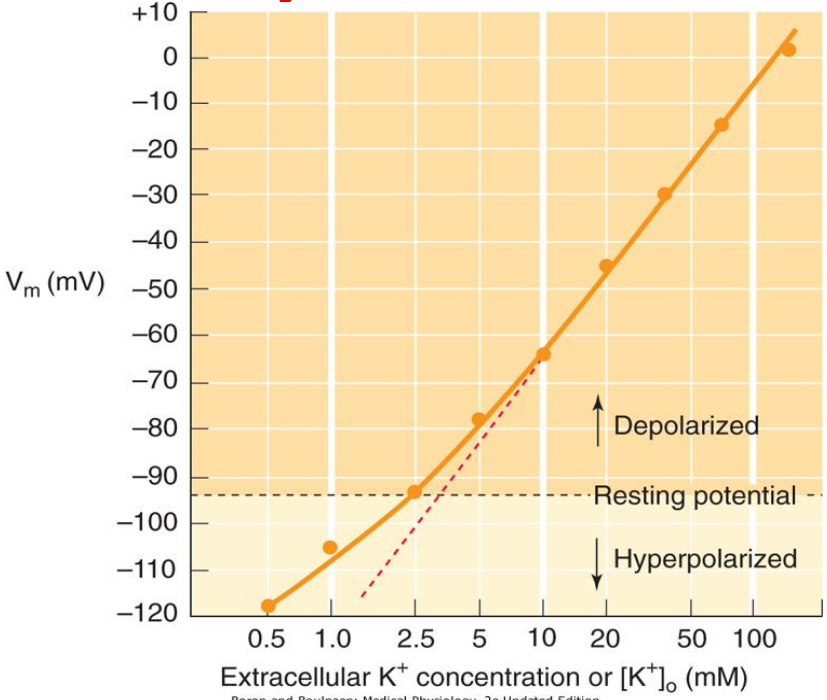
$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$



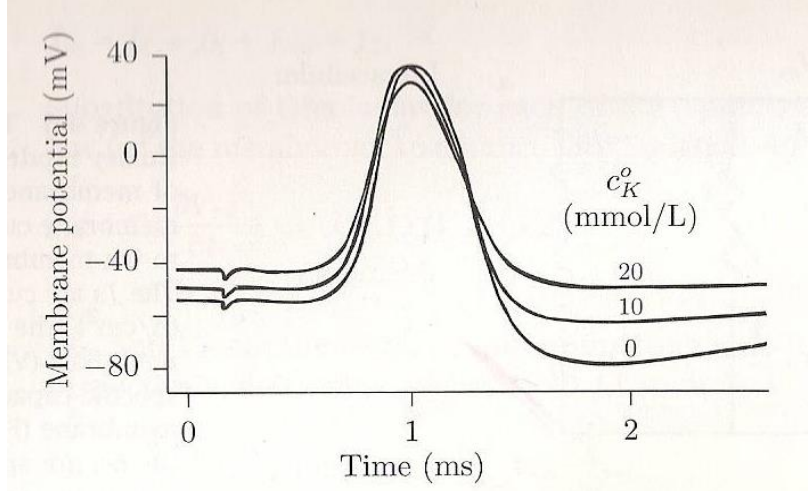
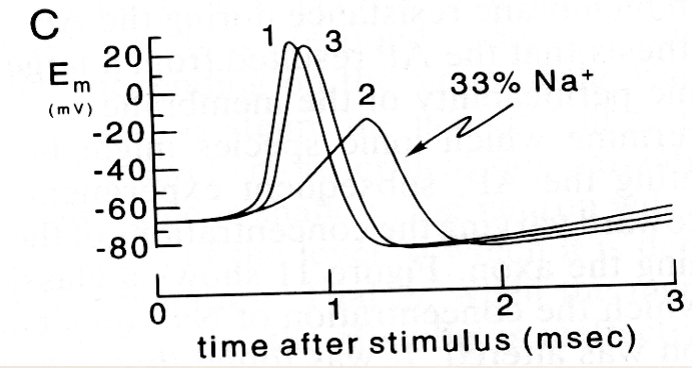
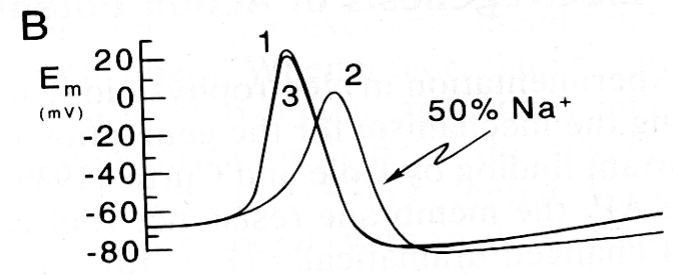
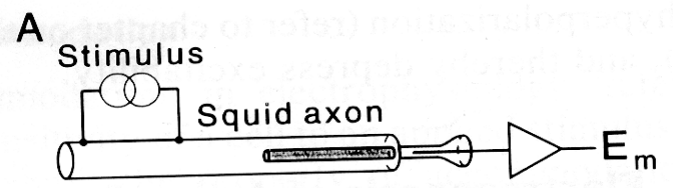
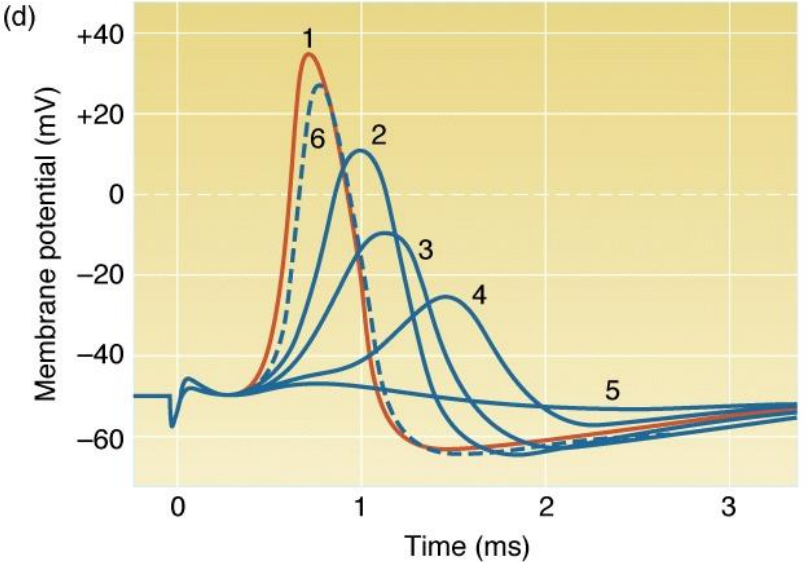
(5) Miyelin tabakası



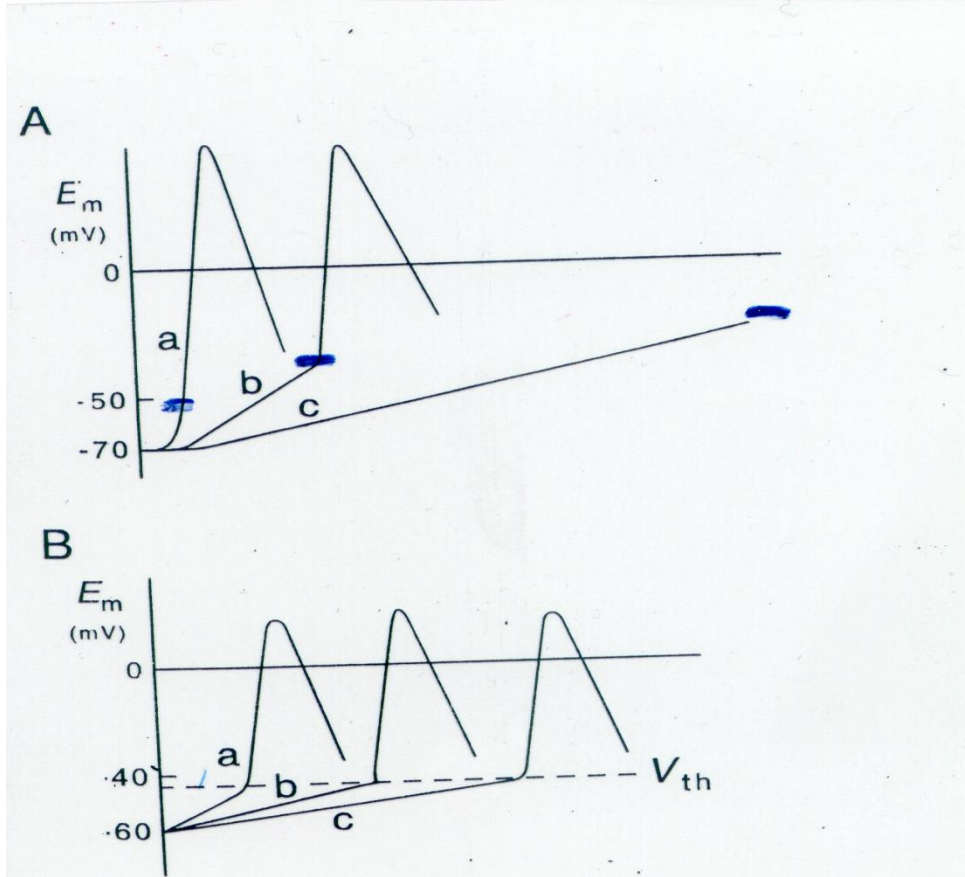
(6) Ekstrasellüler iyon konsantrasyonu: Na^+ ve K^+



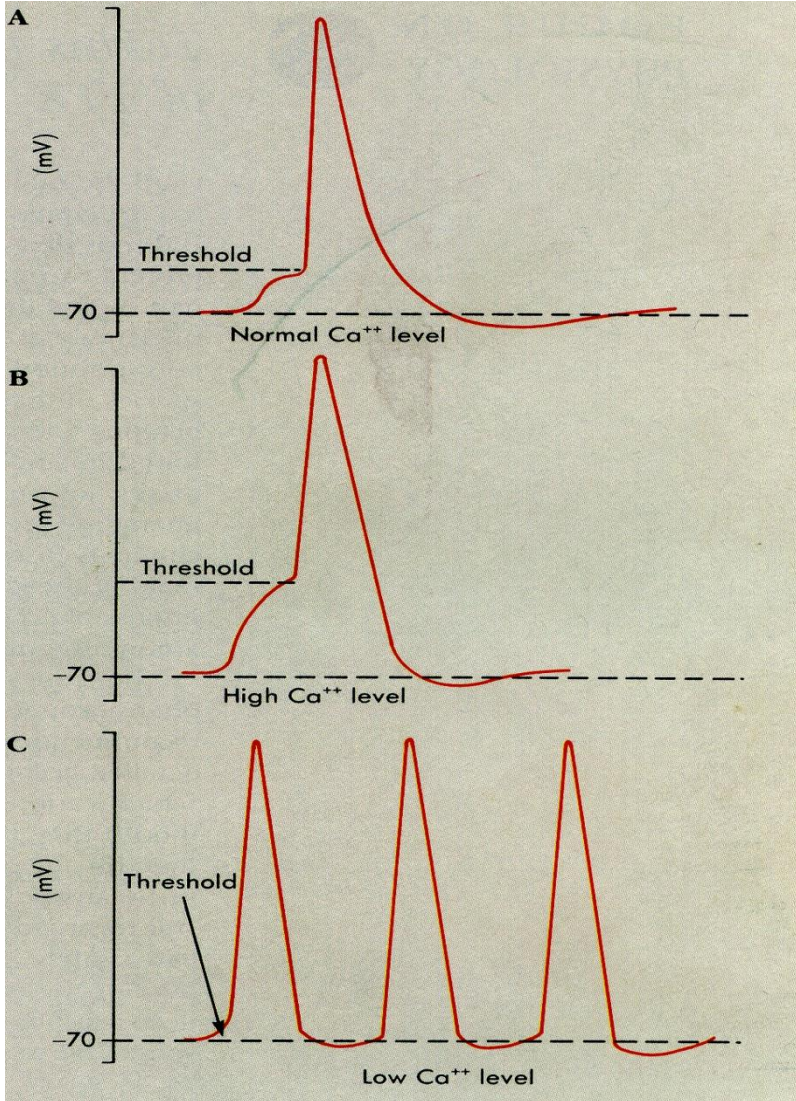
Boron and Boulpaep: Medical Physiology, 2e Updated Edition
Copyright © 2012 by Saunders, an imprint of Elsevier Inc.



Adaptasyon – uyum – eşğin yükselmesi



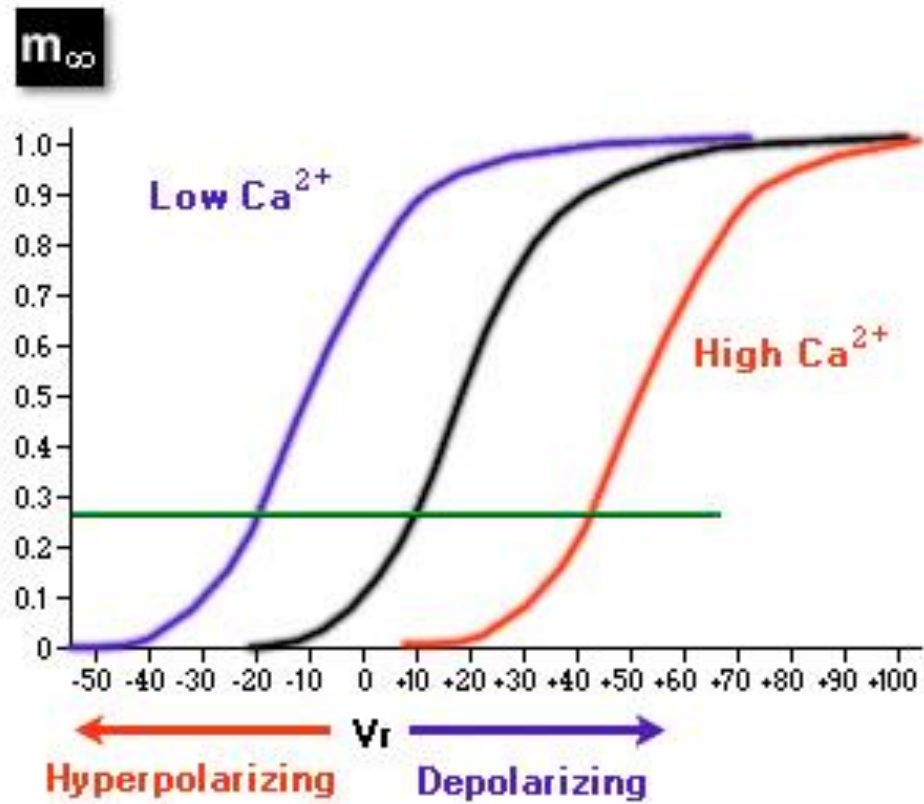
(6) Ekstrasellüler iyon konsantrasyonu: Ca^{2+}



- Hücre içine Ca^{2+} girişi K^+ akımlarını aktive eder (dışa doğru akım; Ca^{2+} aktive K^+ akımı) bu akım hücreyi hiperpolarize eder ve hücrenin thresholda ulaşmasını zorlaştırır .
- Bu nedenle düşük hücre dışı Ca^{2+} means Ca^{2+} -bağımlı K^+ akımlarını azaltır ve hücrenin kolay threshold potansiyeline ulaşmasını sağlar.

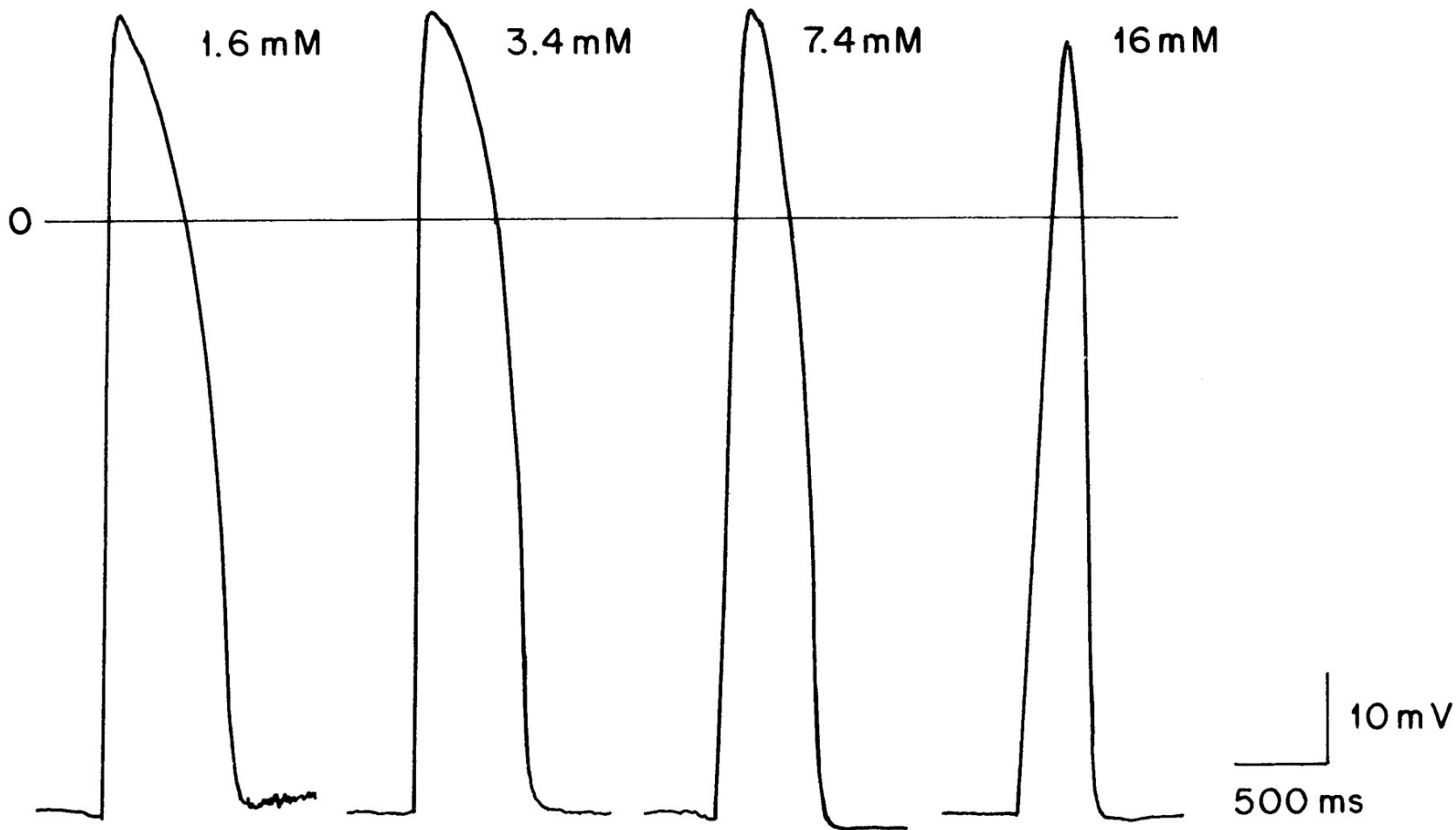
ve/veya

- Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonları negatif yükleri nötralize eder.
- Hipercalcemia'nın anlamı daha az negative yüklerin dış membranda olmasını sağlar,
- Hipercalcemia varsa negatif potansiyel daha kuvvetlidir ve daha zor threshold potansiyele ulaşmasına neden olur.

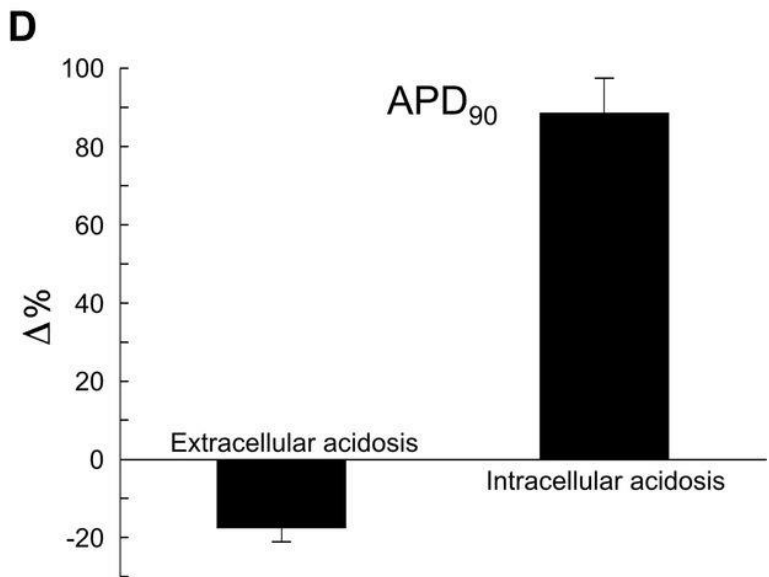
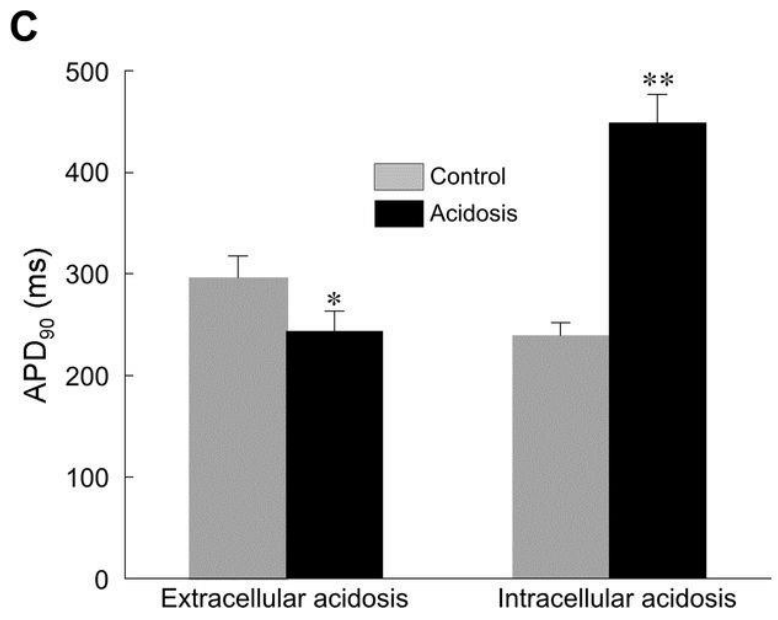
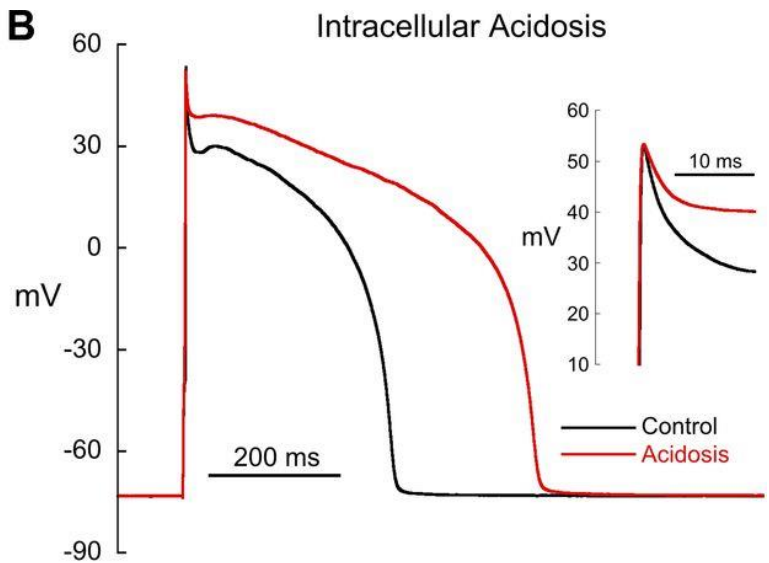
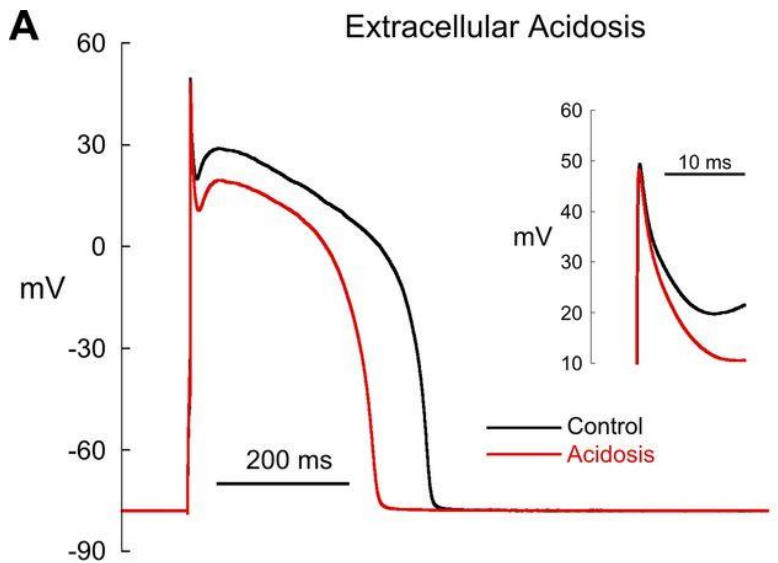


hypocalcemic tetany

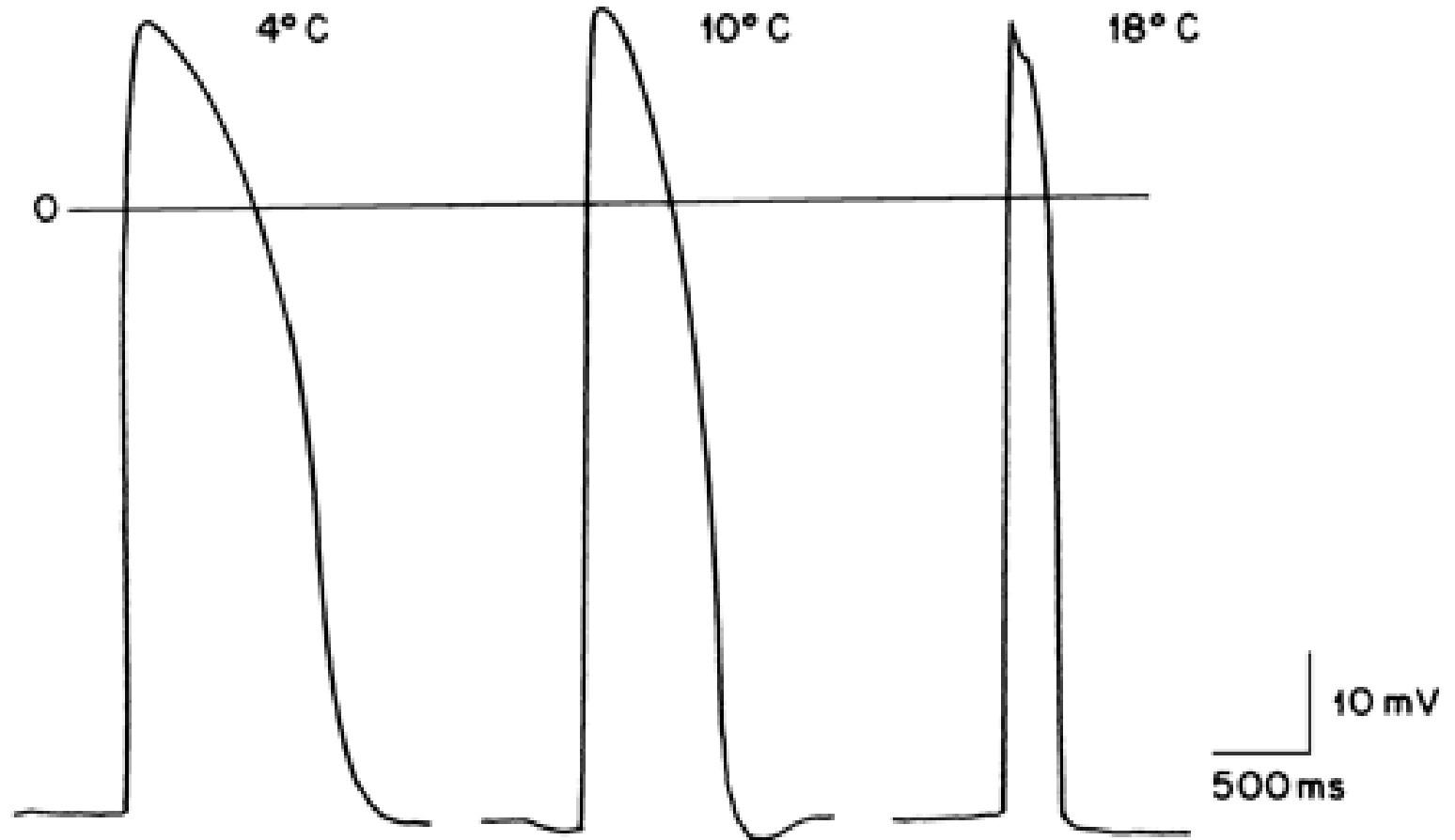
$[Ca^{2+}]_o$



(6) Ekstrasellüler/intrasellüler iyon kansantrasyonu: H⁺



(7) Ekstrasellüler ortam sıcaklığı



Aksiyon potansiyeli yayılması OTODALGALARA bir örnektir

-Canlılarda organizmanın içinde veya organizmalar arasında bilgi iletimi aksiyon potansiyeli ile olmakta olup bu olay genellikle bir dalga yayılması şeklinde olmaktadır ki buna otodalga (başka bir örnek; bir katalizörün aktivasyonu) denir. Ses dalgaları veya elektromagnetik dalgalardan farklı özelliklere sahiptirler:

1- dalgalar bir dış etkenden kaynaklanır ve yayılması için bir enerji gerekmez.

Ortamda genliği ve şiddeti zayıflar, dispersiyon (yani kısaca yayılma hızının frekansla değişmesi) olayından dolayı sinyal biçimi (zaman deseni) bozulur.

2- otodalgalar enerji kaynaklarının dağılı olduğu aktif bir ortamda yayılır, depolanmış enerji yöresel olarak salınır, ve bu enerji komşu bölgelerde de aynı süreçleri başlatır.

3- otodalgaların deseni bozulmadan yayılır (sinyal kopyalanması) çünkü ortamın yüksek enerjili bölgesi düşük enerjili düzeye geçer.

4- ortamde depolanmış enerji korunmaz, harcanır, çarpışan otodalgalar birbirini yok eder, yansıma ve kırınım-girişim olanaksızdır.

