

# Objetivo

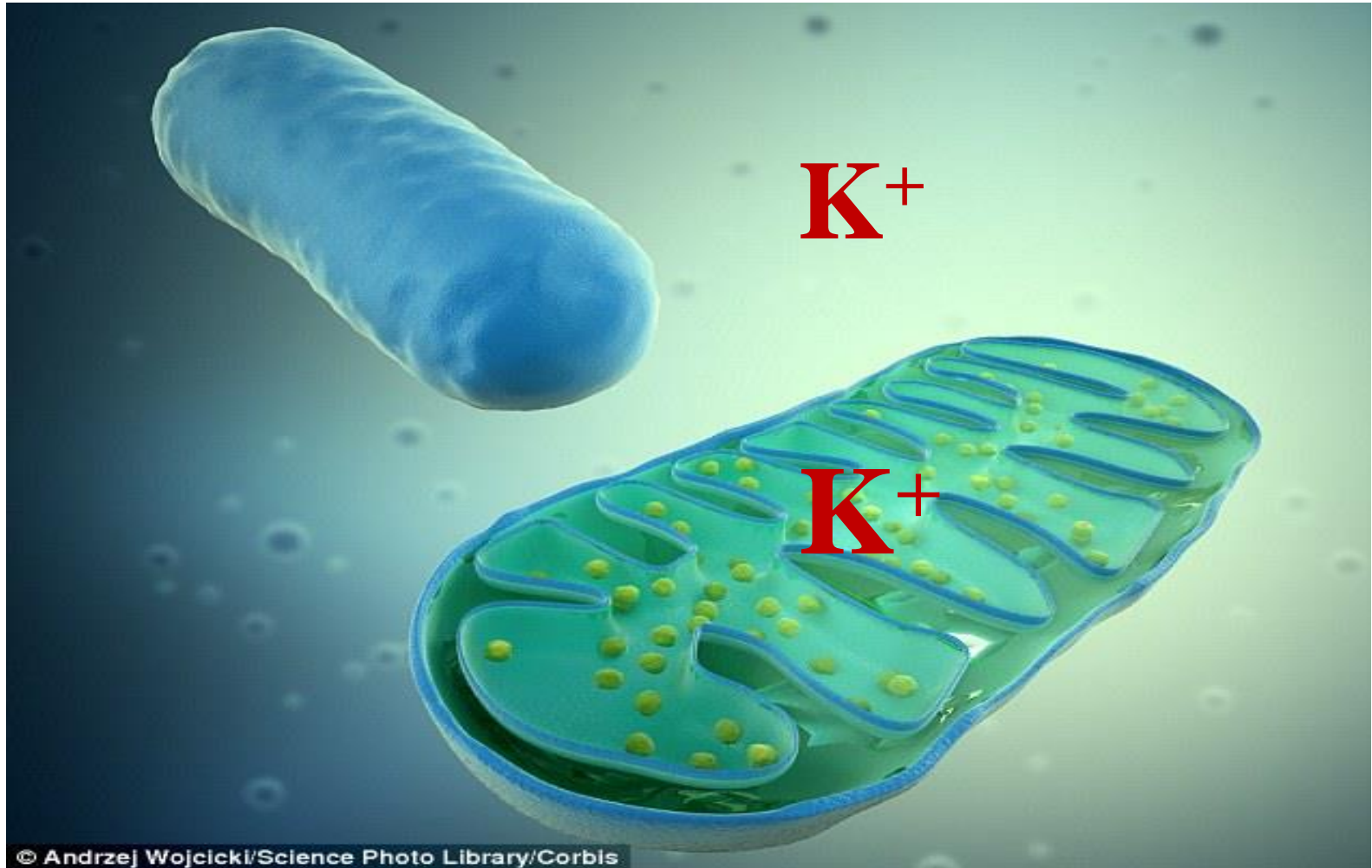
1. Compreensão dos processos envolvidos na bioeletrogênese.

# Oceano Primordial

(3.8 bilhões anos)



# Oceano Primordial



# Oceano Primitivo

(200 - 300 milhões anos)





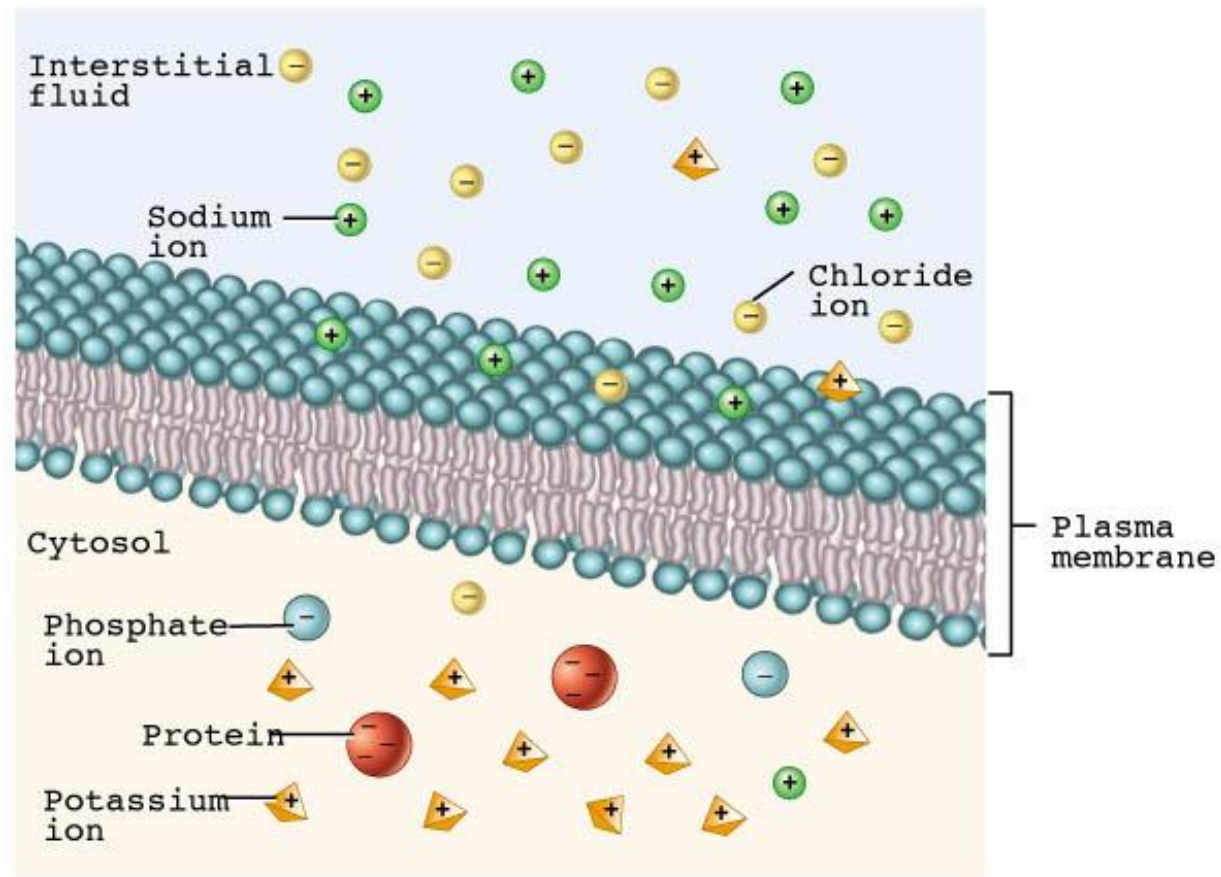
# Planeta instável

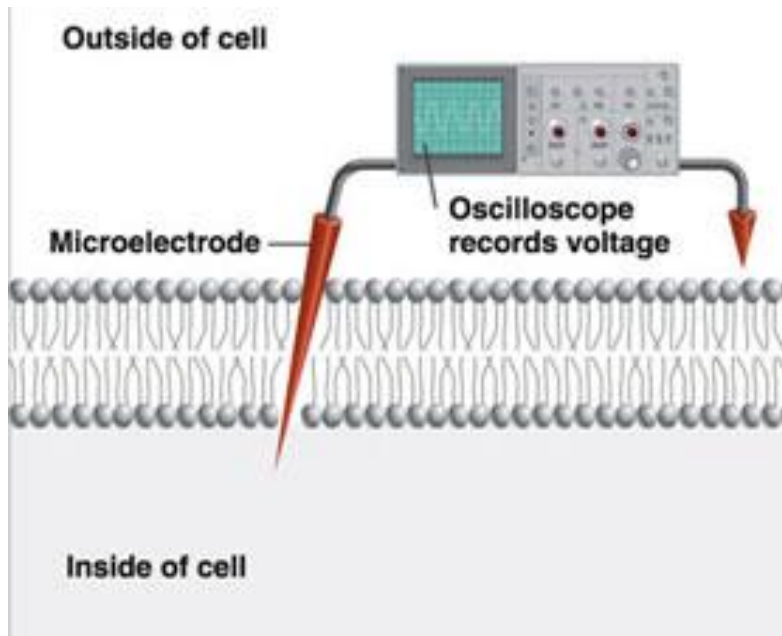
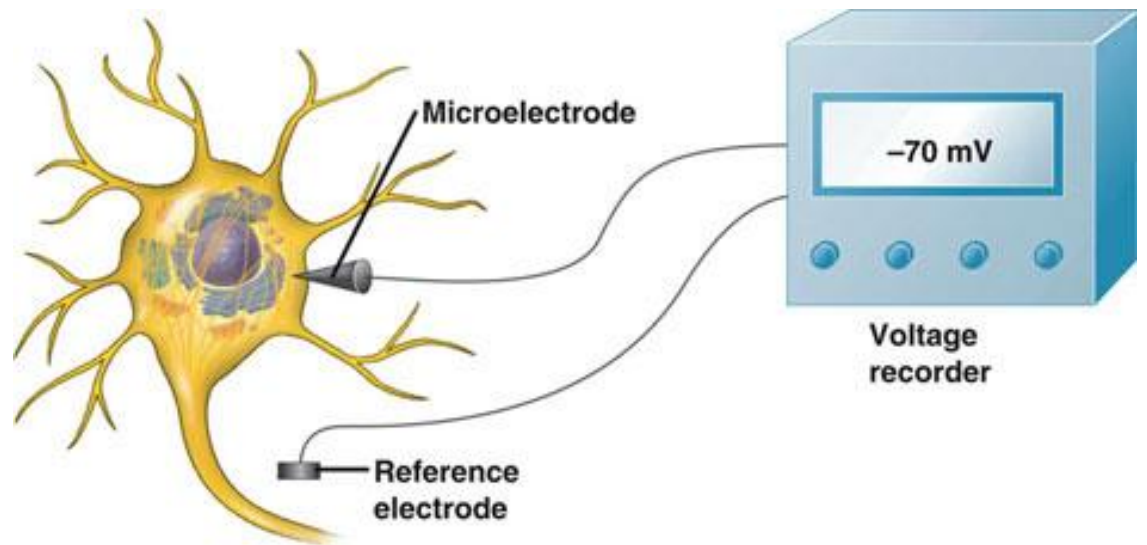


# Oceano Primitivo

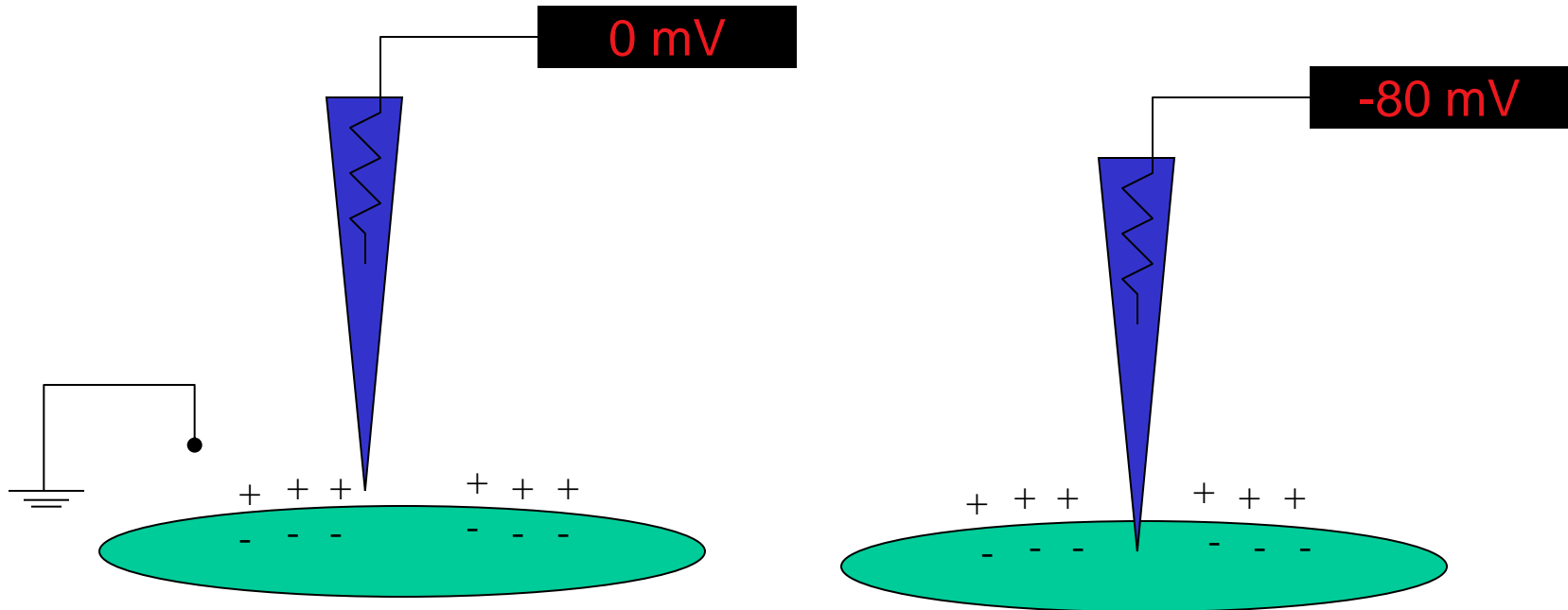


# Meios Intra e Extracelulares





# Registro do potencial de repouso



TIPO CELULAR	Em (mV)
Neurônio	-70
Músculo esquelético	-80
Músculo cardíaco (atrial e ventricular)	-80
Músculo liso	-55



# Potencial de repouso

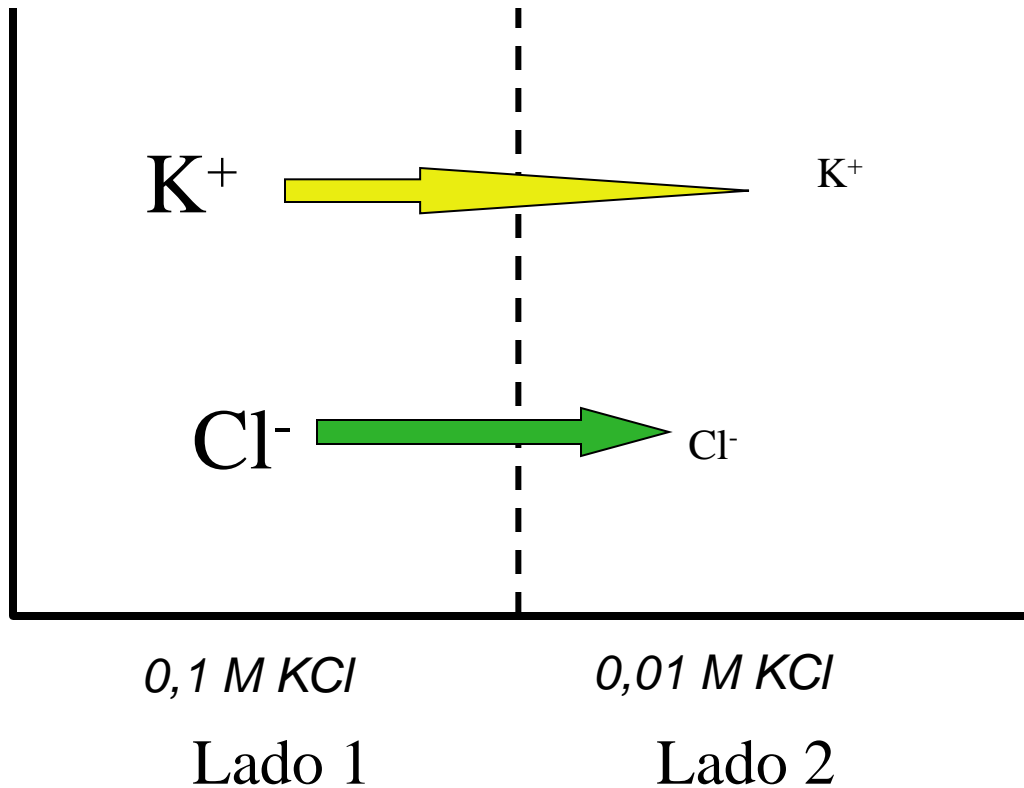
- **Todas as células apresentam uma diferença de potencial elétrico (voltagem) através da membrana.**
- Alterações na permeabilidade iônica da membrana levam a alterações do potencial da membrana.

# Perguntas:

- Como é gerado o Potencial de Repouso?
- Como é mantido o Potencial de Repouso?

# Potencial de equilíbrio eletroquímico (E) de um íon (J/mol)

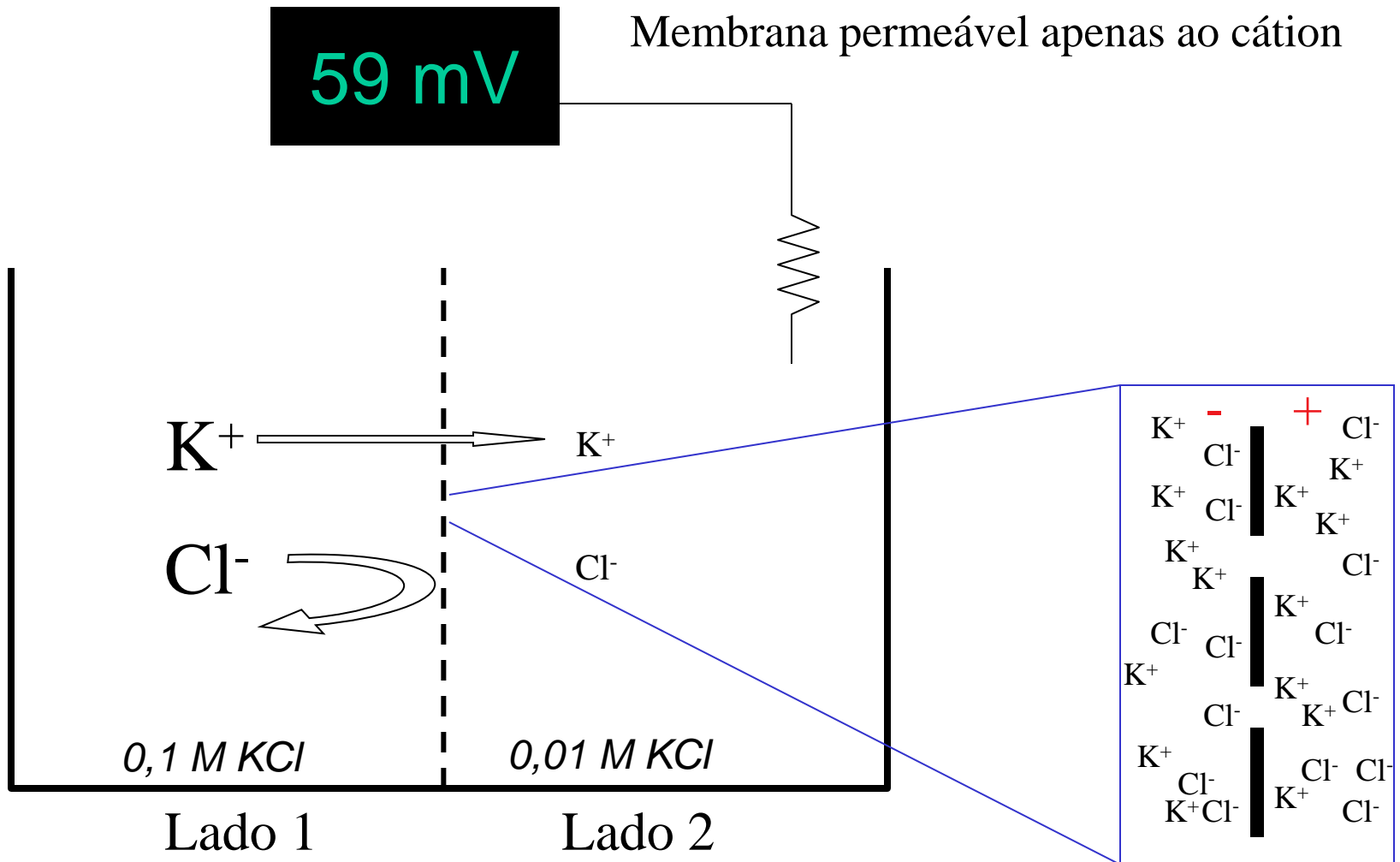
- Diferença de energia potencial do íon entre dois compartimentos ( $\Delta E$ ):



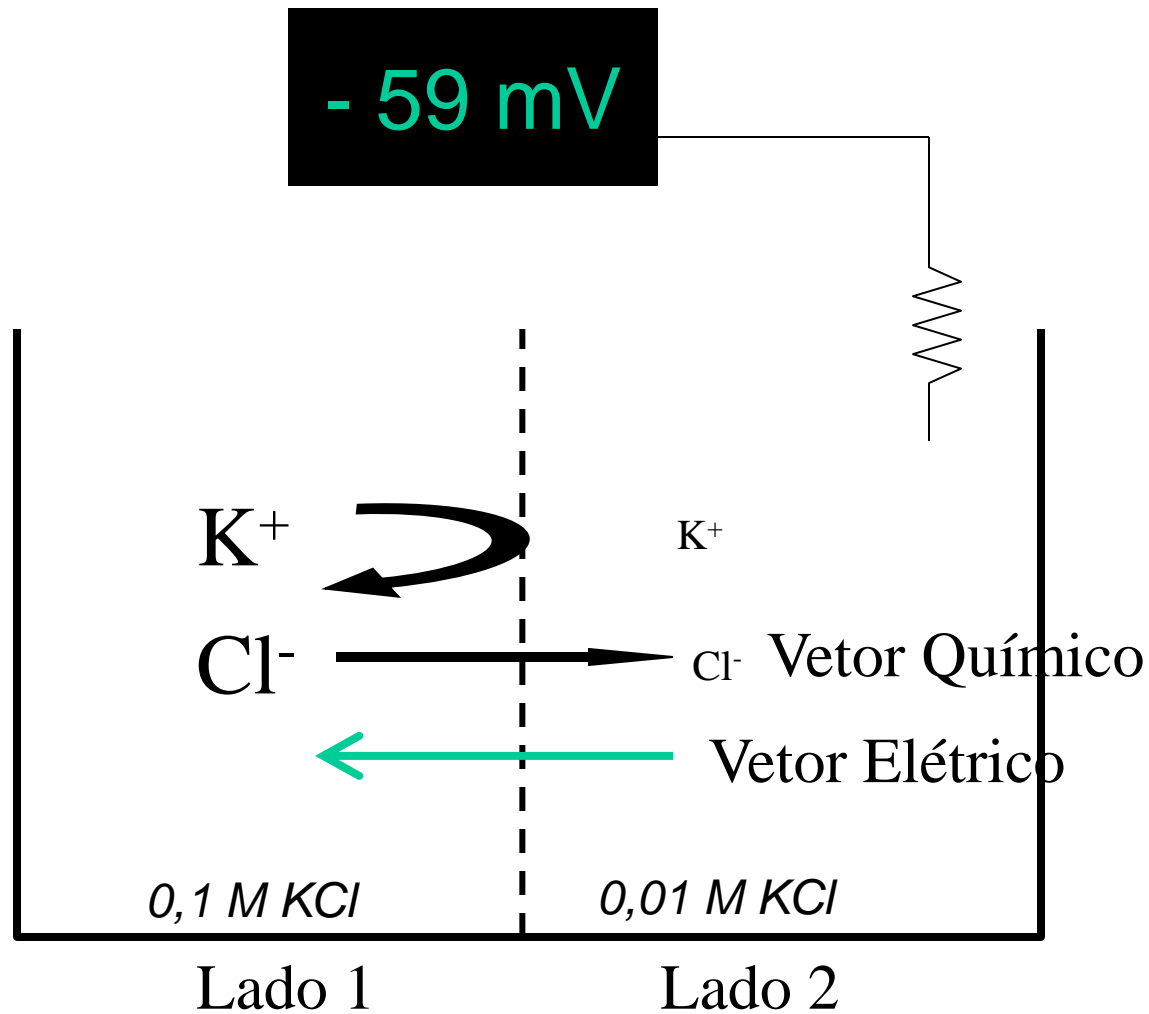
# Potencial de equilíbrio iônico ( $E_i$ )

Potencial elétrico que contrabalança o potencial químico gerado pela diferença de concentração iônica.

Fluxo líquido nulo!



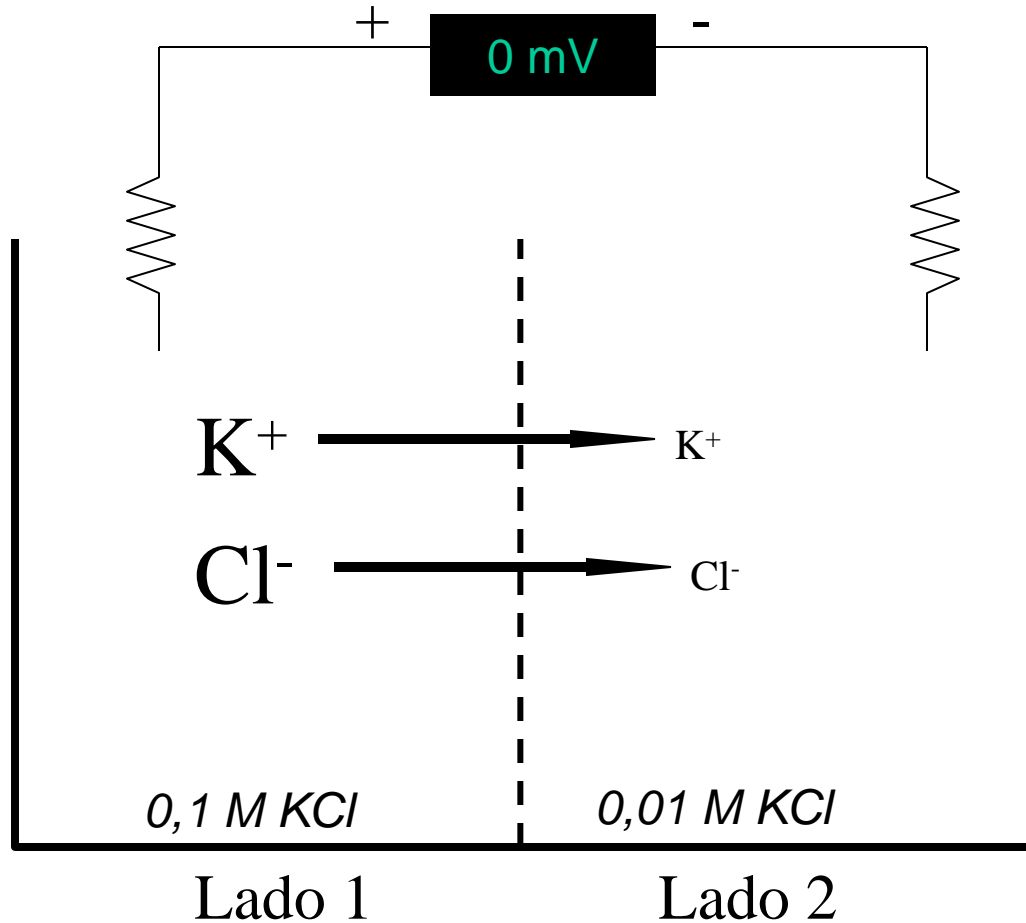
Se a membrana é permeável apenas ao ânion  
o potencial inverte de sinal



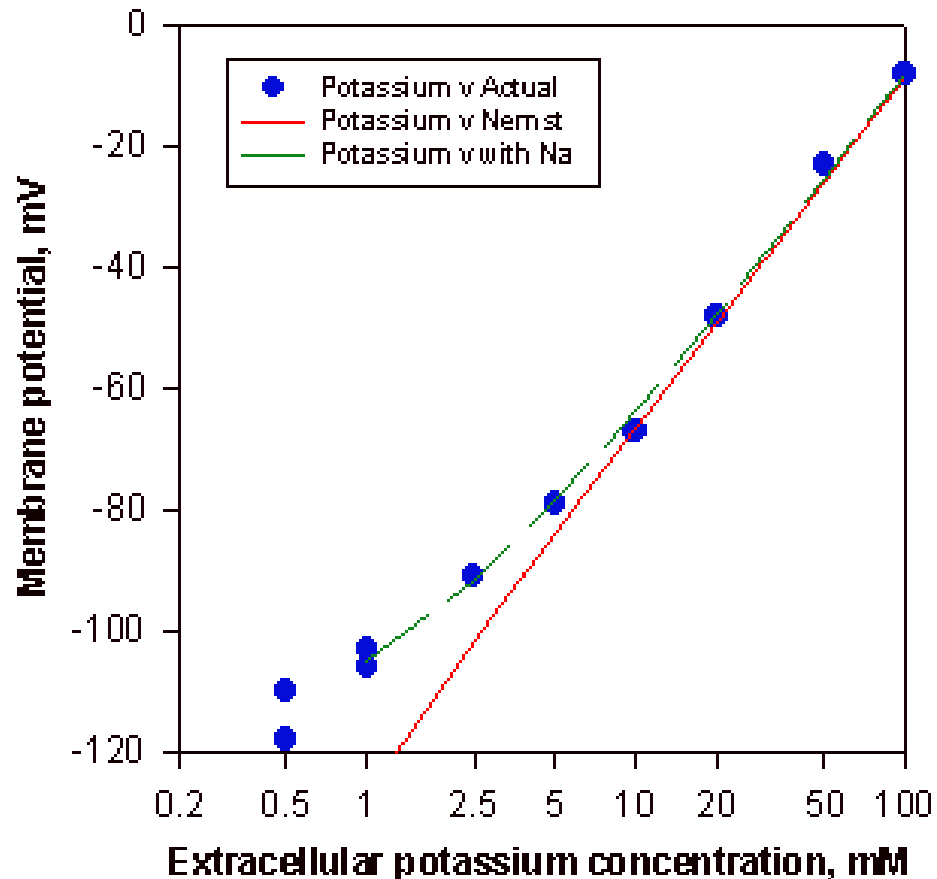


Se ambos os íons se difundem igualmente não é gerado o potencial de equilíbrio

Membrana permeável a cátions e ânions  
(ambos potenciais de equilíbrio se anulam)



# Um gráfico do potencial de membrana medido (ordenada) de músculo de rã, contra a concentração extracelular de potássio (abscissa, escala log)



A partir da equação anterior chegamos a **equação de Nernst**

$$E_i = \frac{-RT}{zF} \ln \frac{C_i}{C_o}$$

$E_i$  = potencial de equilíbrio

R = constante dos gases

T = temperatura em K

z = valência do íon

F = constante de Faraday

$C_i$  = concentração interna do íon

$C_o$  = concentração externa do íon

# Equação de Nernst

Substituindo as constantes  $RT/F$  e multiplicando pelo fator de conversão do logaritmo natural ( $\ln$ ) para logaritmo de base 10 ( $\log$ ), 2.303 temos então, para a temperatura de  $37^\circ\text{C}$ ,

$$E_i = \frac{-61\text{mV}}{z} \log \frac{C_i}{C_o}$$

## Potenciais de Nernst para os principais íons de importância fisiológica

íon	[íon] <sub>0</sub> (mM)	[íon] <sub>I</sub> (mM)	E <sub>i</sub> (mV)
Na <sup>+</sup>	145	15	+60
Cl <sup>-</sup>	100	5	-80
K <sup>+</sup>	4,5	150	-94
Ca <sup>++</sup>	1,8	0,0001	+130

$$E_{Na} = \frac{-61mV}{1} \log \frac{15}{145}$$

$$E_K = \frac{-61mV}{1} \log \frac{150}{4,5}$$

$$E_{Cl} = \frac{-61mV}{-1} \log \frac{5}{100}$$

$$E_{Ca} = \frac{-61mV}{2} \log \frac{0,0001}{1,8}$$



# Força eletromotriz (FEM)

$$FEM = E_m - E_{eq}$$

Para uma célula com  $E_m = -80 \text{ mV}$

$$FEM_{Na} = E_m - E_{Na} = -80 \text{ mV} - (+60 \text{ mV}) = -140 \text{ mV}$$

$$FEM_K = E_m - E_K = -80 \text{ mV} - (-94 \text{ mV}) = +14 \text{ mV}$$

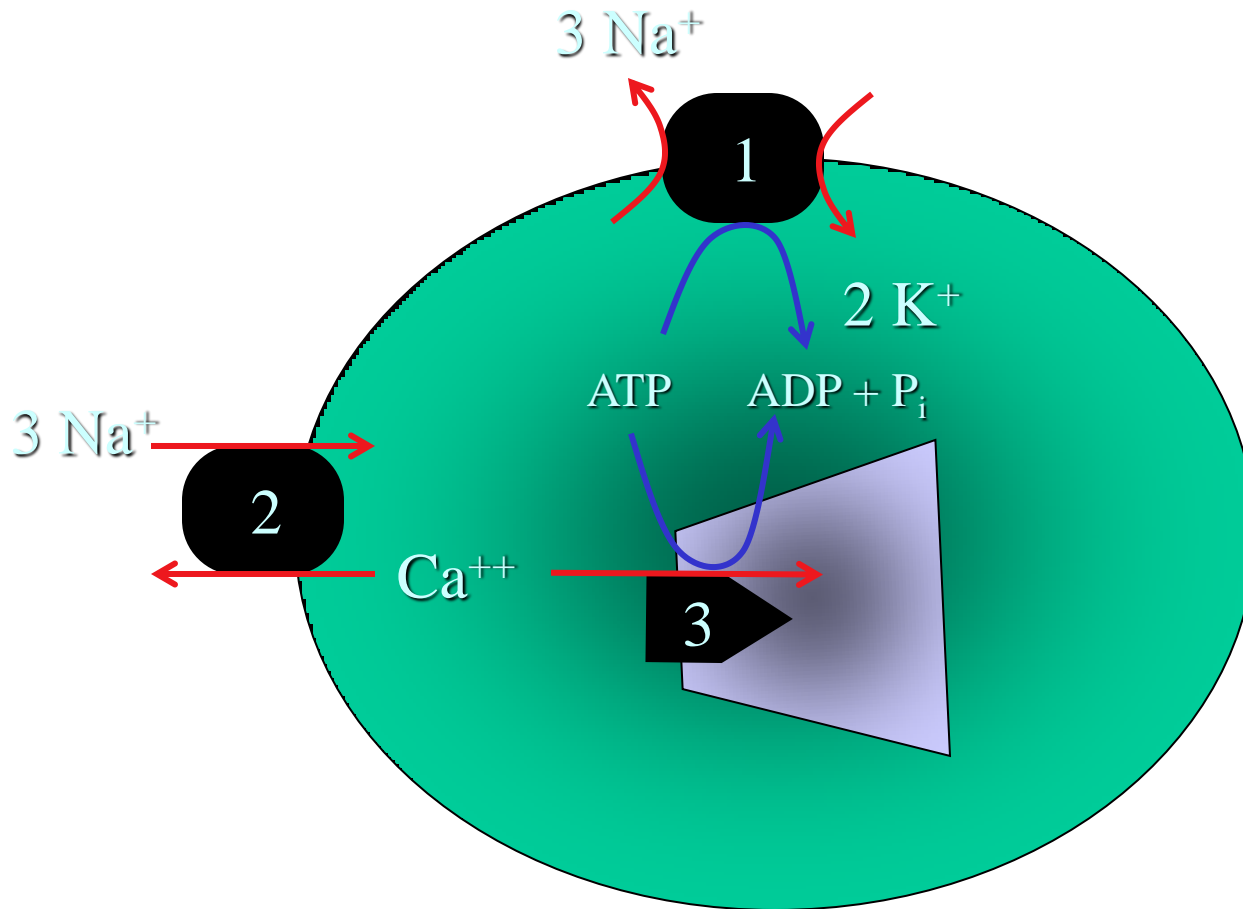
$$FEM_{Ca} = E_m - E_{Ca} = -80 \text{ mV} - (+129 \text{ mV}) = -209 \text{ mV}$$

$$FEM_{Cl} = E_m - E_{Cl} = -80 \text{ mV} - (-80 \text{ mV}) = 0 \text{ mV}$$

# Perguntas:

- Como é gerado o Potencial de Repouso?
- **Como é mantido o Potencial de Repouso?**

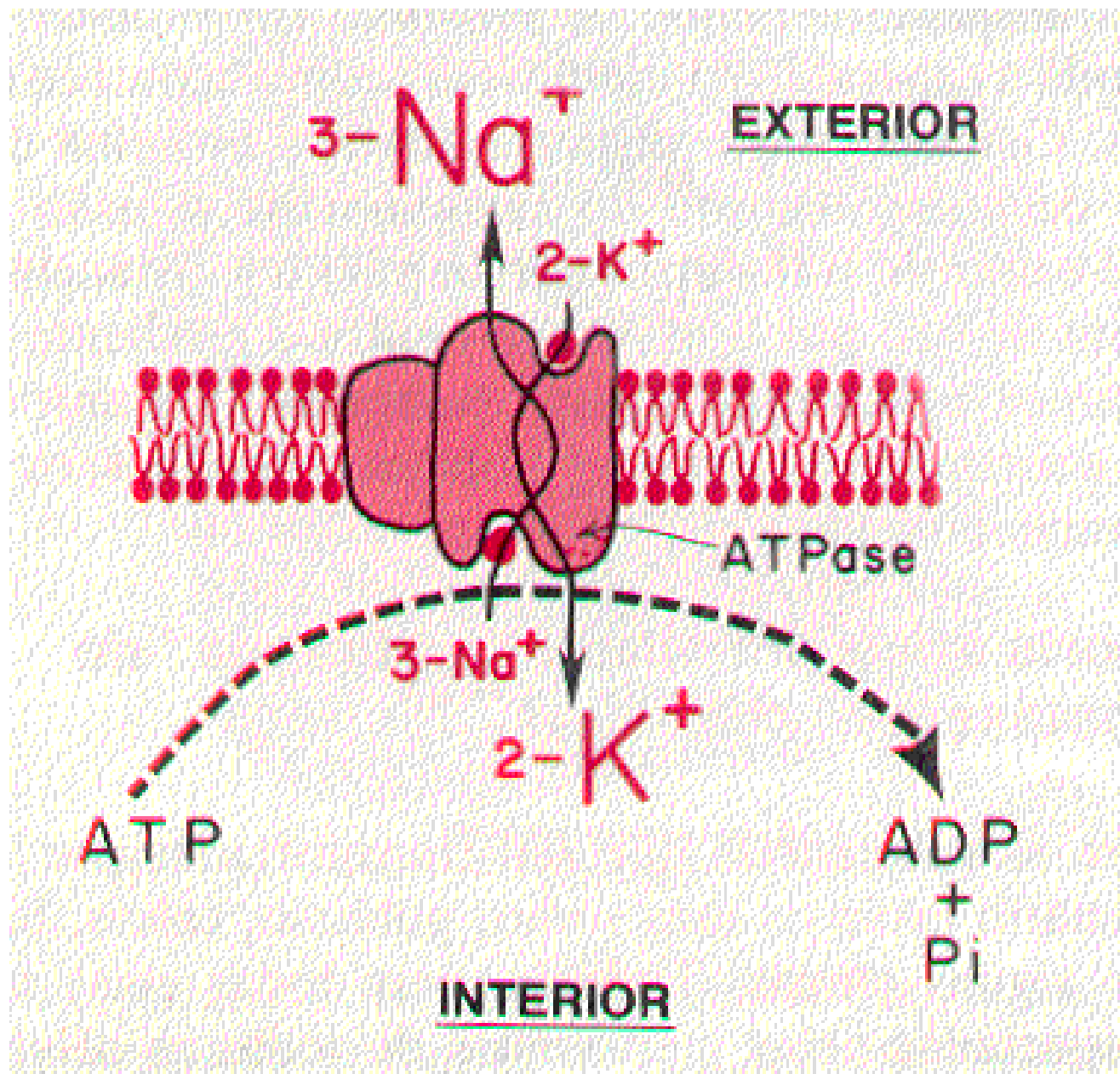
Os íons são segregados por transportadores presentes na membrana que realizam transporte ativo



1 - Na/K ATPase

2 – Trocador Na/Ca

3 – Ca-ATPase reticular



A Na/K ATPase é eletrogênica, porém sua contribuição direta para o potencial de repouso é pequena

- A inibição da Na/K ATPase por digitálicos cardíacos (ouabaína) despolariza a célula por poucos milivolts (2-16), em média.
  - Músculo esquelético: 6-8 mV.
  - Músculo cardíaco: 12-16 mV.



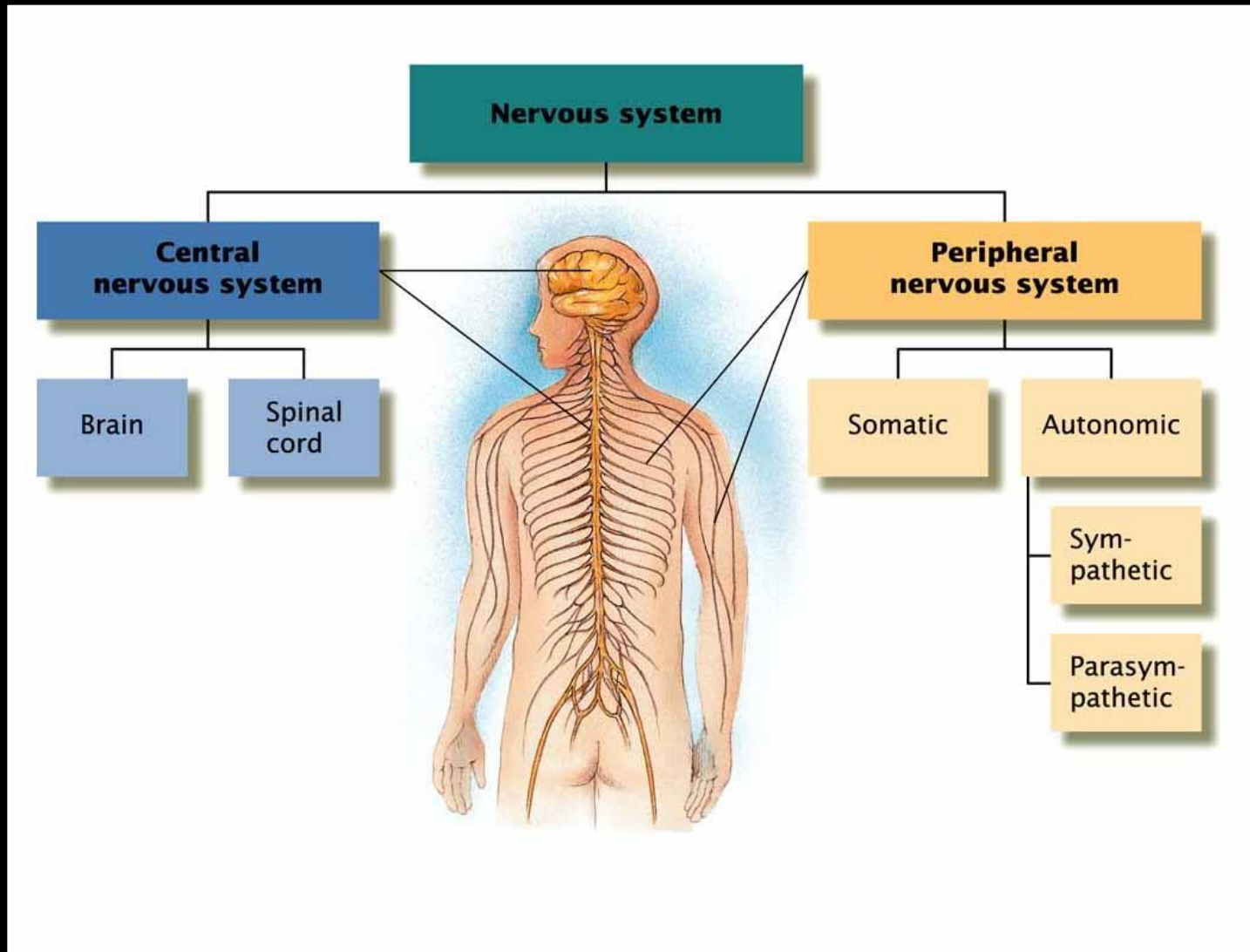
# Perguntas:

- Como é gerado o Potencial de Repouso?
- Como é mantido o Potencial de Repouso?
- **Como se altera o Pot. Membrana?**  
**Potencial de Ação?**

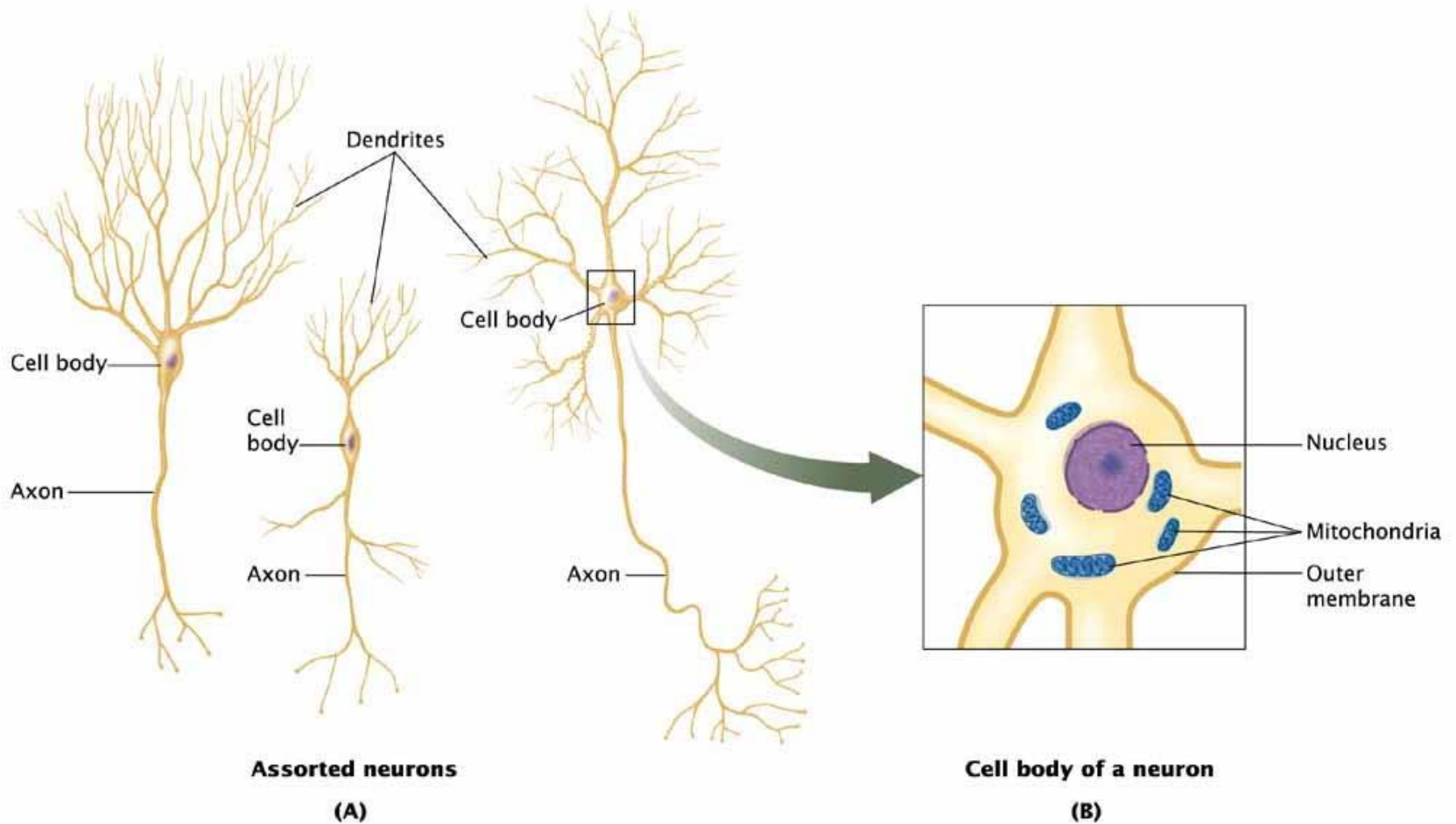
# Adaptação ao meio



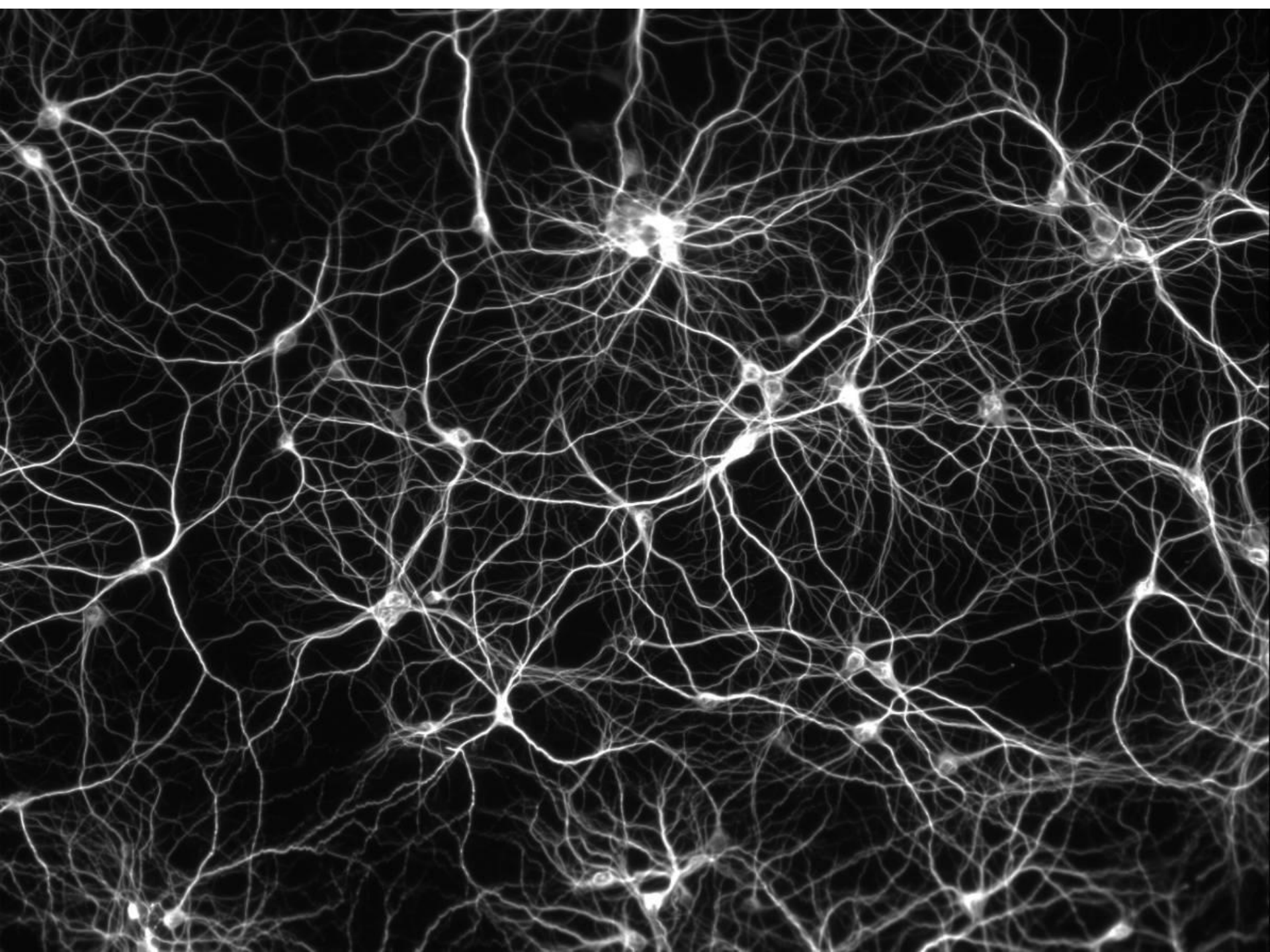
# Organização do Sistema Nervoso



# O Neurônio

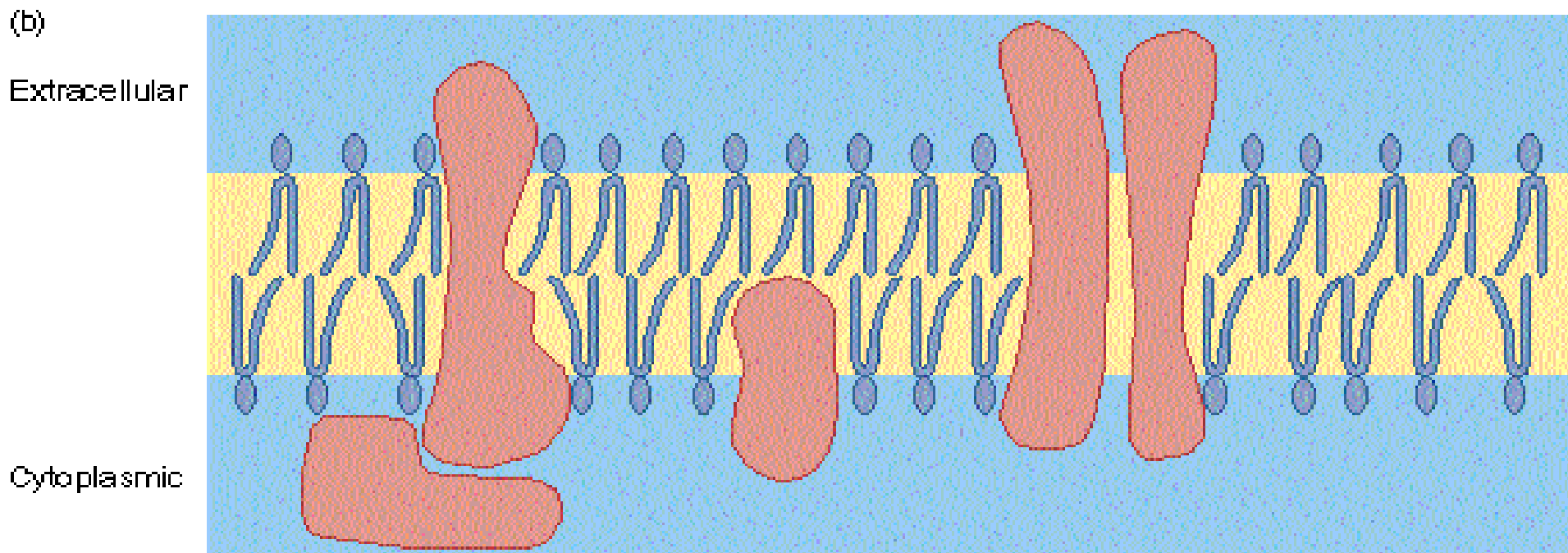
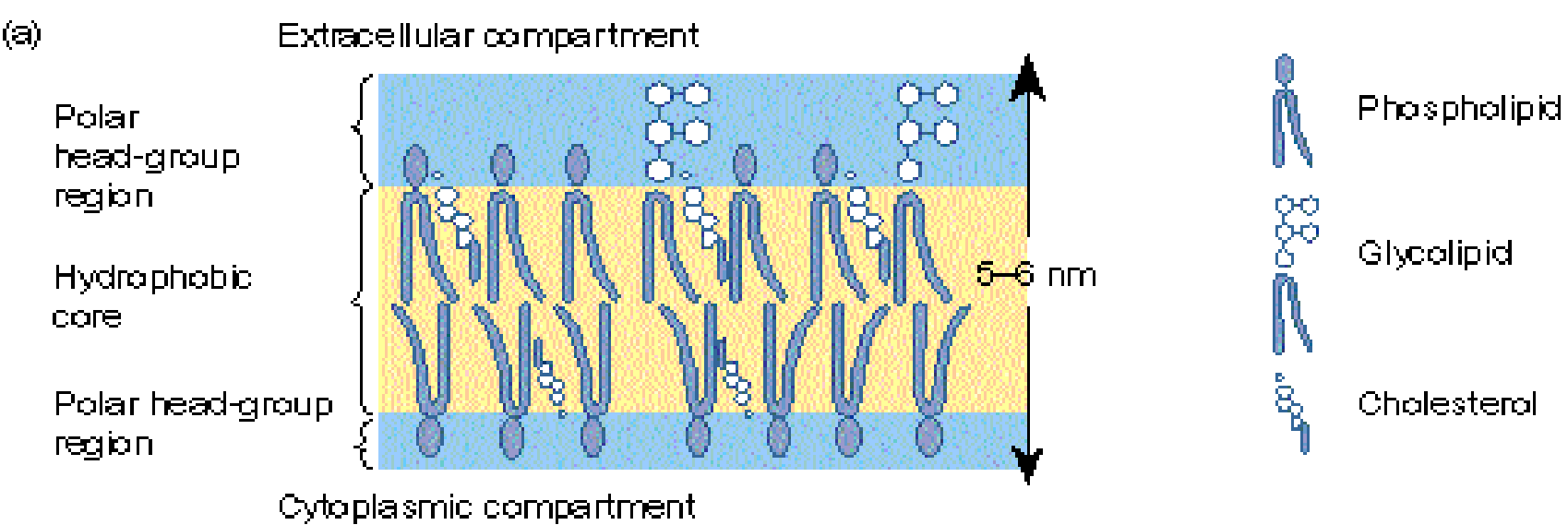






As concentrações iônicas são diferentes dentro e fora da célula

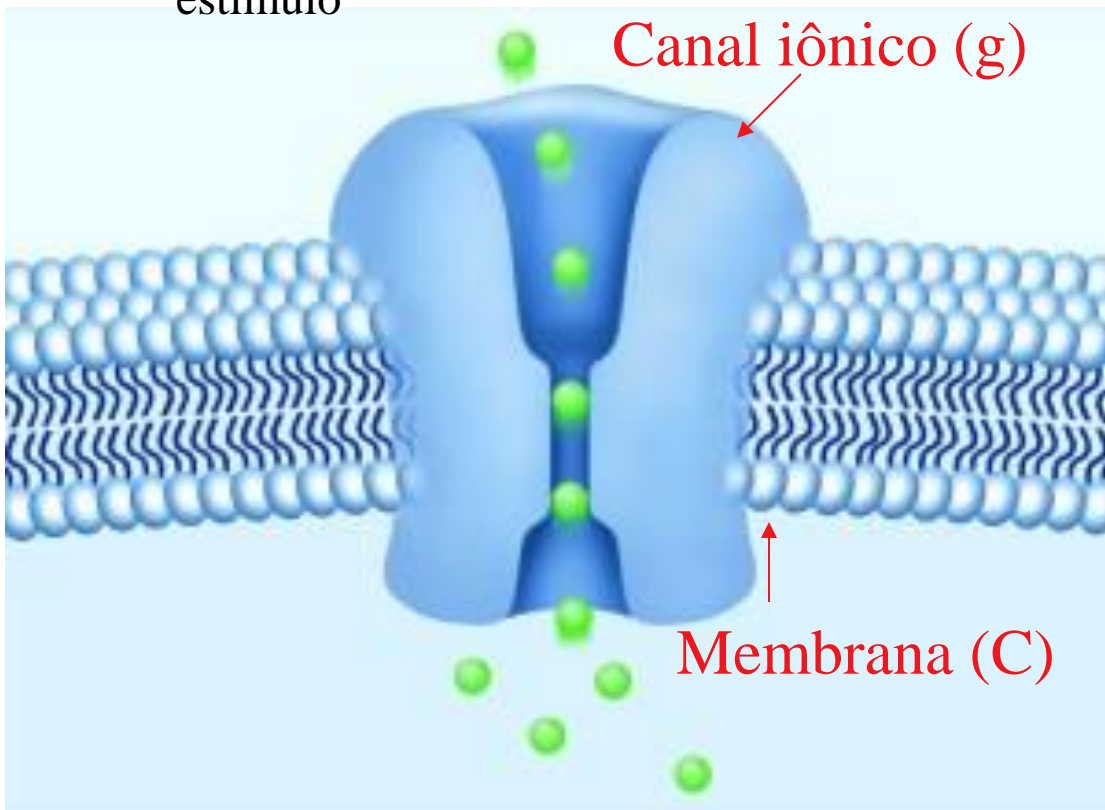
íon	$[\text{íon}]_0$ (mM)	$[\text{íon}]_I$ (mM)
$\text{Na}^+$	145	15
$\text{Cl}^-$	100	5
$\text{K}^+$	4,5	150
$\text{Ca}^{++}$	1,8	0,0001



# A membrana celular possui proteínas que formam canais que passam íons

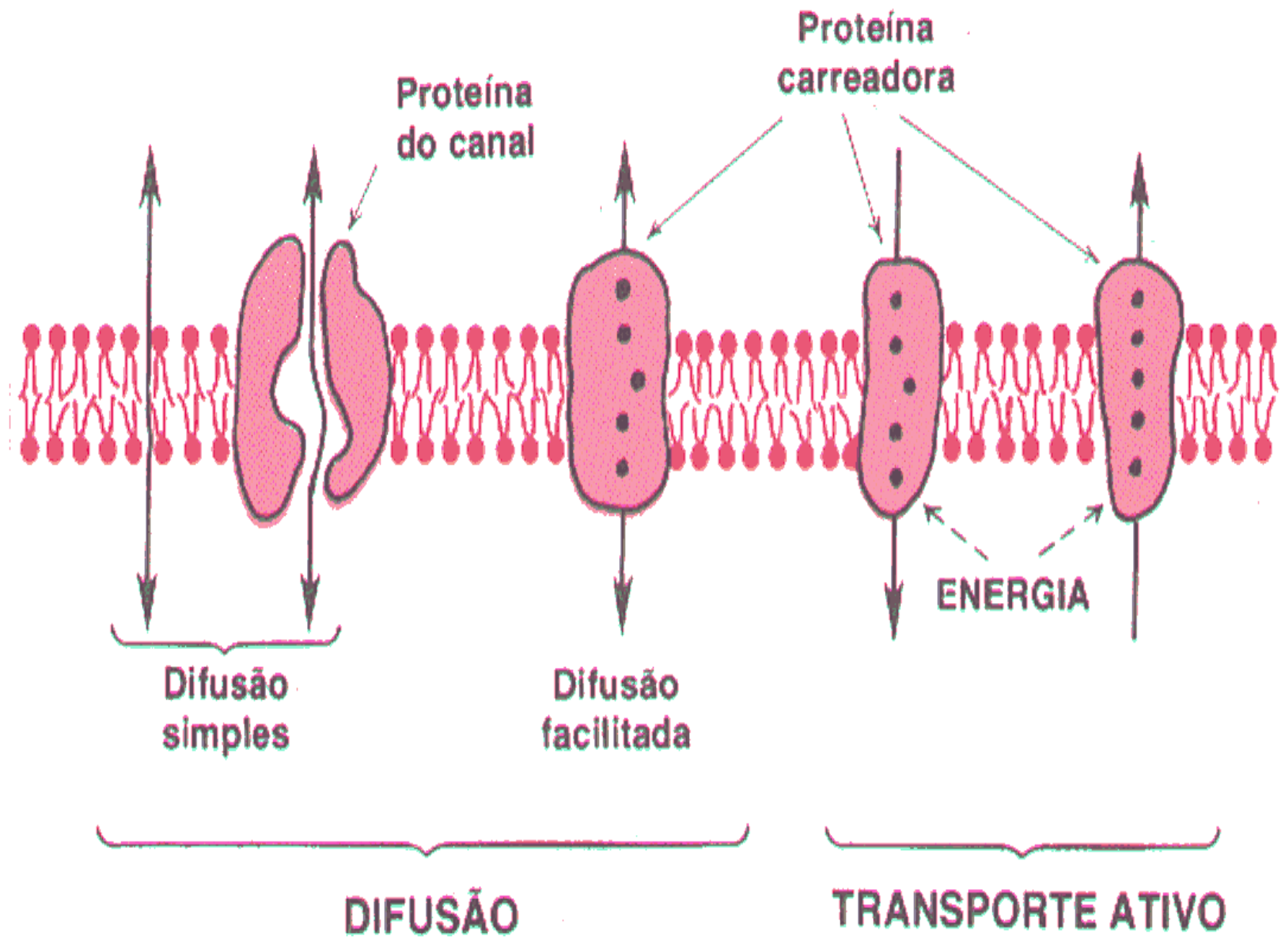
Canais podem ser seletivos para potássio, sódio, cálcio ou cloreto, ou para cátions ou ânions

Os canais podem estar sempre abertos ou abrirem em resposta a algum estímulo



Os canais Iônicos podem ser vistos como condutores (g) porque passam corrente elétrica na forma de íons!





# Células excitáveis

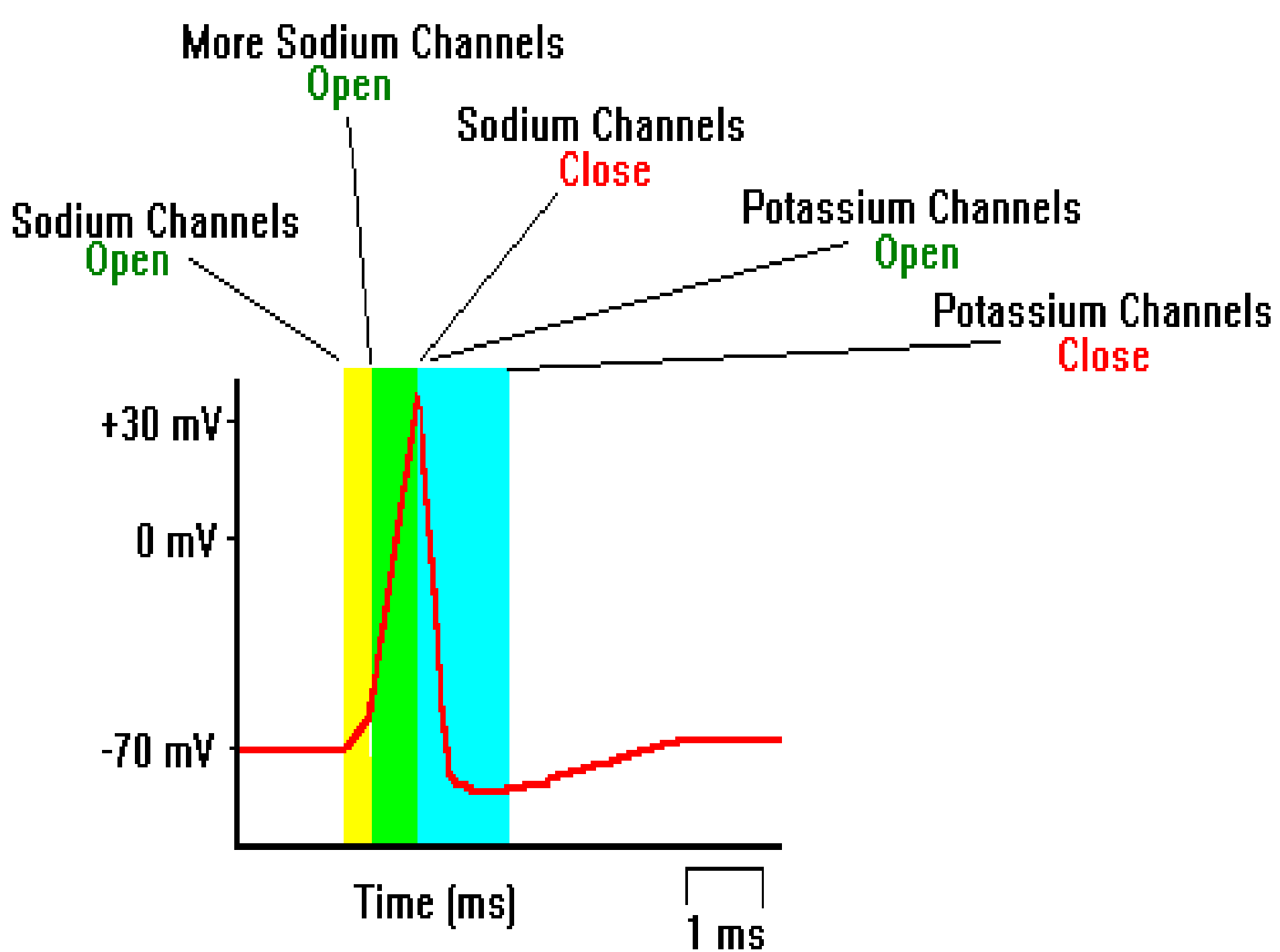
- Células excitáveis são capazes de alterar o potencial da membrana
- Os principais tipos de células excitáveis são **neurônios e fibras musculares.**

# Como alterar o potencial da membrana?

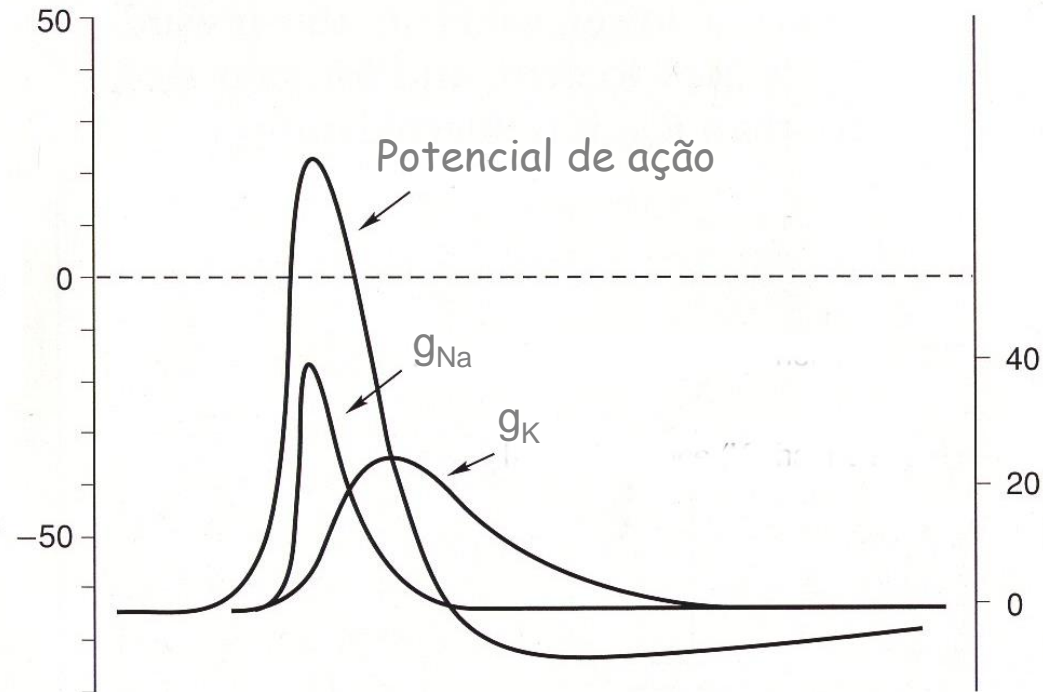
$$E_m = \frac{g_k}{g_k + g_{Na}} E_k + \frac{g_{Na}}{g_k + g_{Na}} E_{Na}$$

↓  
 $g_K$

↑  
 $g_{Na}$

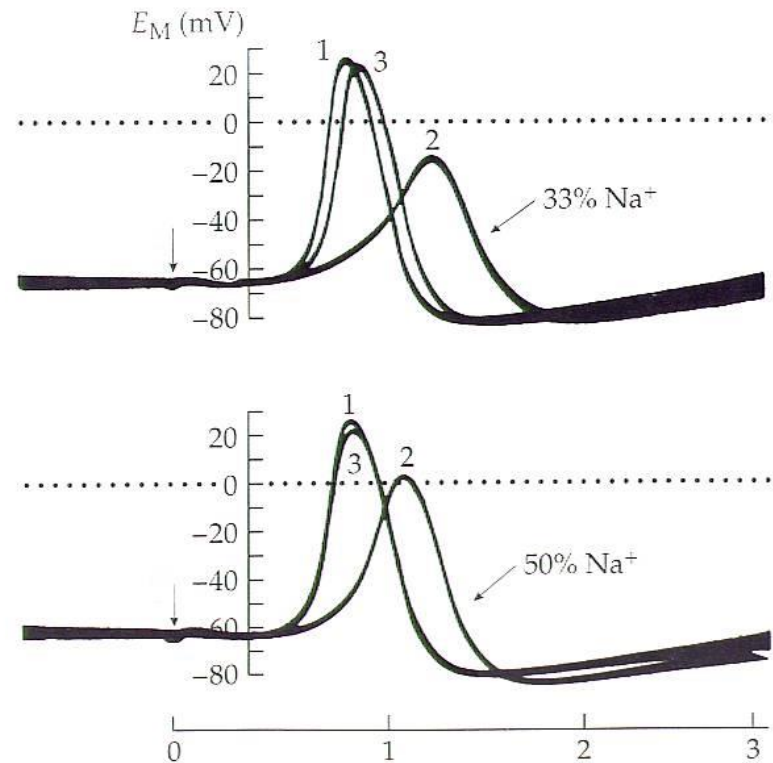
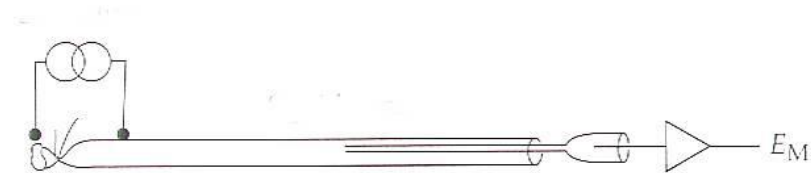


# O potencial de ação e composto de duas condutâncias sódio e potássio

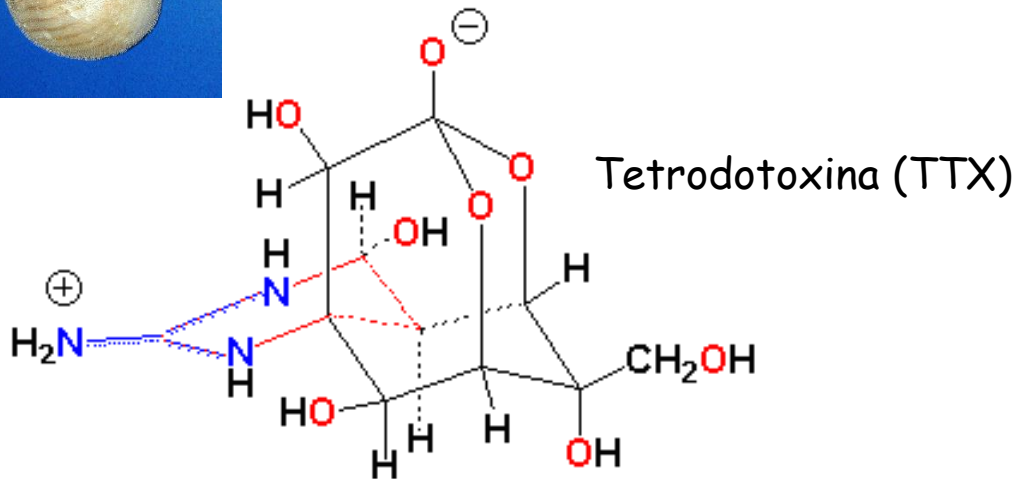
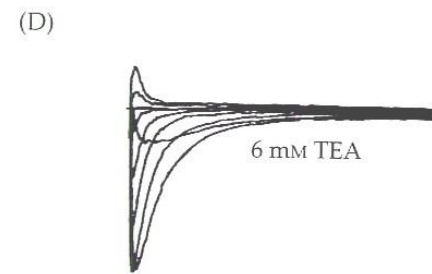
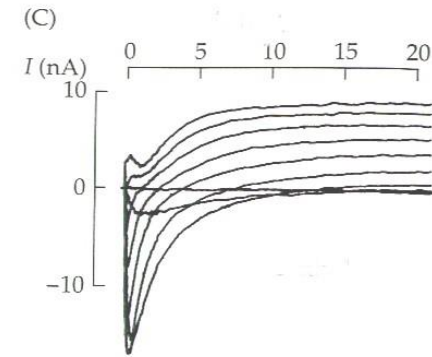
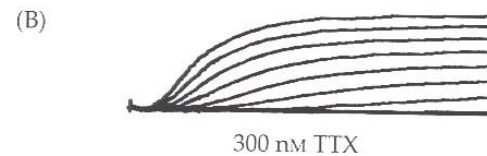
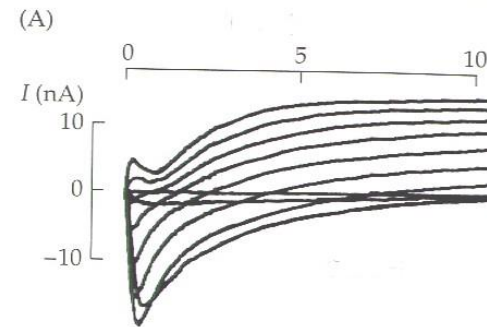


A condutância ao potássio ajuda na repolarização do potencial de ação

# Dependência do potencial de ação ao sódio



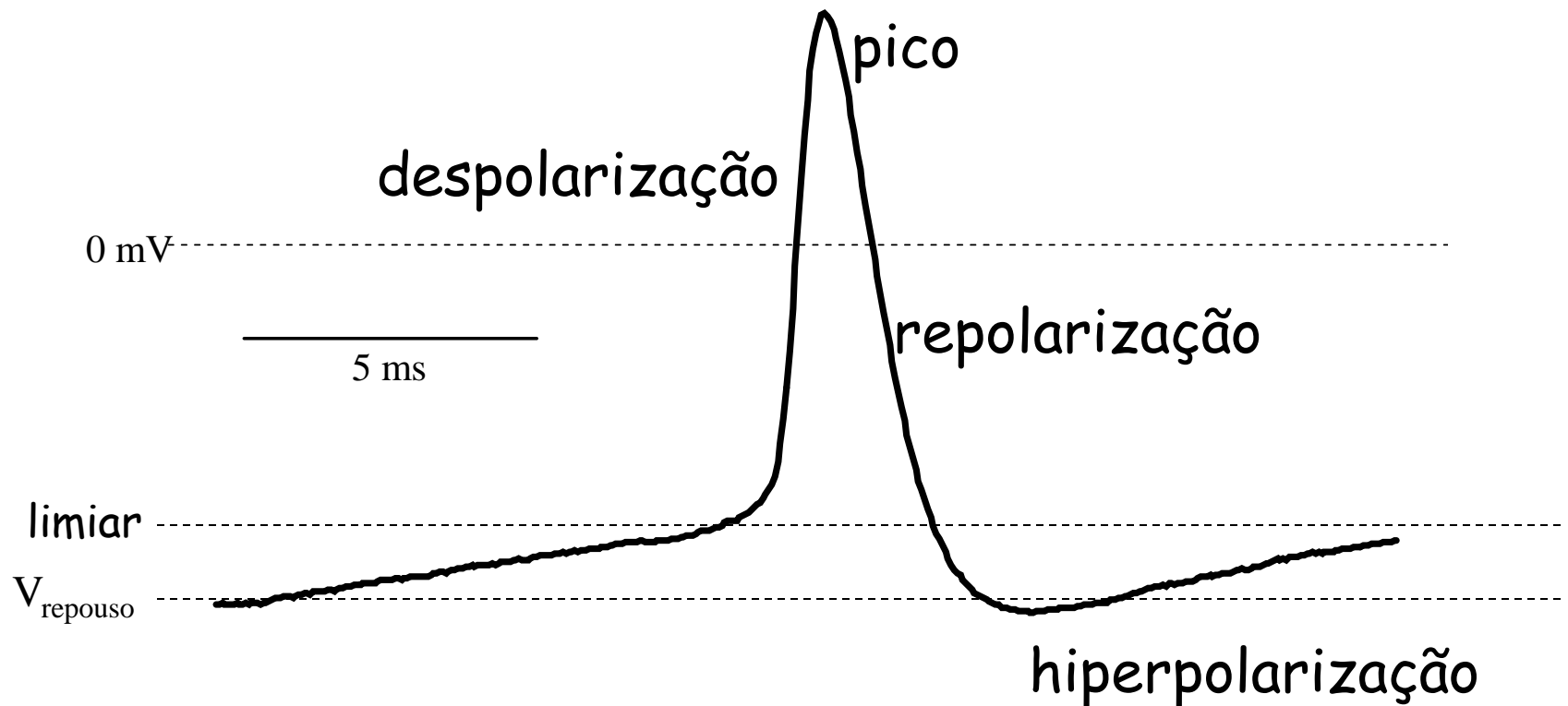
# As correntes de sódio e potássio podem ser isoladas farmacologicamente



A membrana das células excitáveis responde ativamente a estímulos.

A resposta mais típica é o **potencial de ação**.

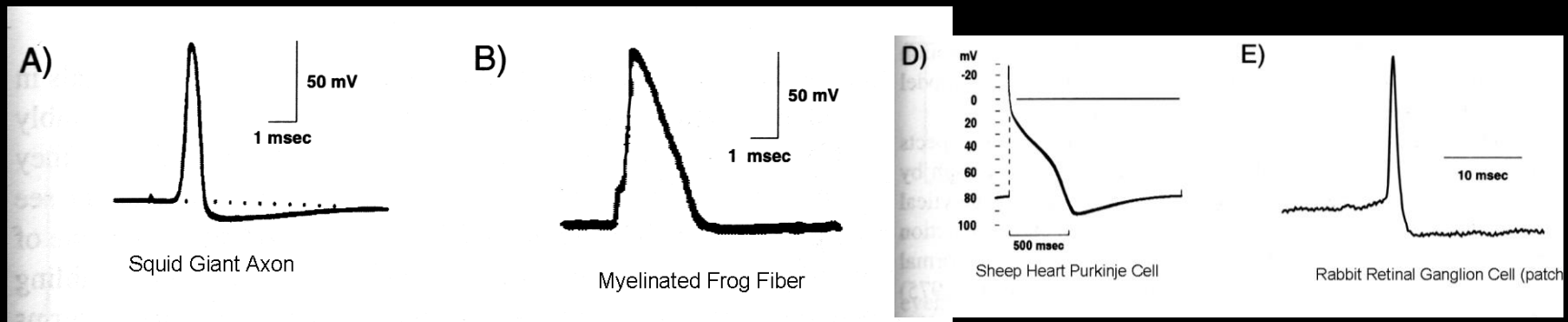
- Súbita e rápida despolarização "tudo-ou-nada" da membrana, que viaja ao longo da célula



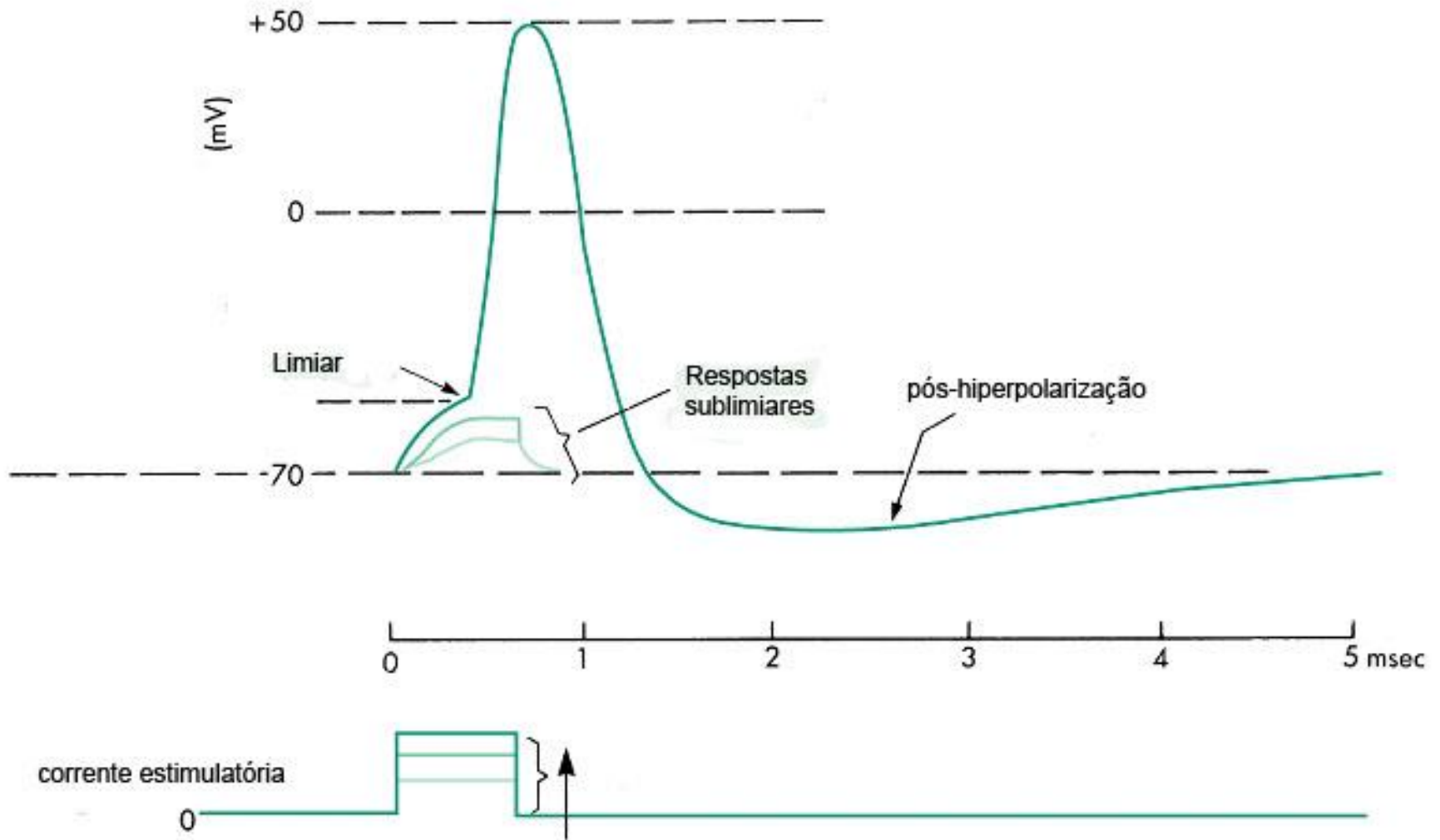


# Para que serve o potencial de ação?

- Estimular a contração muscular
- Estimular a liberação de neurotransmissores
- Estimular a secreção de outras substâncias por células neurais e neuroendócrinas



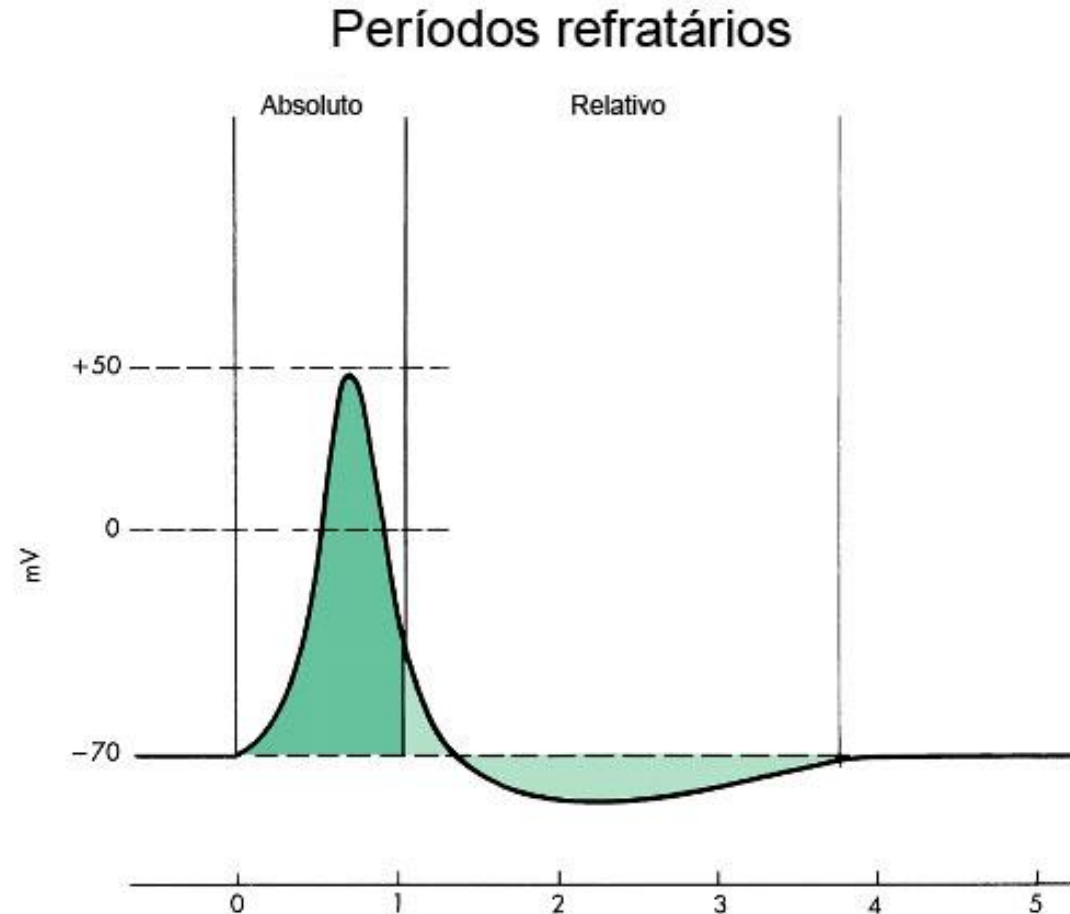
# O potencial de ação possui um limiar de disparo



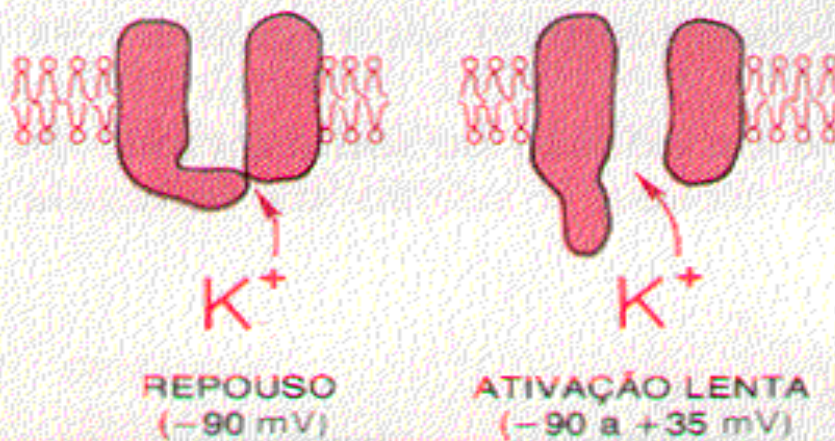
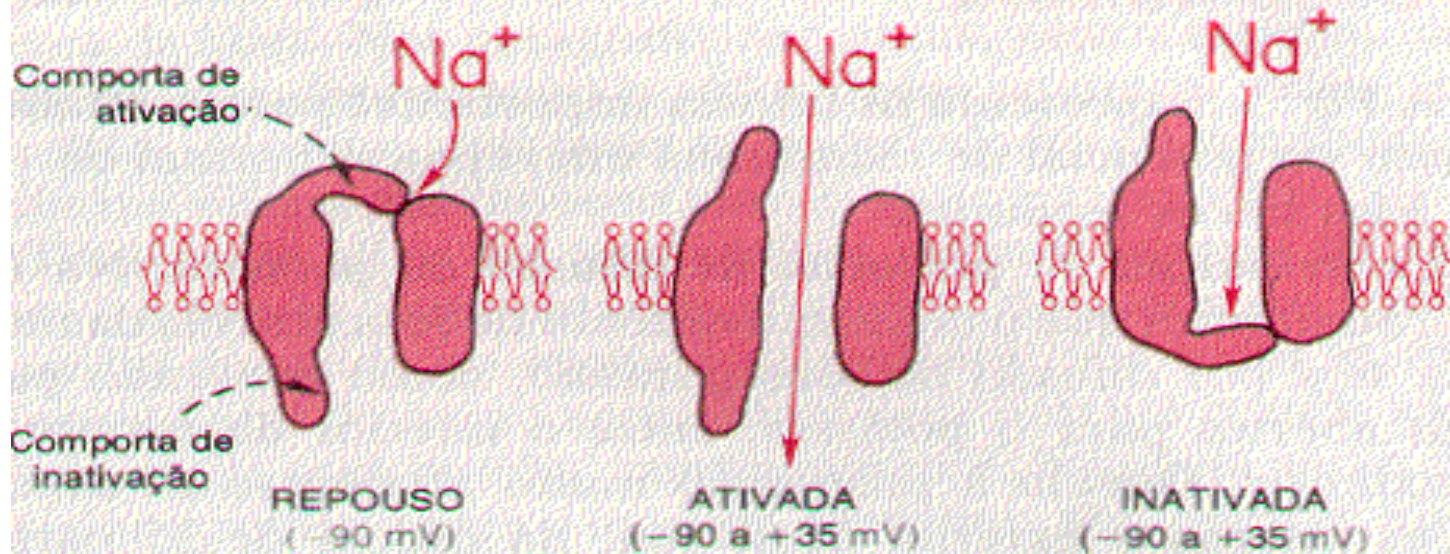
# O período refratário impede que o nervo entre em curto circuito após o potencial da ação.

Após o disparo de um potencial de ação, a célula necessita de um tempo antes de disparar um próximo PA. Esse tempo chama-se **período refratário**

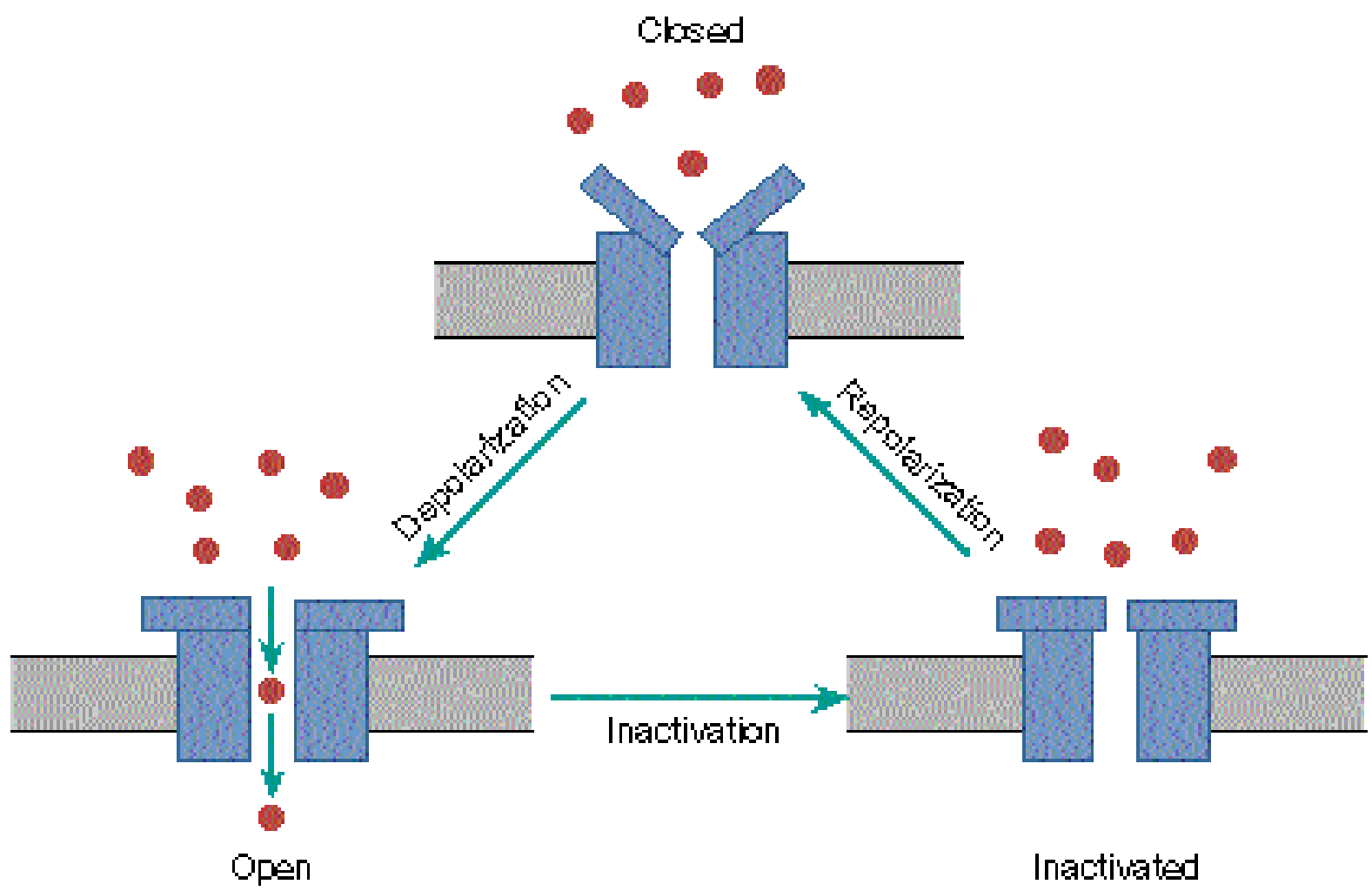
- O Período refratário **ABSOLUTO** **não** depende da intensidade do estímulo
- O período refratário **RELATIVO** **depende** da intensidade do estímulo



EXTERIOR

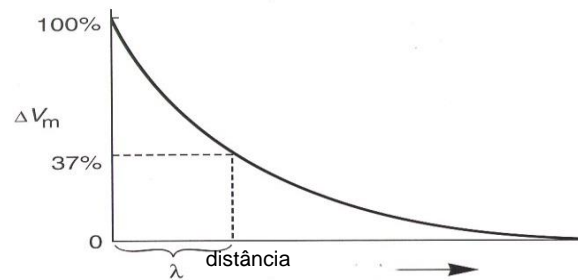
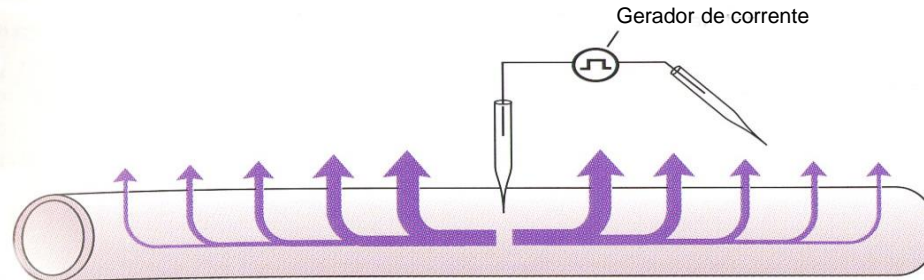


INTERIOR





A transmissão passiva das diferenças de voltagem ao longo da membrana é chamada de condução eletrotônica



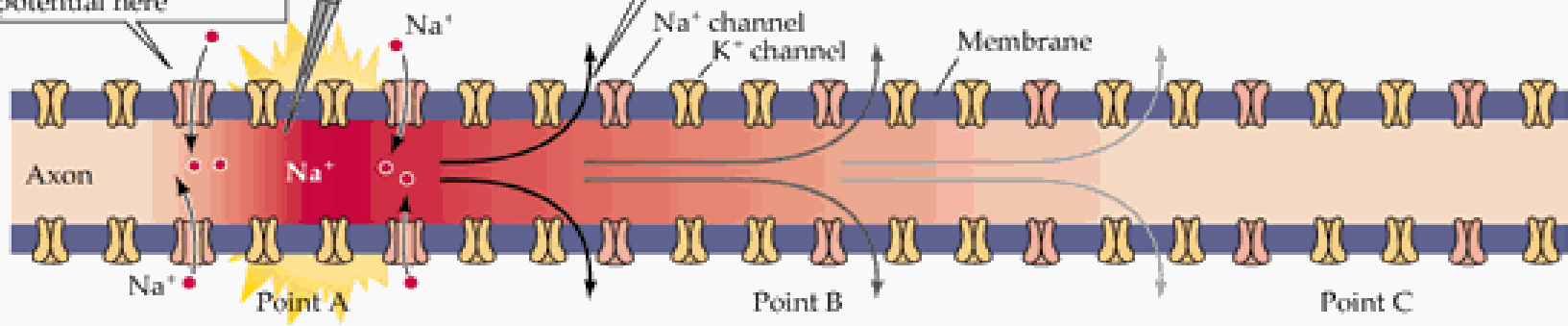
$\lambda$  = constante de espaço da membrana (1-3 mm)

**1** Na<sup>+</sup> channels locally open in response to stimulus, generating an action potential here

Stimulate

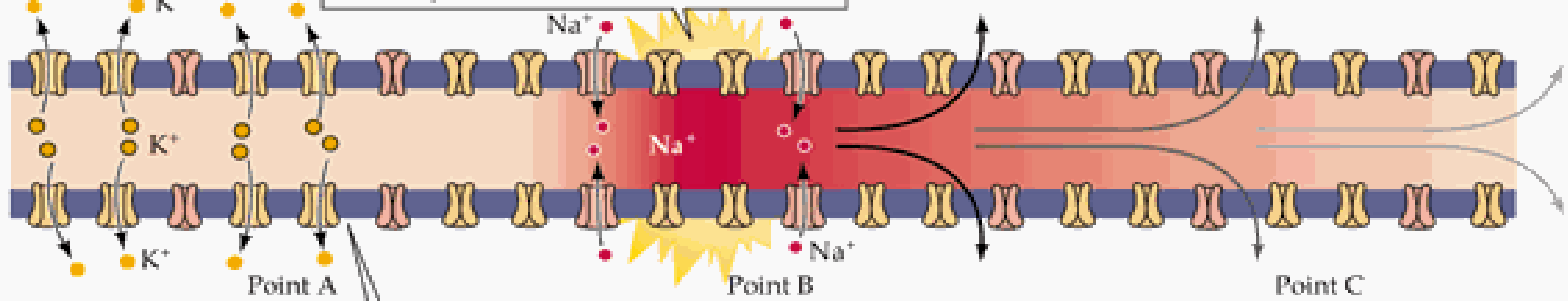
**2** Some depolarizing current passively flows down axon

t = 1

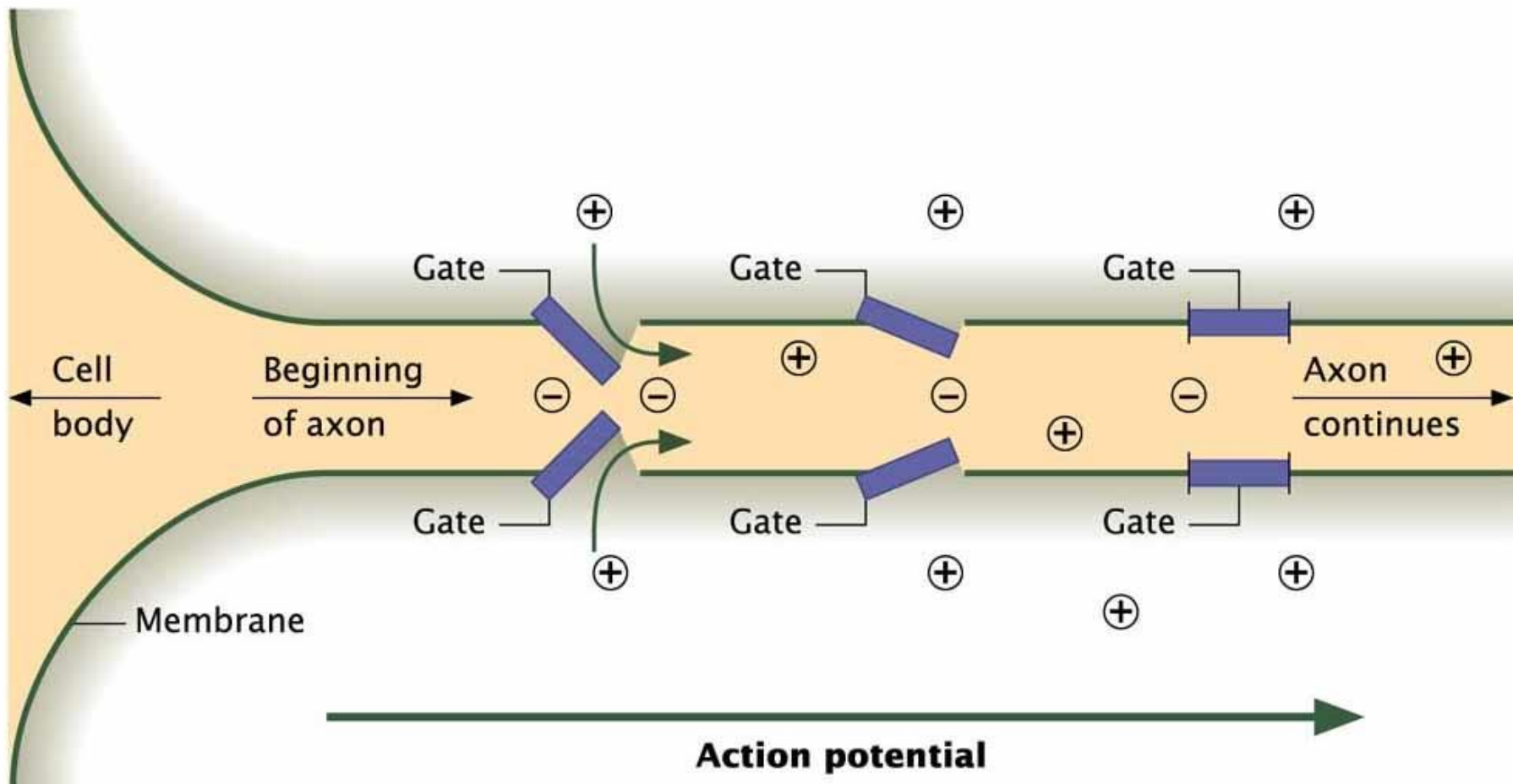


**3** Local depolarization causes neighboring Na<sup>+</sup> channels to open and generates an action potential here

t = 2

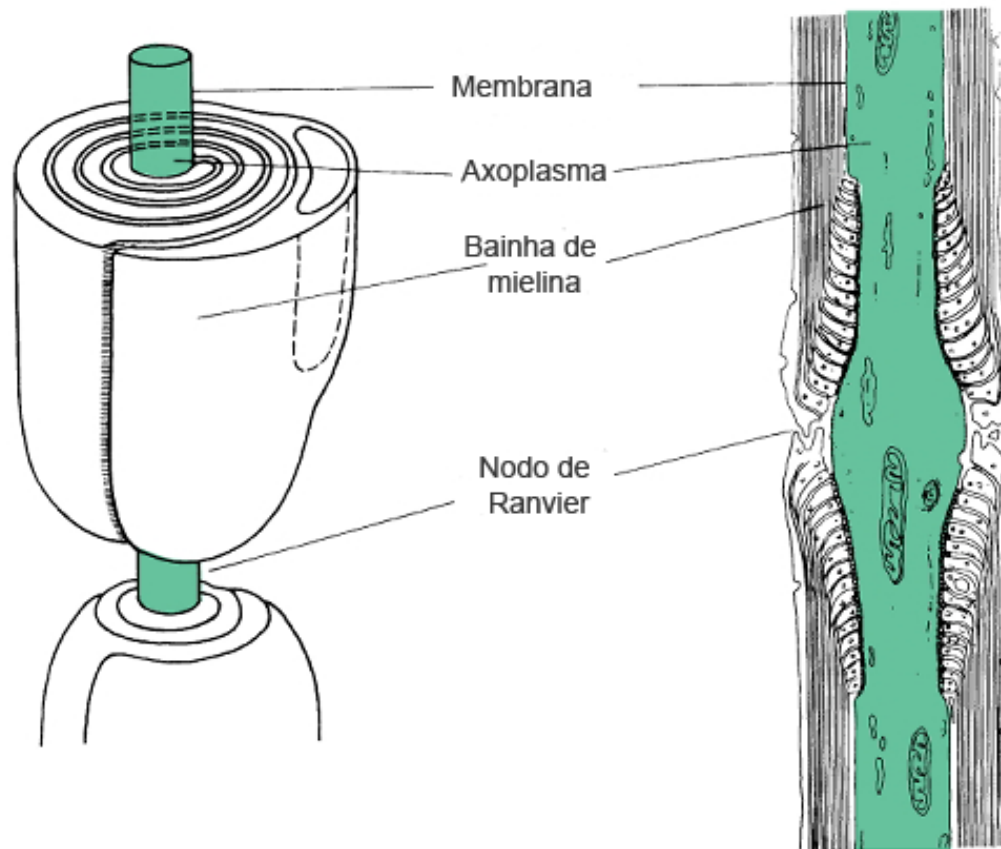


**4** Upstream Na<sup>+</sup> channels inactivate, while K<sup>+</sup> channels open. Membrane potential repolarizes and axon is refractory here

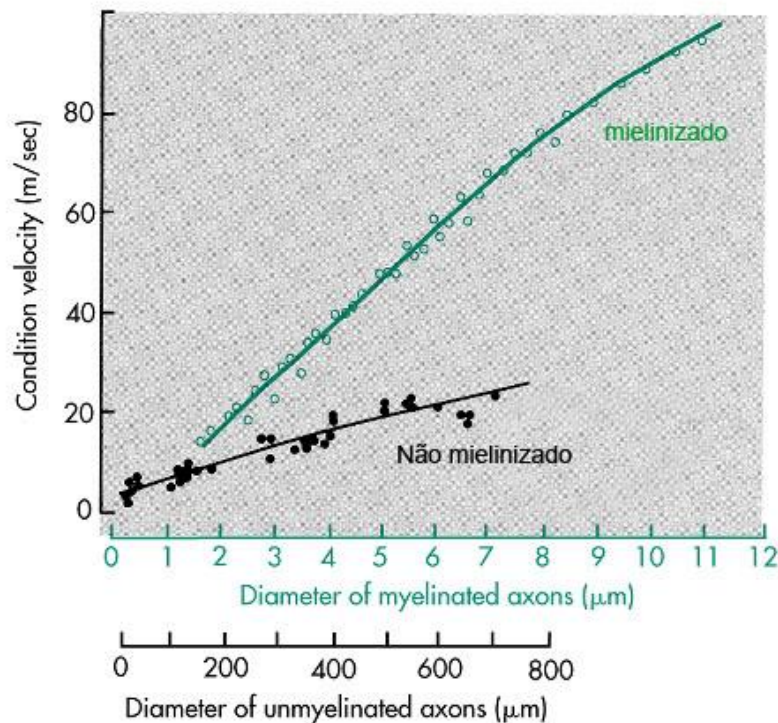




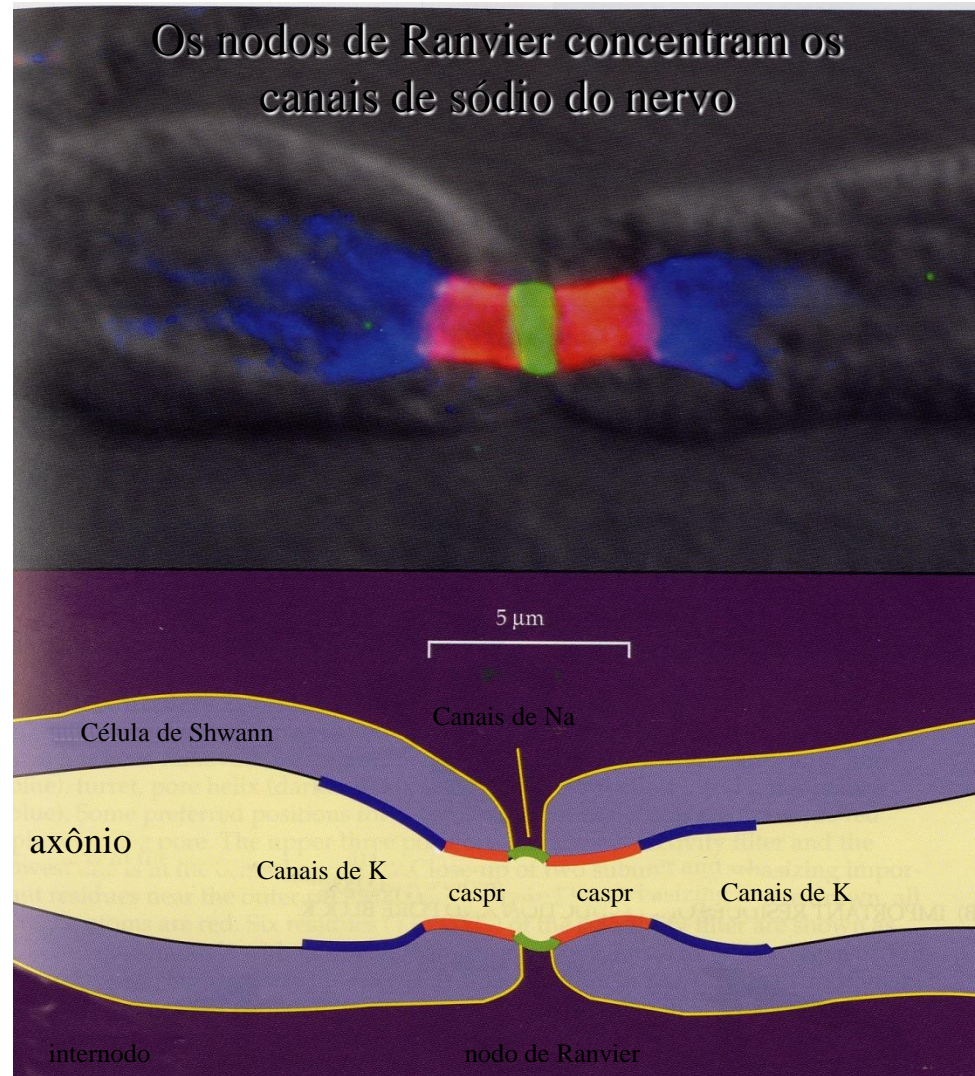
# A bainha de mielina aumenta a velocidade de propagação do potencial de ação



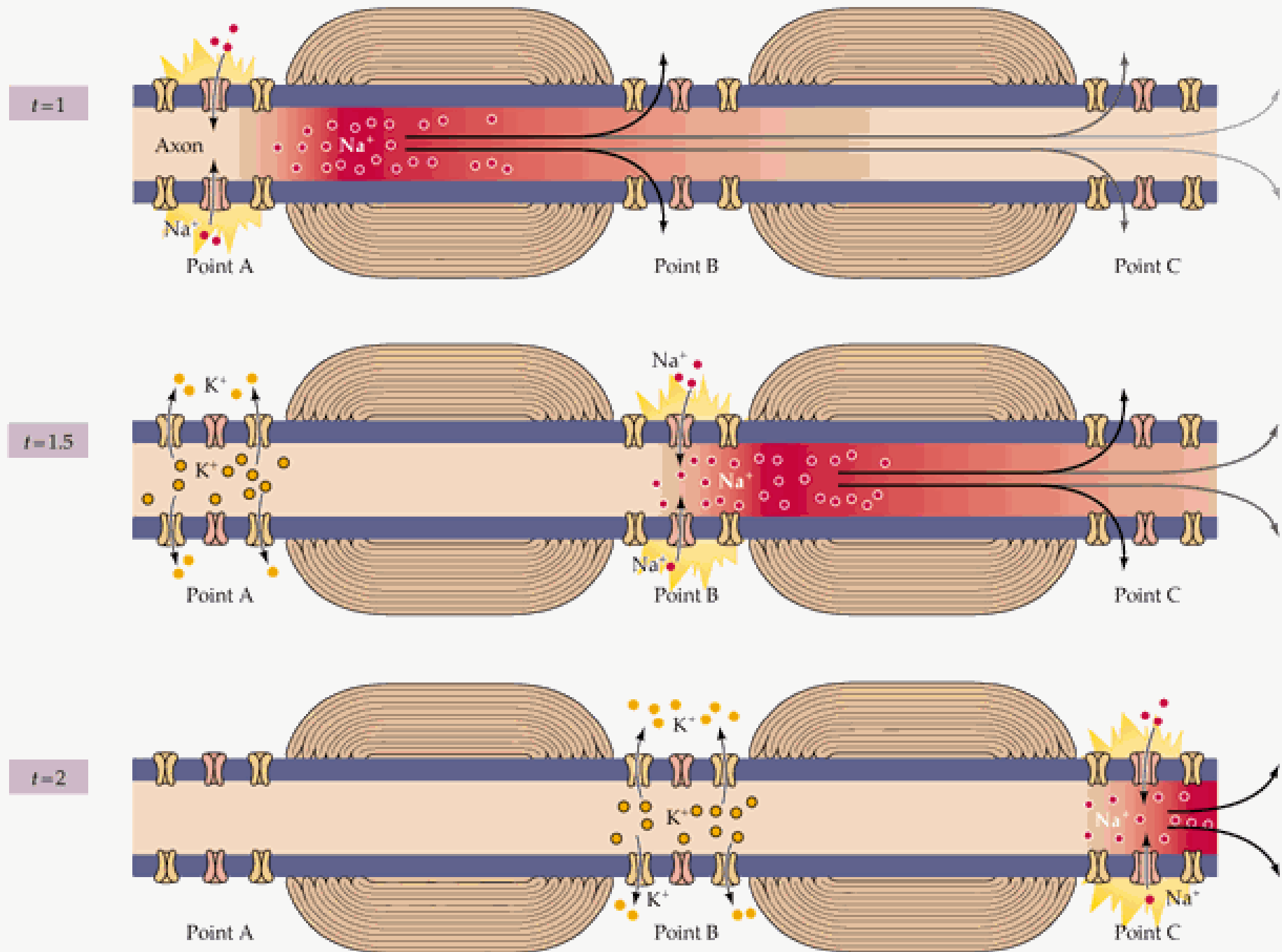
# A bainha de mielina aumenta a velocidade de propagação do potencial de ação

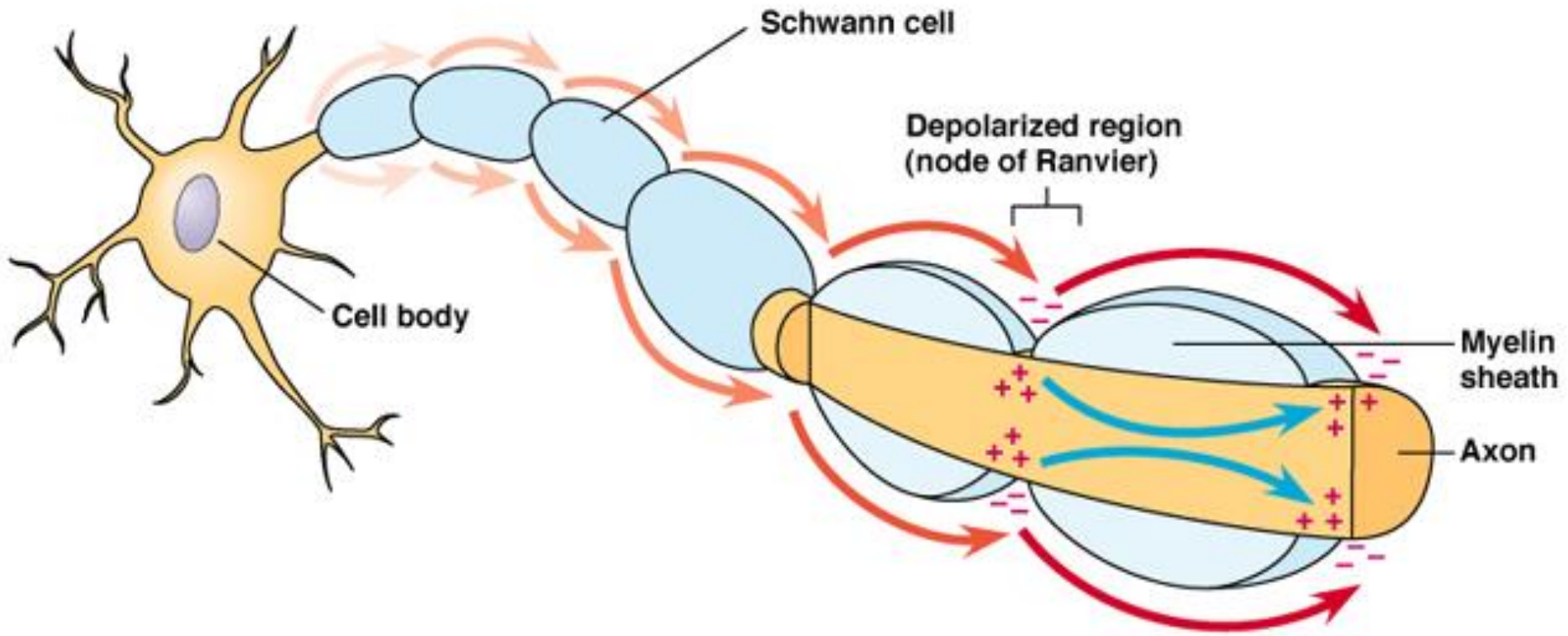


Copyright © 2004, Elsevier, Inc. All rights reserved.



(B) Action potential propagation





# Classificação das fibras nervosas (Lloyd/Hunt)

Grupos	Função	Diâmetro	Velocidade
I	Aferências 1 <sup>arias</sup> do fuso muscular	13 $\mu\text{m}$	75 m/s
II	Mecanoreceptores da pele	9 $\mu\text{m}$	55 m/s
III	Sensibilidade profunda a pressão do músculo	3 $\mu\text{m}$	11 m/s
IV	Fibras dolorosas amielinizadas	0.5 $\mu\text{m}$	1 m/s



# Nervous system

## Central nervous system

Brain

Spinal cord

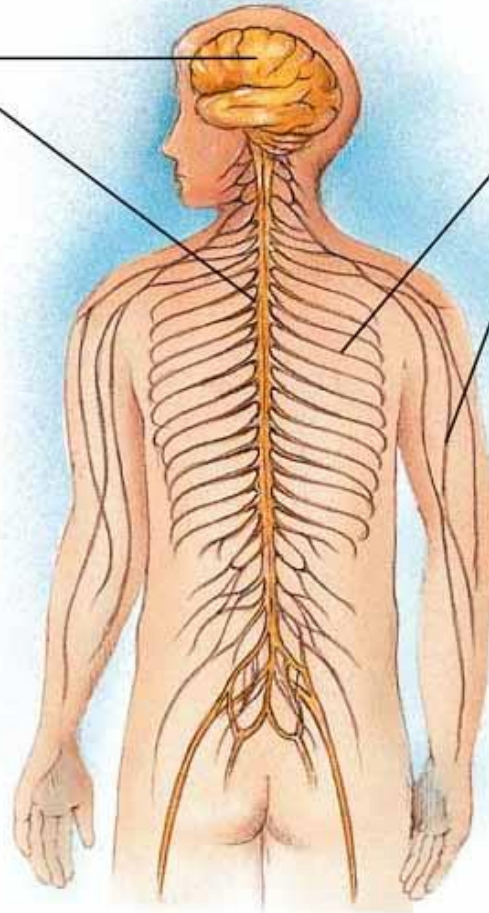
## Peripheral nervous system

Somatic

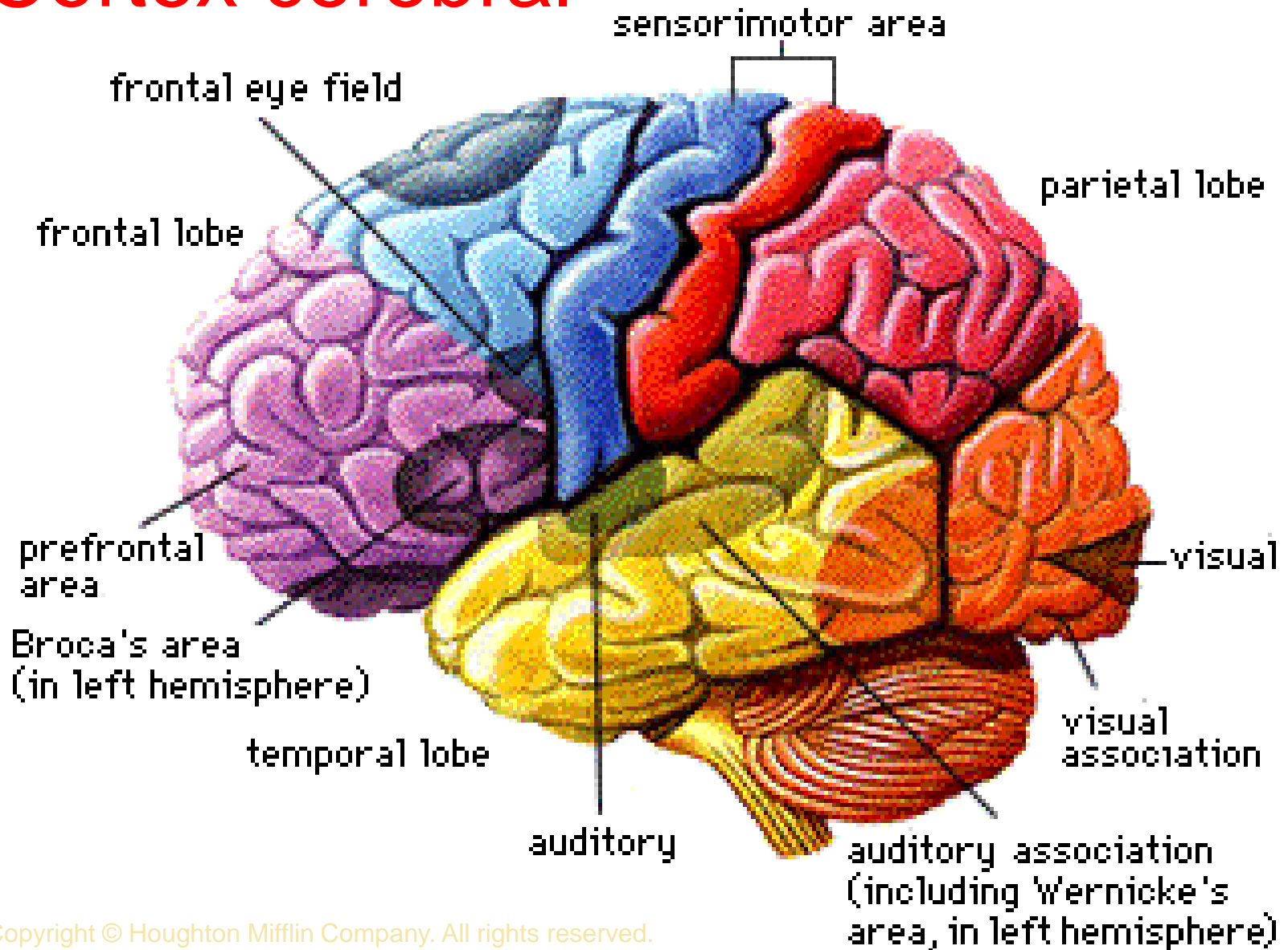
Autonomic

Sym-  
pathetic

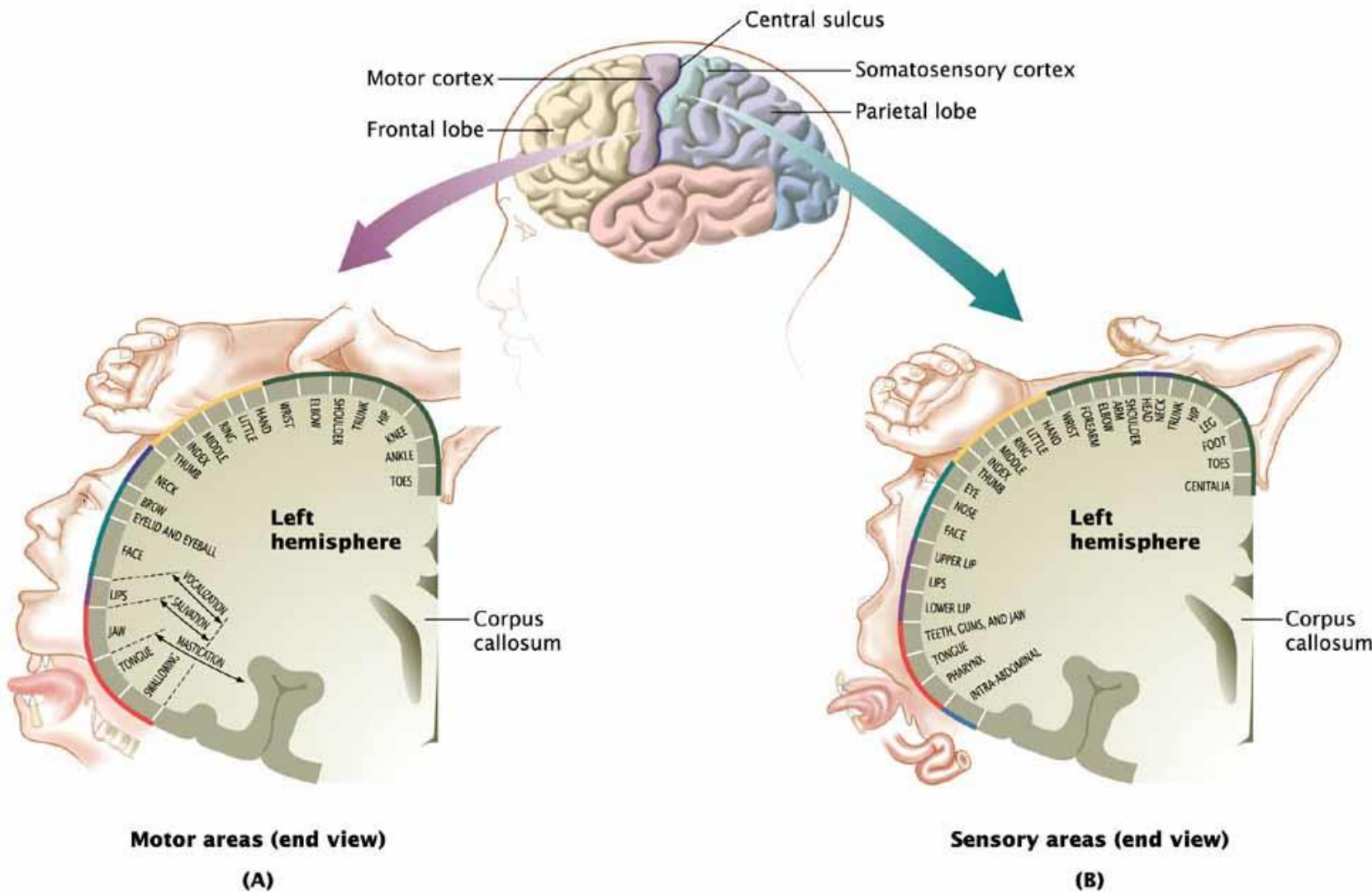
Parasym-  
pathetic



# Cortex cerebral

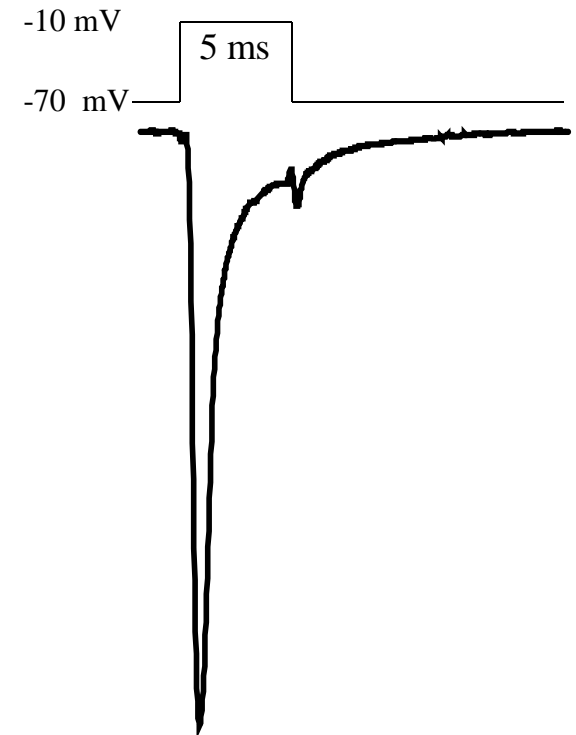
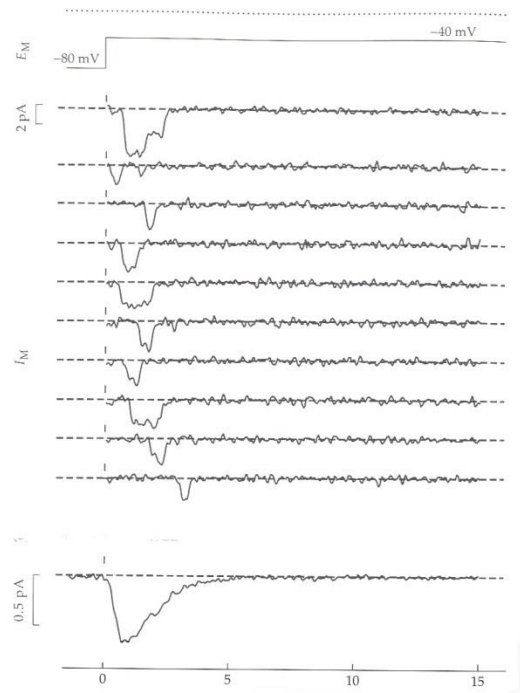


# Cortex Motor e Somatosensorial

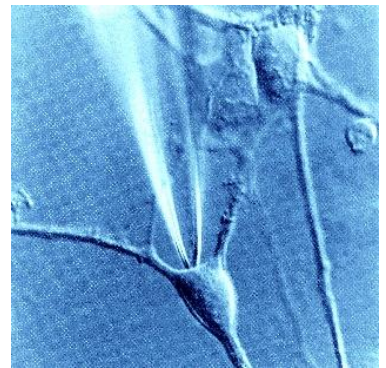
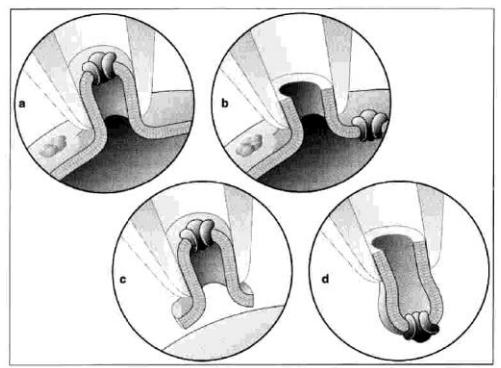




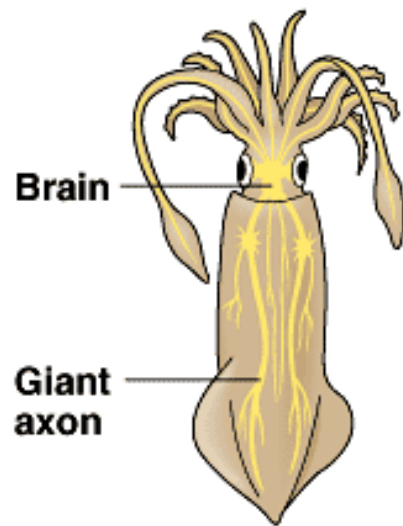
# O Potencial de ação se origina com a abertura dos canais de sódio dependentes de voltagem



Corrente de sódio



# Hodkings & Kats (1949)



Brain

Giant axon

(g) Squid (mollusk)



# Web

<http://bcs.whfreeman.com/thelifewire/content/chp44/4401s.swf>

<http://www.youtube.com/watch?v=iA-Gdkje6pg>

*Obrigada!*