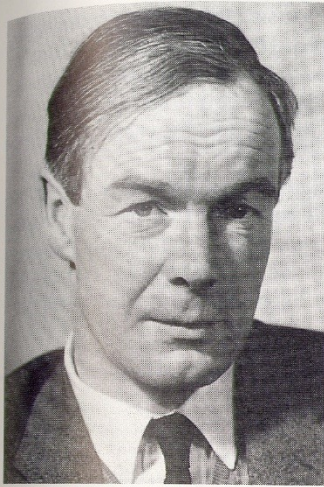
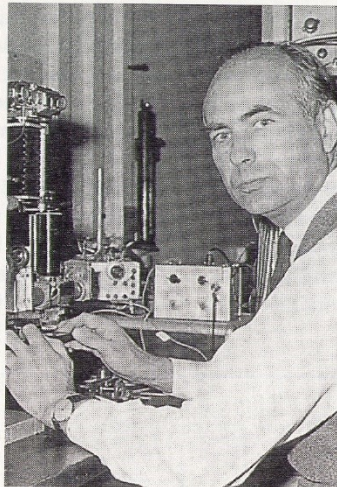


# Excitabilidade elétrica



*A.L. Hodgkin*



*A.F. Huxley*



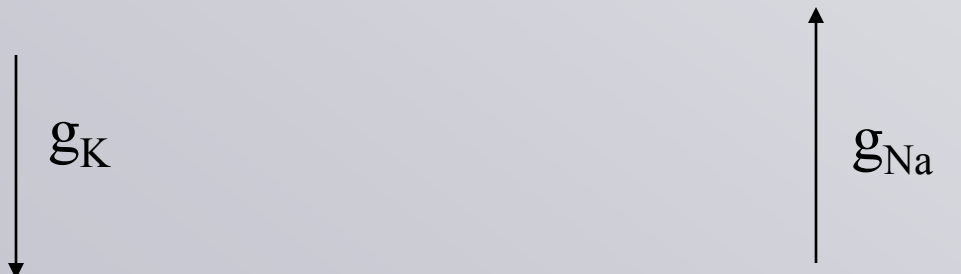
*B. Katz*



# O que é uma **célula excitável**?

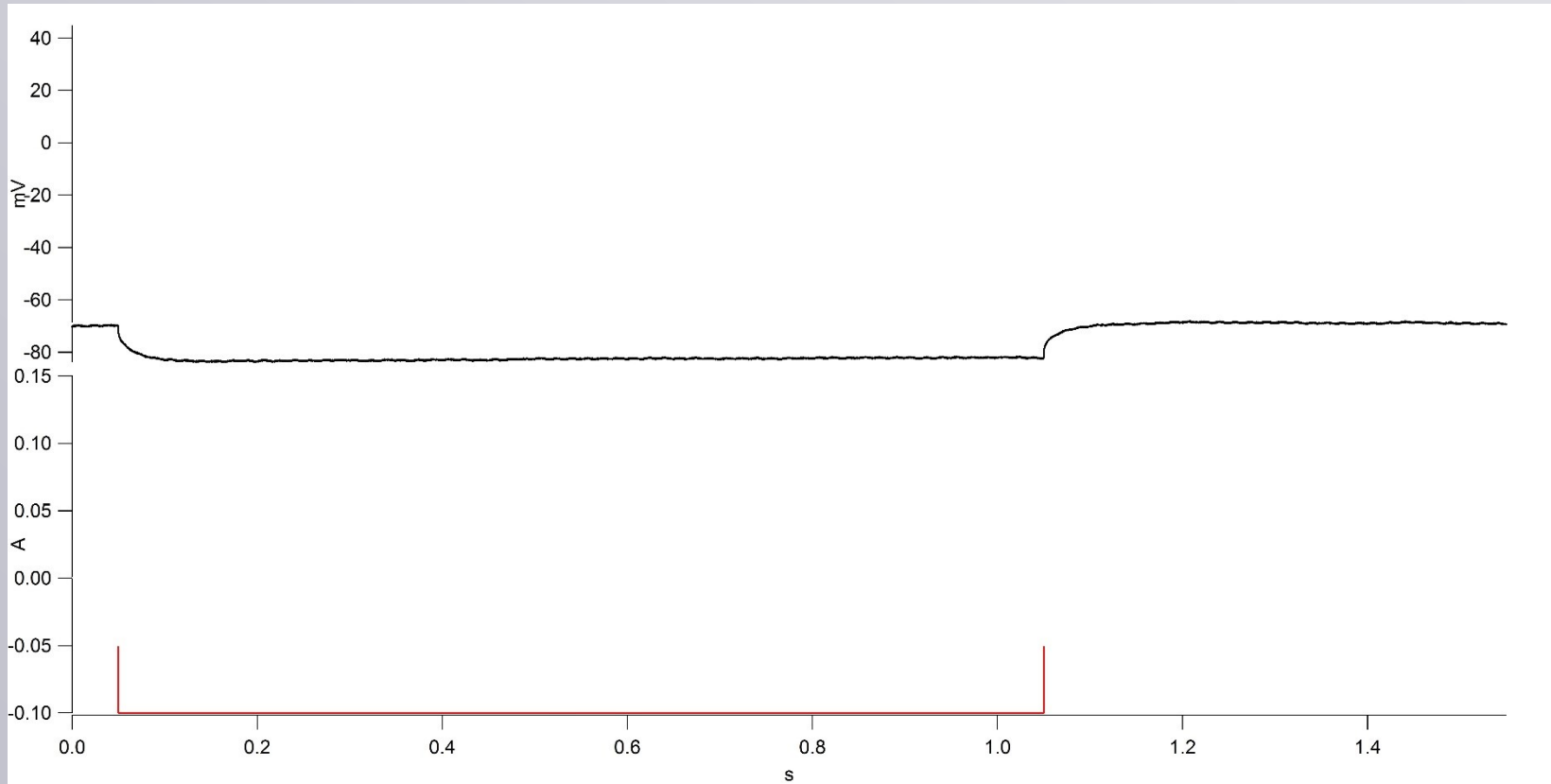
- É uma célula que altera **ativamente** o potencial da membrana em resposta a algum estímulo (elétrico, físico ou químico).
- Exemplos: Neurônios e células musculares lisas e estriadas.

O potencial de membrana pode ser alterado rapidamente aumentando ou diminuindo condutâncias específicas, ou seja abrindo ou fechando canais iônicos específicos.

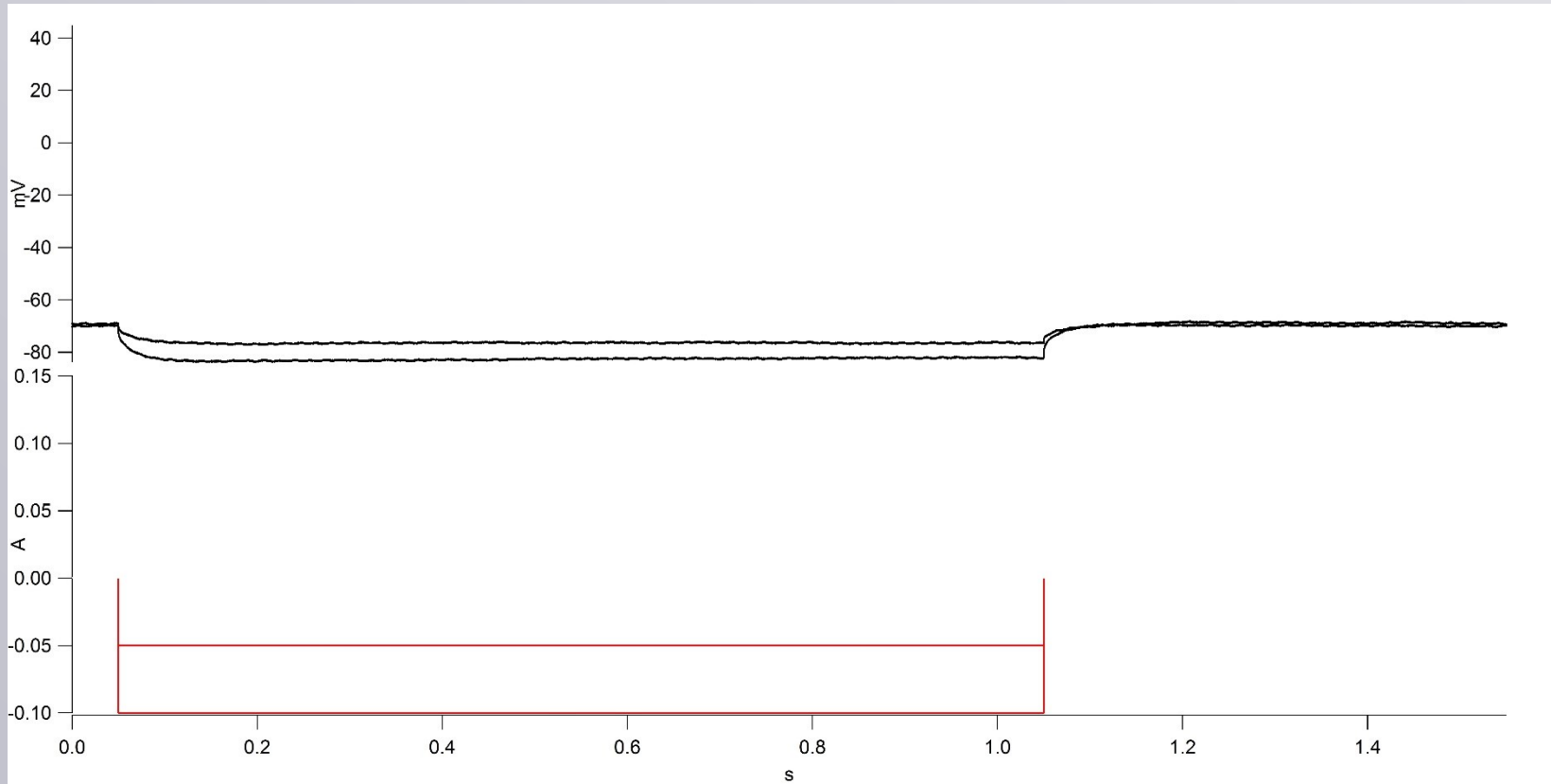
$$E_m = \frac{g_k}{g_k + g_{Na}} E_k + \frac{g_{Na}}{g_k + g_{Na}} E_{Na}$$


The diagram illustrates the relationship between conductances and membrane potential. A downward arrow labeled  $g_K$  points to the denominator of the first term, and an upward arrow labeled  $g_{Na}$  points to the denominator of the second term.

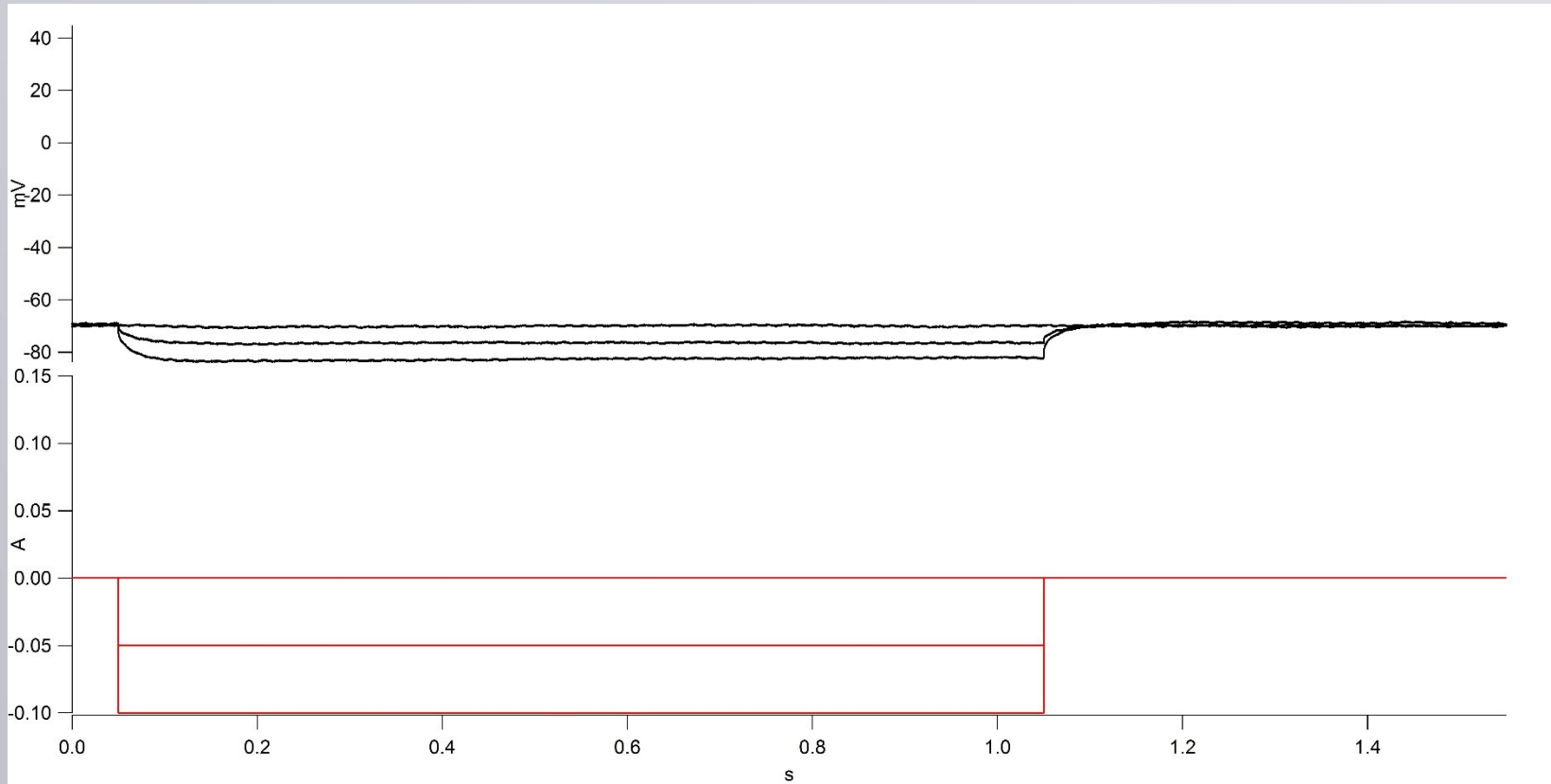
# Estimulando uma célula excitável (no caso um neurônio)



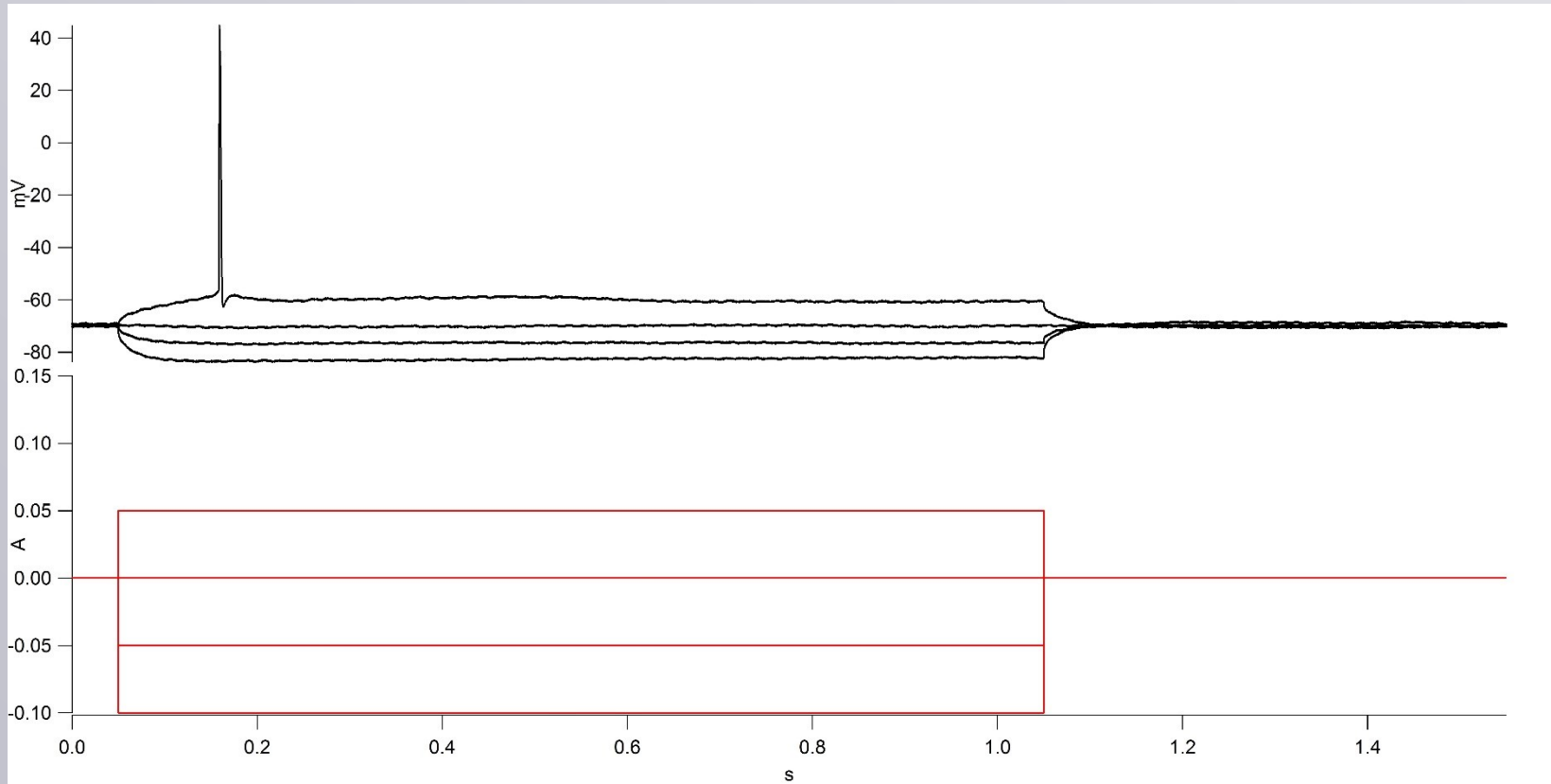
# Estimulando uma célula excitável (no caso um neurônio)



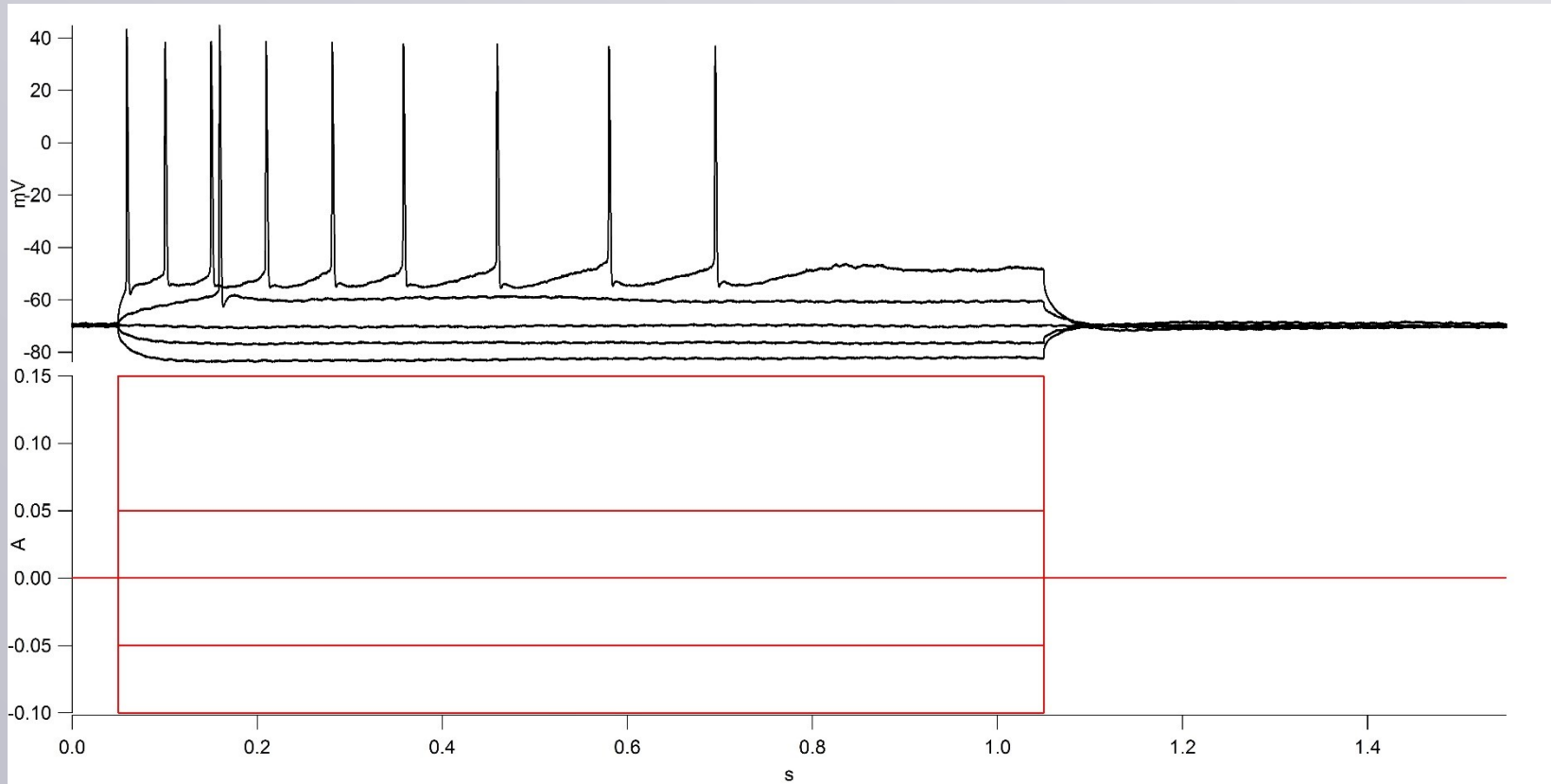
# Estimulando uma célula excitável (no caso um neurônio)



# Estimulando uma célula excitável (no caso um neurônio)

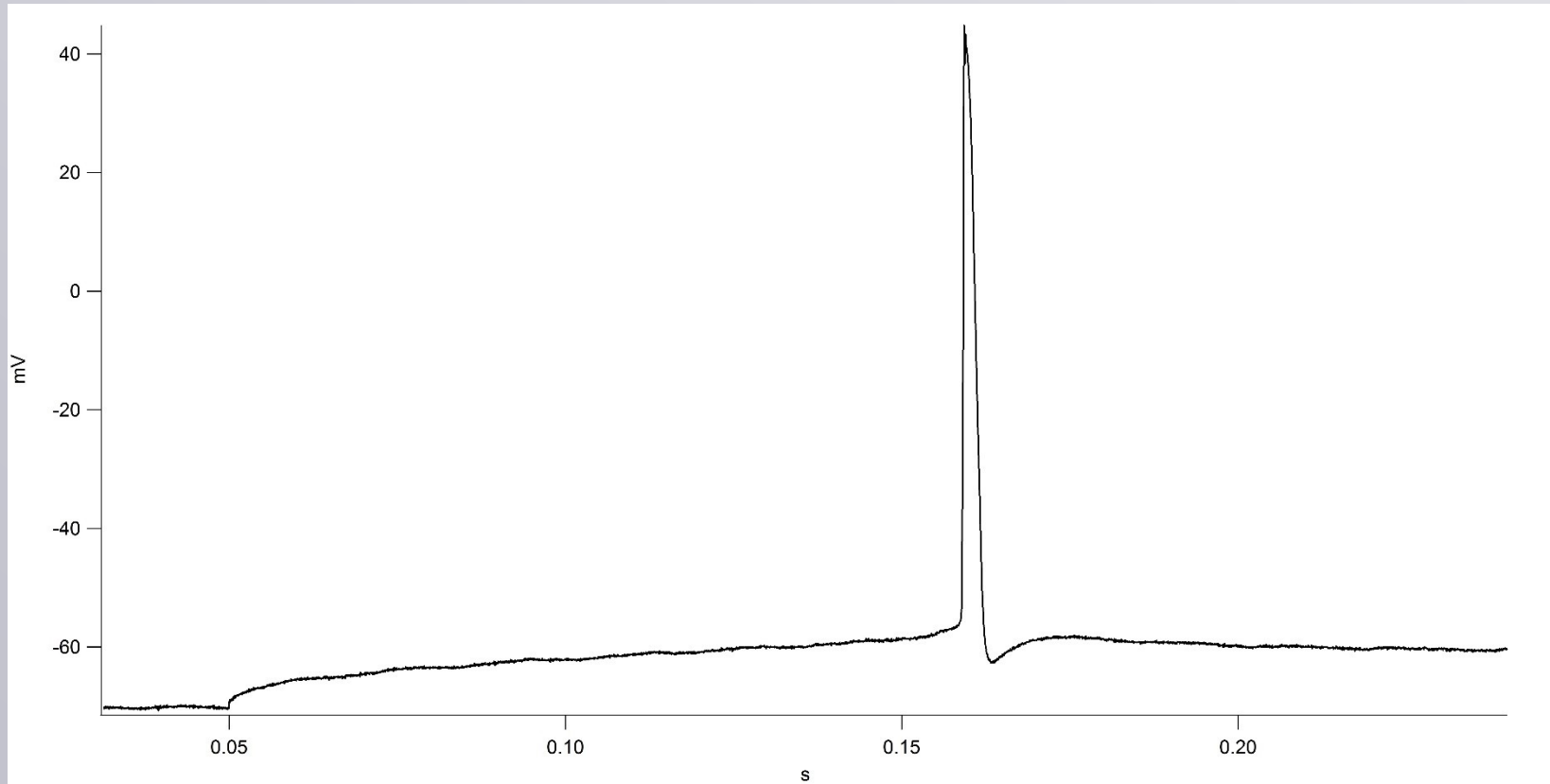


# Estimulando uma célula excitável (no caso um neurônio)



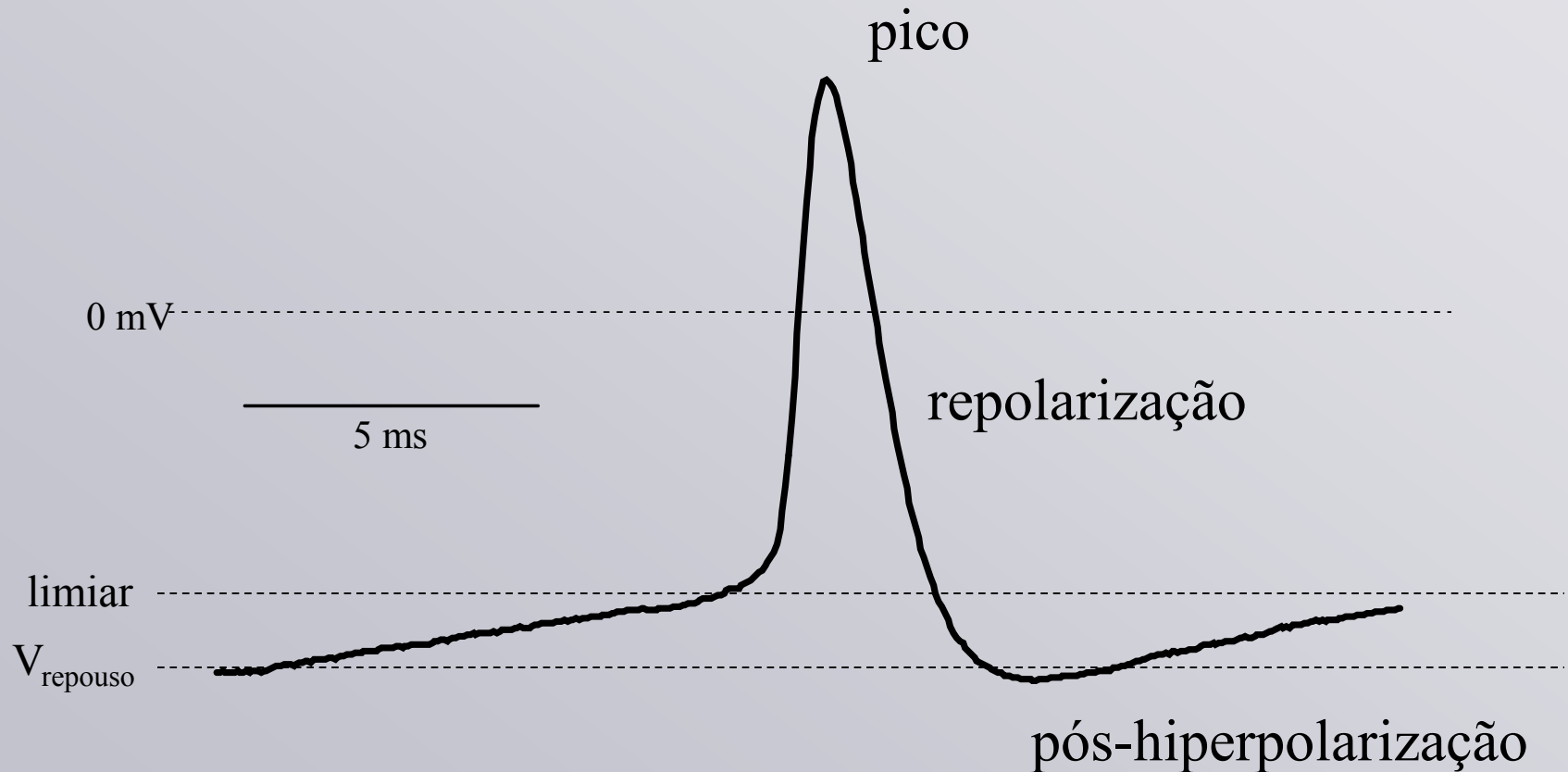


# Que fenômeno é esse?

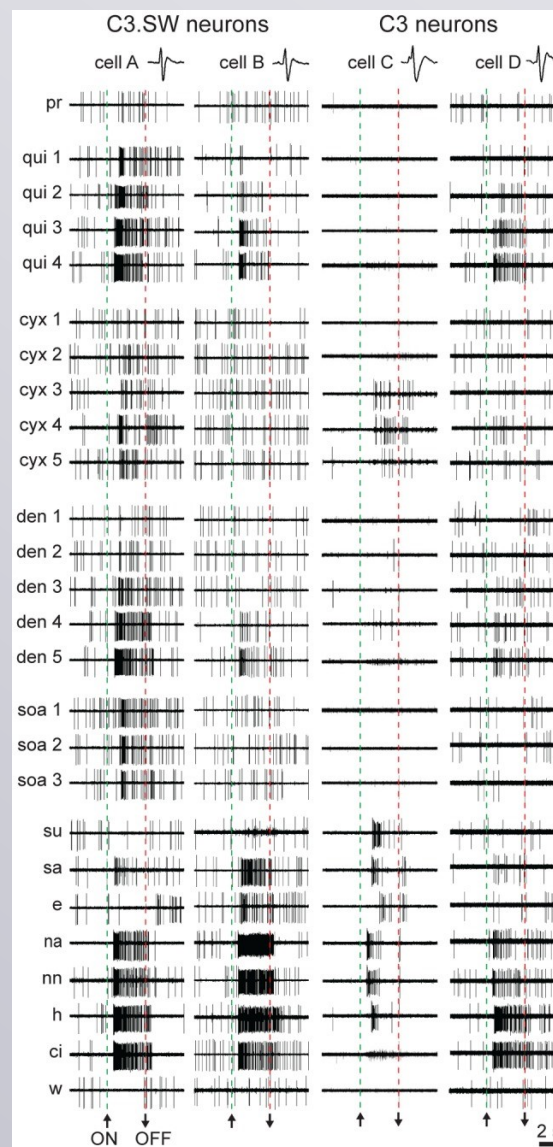
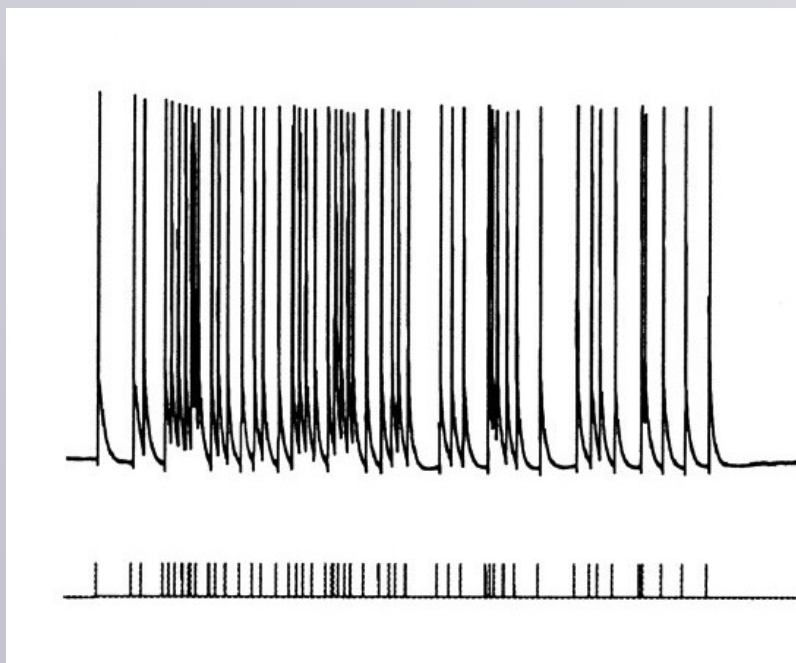


# O Potencial de ação

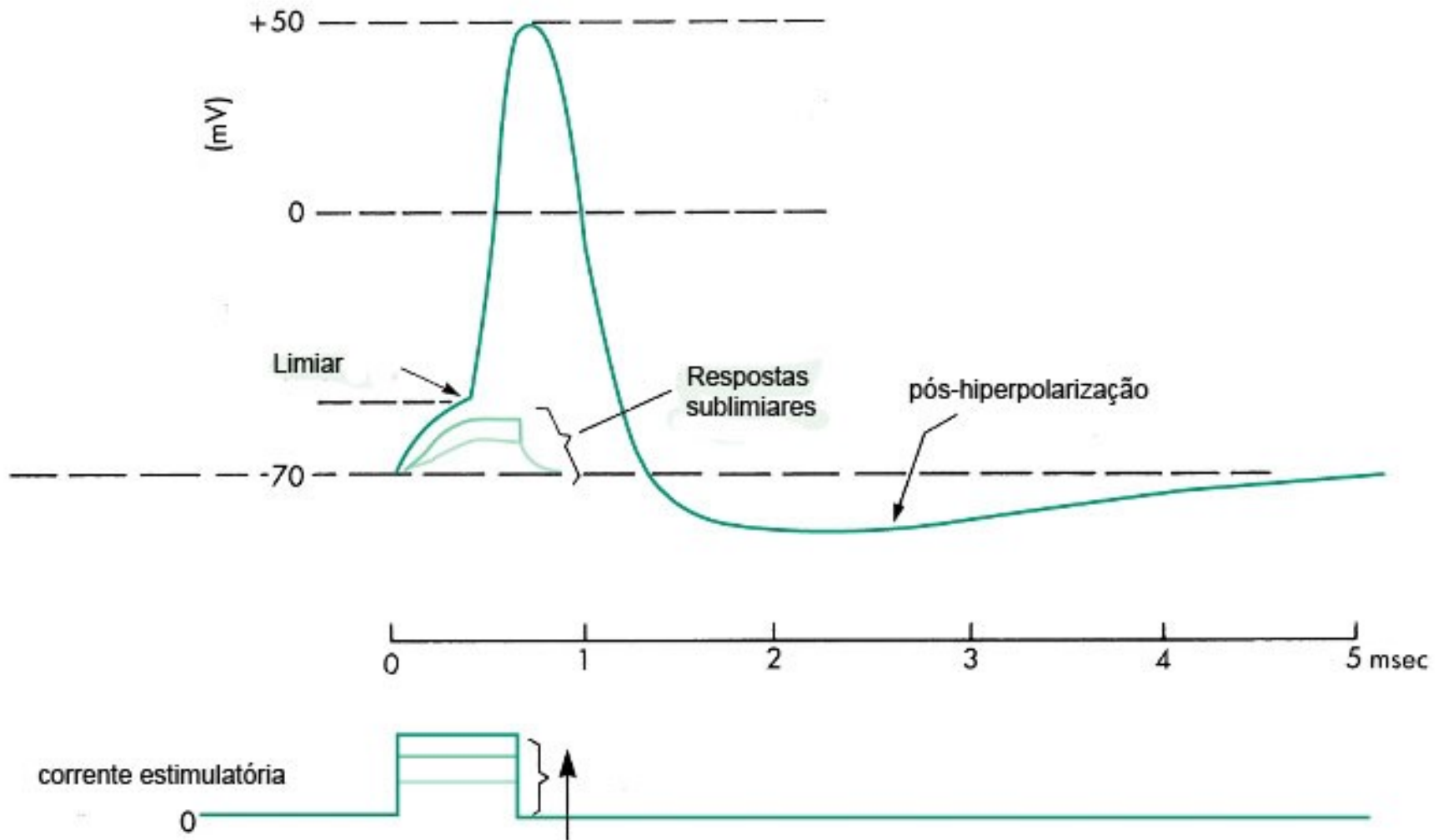
- Súbita e rápida despolarização “tudo-ou-nada” da membrana, que viaja ao longo da célula



# O Padrão de disparo dos potenciais de ação é o **código neural**



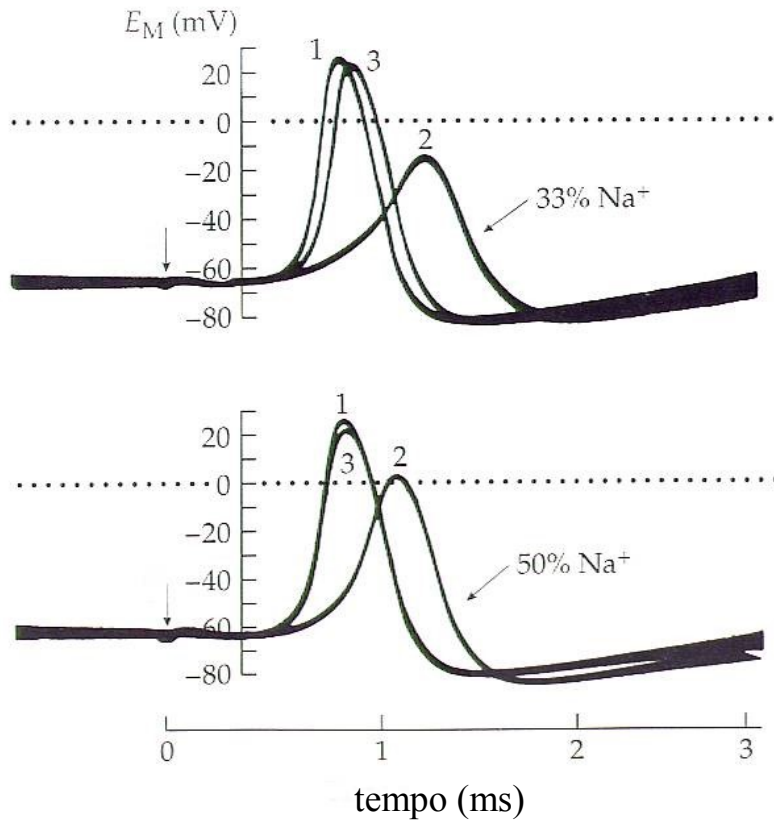
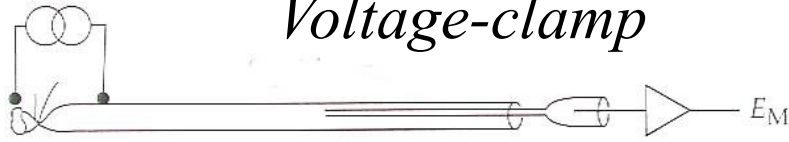
# O potencial de ação possui um limiar de disparo



# Dependência do potencial de ação ao sódio

estimulador

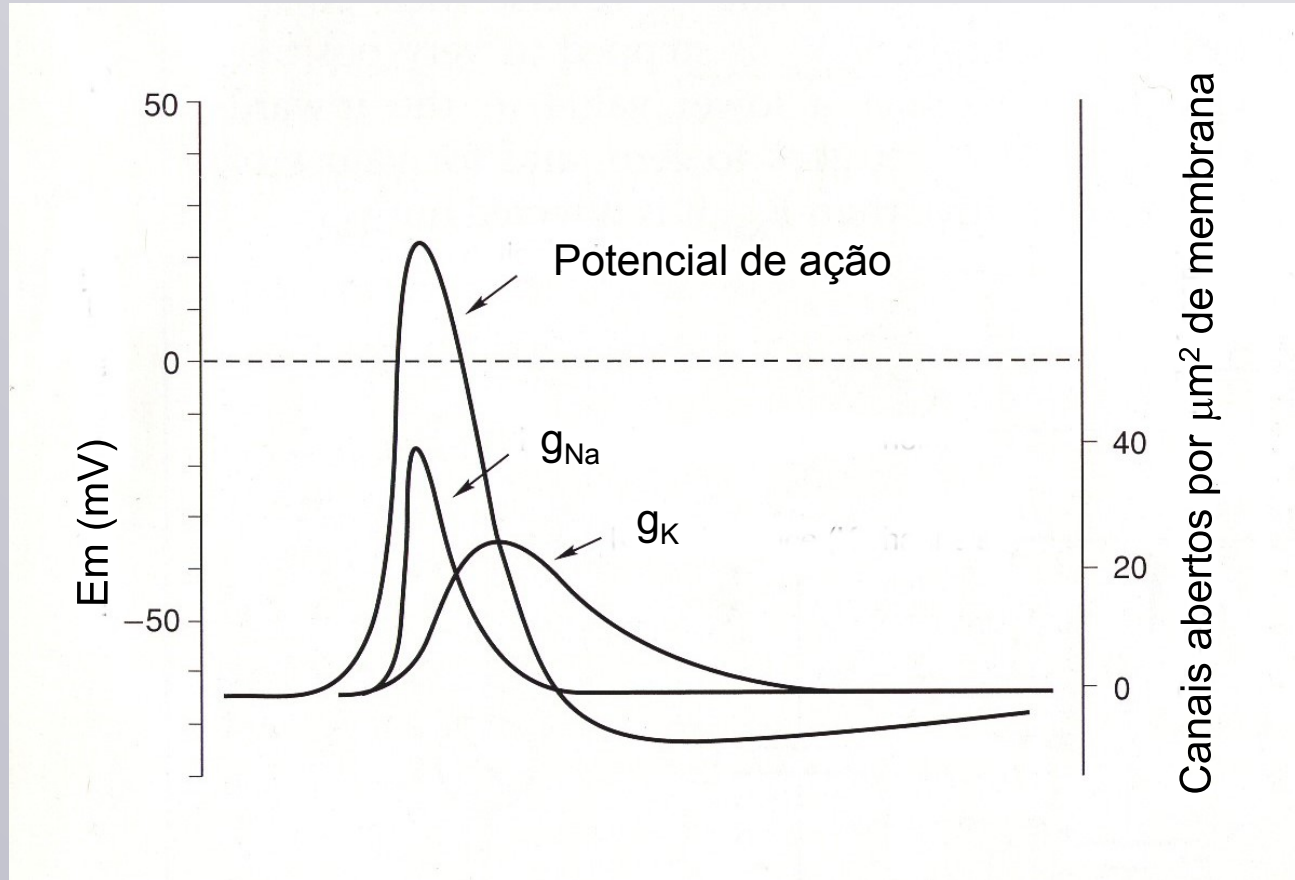
*Voltage-clamp*



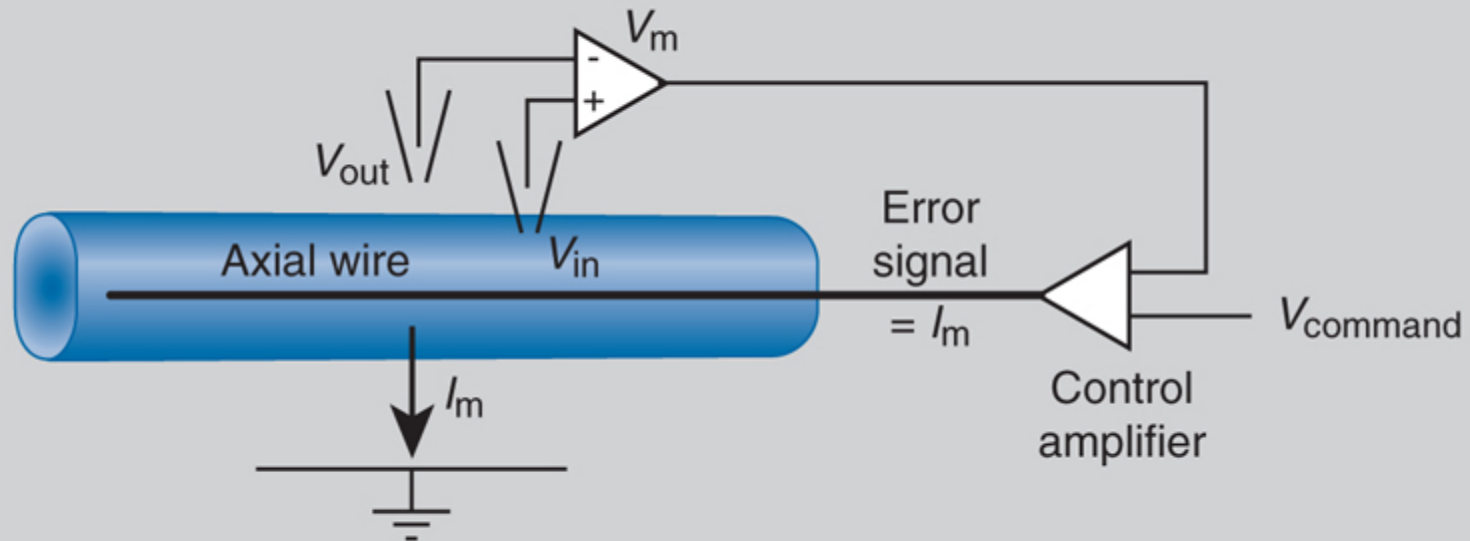
Potencial de ação no axônio gigante da lula

Hodgkin & Katz, 1949

- Potencial de ação e composto de duas condutâncias **sódio e potássio**

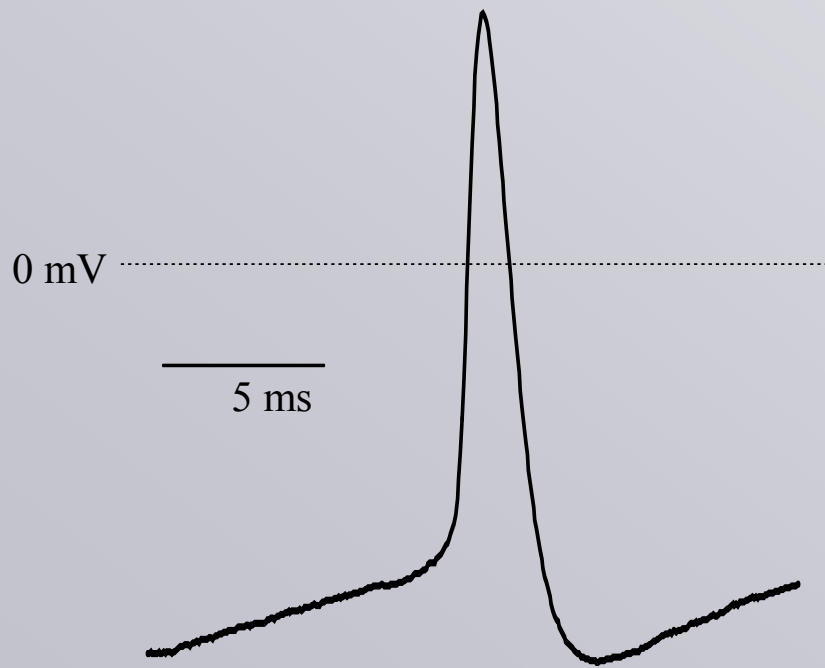


# A técnica do *voltage-clamp* permite a medida de correntes através da membrana

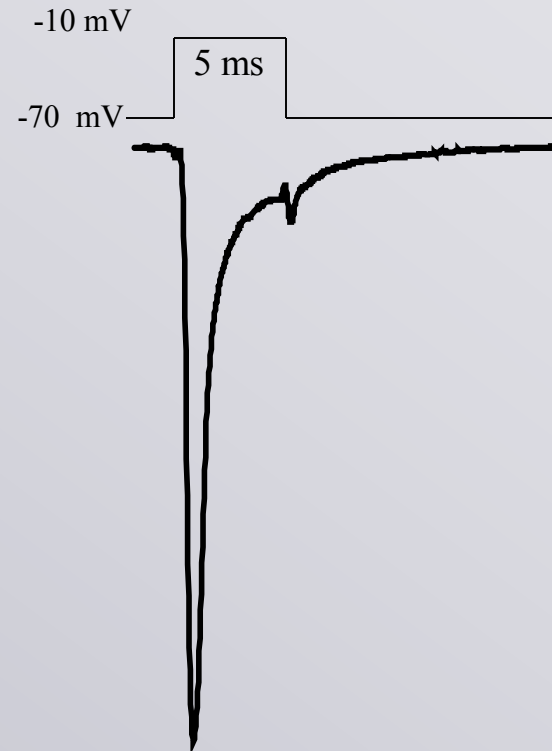


O Potencial de ação é gerado por um súbito aumento da condutância ao sódio, devido a abertura dos canais de sódio

O limiar do potencial de ação representa o momento que o sistema se torna autoregenerativo.



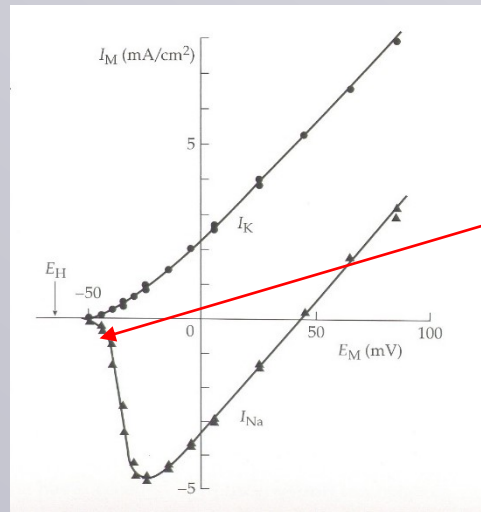
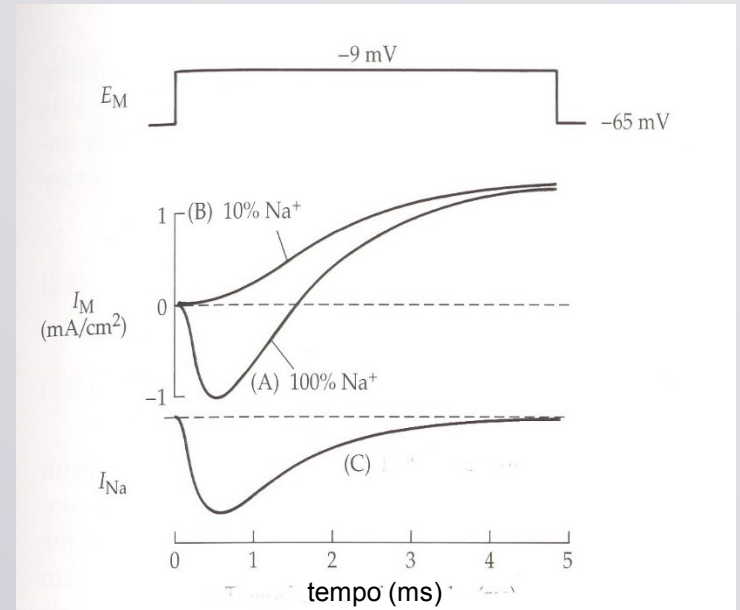
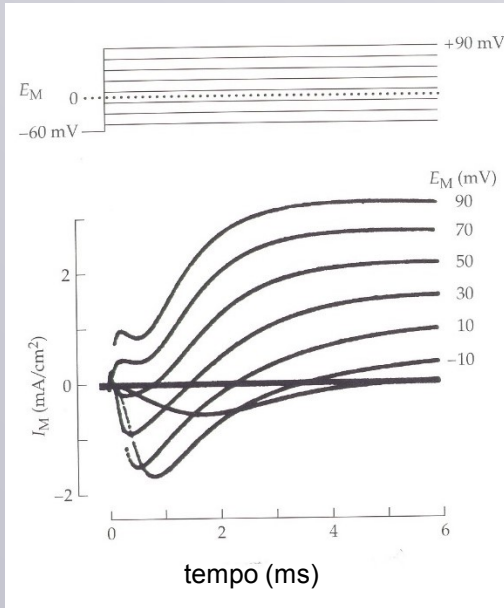
Potencial de ação em *current-clamp*



Corrente de sódio em *voltage-clamp*

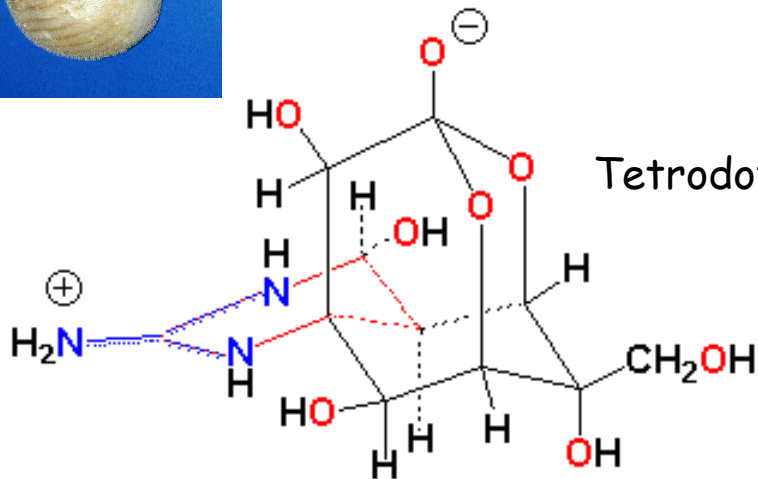
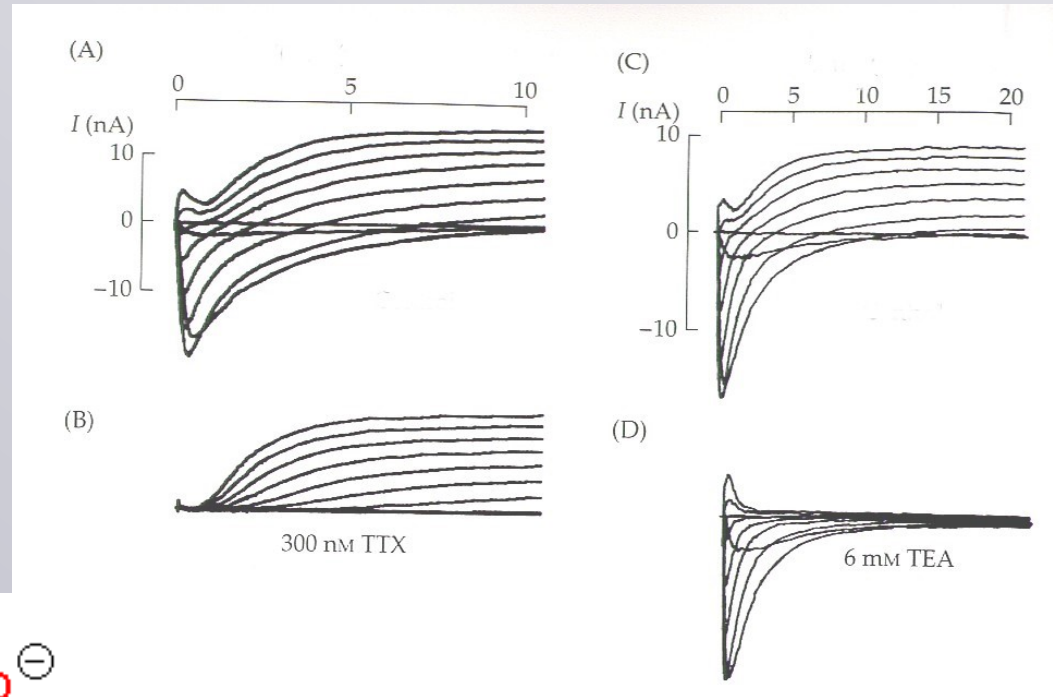


# O potencial de ação e composto de duas condutâncias sódio e potássio



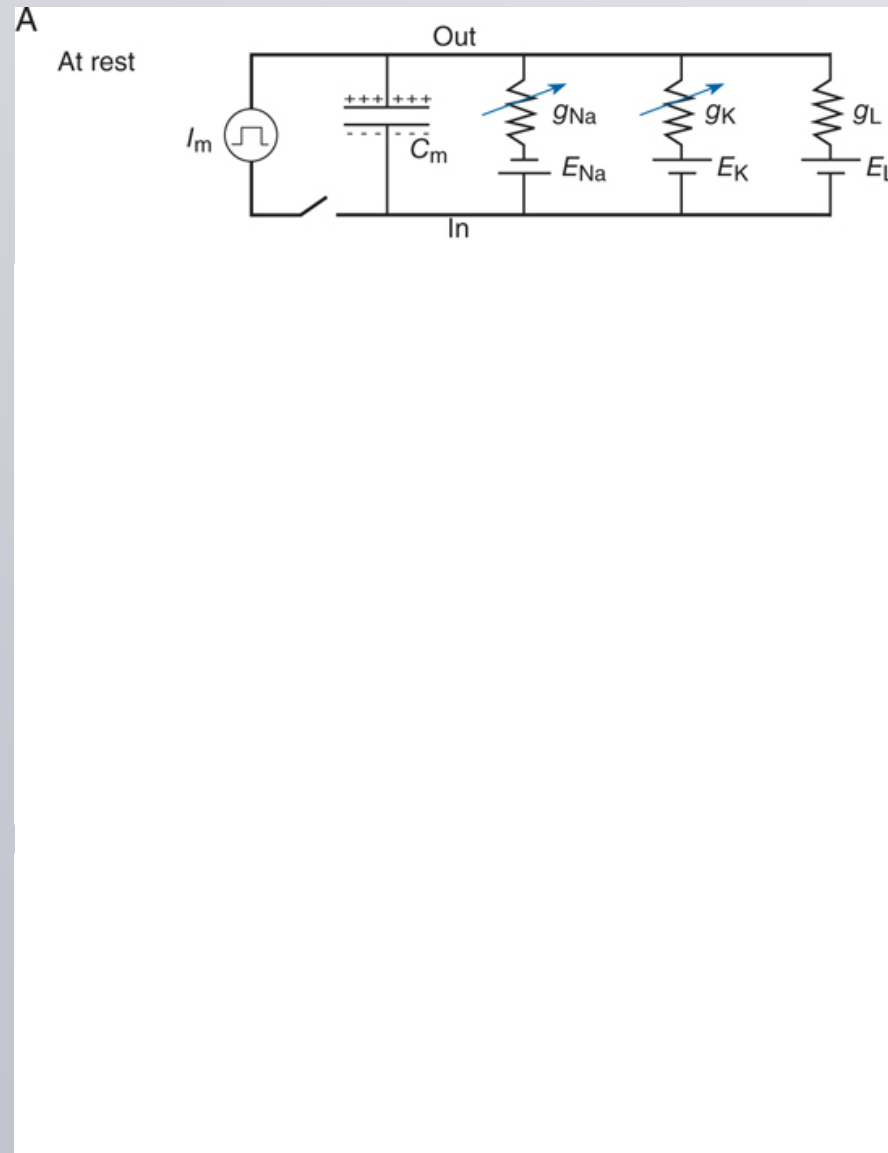
O limiar do potencial de ação representa o potencial que dá início a abertura dos canais de sódio voltage-dependentes

# As correntes de sódio e potássio podem ser isoladas farmacologicamente

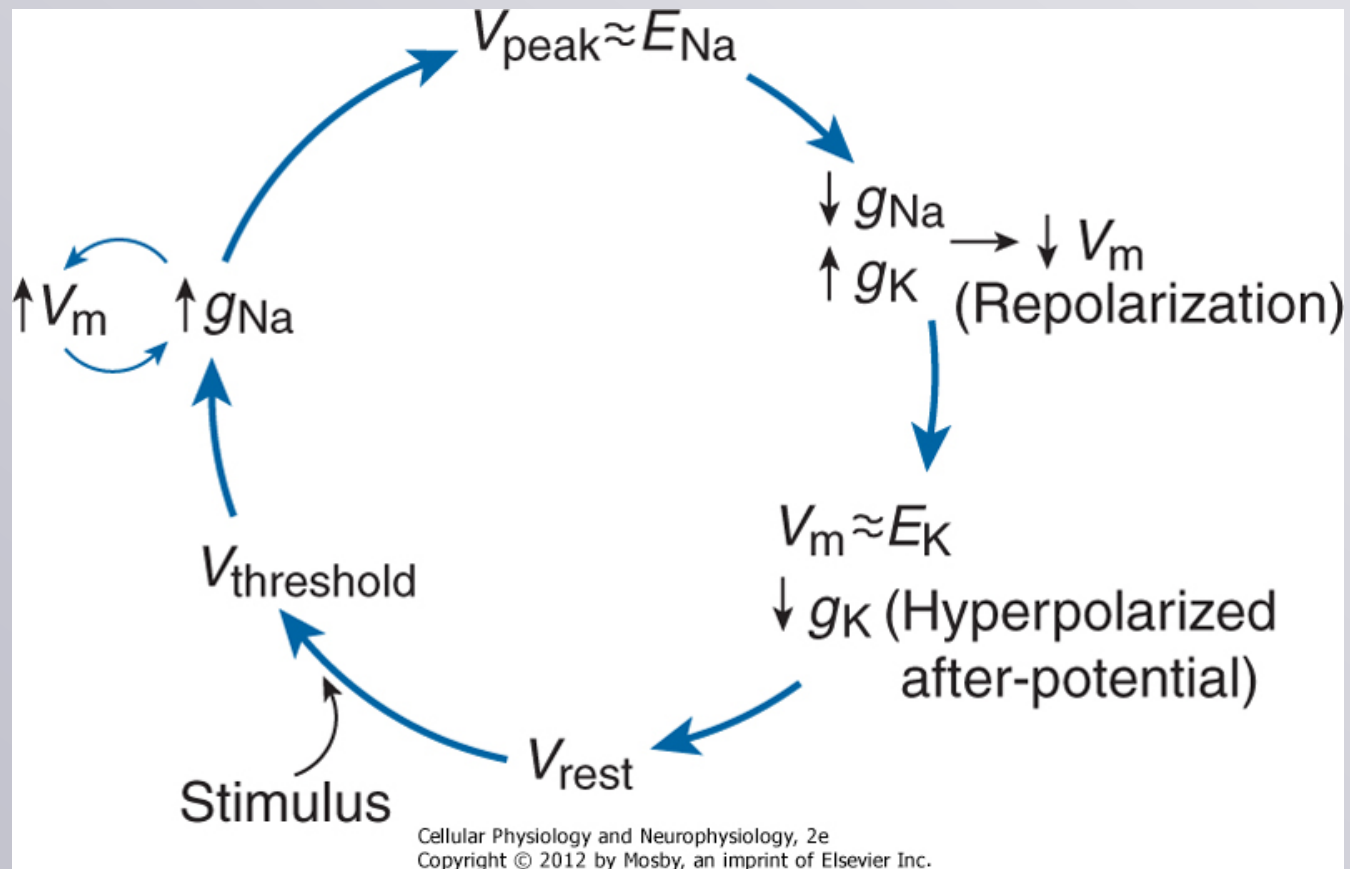


Tetrodotoxina (TTX)

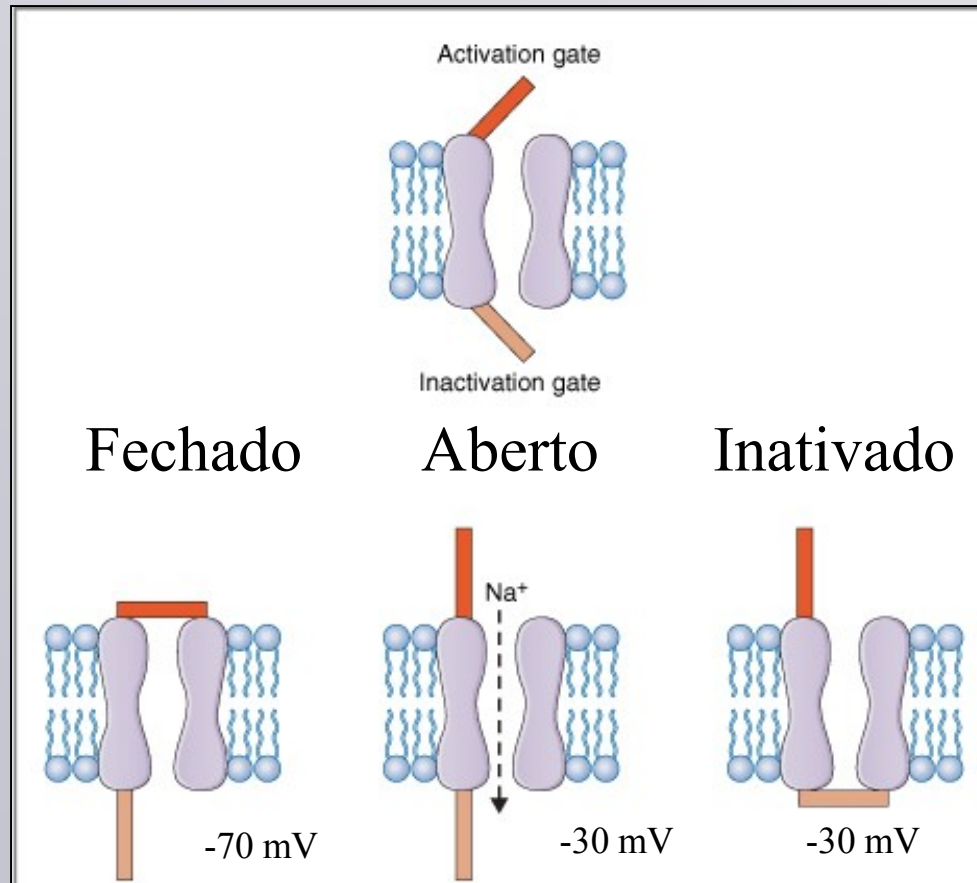
# Sequência de eventos do PA



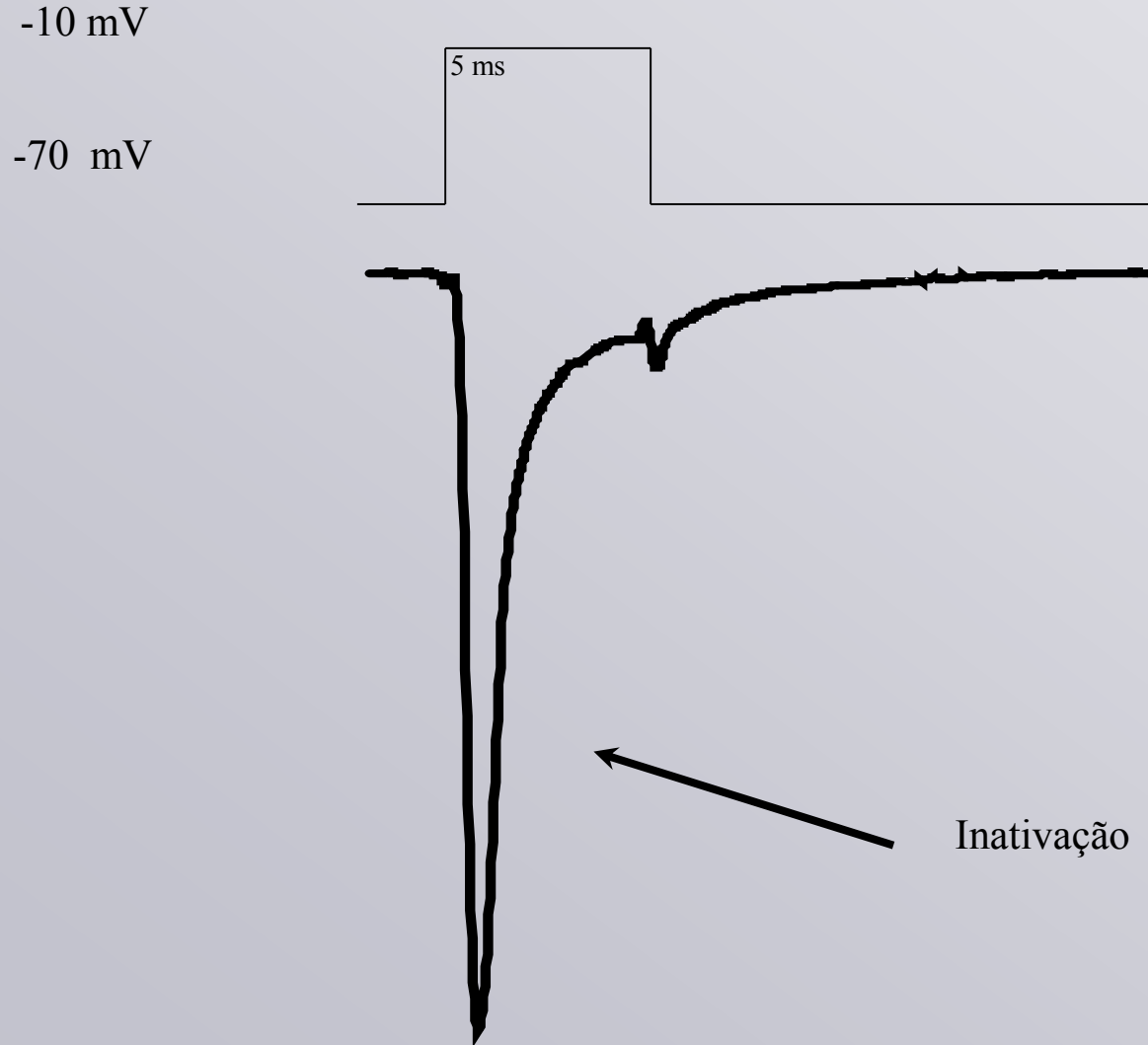
# O PA é um processo cíclico



# Diferentes conformações do canal de sódio dependente de voltagem



A inativação do canal de sódio voltage-dependente limita a abertura do canal durante a despolarização



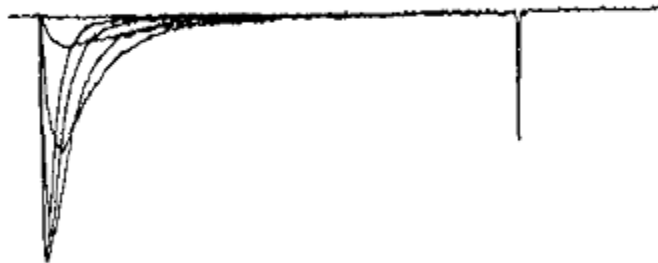
# A inativação pode ser inibida por certas toxinas

Modification of Na Channel Gating  
by an  $\alpha$  Scorpion Toxin  
from *Tityus serrulatus*

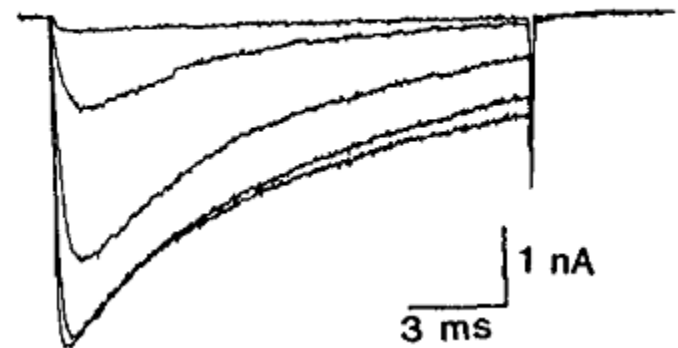
G. E. KIRSCH, A. SKATTEBØL, L. D. POSSANI, and A. M. BROWN



A Control



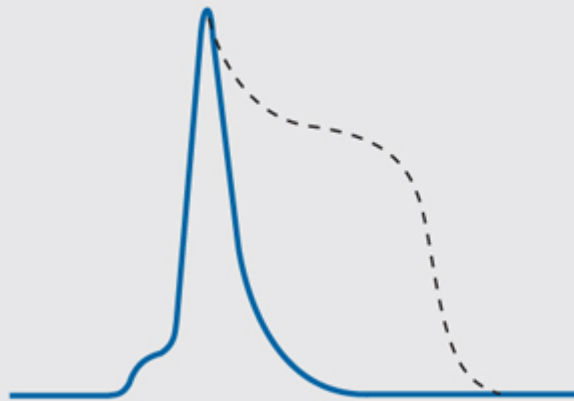
B Tox



A repolarização do potencial de ação se dá pela inativação do canal de sódio e pela abertura dos canais de potássio

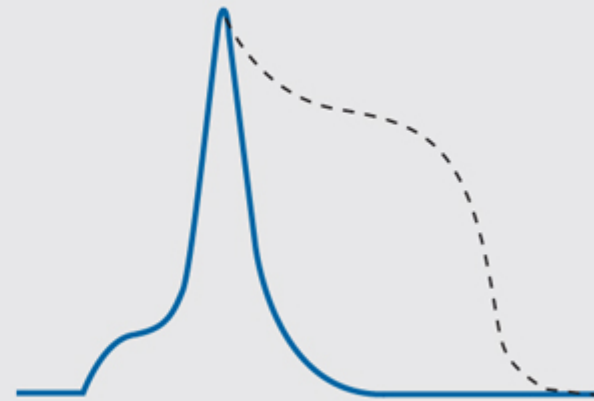
C

Toxina alfa-escorpiônica



D

TEA

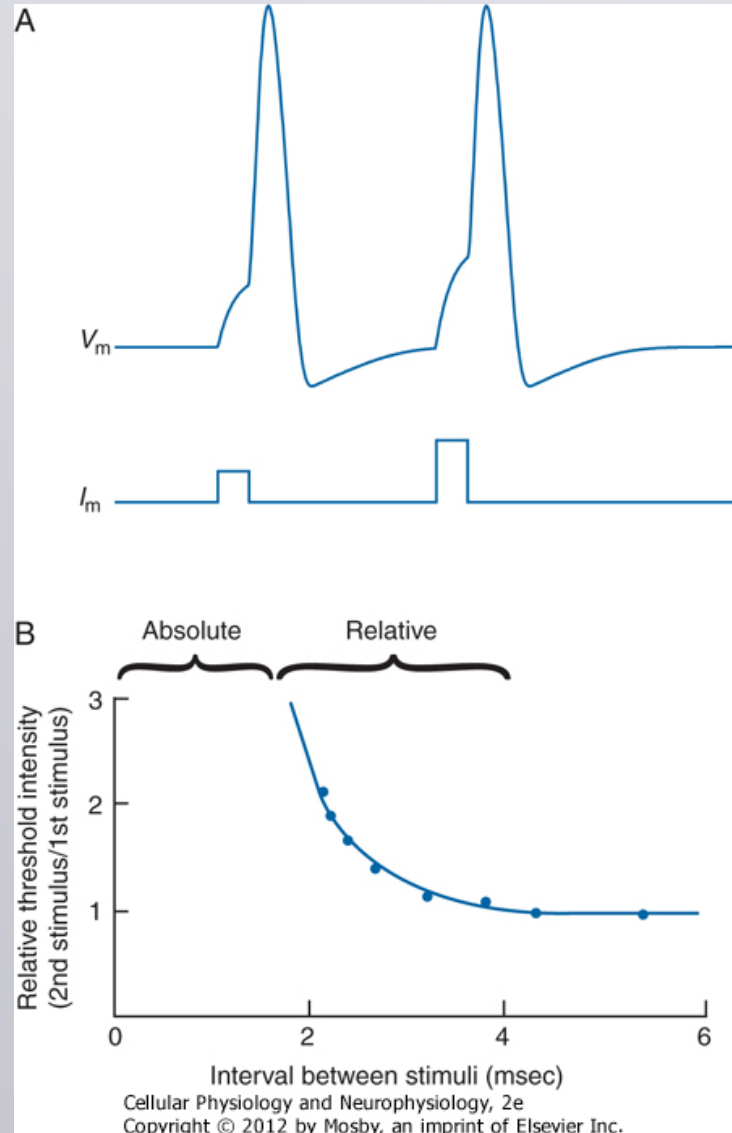




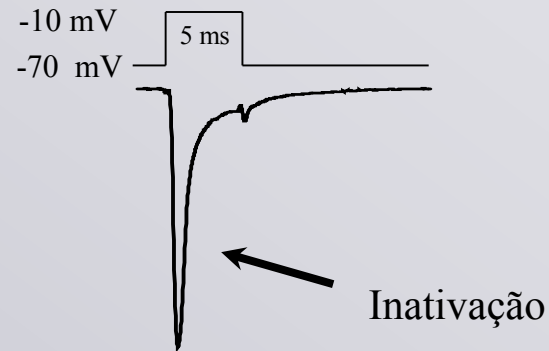
O período refratário impede que o nervo entre em "curto circuito" após o potencial da ação.

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**

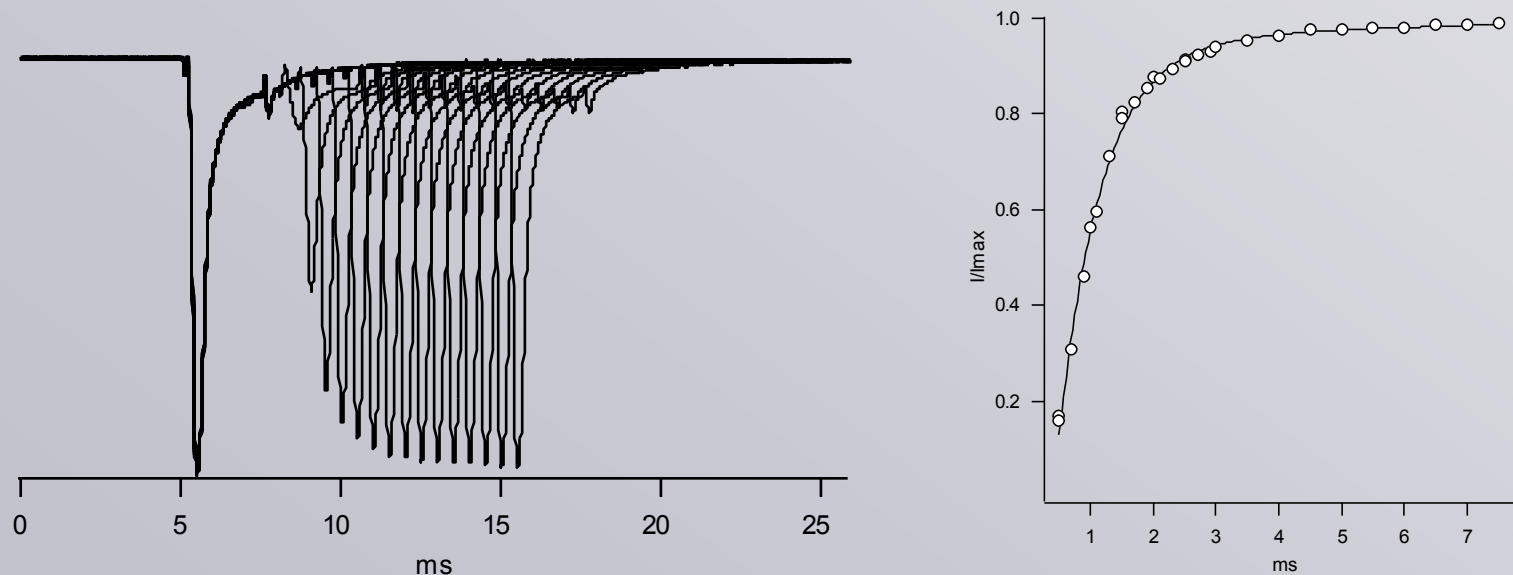
- O Período refratário **ABSOLUTO não** depende da intensidade do estímulo
- O período refratário **RELATIVO depende** da intensidade do estímulo



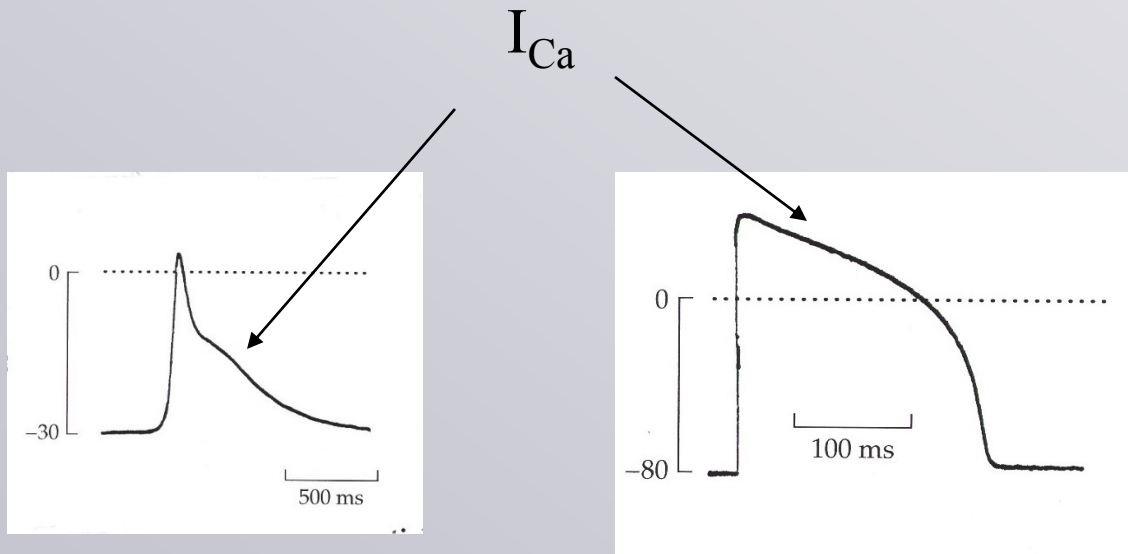
O período refratário reflete a inativação dos canais de sódio



A duração do período refratário reflete a recuperação da inativação dos canais de sódio



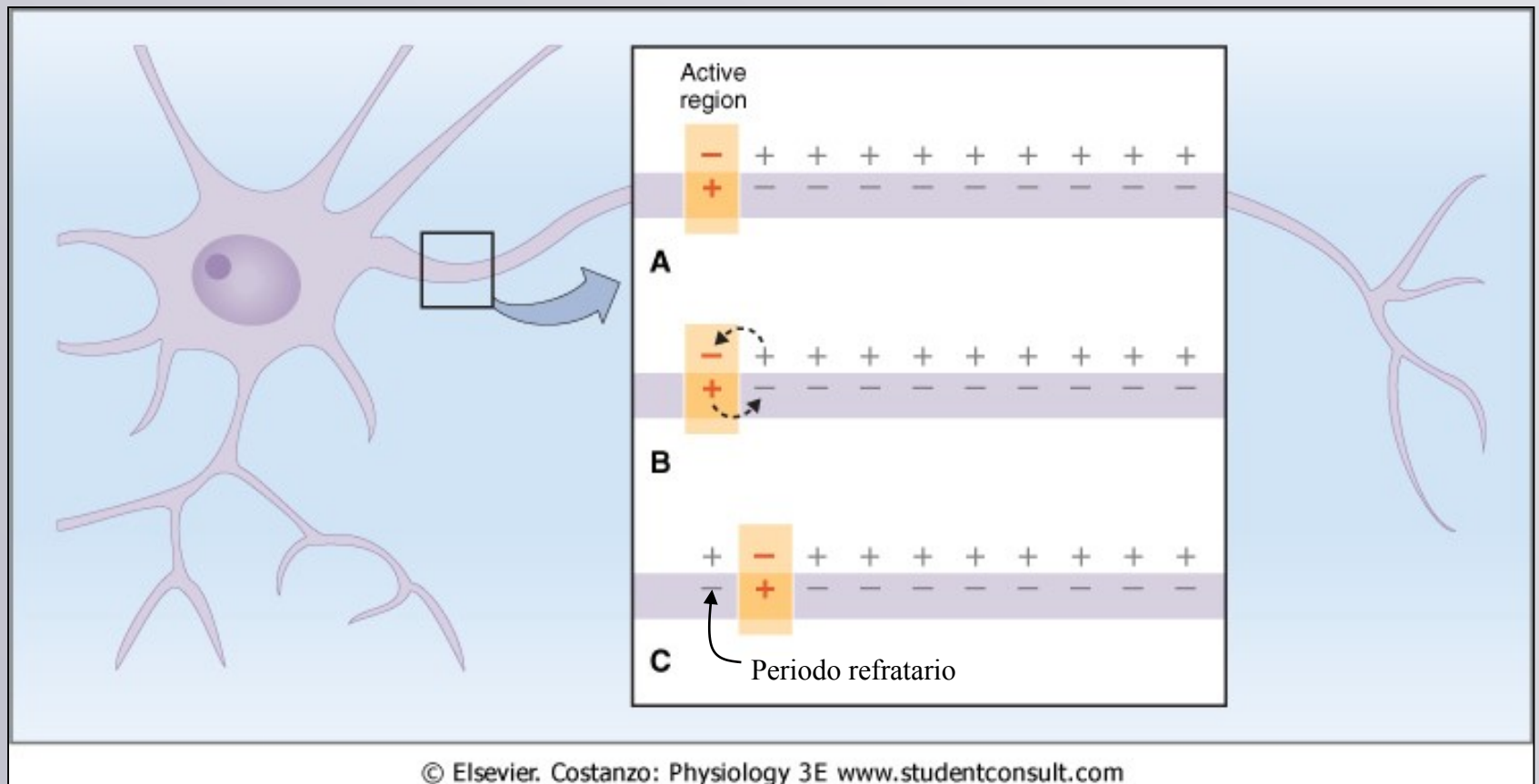
# Canais de cálcio também podem modular a duração do potencial de ação

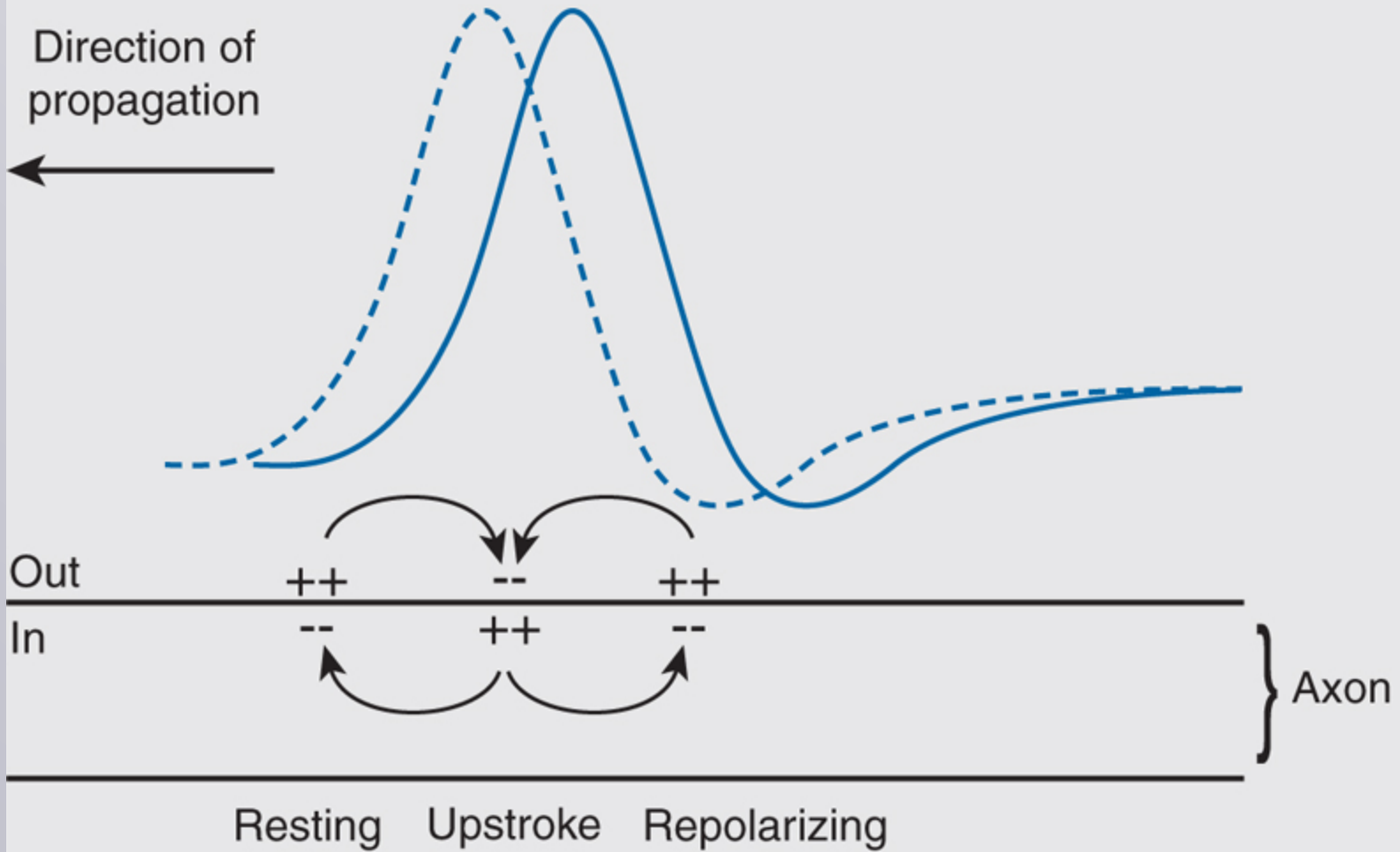


Músculo liso

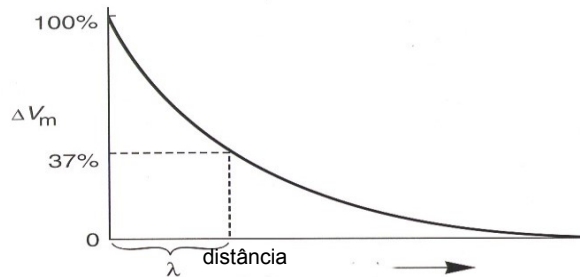
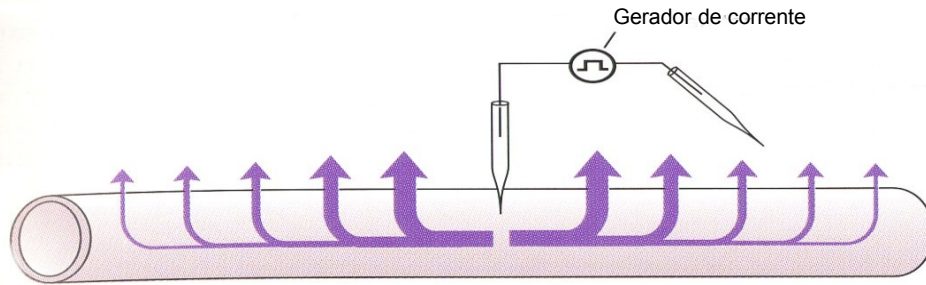
Miócito cardíaco ventricular

# O Potencial de ação se propaga ao longo da célula

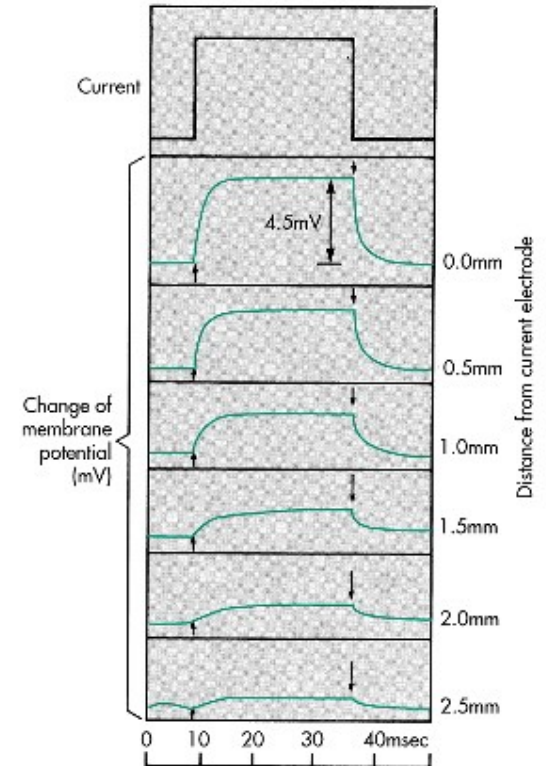




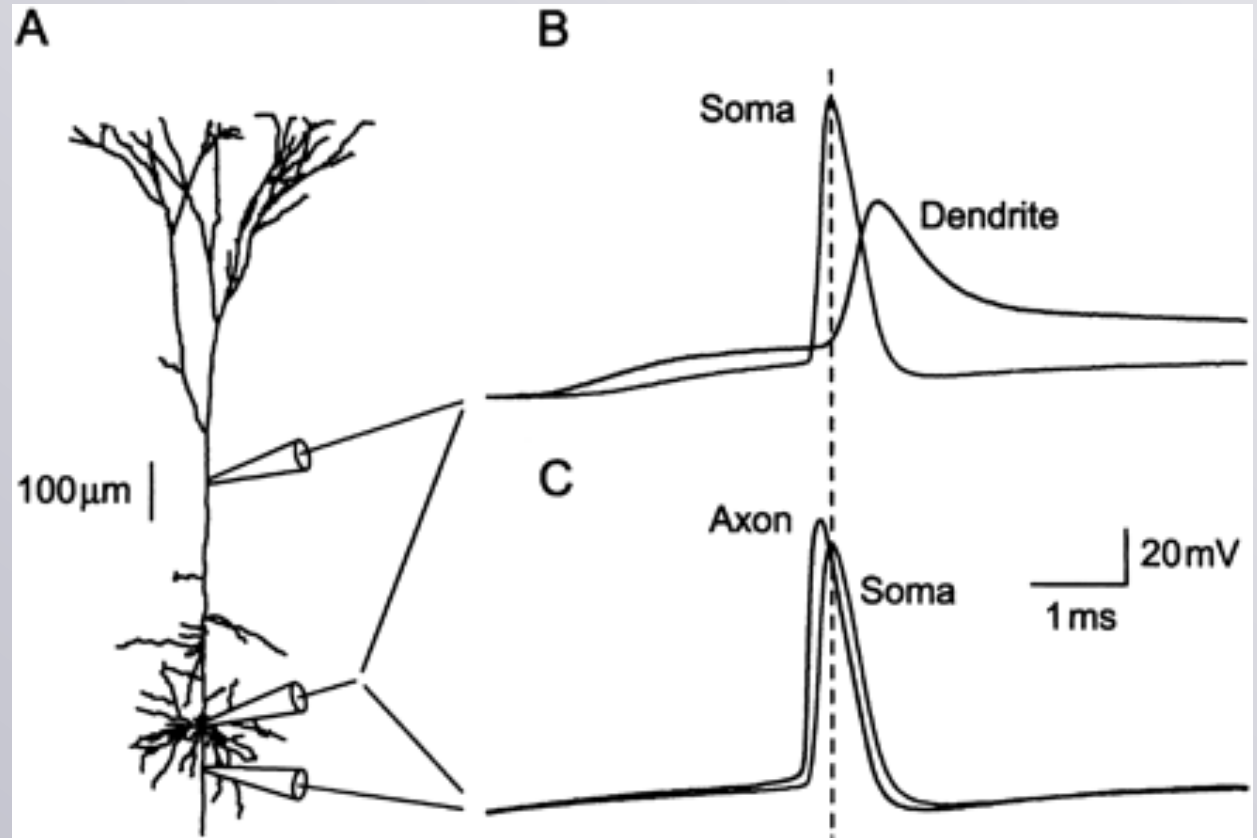
# A transmissão passiva das diferenças de voltagem ao longo da membrana é chamada de condução eletrotônica



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



O Potencial de ação se propaga retrogradamente pelos dendritos.



# A velocidade de propagação eletrotônica reflete a razão $\lambda/\tau$

$$C_m R_m = \tau_m$$

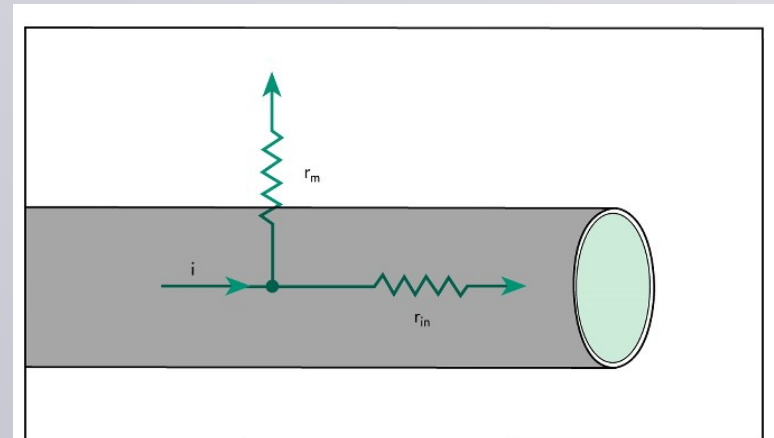
$$\lambda = \sqrt{\frac{r_m}{r_{in}}}$$

• A velocidade de transmissão eletrotônica varia inversamente com o produto  $C_m \cdot r_{in}$

- $C_m =$  constante ( $1\mu\text{F}/\text{cm}^2$ )
- $r_{in}$  diminui em proporção ao quadrado do diâmetro do axônio
  - **O aumento do diâmetro do axônio aumenta a velocidade de condução**
    - » Axônios não mielinizados gigantes de invertebrados

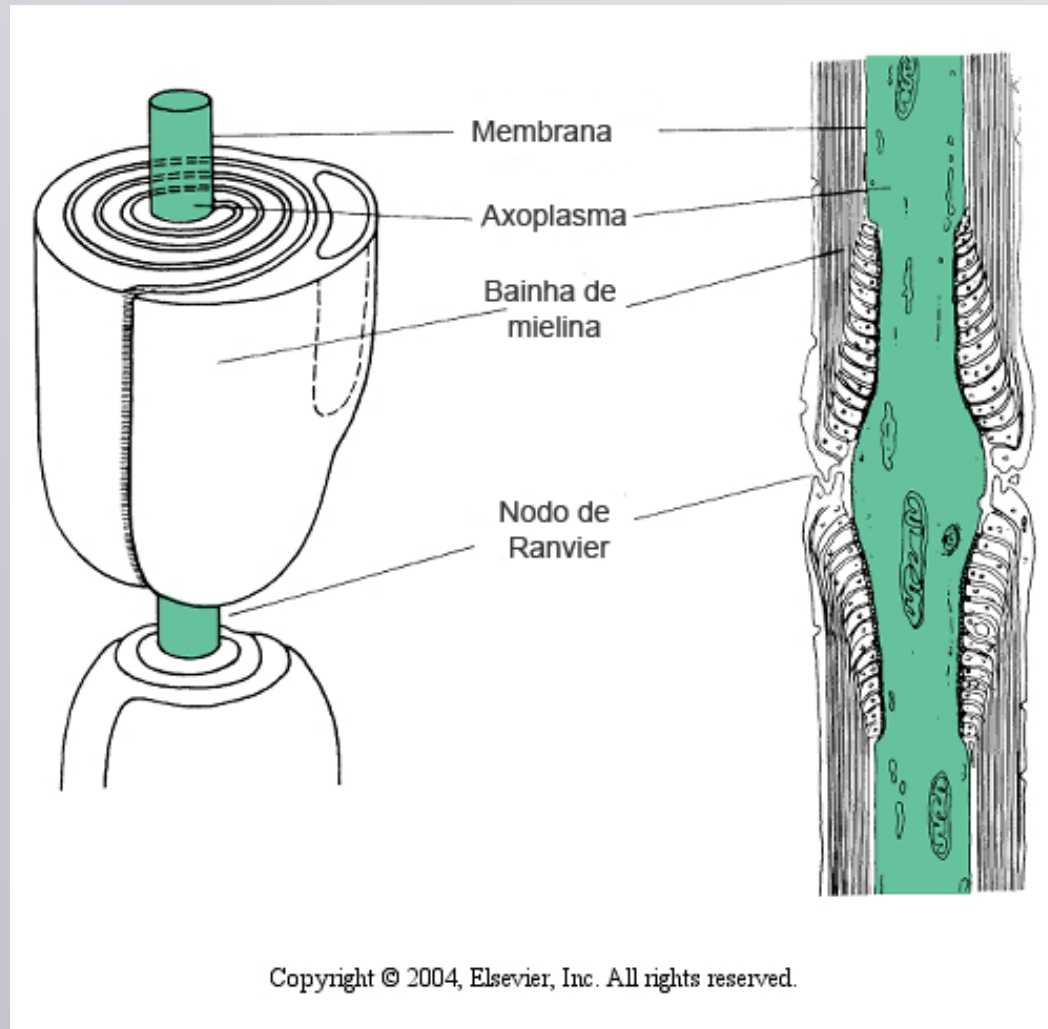
OU

- A capacitância é inversamente proporcional a espessura do material isolante
  - Diminuição da  $C_m$  pelo aumento da espessura do isolamento da membrana
    - » **mielinização**





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

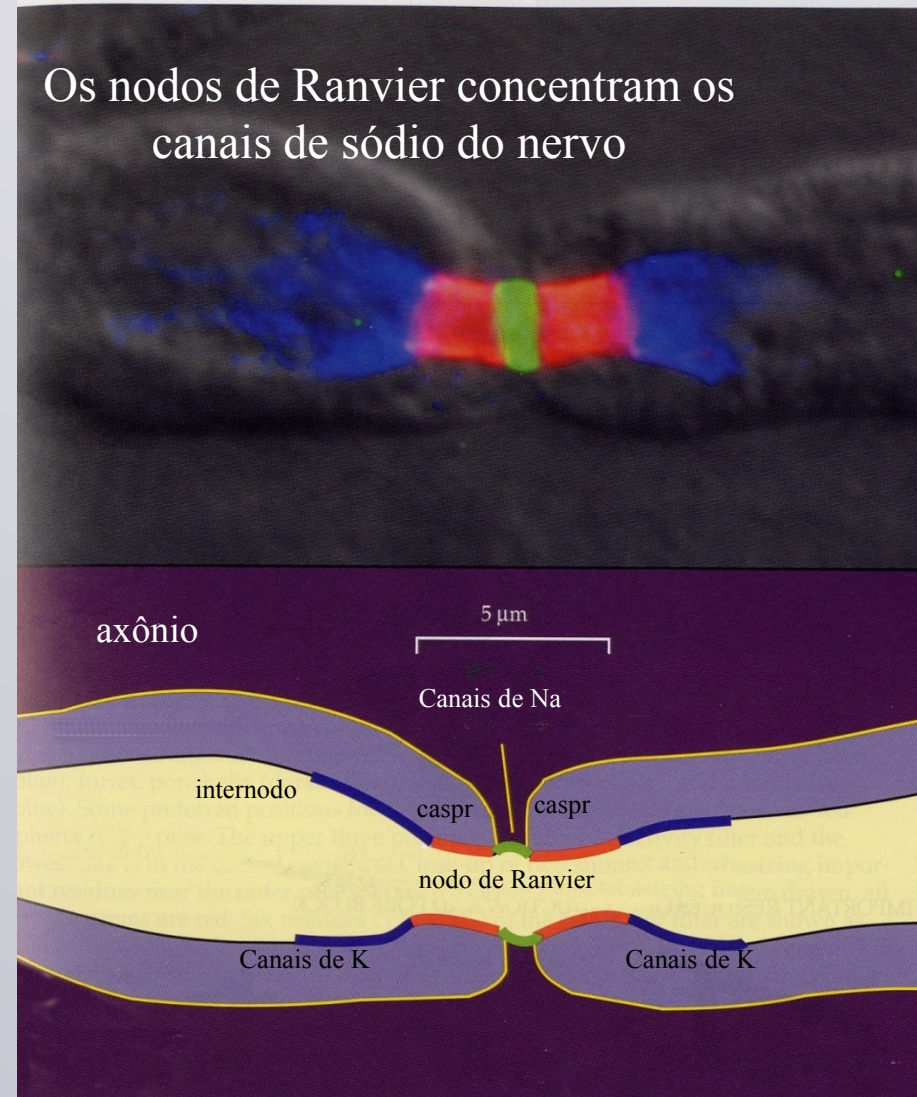


# imunocitoquímica para os canais de sódio

Os nodos de Ranvier concentram os canais de sódio do nervo

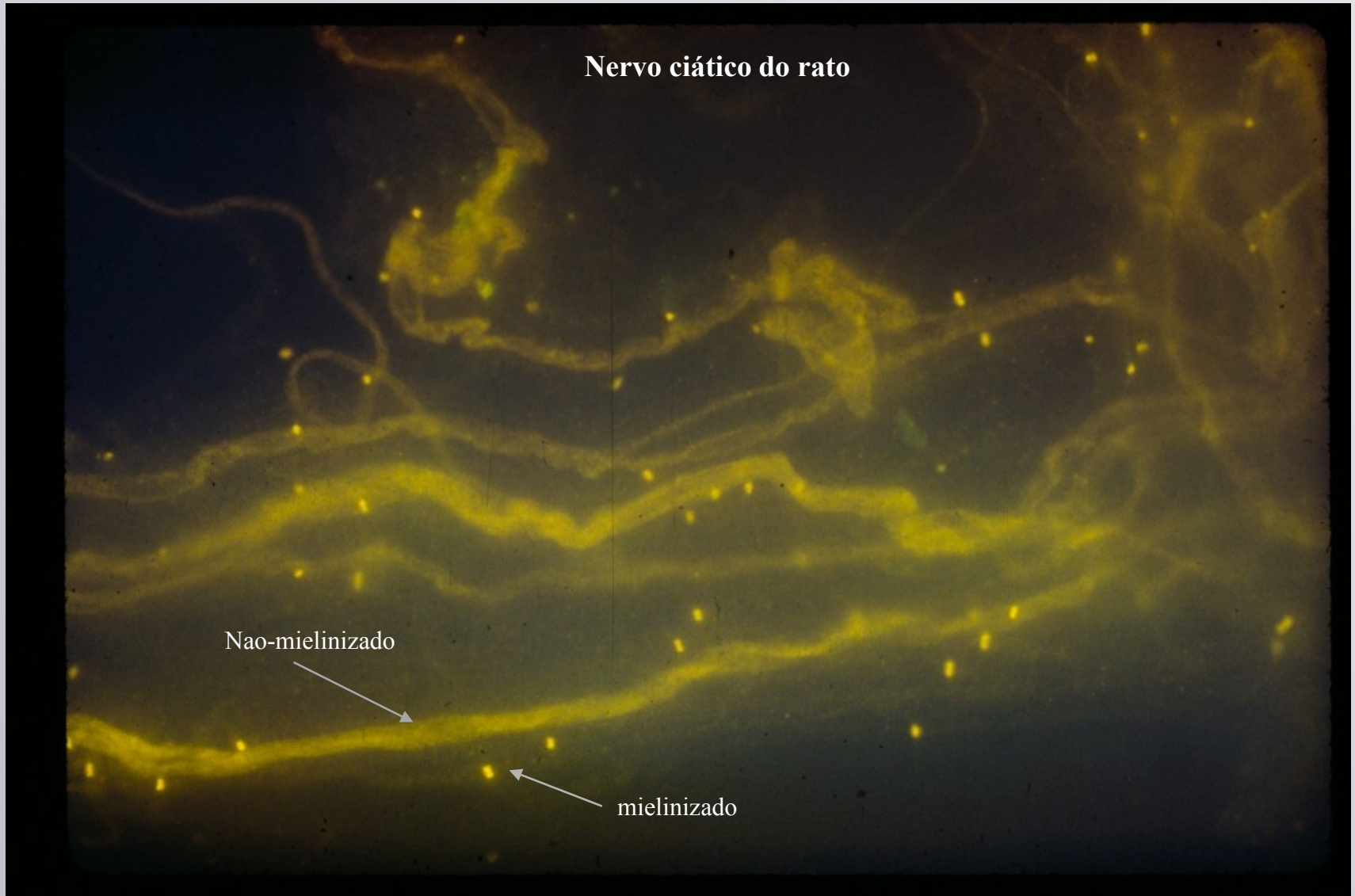


Os nodos de Ranvier concentram os canais de sódio do nervo



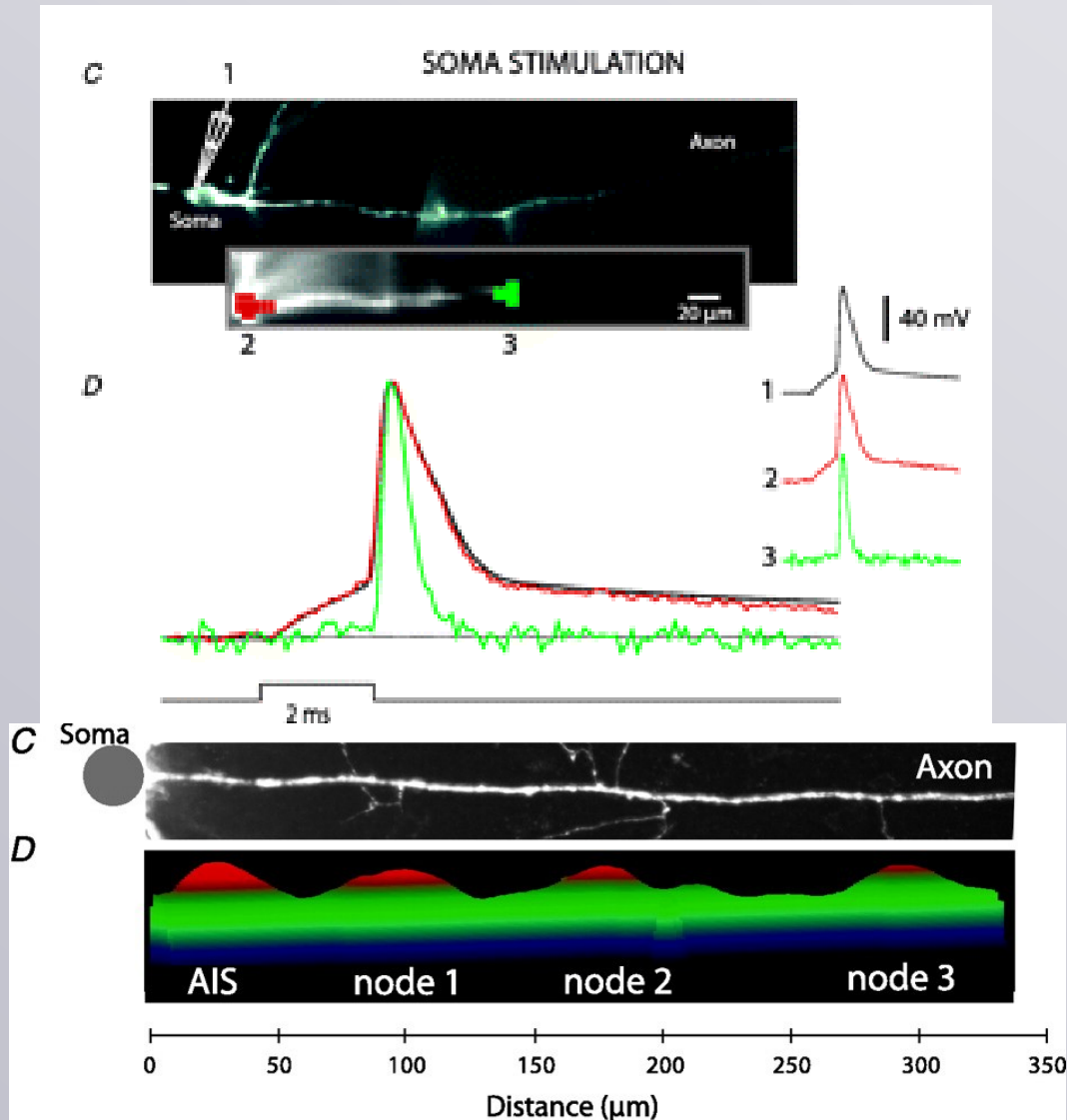
Neurônios mielinizados e não-mielinizados podem coexistir no mesmo nervo

**imunocitoquímica** para os canais de sódio





- O Potencial de ação se inicia no cone axonal e se propaga pelo axônio mielinizado por condução “saltatória”.
- Os nodos de Ranvier são subestações amplificadoras do PA



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

