



Universidade Federal do ABC

**BC-1308 Biofísica**

**Potencial de repouso e de ação. Sinapses**

# **Aula 7**

## **Potencial de repouso.**

## **Potencial gradual.**

## **Potencial de ação.**

## **Sinapses.**

---

**Jiří Borecký**  
**CCNH**  
**2014**



Universidade Federal do ABC

BC-1308 Biofísica

# Potencial da membrana – Bases iônicas

Potencial de repouso e de ação. Sinapses

## ➤ Membrana plasmática:

- permeável para  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,
- Impermeável para  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ , proteínas/metabolitos aniônicos ( $A^-$ )

Concentração de íons			
Intracelular [mM]		Extracelular [mM]	
$Na^+$	12	$Na^+$	145
$K^+$	155	$K^+$	4
$Ca^{2+}$	0,0001	$Ca^{2+}$	2
$Cl^-$	4	$Cl^-$	120
$HCO_3^-$	8	$HCO_3^-$	27
proteínas ( $A^-$ )	155	proteínas ( $A^-$ )	0



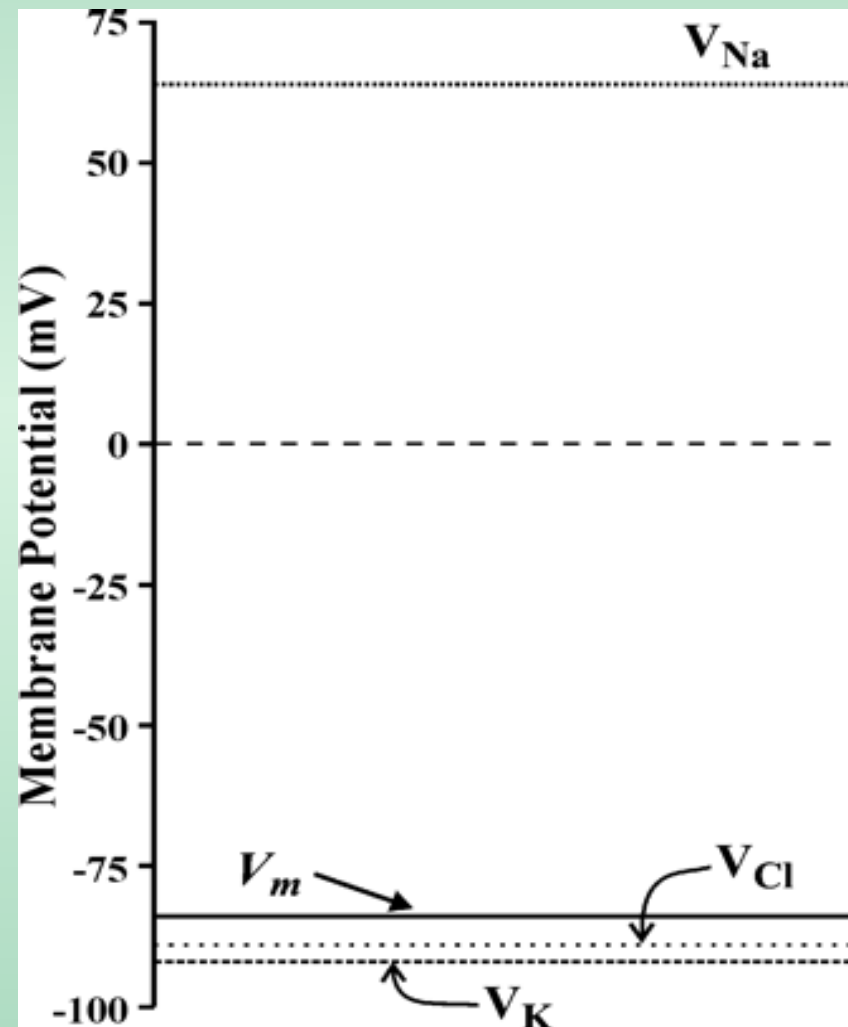
Universidade Federal do ABC

BC-1308 Biofísica

# Geração do potencial

Potencial de repouso e de ação. Sinapses

- Gradiente de  $K^+$  corresponde ao potencial  $\Delta E = -59 \cdot \log(155/4) = -93,78 \text{ mV}$
- Gradiente de  $Na^+$  corresponderia ao potencial  $\Delta E = -59 \cdot \log(12/145) = +63,85 \text{ mV}$
- Gradiente de  $Cl^-$  corresponderia ao potencial  $\Delta E = 59 \cdot \log(4/120) = -87,15 \text{ mV}$
- $\Delta E_K + \Delta E_{Na} + \Delta E_{Cl} = -117,08 \text{ mV}$   
(sem considerar permeabilidade)
- GHK:  $\Delta E = -79 \text{ mV}$  ( $P_K=152 \text{ cm/s}$ ,  $P_{Na}=2 \text{ cm/s}$ ,  $P_{Cl}=10 \text{ cm/s}$ )
- $\Delta E_m = \sim -70 \text{ a } -90 \text{ mV}$





Universidade Federal do ABC

**BC-1308 Biofísica**

# Geração do potencial

**Potencial de repouso e de ação. Sinapses**

- <http://thevirtualheart.org/GHKindex.html>
- <http://www.nernstgoldman.physiology.arizona.edu/launch/>
- [ngsim.swf](#)



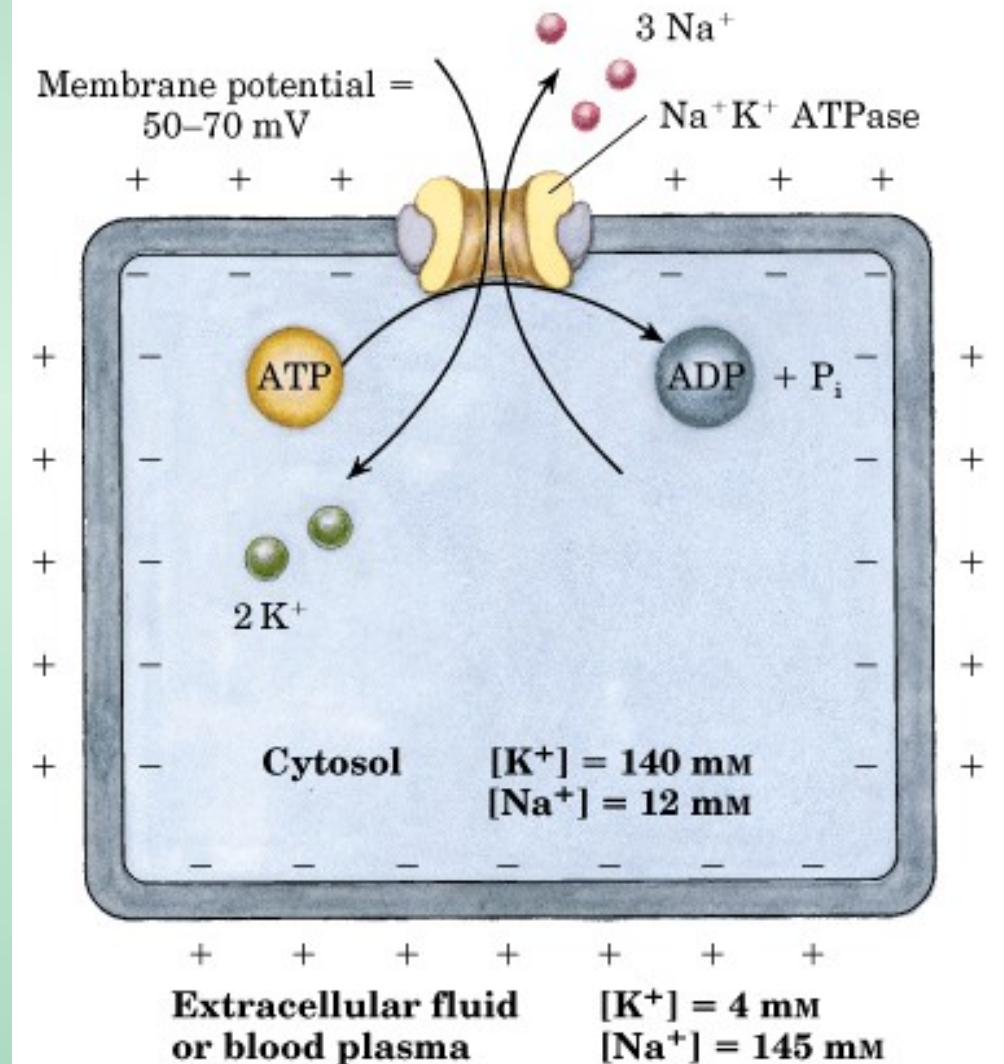
Universidade Federal do ABC

BC-1308 Biofísica

# Geração do potencial

Potencial de repouso e de ação. Sinapses

- $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase  
exporta 3 íons de  $\text{Na}^+$  e  
importa 2  $\text{K}^+$  por ciclo
- O transporte ativo é  
acoplado com a hidrólise de  
1 ATP por ciclo
- A atividade resulta em uma  
carga negativa na célula por  
um ciclo de trabalho





Universidade Federal do ABC

BC-1308 Biofísica

# Geração do potencial

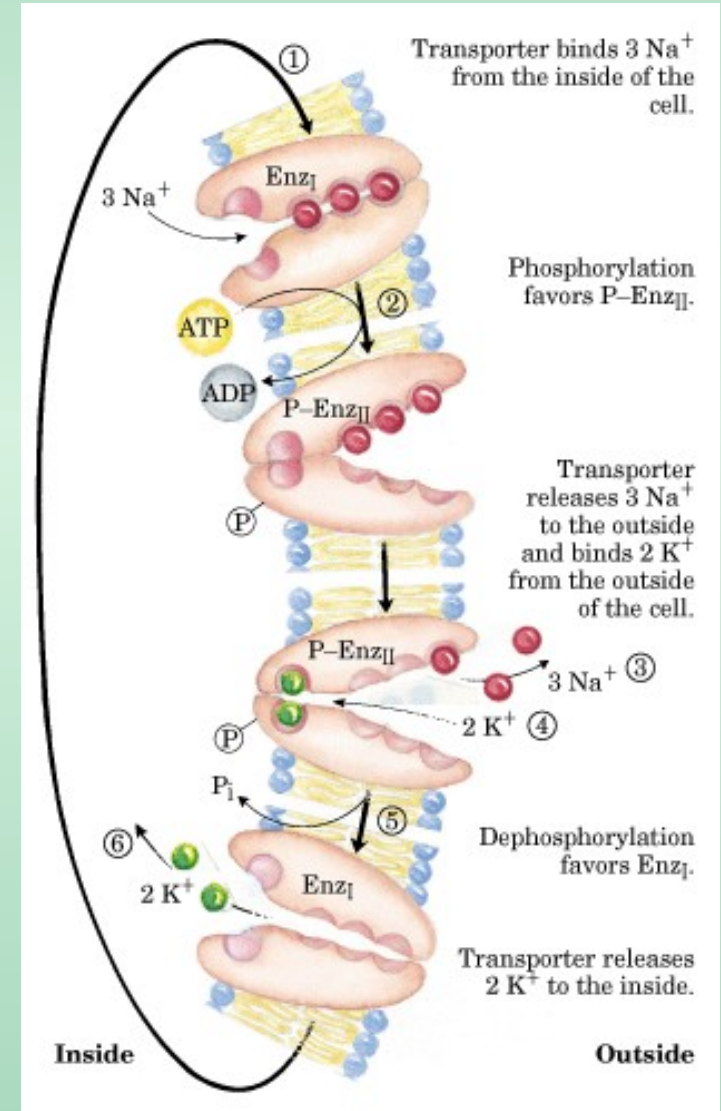
Potencial de repouso e de ação. Sinapses

- Mecanismo de transporte ativo de íons de 3  $\text{Na}^+$  para fora e 2  $\text{K}^+$  para dentro da célula:
- Aberta para dentro, afinidade fica alta para  $\text{Na}^+$ /baixa para  $\text{K}^+$
  - A fosforilação favorece abertura da bomba para exterior
  - Aberta para fora, afinidade fica baixa para  $\text{Na}^+$ /alta para  $\text{K}^+$
  - A desfosforilação favorece abertura da bomba para interior

NaK-ATPase.swf

NaK.swf

NaK-ATPase01.swf





# Geração do potencial

## Potencial de repouso e de ação. Sinapses

### ➤ Passo 1: Geração de gradientes de $\text{Na}^+$ e $\text{K}^+$ :

- Na,K-ATPase: Transporte ativo de 3  $\text{Na}^+$  para exterior e 2  $\text{K}^+$  para citoplasma (uma carga positiva para exterior por ciclo)
- Gerados gradientes de:
  - $\text{Na}^+$  (exterior: MUITOS → citoplasma poucos)
  - $\text{K}^+$  (exterior: poucos ← citoplasma MUITOS)

### ➤ Passo 2: Geração do potencial elétrico:

- Canais de K são **abertos** -  $\text{K}^+$  **pode** atravessar a membrana (para fora)
- Canais de Na são **fechados** -  $\text{Na}^+$  **NÃO pode** atravessar a membrana (para dentro)
- Para cada  $\text{K}^+$  que sai do citoplasma, uma carga positiva é exportada para exterior – gerando potencial elétrico
- Fluxo de  $\text{K}^+$  para dentro da célula cessa quando potencial químico de  $\text{K}^+$  se iguala ao potencial elétrico

$$0 = \Delta \tilde{\mu}_K = RT \ln \left( \frac{[\text{K}^+]_B}{[\text{K}^+]_A} \right) + zF(V_B - V_A)$$

$$RT \ln \left( \frac{[\text{K}^+]_A}{[\text{K}^+]_B} \right) = zF\Delta V_{(B-A)}$$



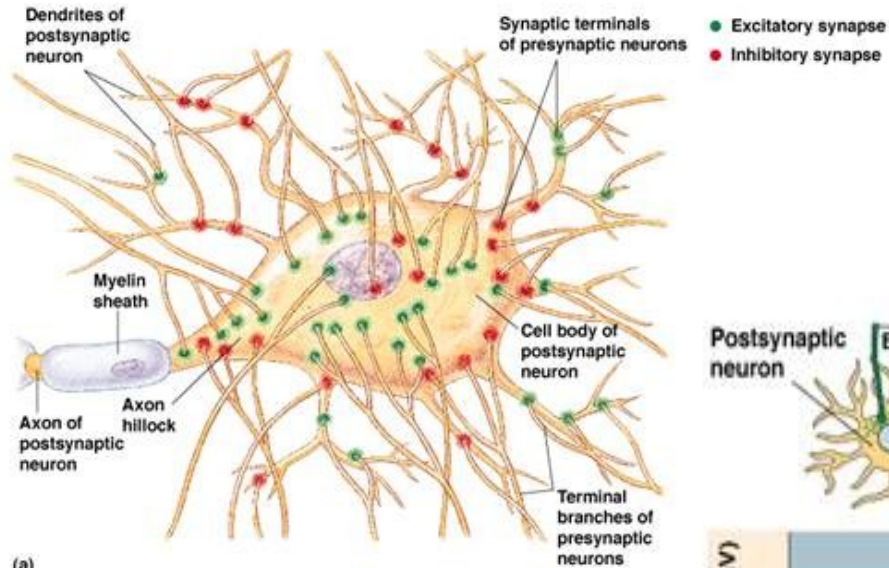


Universidade Federal do ABC

BC-1308 Biofísica

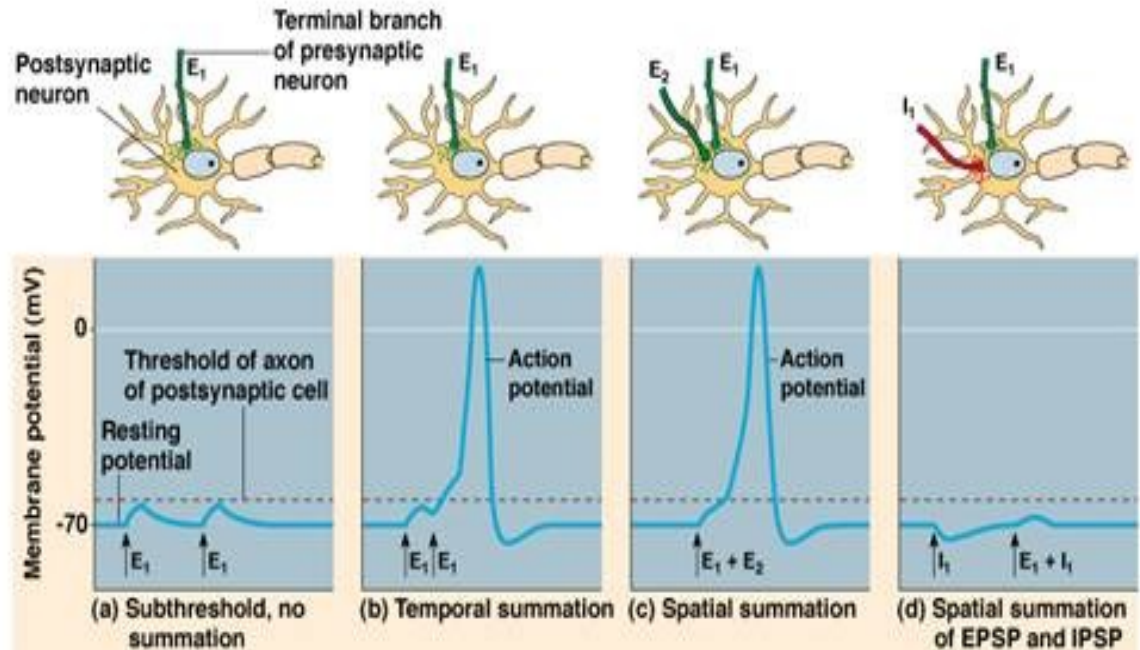
# Potencial graduado

Potencial de repouso e de ação. Sinapses



(a)

©1999 Addison Wesley Longman, Inc.



©1999 Addison Wesley Longman, Inc.



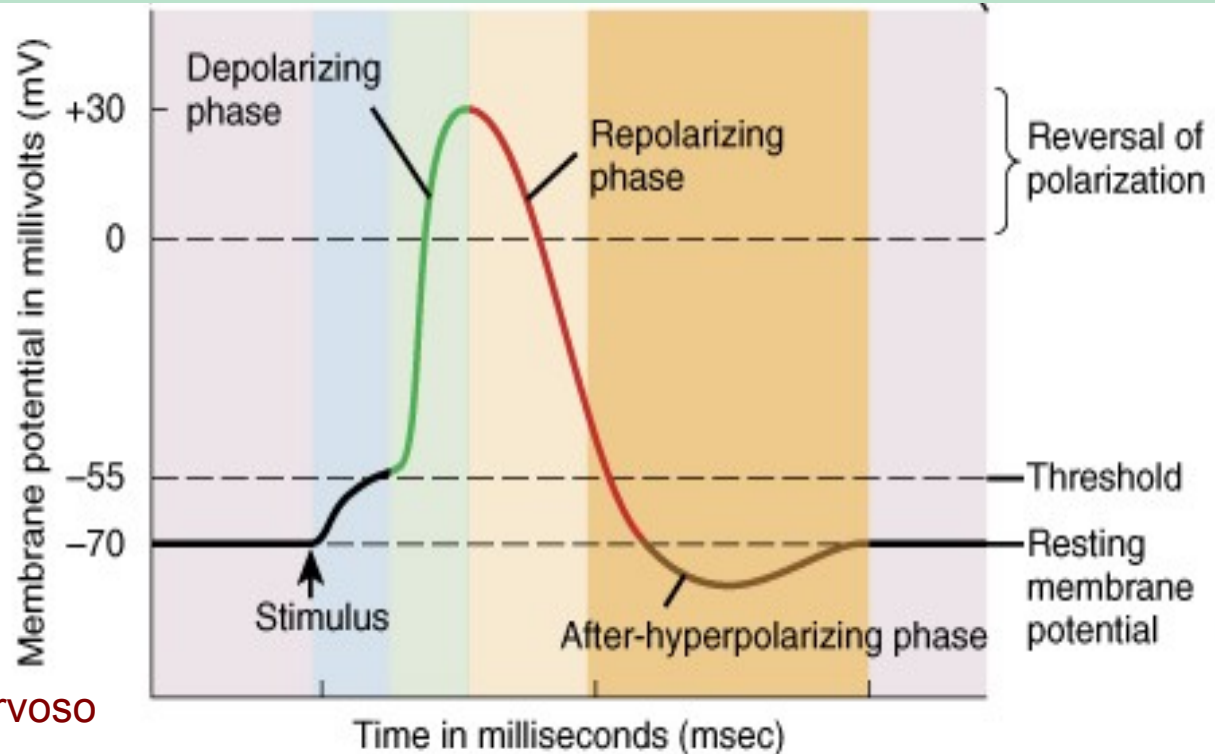


Universidade Federal do ABC

BC-1308 Biofísica

# Potencial de ação

Potencial de repouso e de ação. Sinapses



- Potencial de ação = impulso nervoso
- Limiar -55 mV (cono inicial)
- Fase despolarizante (mais positiva) – despolarização muda o potencial de -70 mV a +30 mV
- Fase repolarizante (mais negativa) – repolarização é reversa, de +30 mV de volta a -70 mV
- Fase hiperpolarizante posterior: fase ou período refratário, no qual nenhum novo potencial de ação não pode ser gerado



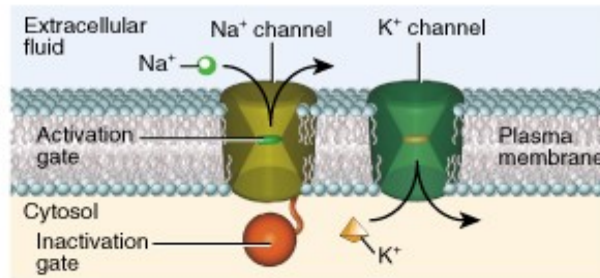
Universidade Federal do ABC

BC-1308 Biofísica

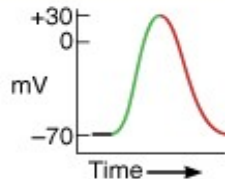
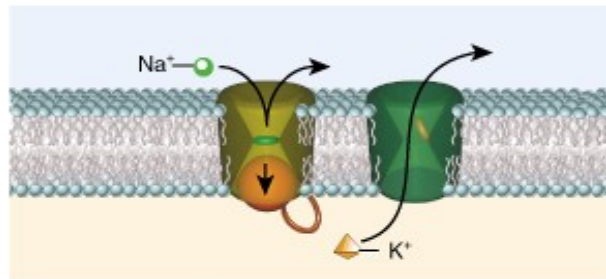
# Potencial de ação

Potencial de repouso e de ação. Sinapses

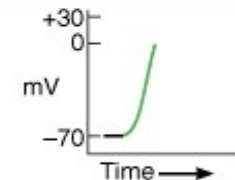
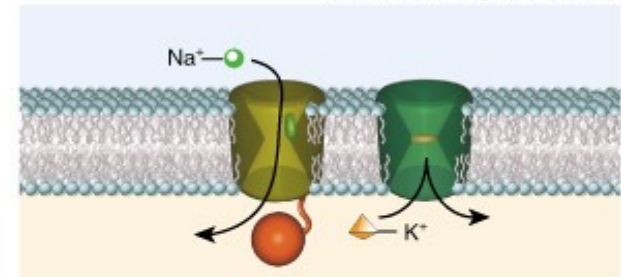
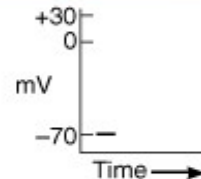
- 1. Resting state:**  
Voltage-gated  $\text{Na}^+$  channels are in resting state and voltage-gated  $\text{K}^+$  channels are closed.



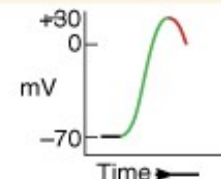
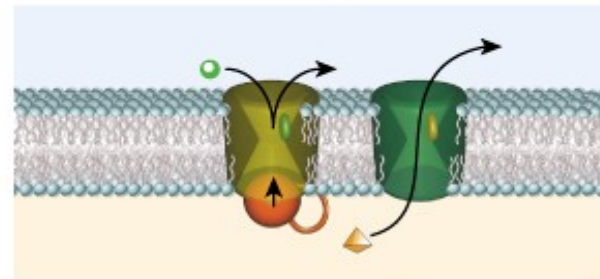
- 4. Repolarization continues:**  
Outflow of  $\text{K}^+$  restores the resting membrane potential,  $\text{Na}^+$  channel inactivation gates are opening and  $\text{K}^+$  channels are closing.



- 2. Depolarizing phase:**  
Depolarization to threshold (about  $-55 \text{ mV}$ ) opens  $\text{Na}^+$  channel activation gates. The inflow of  $\text{Na}^+$  further depolarizes the membrane until its polarity is reversed.



- 3. Repolarizing phase:**  
More slowly, depolarization also opens voltage-gated  $\text{K}^+$  channels, which permit outflow of  $\text{K}^+$ . At the same time  $\text{Na}^+$  channel inactivation gates are closing.



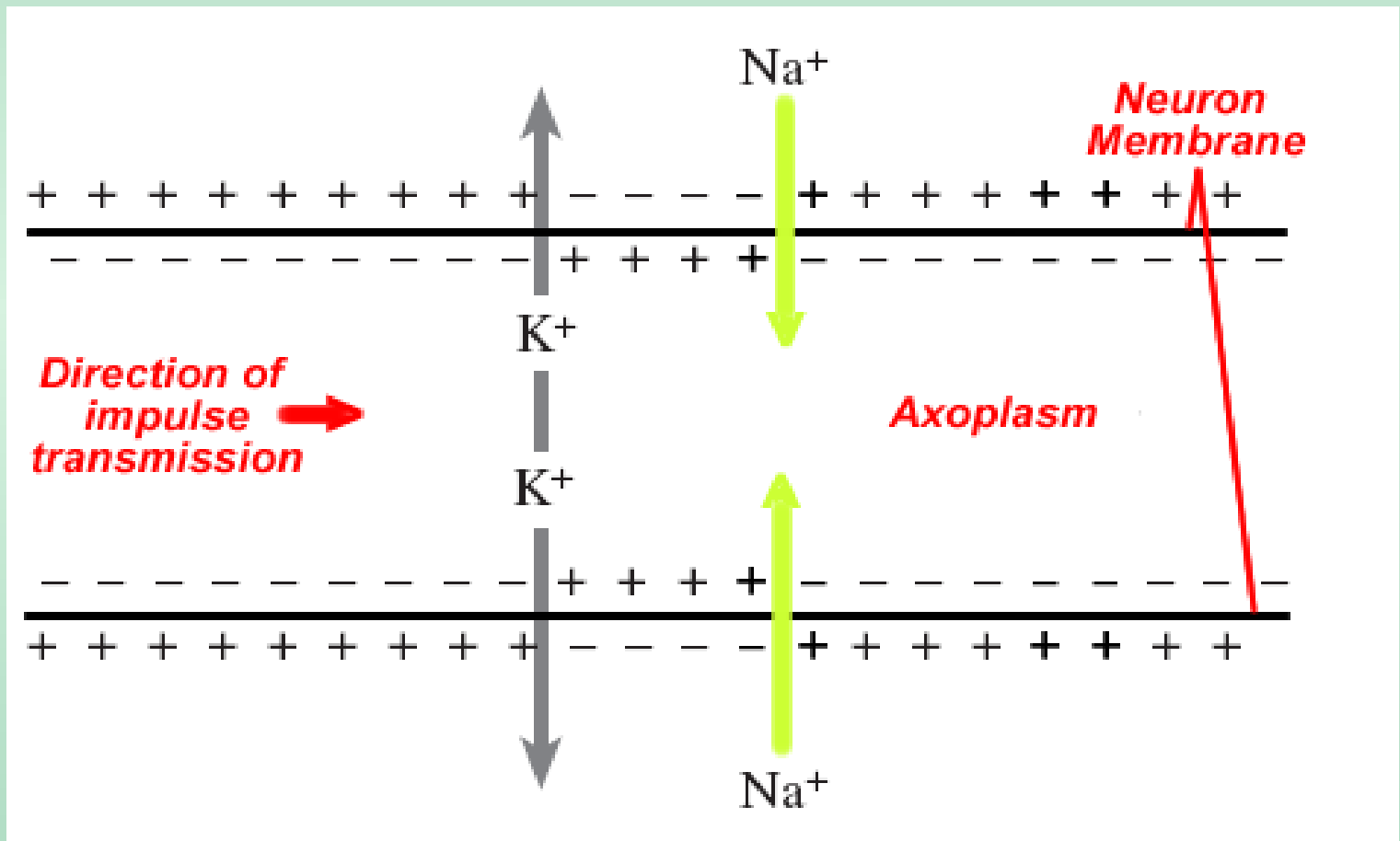


Universidade Federal do ABC

BC-1308 Biofísica

# Potencial de ação

Potencial de repouso e de ação. Sinapses



➤ channel2.swf – visão espacial; actionp.swf – visão temporal



Universidade Federal do ABC

BC-1308 Biofísica

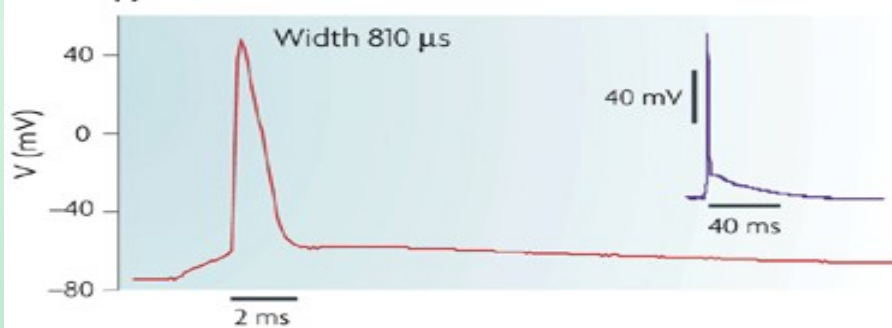
# Potencial de ação

Potencial de repouso e de ação. Sinapses

**a Purkinje neuron**



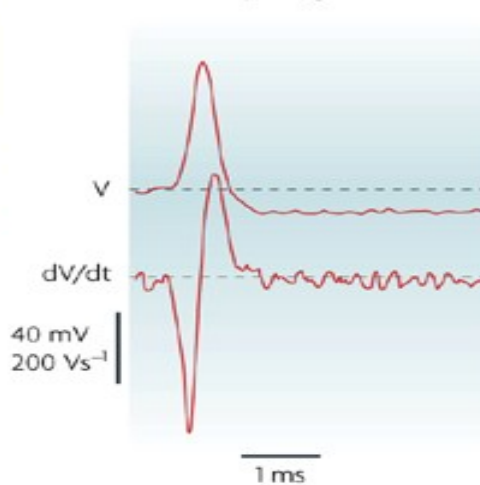
**b CA1 pyramidal neuron**



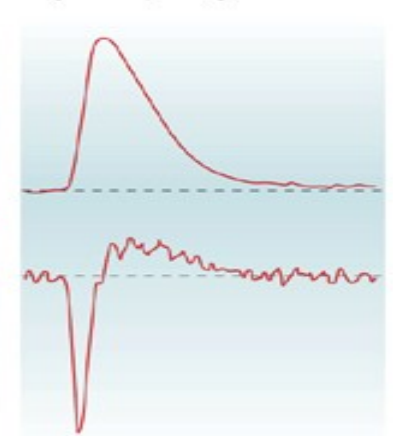
**c Dopamine neuron**



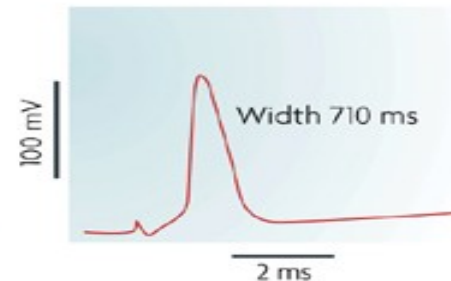
**d Fast-spiking**



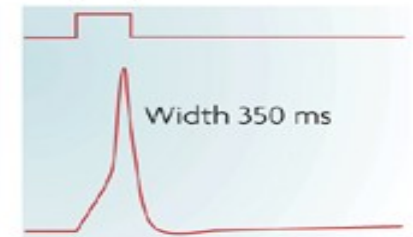
**Regular-spiking**



**e Soma**



**Presynaptic terminal**



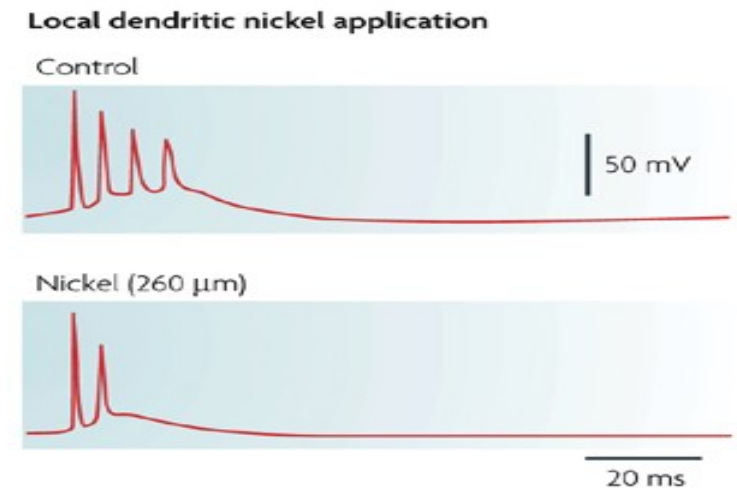
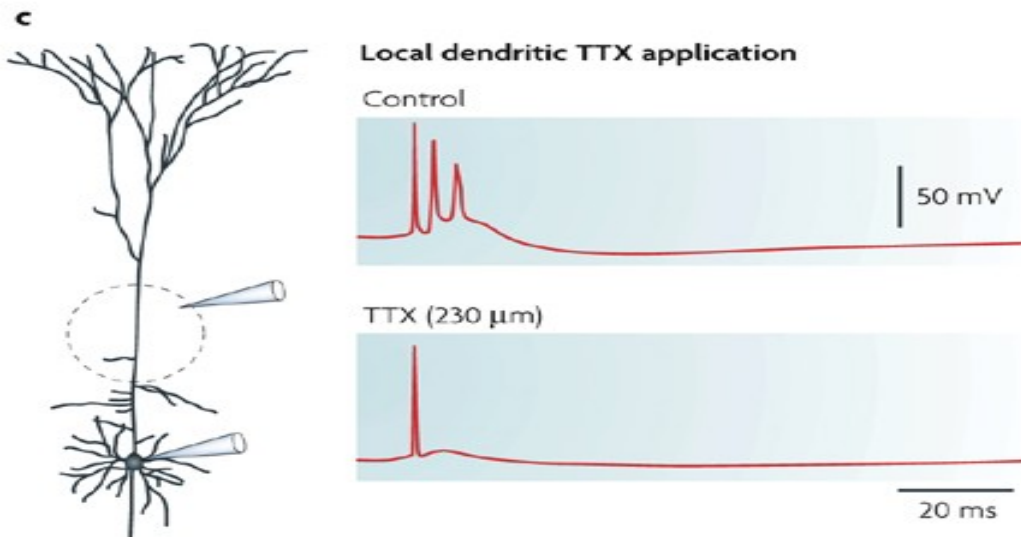
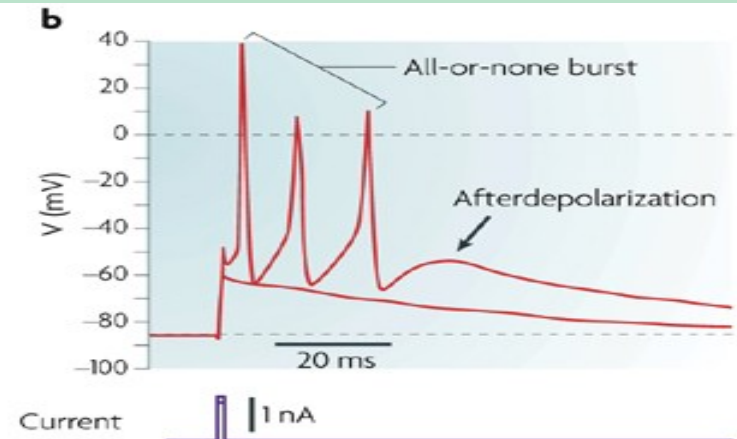
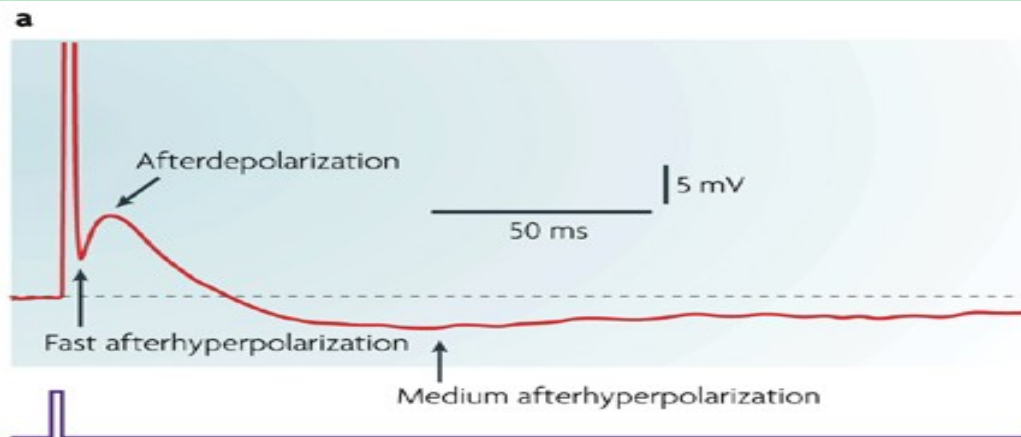


Universidade Federal do ABC

BC-1308 Biofísica

# Potencial de ação

Potencial de repouso e de ação. Sinapses







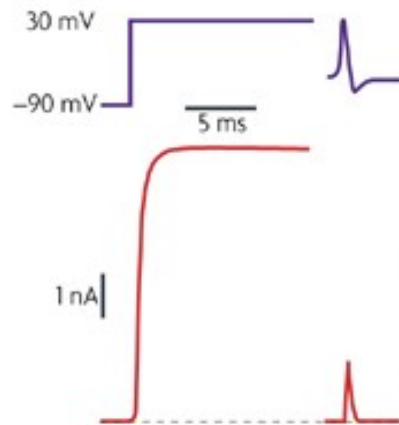
Universidade Federal do ABC

BC-1308 Biofísica

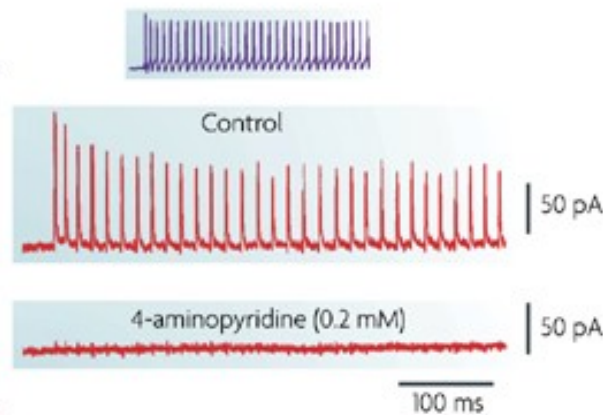
# Potencial de ação

Potencial de repouso e de ação. Sinapses

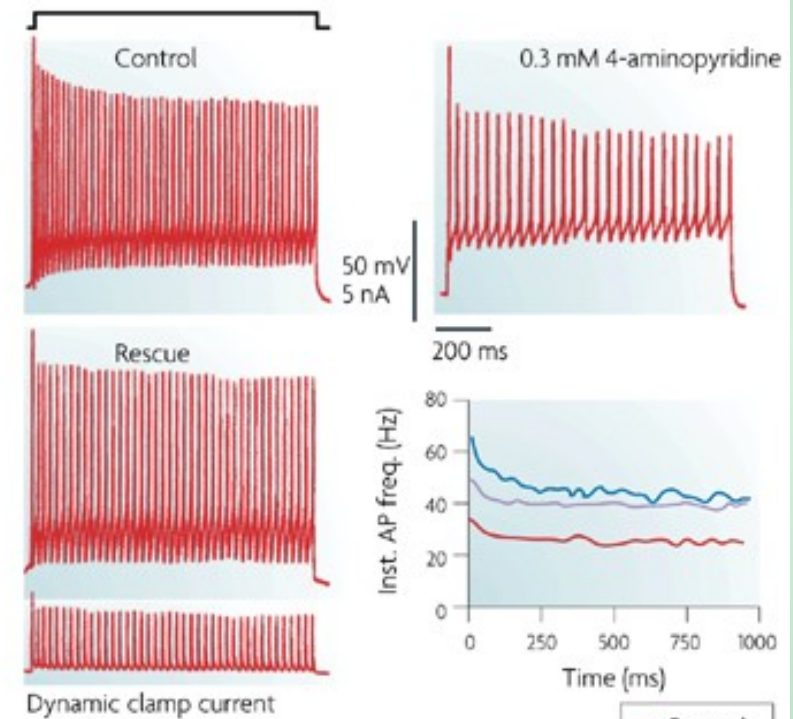
**a** Purkinje cell



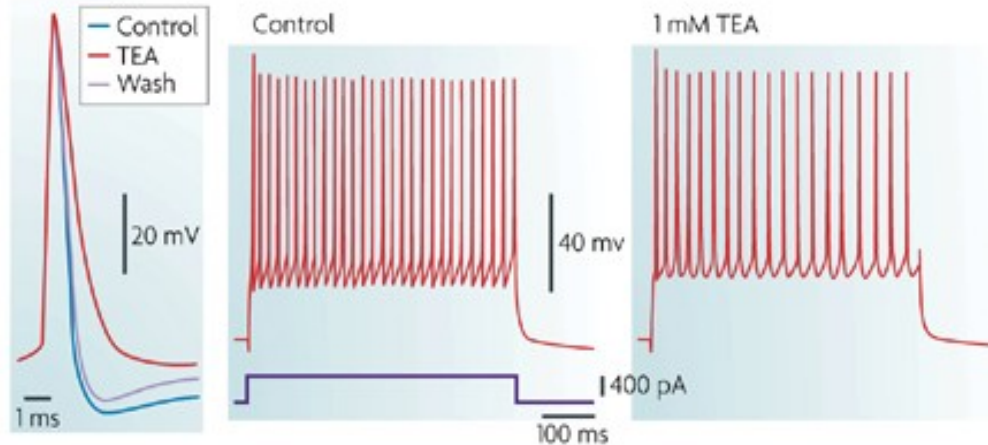
**b** Basket cell interneuron



**d** Oriens-alveus interneuron



**c** Neocortical interneurons





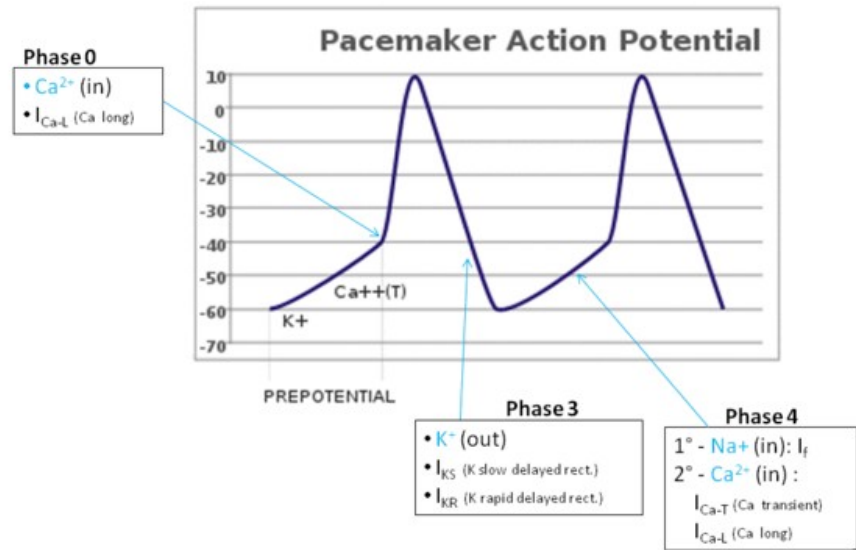
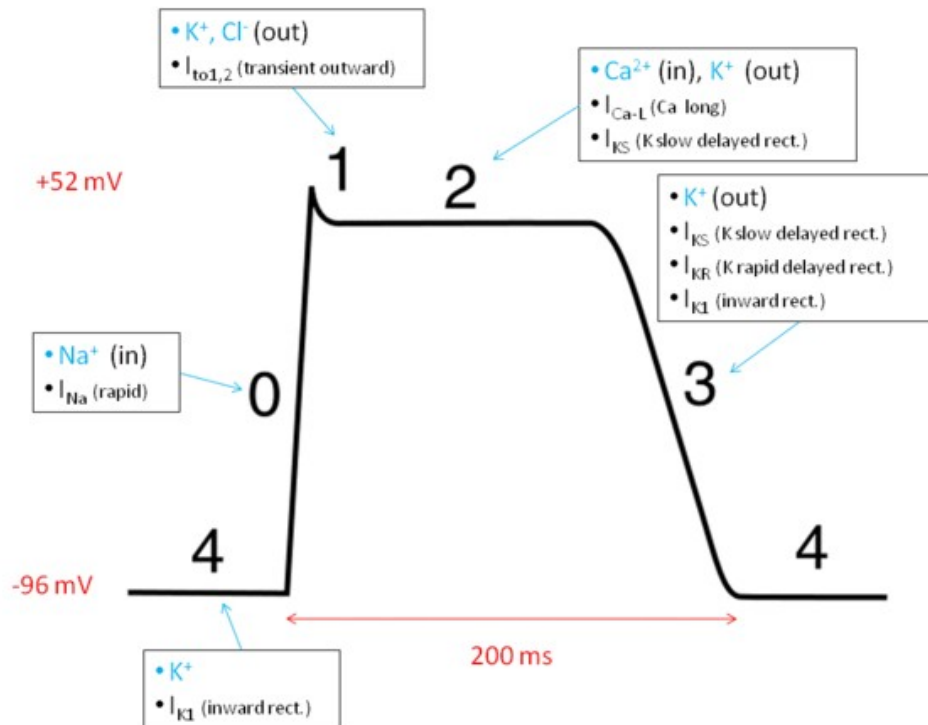


Universidade Federal do ABC

BC-1308 Biofísica

# Potencial de ação cardíaco

Potencial de repouso e de ação. Sinapses



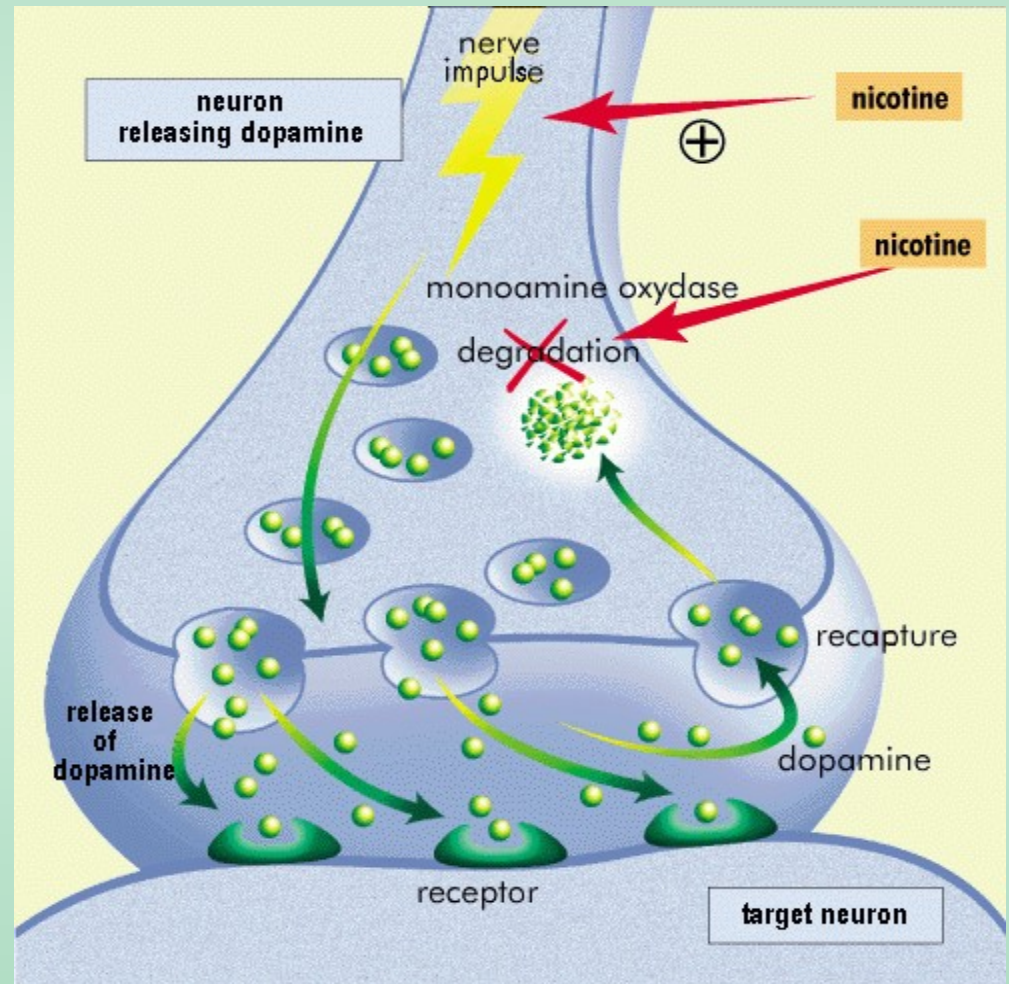


Universidade Federal do ABC

BC-1308 Biofísica

# Sinapse química

Potencial de repouso e de ação. Sinapses



- Sinapse.swf
- NeuroMusculSinapse.swf   neurotransf.swf



Universidade Federal do ABC

**BC-1308 Biofísica**

# Sinapse química

**Potencial de repouso e de ação. Sinapses**

## ➤ Sinapse excitatória

- Sinapse excitatórias causam que a membrana pós-sináptica é **despolarizada**, como por exemplo as sinapses entre neurônios motores e músculos esqueléticos.
- Os neurotransmissores mais comuns em sinapses excitatórias:
  - Acetilcolina (junção neuromuscular, contração muscular)
  - Glutamato (cérebro, aprendizagem e memória, Alzheimer?; junção neuromuscular de insetos)
  - Dopamina (cérebro, movimento voluntário, comportamento, Parkinson, esquizofrenia)
  - Serotonina (intestino, apetite)
  - Substancia P (dor)

## ➤ Sinapse inibitória

- Sinapses inibitórias causam a **hiperpolarização** da membrana pós-sináptica.
- Os neurotransmissores mais comuns em sinapses inibitórias de vertebrados são:
  - ácido gama-aminobutírico (GABA)
  - Glicina.
- As células pós-sinápticas das sinapses inibitórias apresentam canais de cloreto ligante dependentes. Quando ativados por um neurotransmissor, eles podem hiperpolarizar a membrana pós-sináptica. Assim há uma probabilidade menor de lançamento de um potencial de ação.



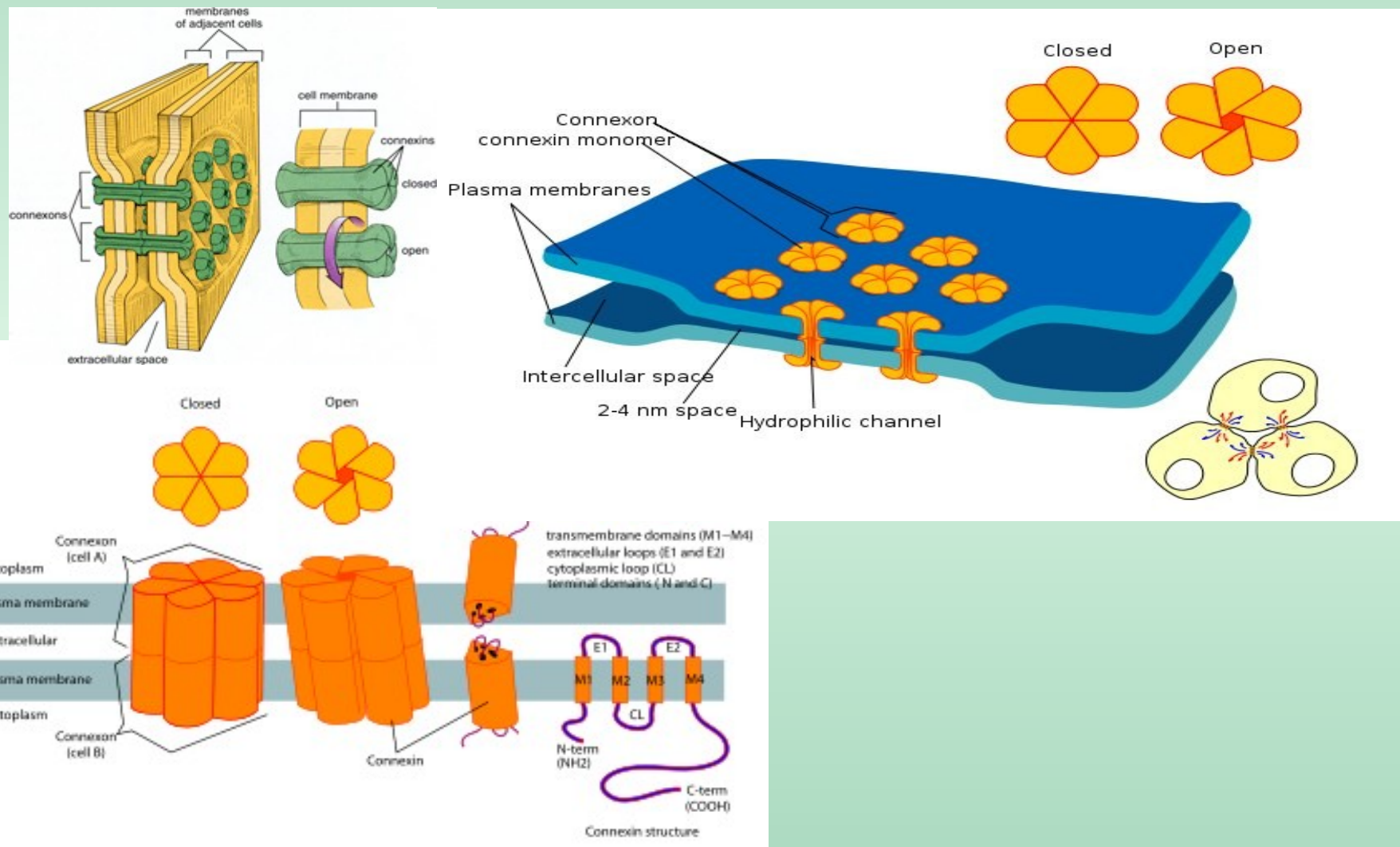


Universidade Federal do ABC

BC-1308 Biofísica

# Sinapse elétrica – *gap junction*

Potencial de repouso e de ação. Sinapses





Universidade Federal do ABC

**BC-1308 Biofísica**

# Sinapse elétrica – *gap junction*

**Potencial de repouso e de ação. Sinapses**

## ➤ Coração:

- Gap junctions são muito importante no músculo cardíaco – o sinal de contração passa eficientemente pela sinapse elétrica, permitindo contração quase simultânea do cardiomiócitos

## ➤ Pele:

- Este tecido depende muito nas comunicações via sinapses elétricas para sua diferenciação e proliferação

## ➤ Cérebro:

- Neurônios em núcleo vestibular, núcleo do nervo trigêmeo, núcleo inferior de oliva, área de tegumento ventral, astrócitos entre si

## ➤ Cerebelo:

- Células de Purkinje (Purkyně) com células gliais de Bergmann

## ➤ Músculo:

- Disco intercalar permitindo contração quase simultânea do miócitos da fibra muscular

## ➤ Retina: (figura posterior)

## ➤ Útero:

- Sinapses elétricas são formadas temporariamente para facilitar o parto (ocitocina)



Universidade Federal do ABC

**BC-1308 Biofísica**

# Sinapse elétrica – *gap junction*

**Potencial de repouso e de ação. Sinapses**

## ➤ Coração:

- Gap junctions são muito importante no músculo cardíaco – o sinal de contração passa eficientemente pela sinapse elétrica, permitindo contração quase simultânea do cardiomiócitos

## ➤ Pele:

- Este tecido depende muito nas comunicações via sinapses elétricas para sua diferenciação e proliferação

## ➤ Cérebro:

- Neurônios em núcleo vestibular, núcleo do nervo trigêmeo, núcleo inferior de oliva, área de tegumento ventral, astrócitos entre si

## ➤ Cerebelo:

- Células de Purkinje (Purkyně) com células gliais de Bergmann

## ➤ Músculo:

- Disco intercalar permitindo contração quase simultânea do miócitos da fibra muscular

## ➤ Retina: (figura posterior)

## ➤ Útero:

- Sinapses elétricas são formadas temporariamente para facilitar o parto (ocitocina)



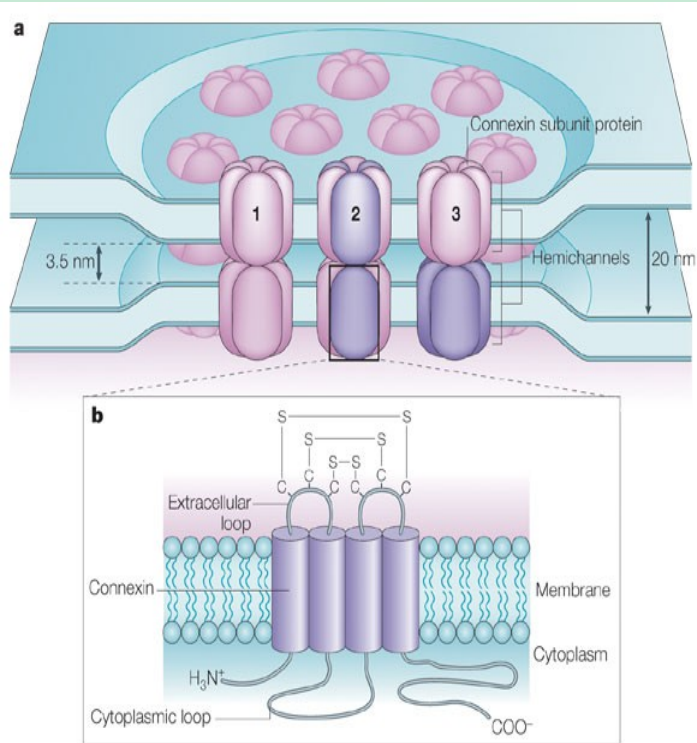


Universidade Federal do ABC

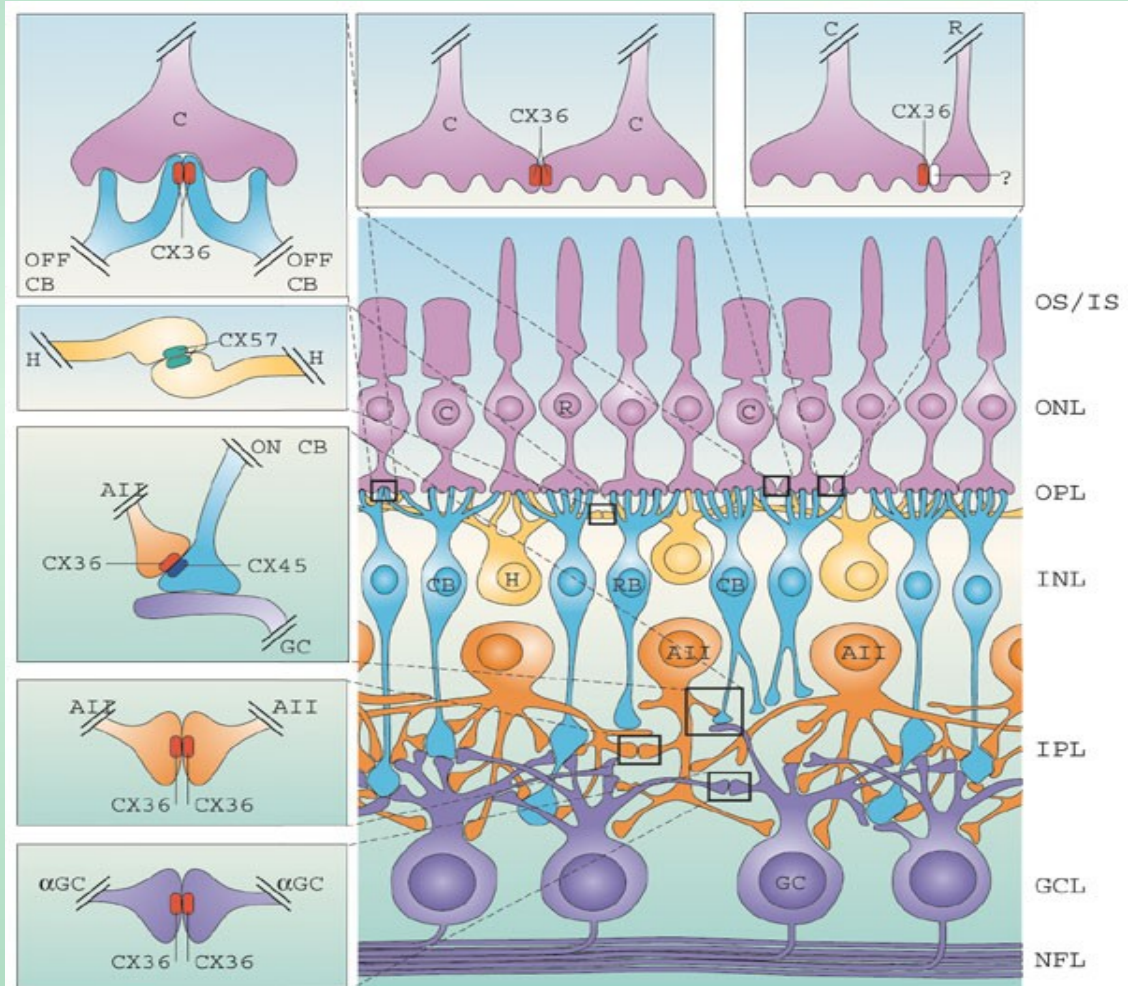
BC-1308 Biofísica

# Sinapse elétrica – *gap junction*

Potencial de repouso e de ação. Sinapses



Nature Reviews | Neuroscience



Nature Reviews | Neuroscience

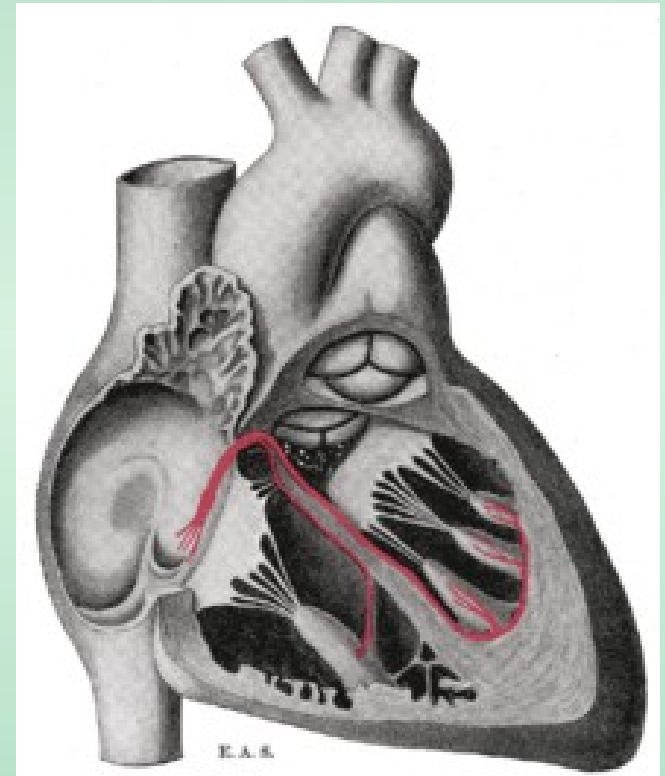
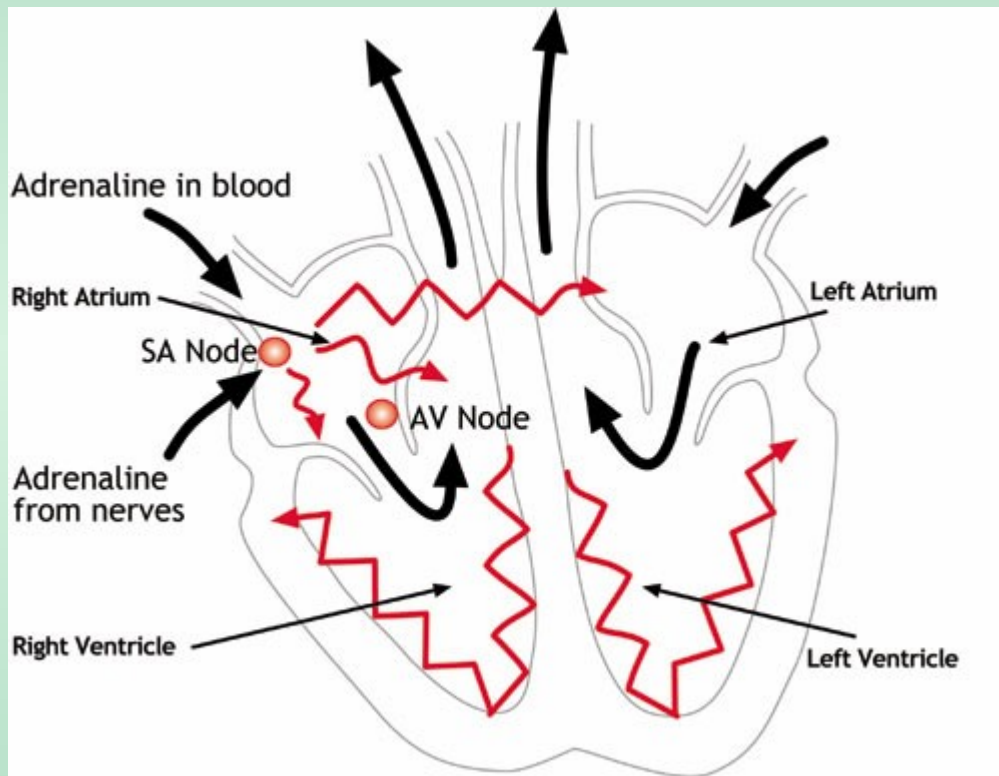


Universidade Federal do ABC

BC-1308 Biofísica

# Sinapse elétrica – *gap junction*

Potencial de repouso e de ação. Sinapses



- Sinapses elétricas disparam contração síncrona de cardiomiócitos
- SA = nodo sinoatrial (sinusal)
- AV = nodo atrioventricular