



# FISIOLOGIA DO SISTEMA MUSCULAR

---

ELYZABETH DA CRUZ CARDOSO.

PROFA TITULAR DA UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE - UFF

INSTITUTO DE SAÚDE DE NOVA FRIBURGO.

DISCIPLINAS DE FISIOLOGIA HUMANA

CURSOS DE ODONTOLOGIA E FONOAUDIOLOGIA

# FISIOLOGIA DO SISTEMA MUSCULAR

## Objetivos

---

- ✓ Evidenciar as estruturas funcionais básicas do sistema muscular estriado e esquelético.
- ✓ Identificar a relação das estruturas do sistema nervoso central com o sistema muscular.
- ✓ Caracterizar o funcionamento do sistema muscular estriado e liso.

# INTRODUÇÃO AO SISTEMA MUSCULAR

✓ Função básica: contração

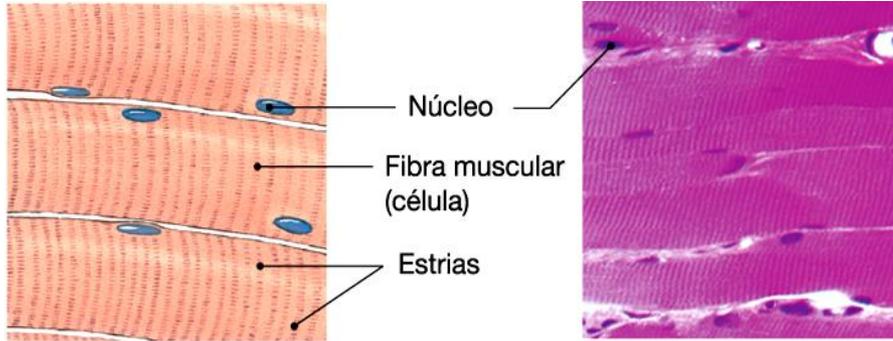
✓ Tipos de musculatura:

- a. Músculo estriado esquelético (contração/movimento força e calor)
- b. Músculo estriado cardíaco (contração/bomba sangue)
- c. Músculo liso (contração/secreção ou movimento do alimento)

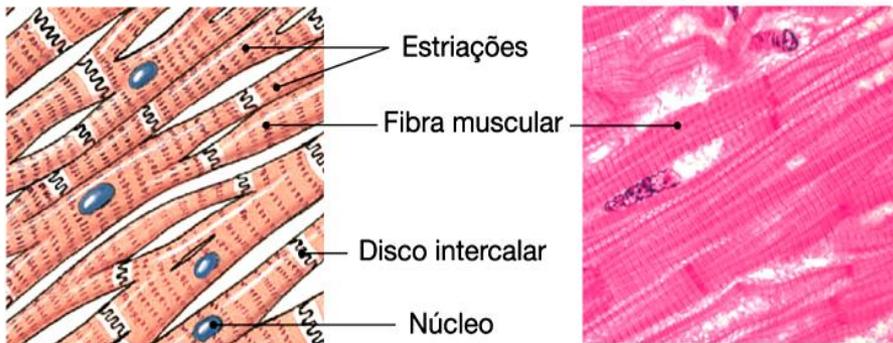
✓ Controle

- a. Voluntário
- b. Involuntário
- c. Hormonal

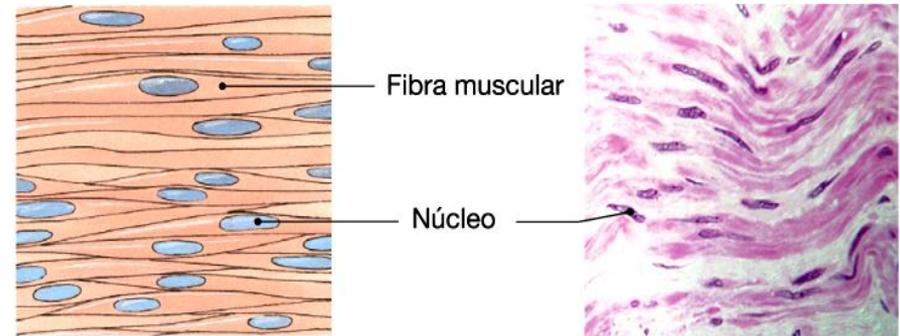
# TIPOS DE MÚSCULOS



(a) Músculo esquelético



(b) Músculo cardíaco

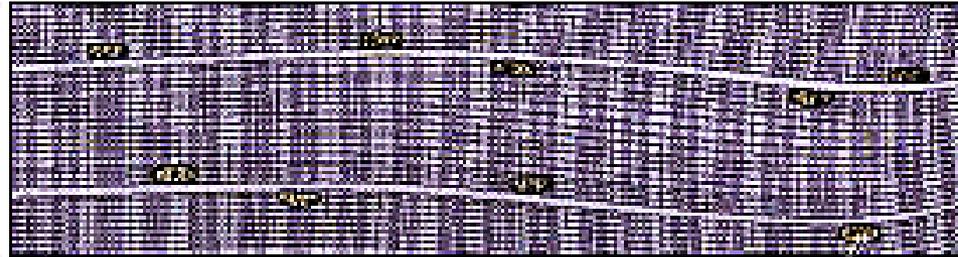


(c) Músculo liso

Musculo estriado: esquelético e cardíaco

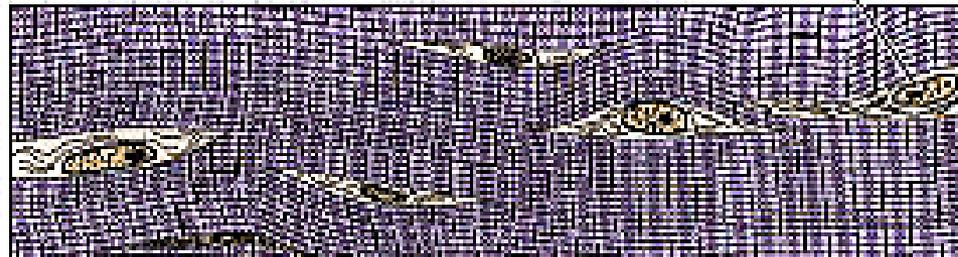
## Tipos de músculo

### Músculo esquelético



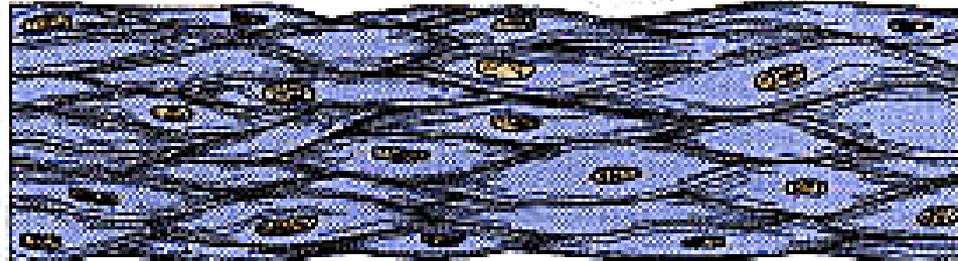
Núcleos

### Músculo cardíaco

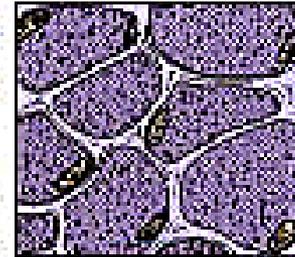


### Músculo liso

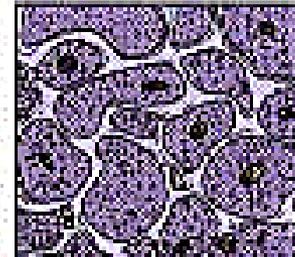
Discos intercalares



### Cortes transversais



Contração forte,  
rápida,  
descontínua e  
voluntária



Contração forte,  
rápida,  
contínua e  
Involuntária



Contração fraca,  
lenta e  
Involuntária

Junqueira & Carneiro, 2004.

# ORGANOGRAMA DO SISTEMA NERVOSO

**SISTEMA NERVOSO**

**SISTEMA NERVOSO CENTRAL  
SNC**

**SISTEMA NERVOSO PERIFÉRICO  
SNP**



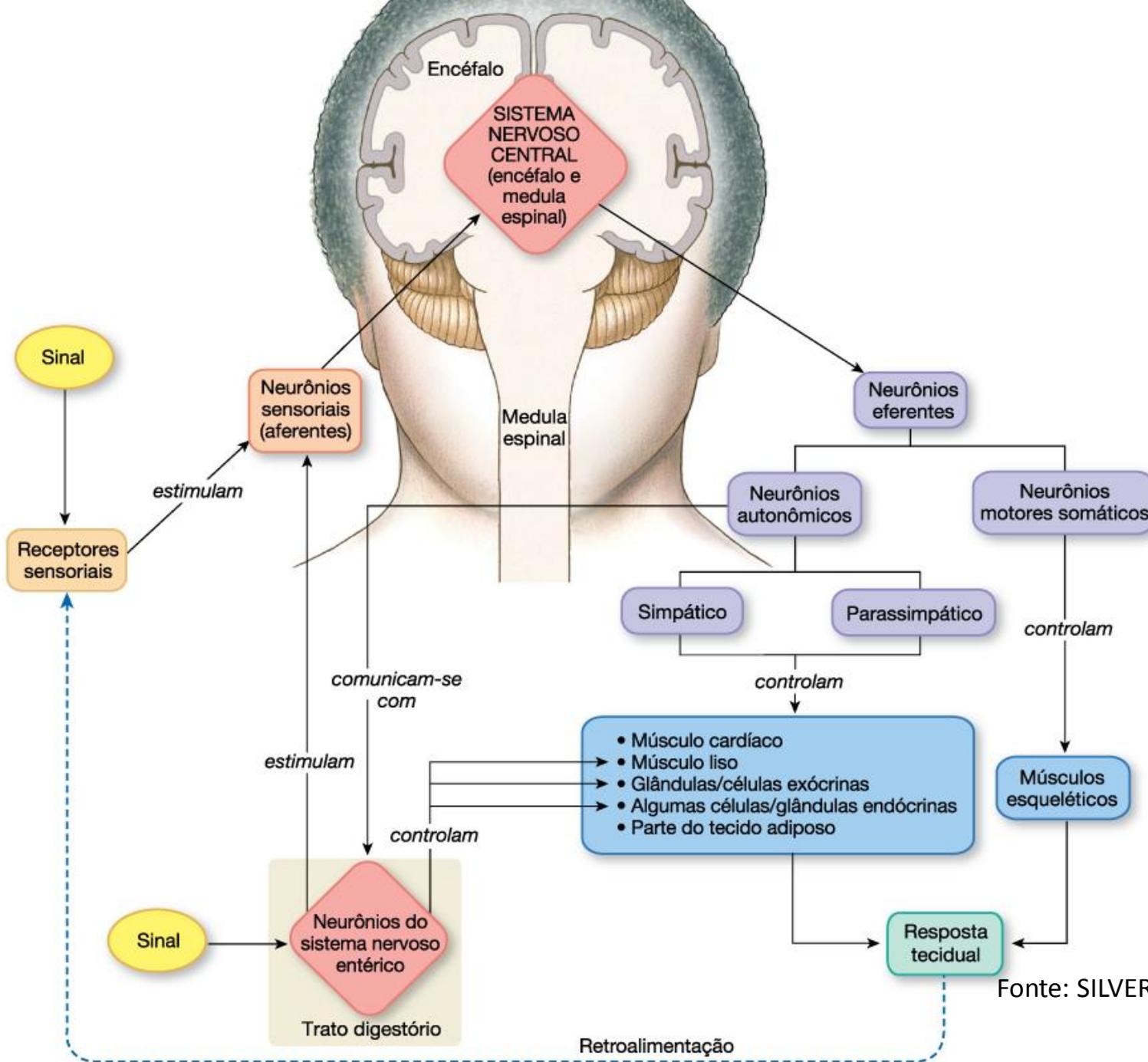
**Encéfalo e Medula Espinhal**

**AUTONOMO**

**SOMÁTICO**

**SIMPÁTICO**

**PARASIMPÁTICO**



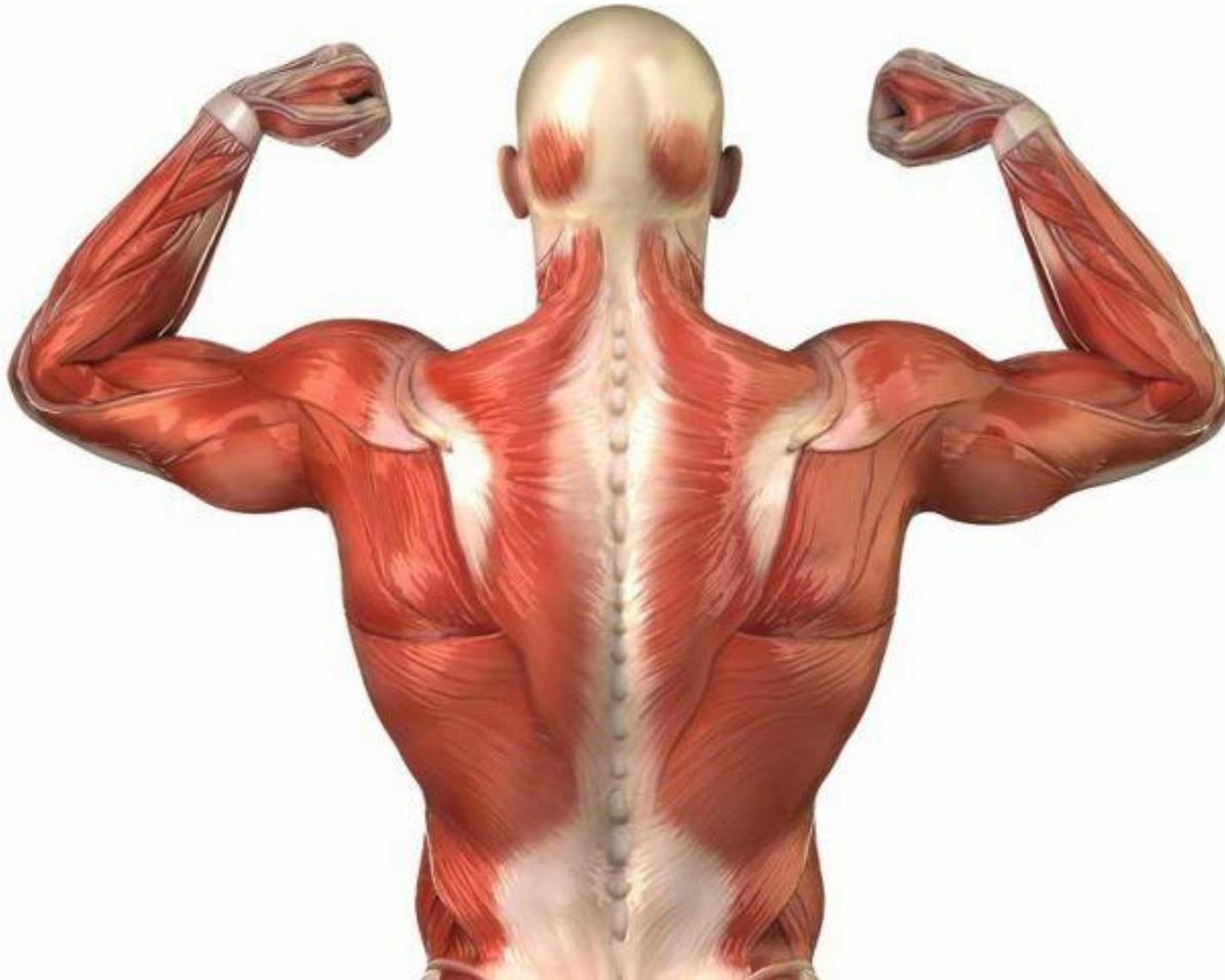
Fonte: SILVERTHORN (2010)

# COMPARAÇÃO DO SISTEMA NERVOSO AUTÔNOMO E SOMÁTICO

	Cell bodies in central nervous system	Peripheral nervous system	Neurotransmitter at effector	Effector organs	Effect
<b>SOMATIC NERVOUS SYSTEM</b>		Single neuron from CNS to effector organs Heavily myelinated axon	ACh		<b>+</b> Stimulatory
<b>AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM</b>		Two-neuron chain from CNS to effector organs			
		<b>SYMPATHETIC</b>	<p>Lightly myelinated preganglionic axons</p> <p>Ganglion</p> <p>Unmyelinated postganglionic axon</p> <p>ACh</p> <p>Epinephrine and norepinephrine</p> <p>Adrenal medulla</p> <p>Blood vessel</p>		
<b>PARASYMPATHETIC</b>		<p>Lightly myelinated preganglionic axon</p> <p>Ganglion</p> <p>Unmyelinated postganglionic axon</p> <p>ACh</p>	ACh	<p>Smooth muscle (e.g., in gut), glands, cardiac muscle</p>	

▲ Acetylcholine (ACh) ● Norepinephrine (NE)

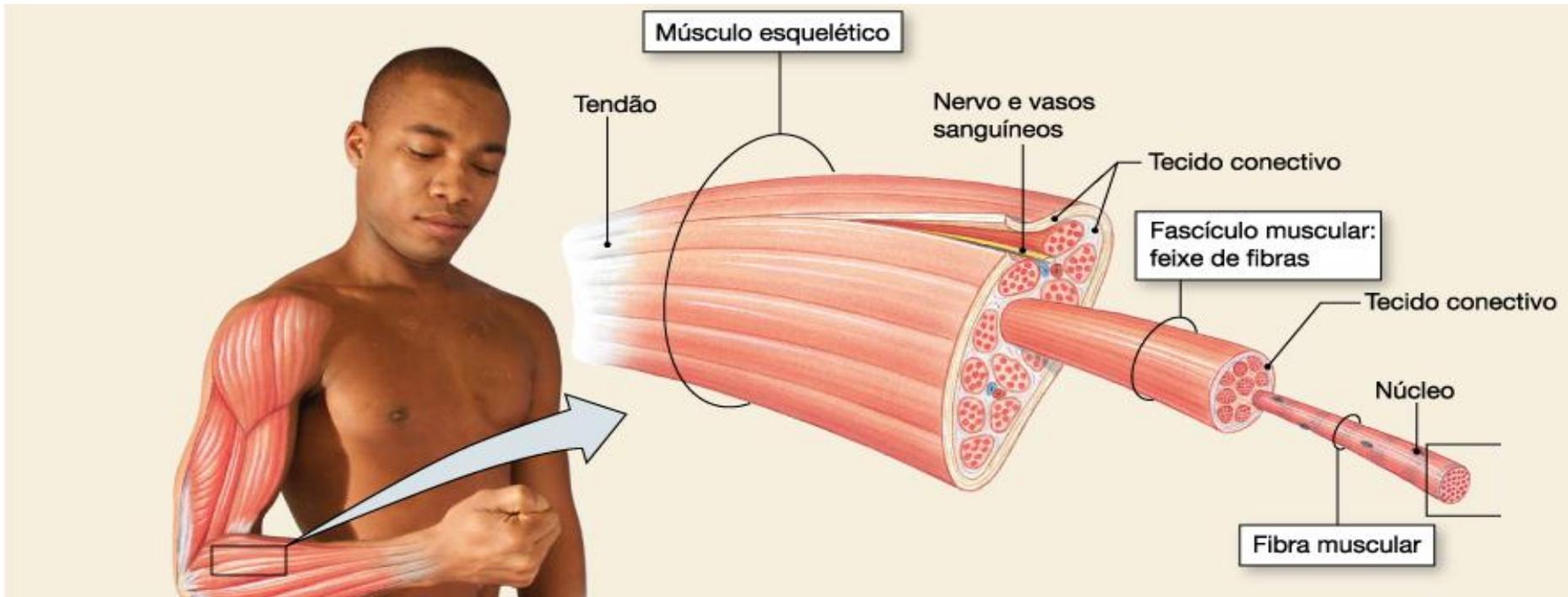
# MÚSCULO ESQUELETICO ESTRIADO



# O MÚSCULO ESQUELÉTICO

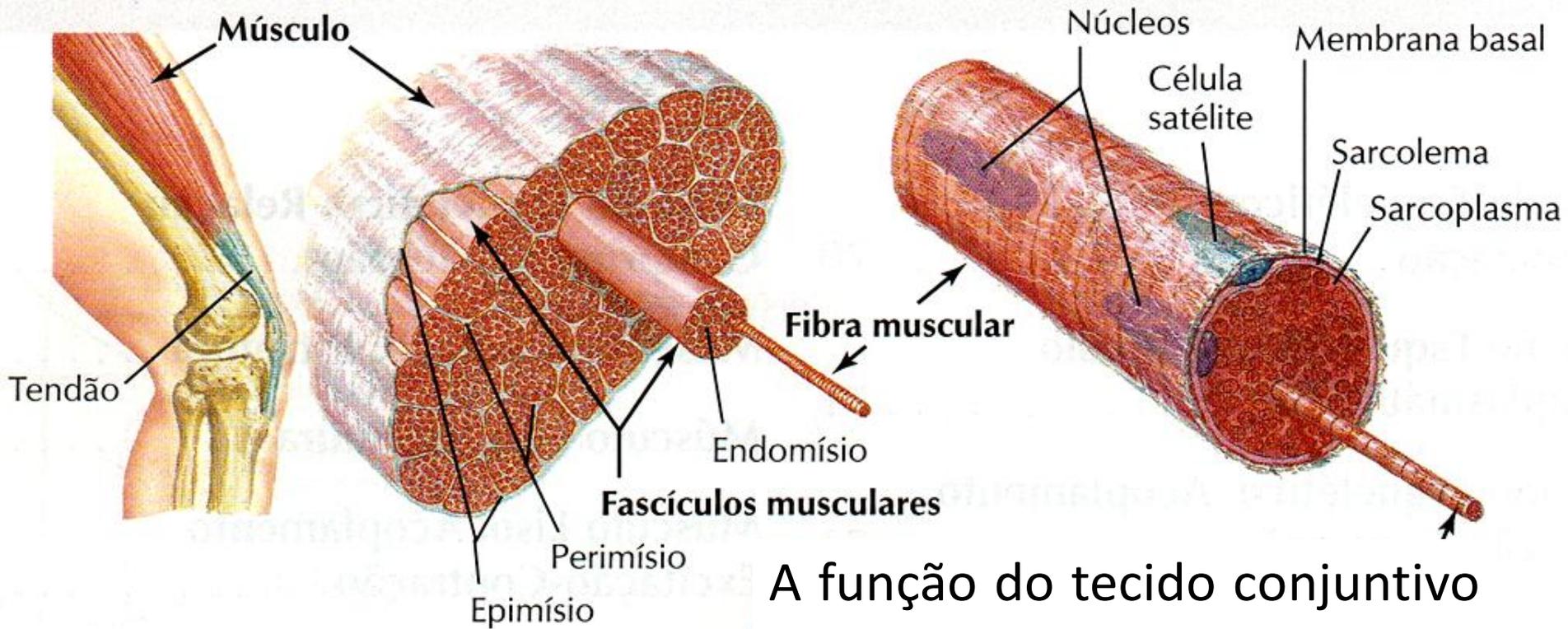
Fibras musculares + vasos + nervos + tecido conectivo

Tecido conectivo = Tendão



Musculo esquelético = Fascículos musculares = Fibras musculares

Fonte: SILVERTHORN (2010)



Fonte: SILVERTHORN (2010)

A função do tecido conjuntivo é manter as fibras musculares unidas, fazendo com que a força de contração individual atue no músculo inteiro e transmita para os tendões, ligamentos e periósteo.

# O MÚSCULO ESQUELÉTICO

- Ligado aos ossos por tendões
- Função de sustentação e movimentação
- Controle voluntário
- Resposta a um neurônio motor somático

# PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MÚSCULO ESQUELÉTICO

Tipos de Contração:

## ISOTÔNICA

Existe alteração no comprimento do músculo

Existe afastamento ou aproximação das estruturas ósseas

Força RÁPIDA , MÁXIMA e de RESISTÊNCIA

## ISOMÉTRICA

Sem deslocamento das estruturas ósseas na contração

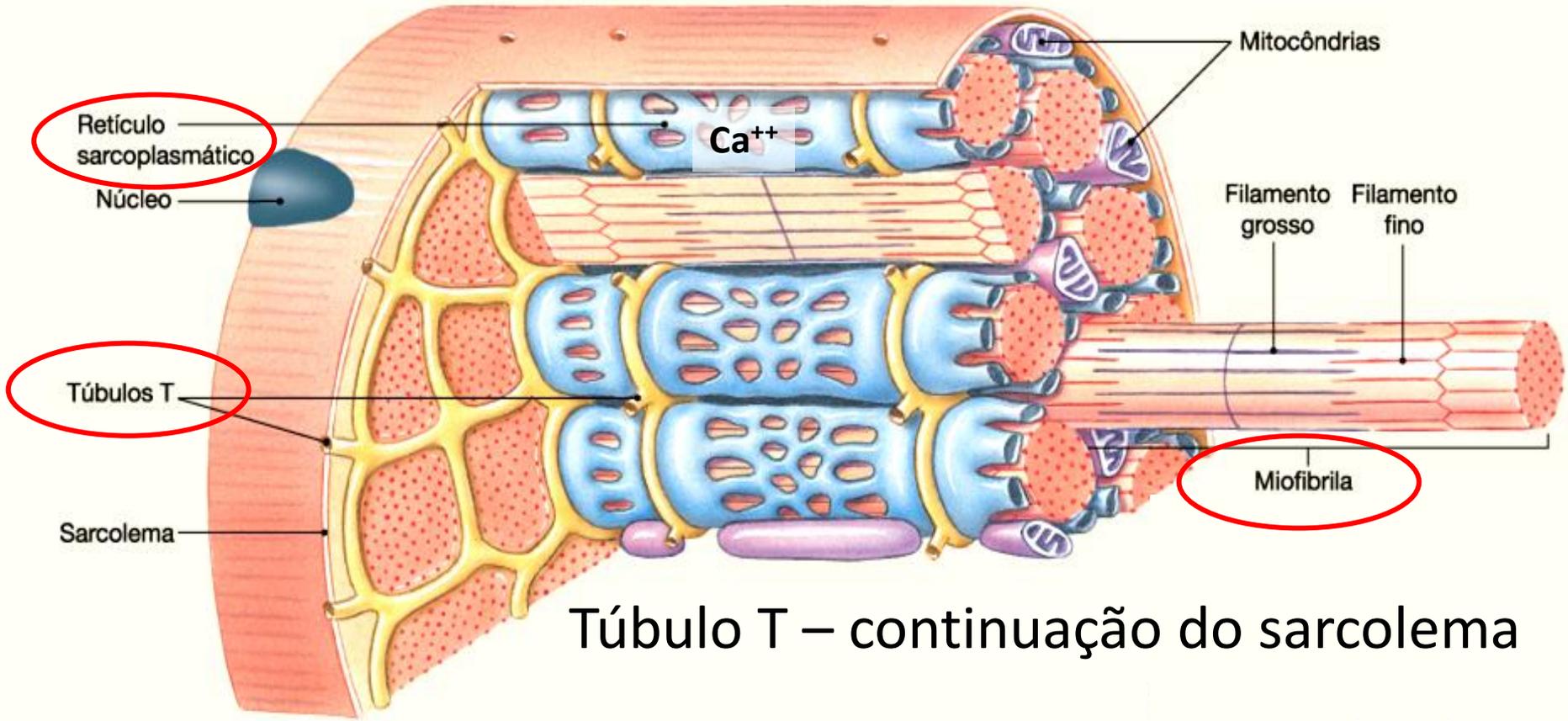


# CONTRAÇÃO MUSCULAR ISOMÉTRICA CONTRAÇÃO SEM ALTERAÇÃO DO ÂNGULO



# FIBRA MUSCULAR ESQUELÉTICA

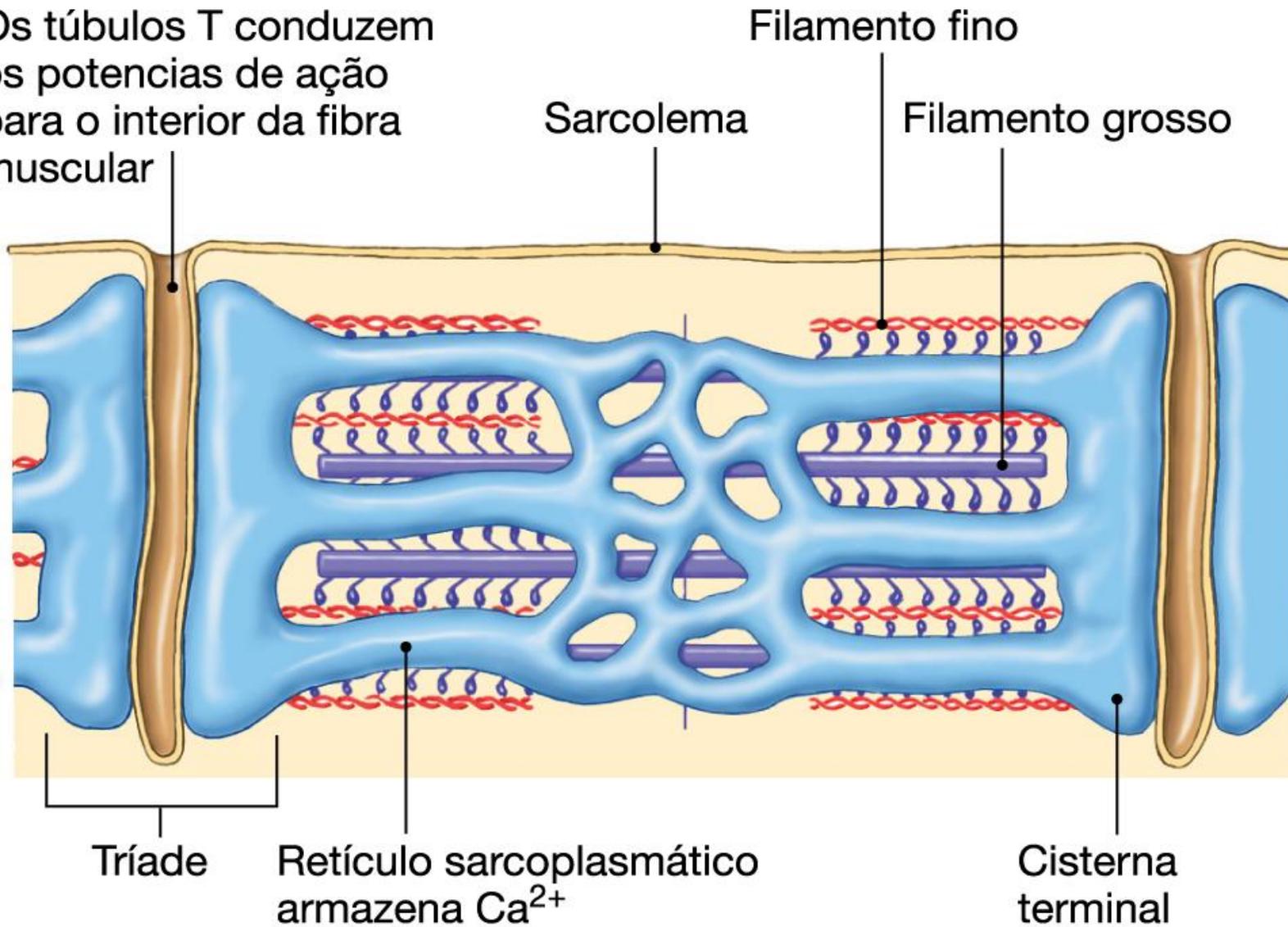
Miofibrila é o menor elemento contrátil do músculo



Túbulo T – continuação do sarcolema

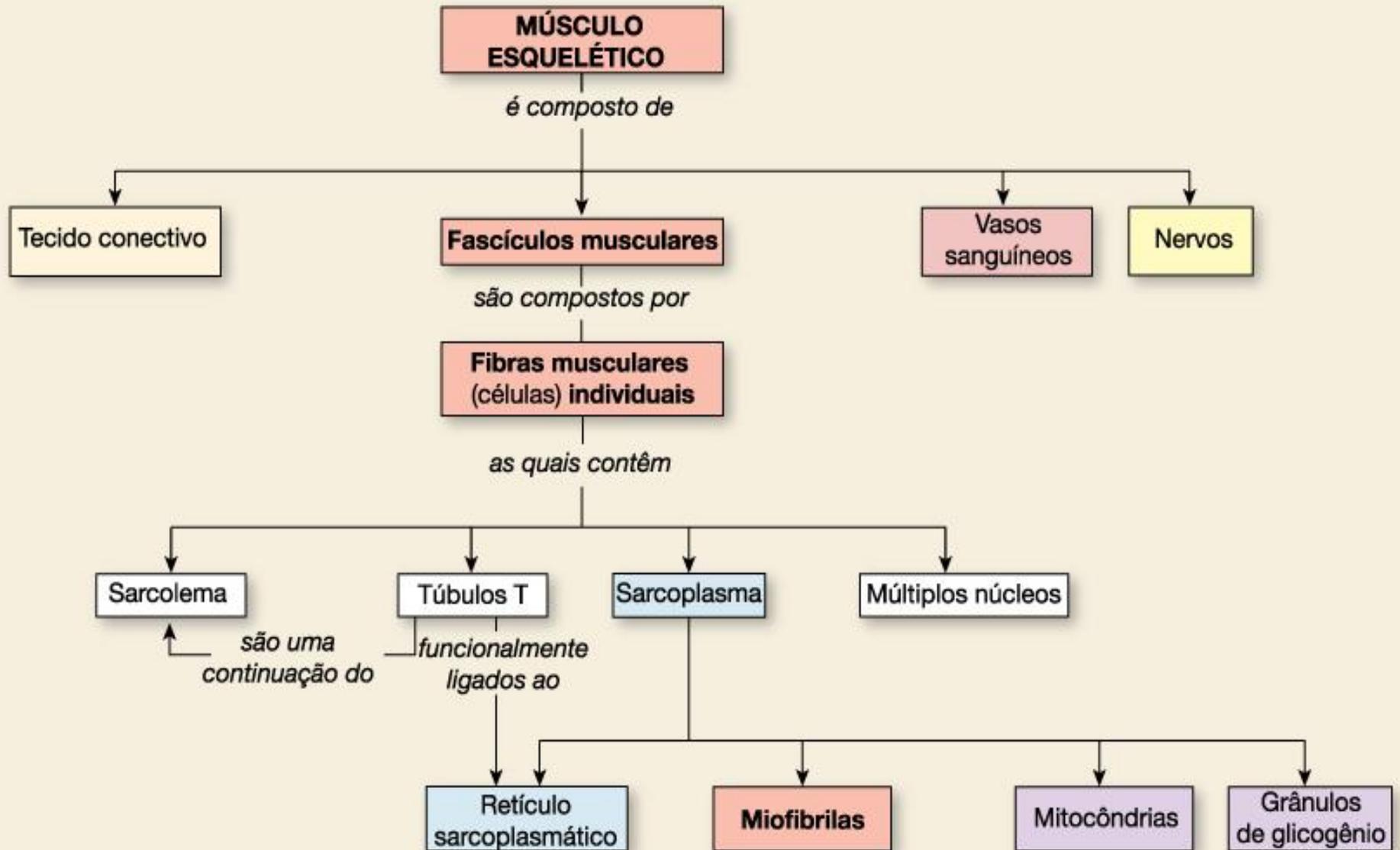
Fonte: SILVERTHORN (2010)

Os túbulos T conduzem os potenciais de ação para o interior da fibra muscular

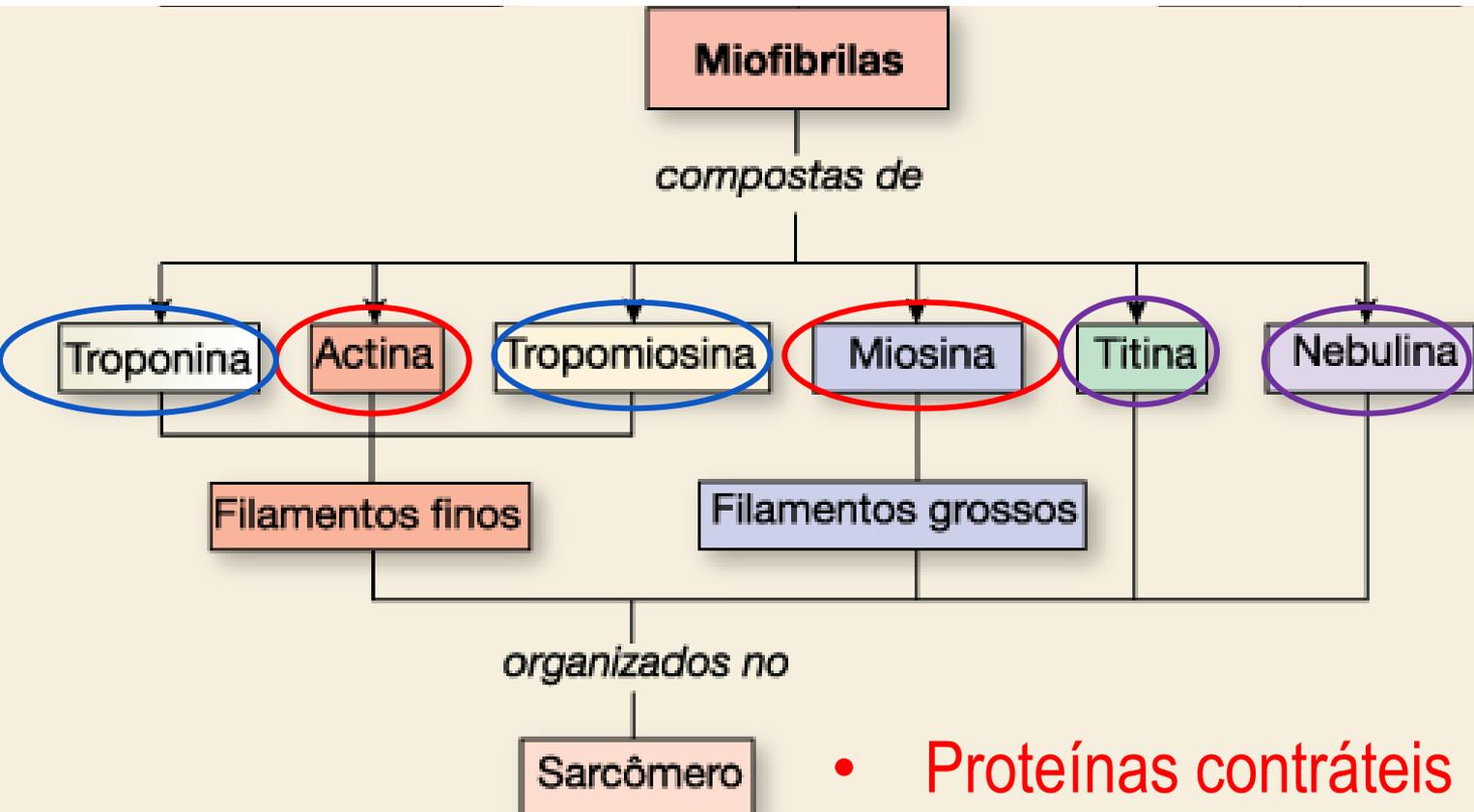


Fonte: SILVERTHORN (2010)

# O MÚSCULO ESQUELÉTICO

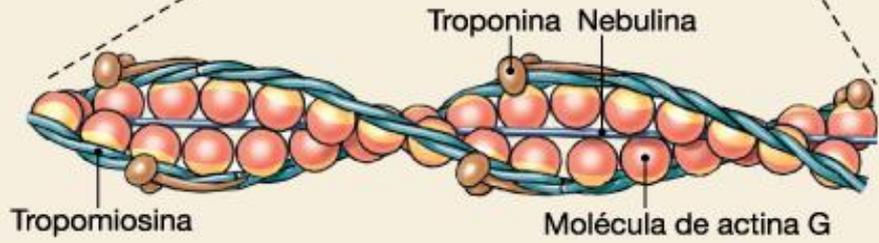
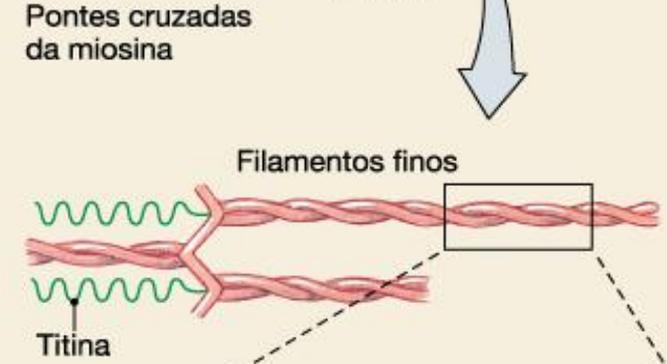
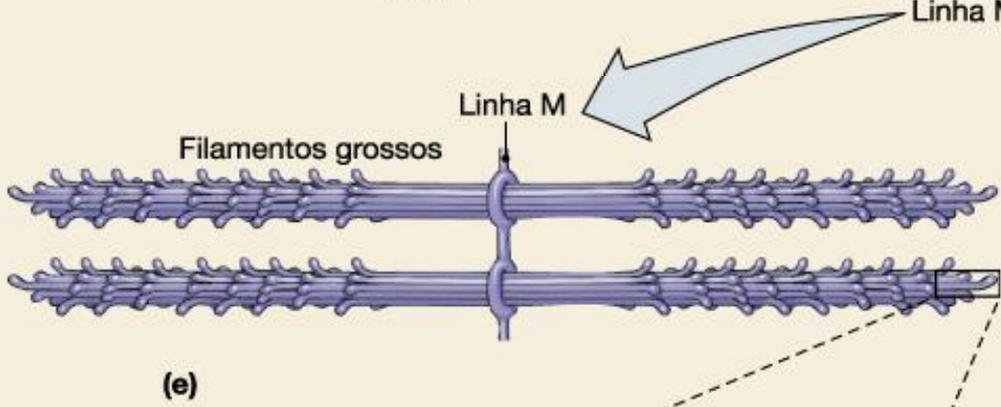
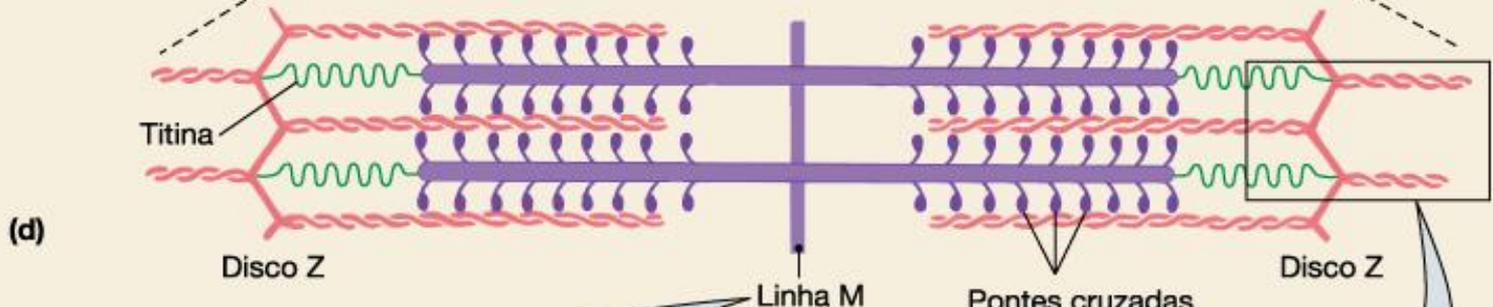
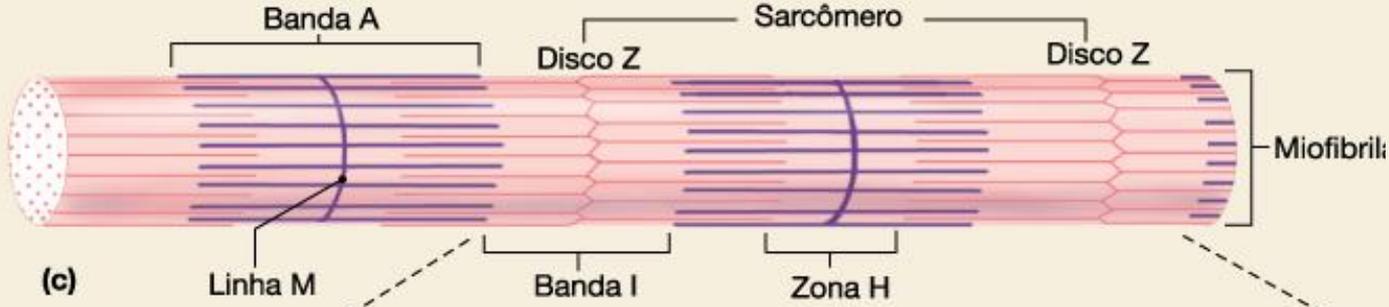


# COMPOSIÇÃO DA MIOFIBRILA



- Proteínas contráteis
- Proteínas regulatórias
- Proteínas acessórias gigantes

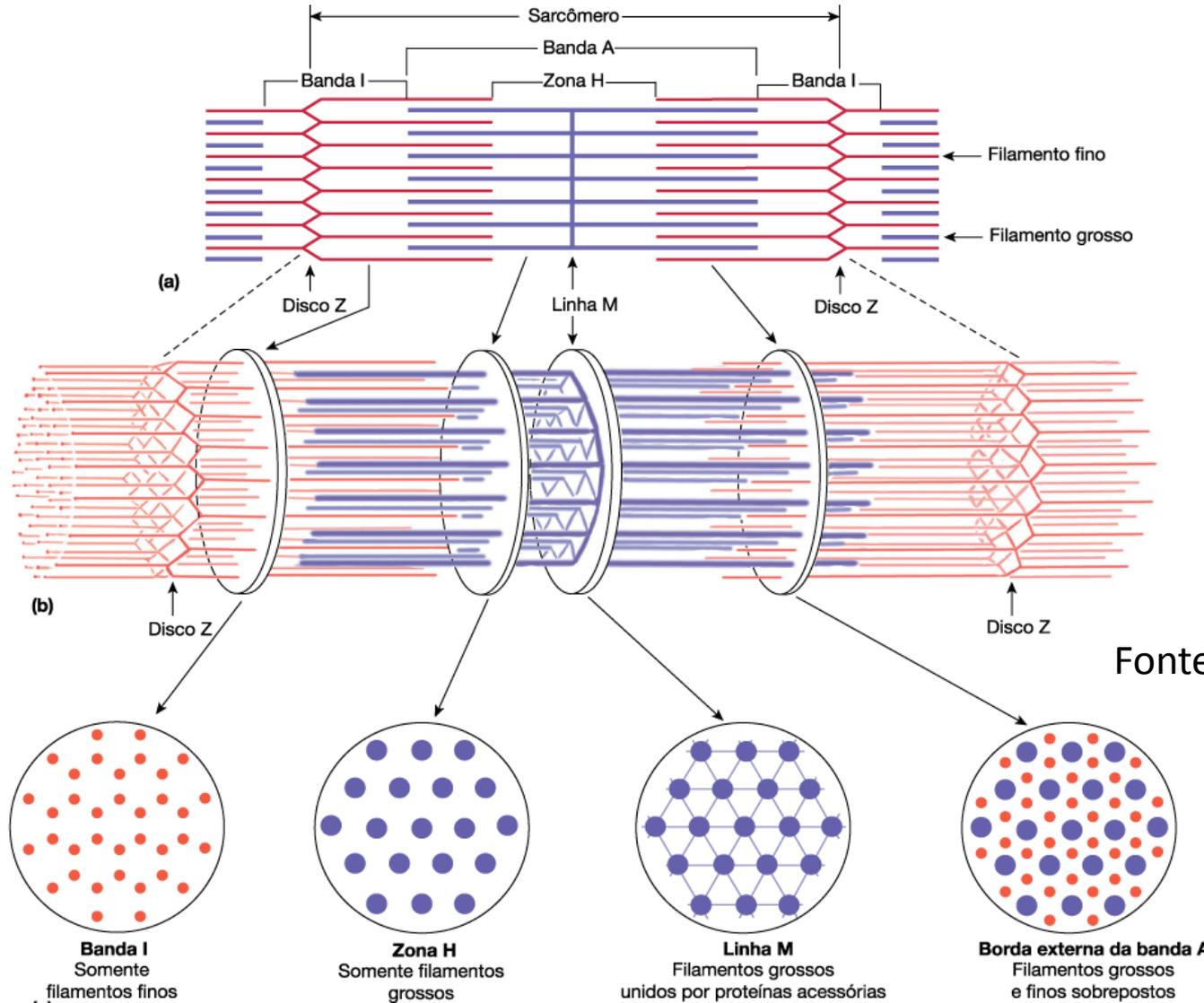
**SARCÔMERO  
UNIDADE  
BÁSICA DA  
MIOFIBRILA**



**Cadeia de actina**

# SARCÔMERO

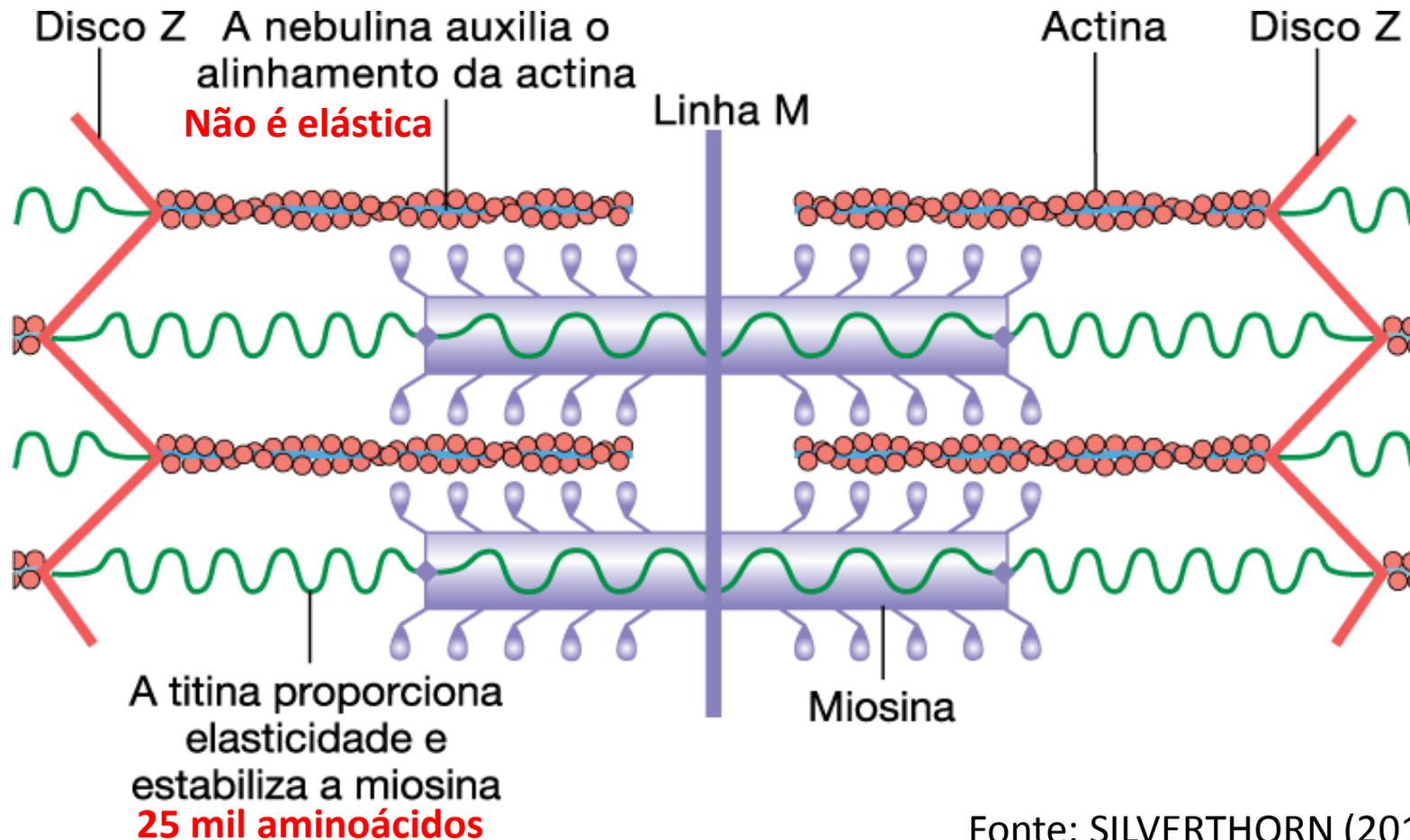
## UNIDADE BÁSICA DA MIOFIBRILA



Fonte: SILVERTHORN (2010)

# SARCÔMERO

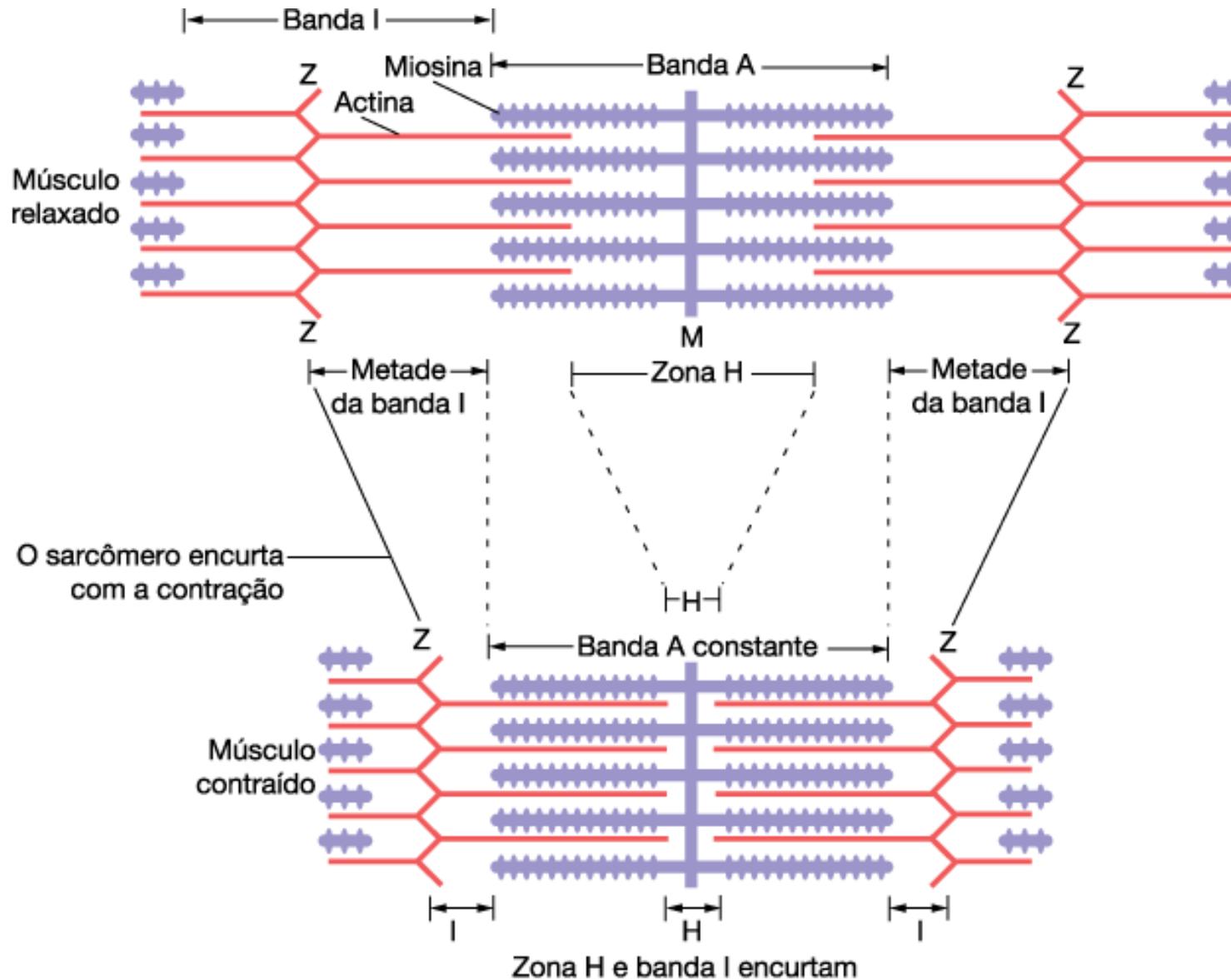
## TITINA E NEBULINA



Fonte: SILVERTHORN (2010)

# CONTRAÇÃO MUSCULAR ESQUELÉTICA

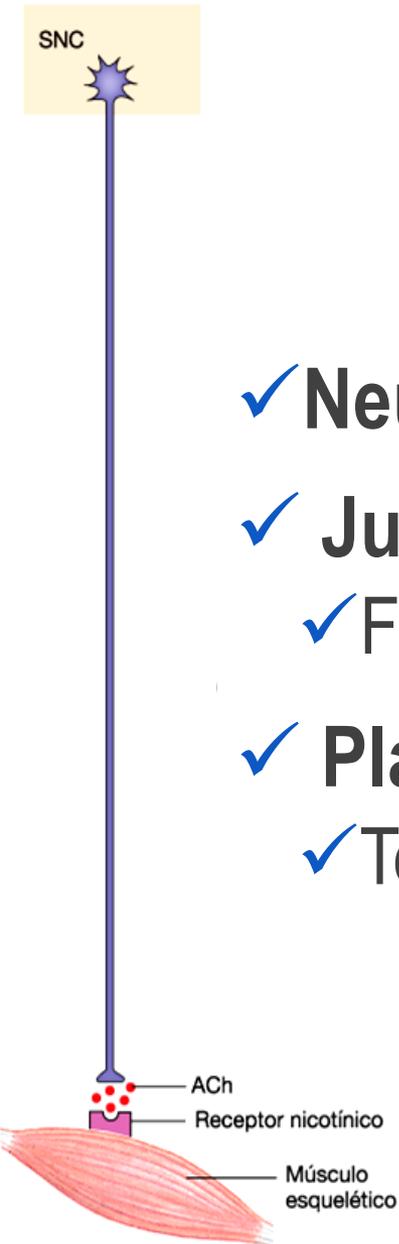
## TEORIA DO DESLIZAMENTO



# ESTÍMULO NERVOSO DA CONTRAÇÃO MUSCULAR ESQUELÉTICA

Acoplamento excitação – contração

- ✓ **Neurônios motores somáticos**
- ✓ **Junção neuromuscular**
  - ✓ Fenda sináptica com abertura de canais de voltagem
- ✓ **Placa motora**
  - ✓ Terminal axonal + sarcolema



Fonte: SILVERTHORN (2010)

# CONTRAÇÃO MUSCULAR ESQUELÉTICA

Conversão do  **sinal da ACo** de um neurônio motor somático em um sinal elétrico na fibra muscular

Eventos na junção neuromuscular

Acoplamento excitação-contracção

Potencial de ação lançado com  **sinalização do cálcio** para ativar o ciclo contracção - relaxamento

Sinal de  $Ca^{2+}$

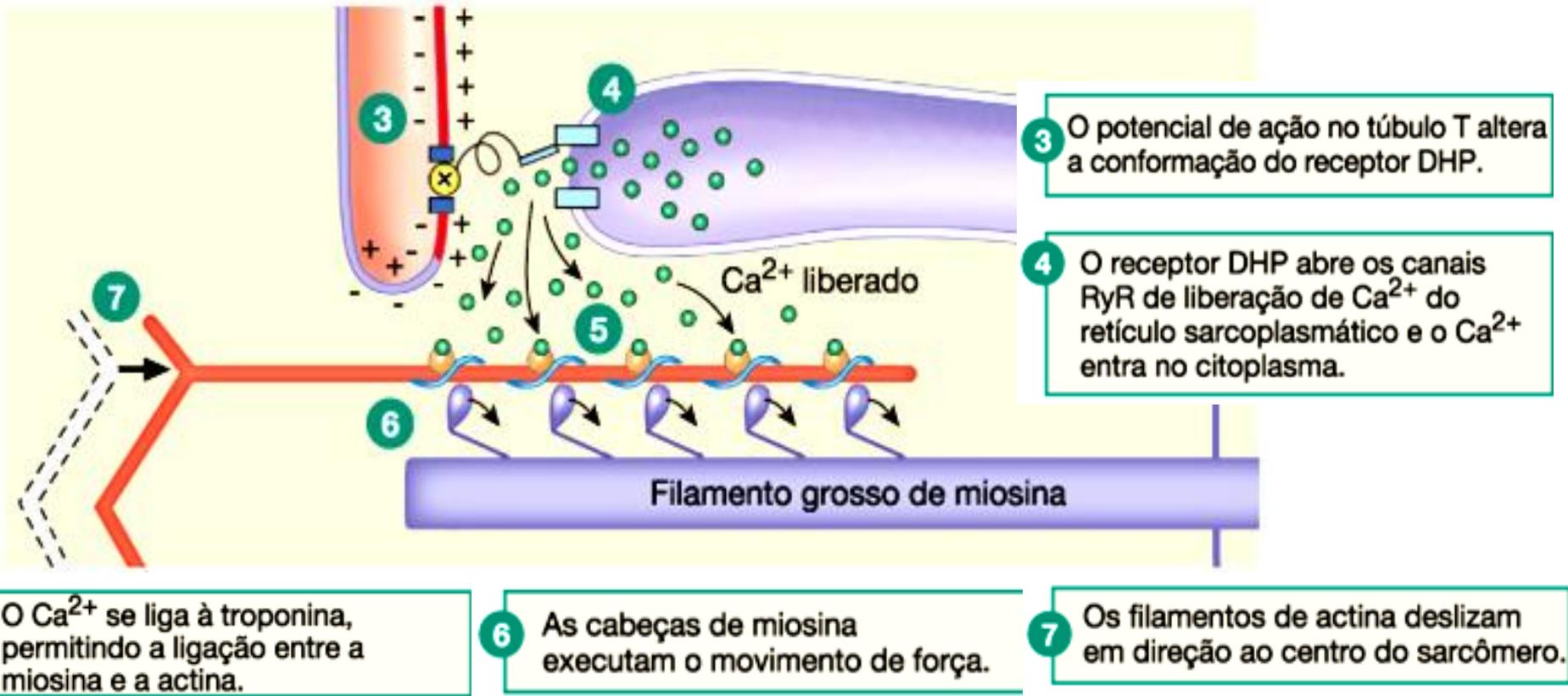
Ciclo contracção-relaxamento

Abalo muscular

Teoria do deslizamento dos filamentos

Fonte: SILVERTHORN (2010)

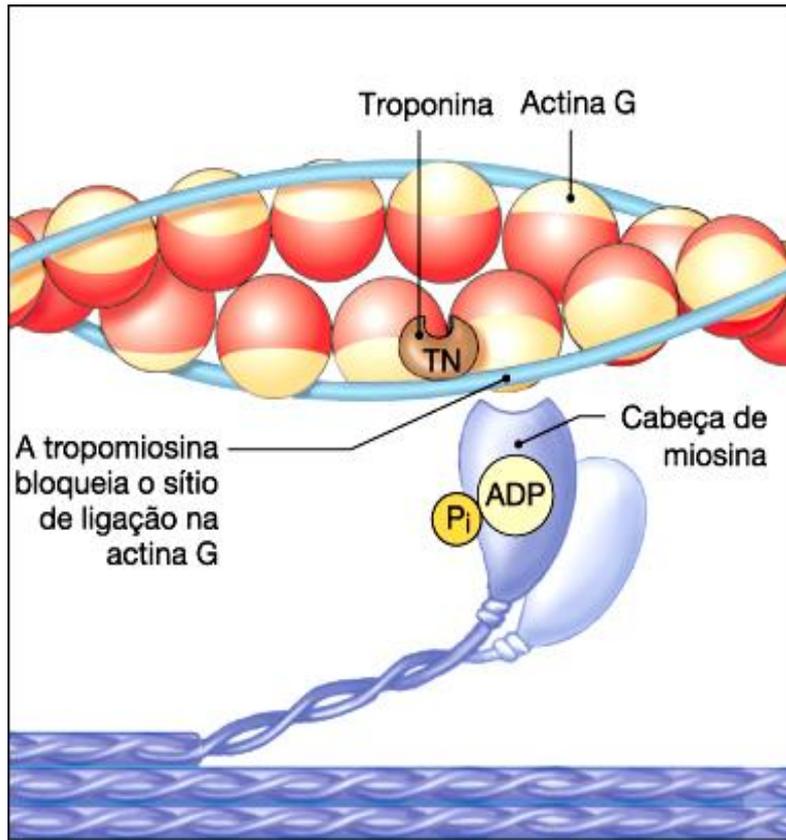
# POTENCIAL DE AÇÃO DO MÚSCULO ESQUELÉTICO



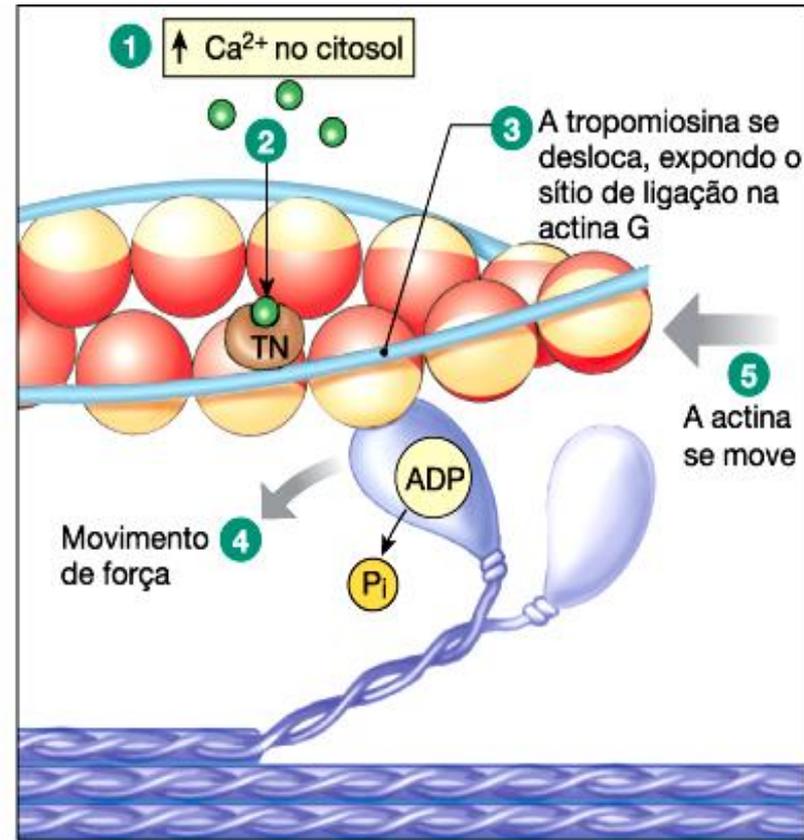
DHP – receptor de DHP (dihidropiridina)  
RyR – Canais de Ryr (ryanodina)

Fonte: SILVERTHORN (2010)

# CONTRAÇÃO MUSCULAR ESQUELÉTICA



(a) Estado relaxado. Cabeça de miosina engatilhada.



(b) Início da contração.

1 Os níveis de  $\text{Ca}^{2+}$  aumentam no citosol.

2 O  $\text{Ca}^{2+}$  se liga à troponina (TN).

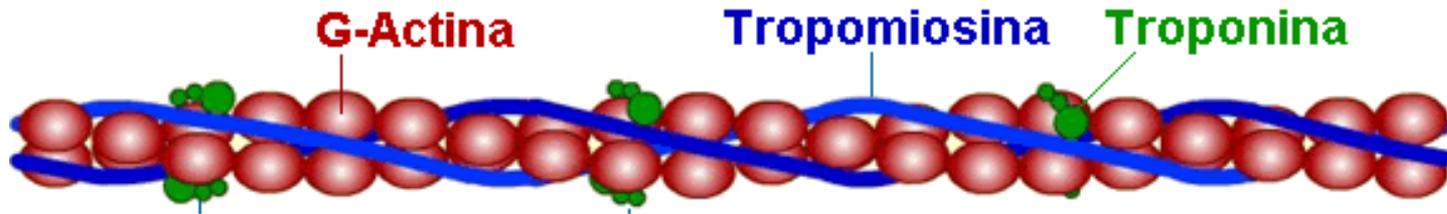
3 O complexo troponina- $\text{Ca}^{2+}$  afasta a tropomiosina do sítio de ligação da miosina na actina G.

4 A miosina se liga à actina e completa o movimento de força.

5 O filamento de actina se move.

Fonte: SILVERTHORN (2010)

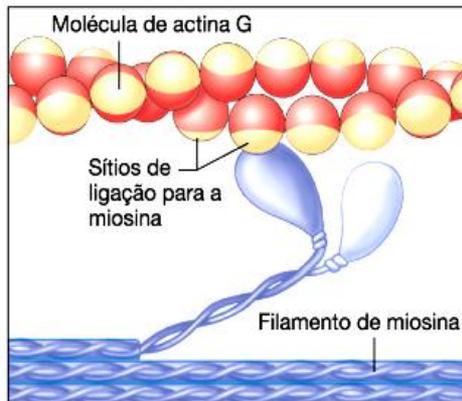
# DESLOCAMENTO DO FILAMENTO FINO MÚSCULO ESQUELÉTICO



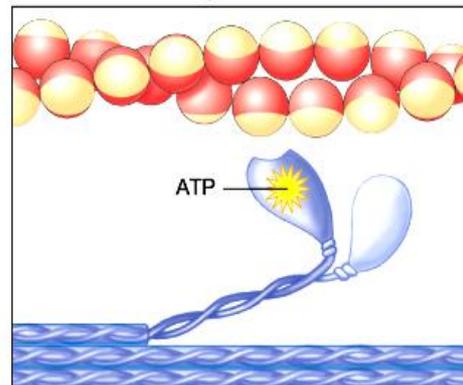
Hidrolisa o ATP e o transforma em ADP + Pi

# ABALO MUSCULAR

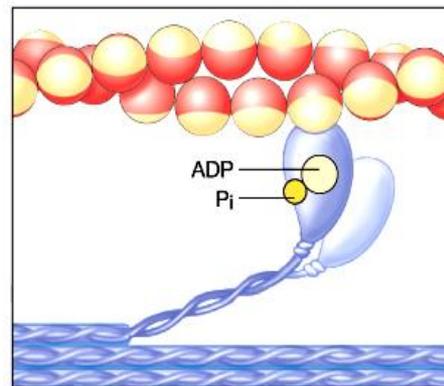
# OU TRANSDUÇÃO QUIMIOMECANICA



1 O ATP se liga na miosina. A miosina se solta da actina.

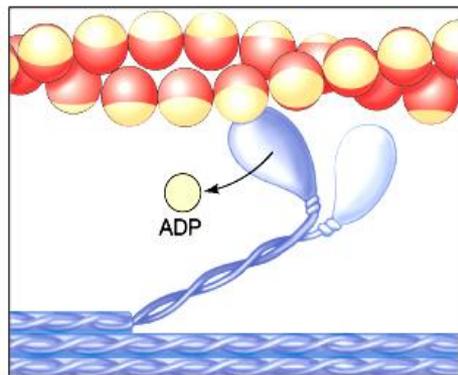


2 A miosina hidrolisa o ATP. A cabeça de miosina gira e se liga à actina.

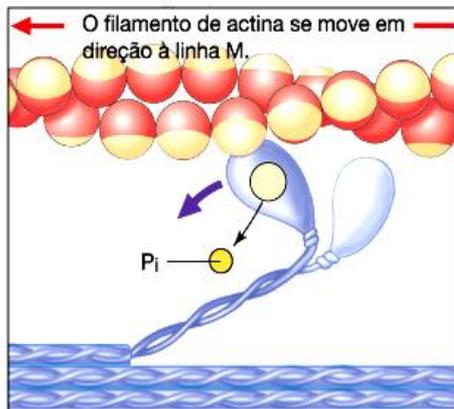


ATPase

Estado relaxado com as cabeças de miosina engatilhadas.

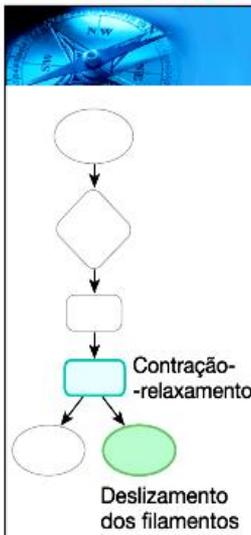


4 A miosina libera ADP.



Sítio de ligação do ATP

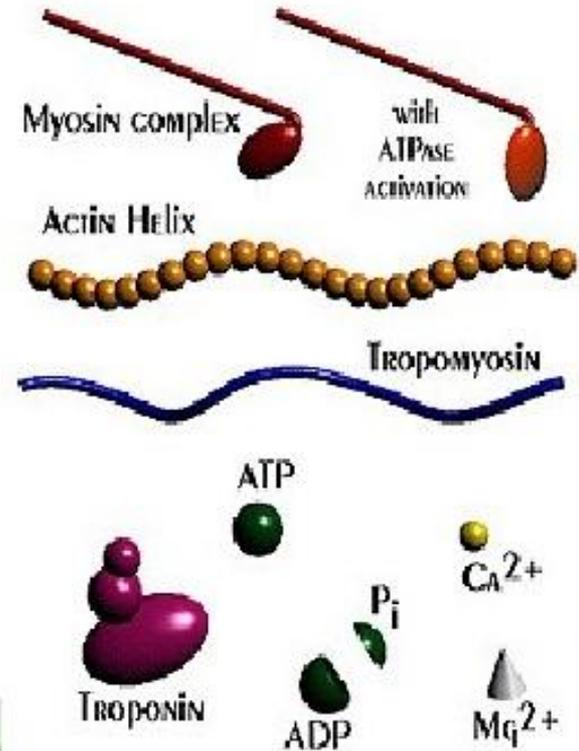
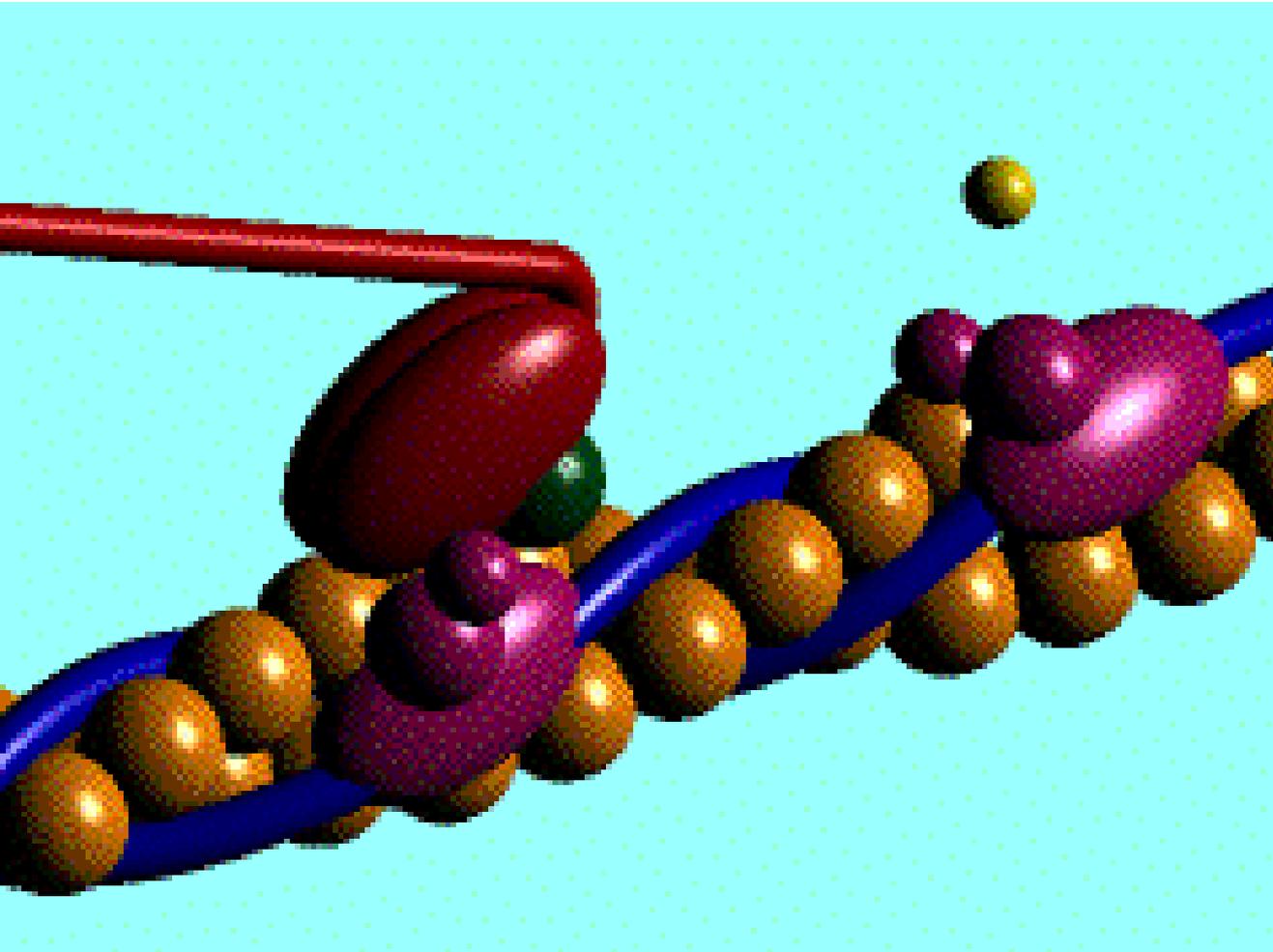
## NAVEGADOR



Sinal de Ca<sup>2+</sup>

3 Movimento de força.

# MÚSCULO ESQUELÉTICO X ENERGIA



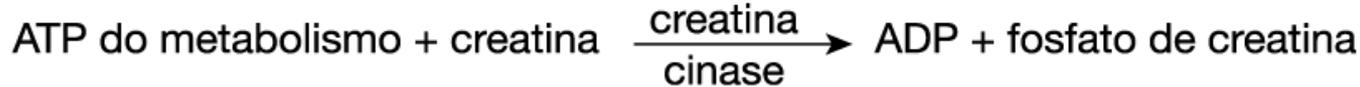
# RELAXAMENTO MUSCULAR ESQUELÉTICO



- ✓ cessamento do estímulo nervoso
- ✓ cessa a liberação de acetilcolina
- ✓ remoção do cálcio para o retículo sarcoplasmático
  - ✓ Ca ATPase

# FONTES DE ENERGIA MUSCULAR

Músculo em repouso



Músculo em atividade



*necessário para*



- A miosina ATPase (contração)
- A  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase (relaxamento)
- A  $\text{Na}^{+}$ - $\text{K}^{+}$  ATPase (restitui os íons que atravessam a membrana celular durante o potencial de ação nos seus compartimentos originais)

Fonte: SILVERTHORN (2010)

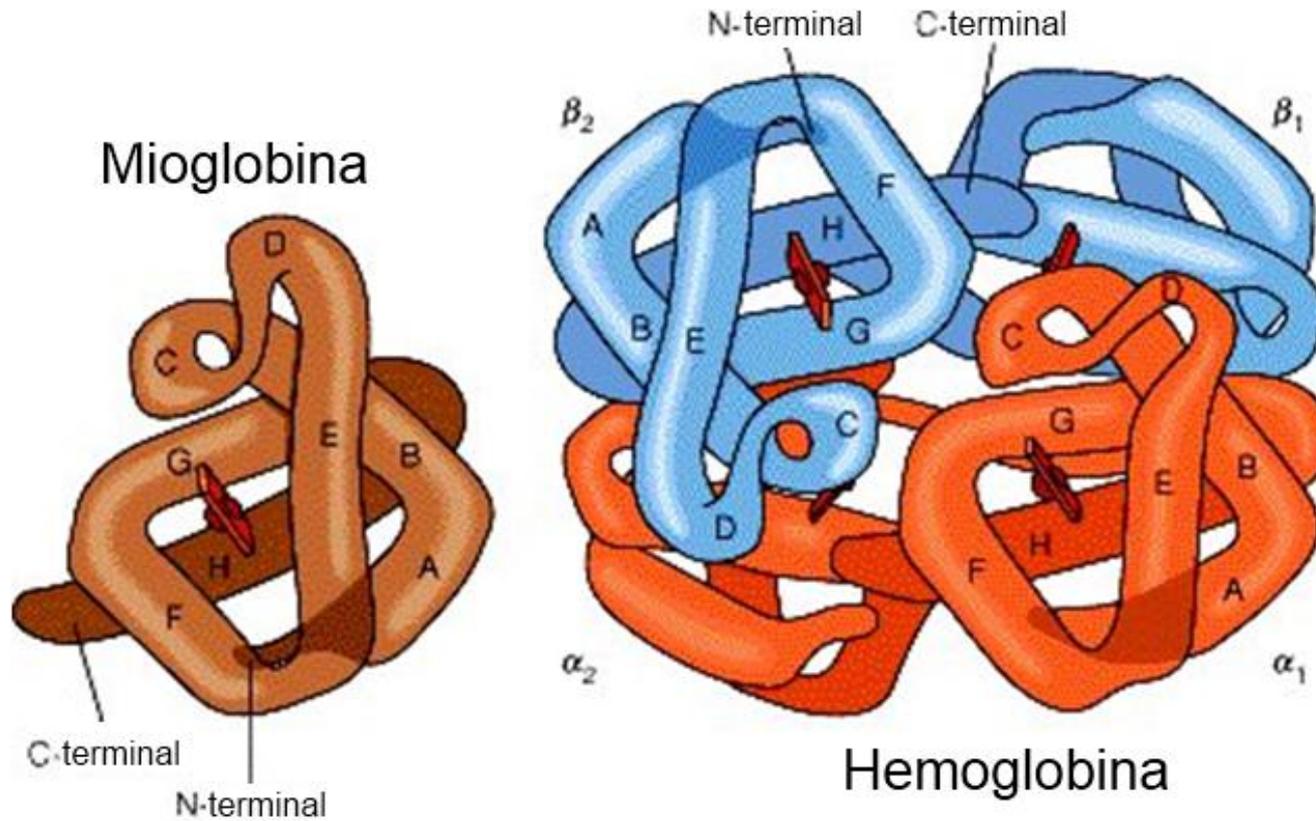
**Glicose (respiração aeróbica ou anaeróbica)**

**Reserva energética primária: Glicogênio**

**Reserva energética secundária: Lipídeos e Proteínas**

**Reposição imediata: FOSFOCREATINA (ADP + fosfato de creatina)**

# RESPIRAÇÃO AERÓBICA MUSCULAR - MIOGLOBINA



Tem em comum o grupamento heme

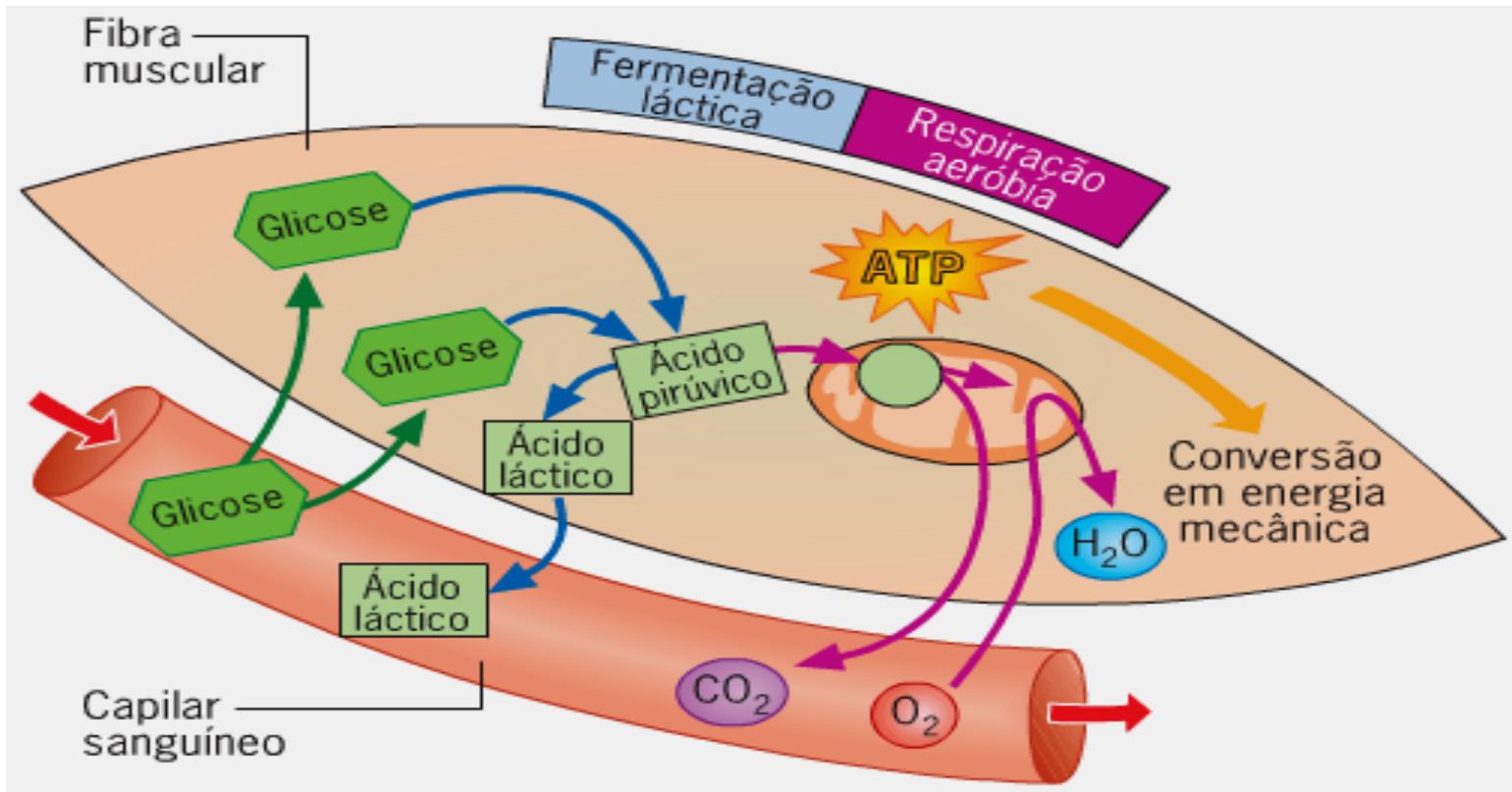
Mioglobina amplia a velocidade de difusão e “retém” oxigênio nos músculos.

Ferro é responsável por essa “retenção” pois liga-se a uma molécula de O<sub>2</sub>.

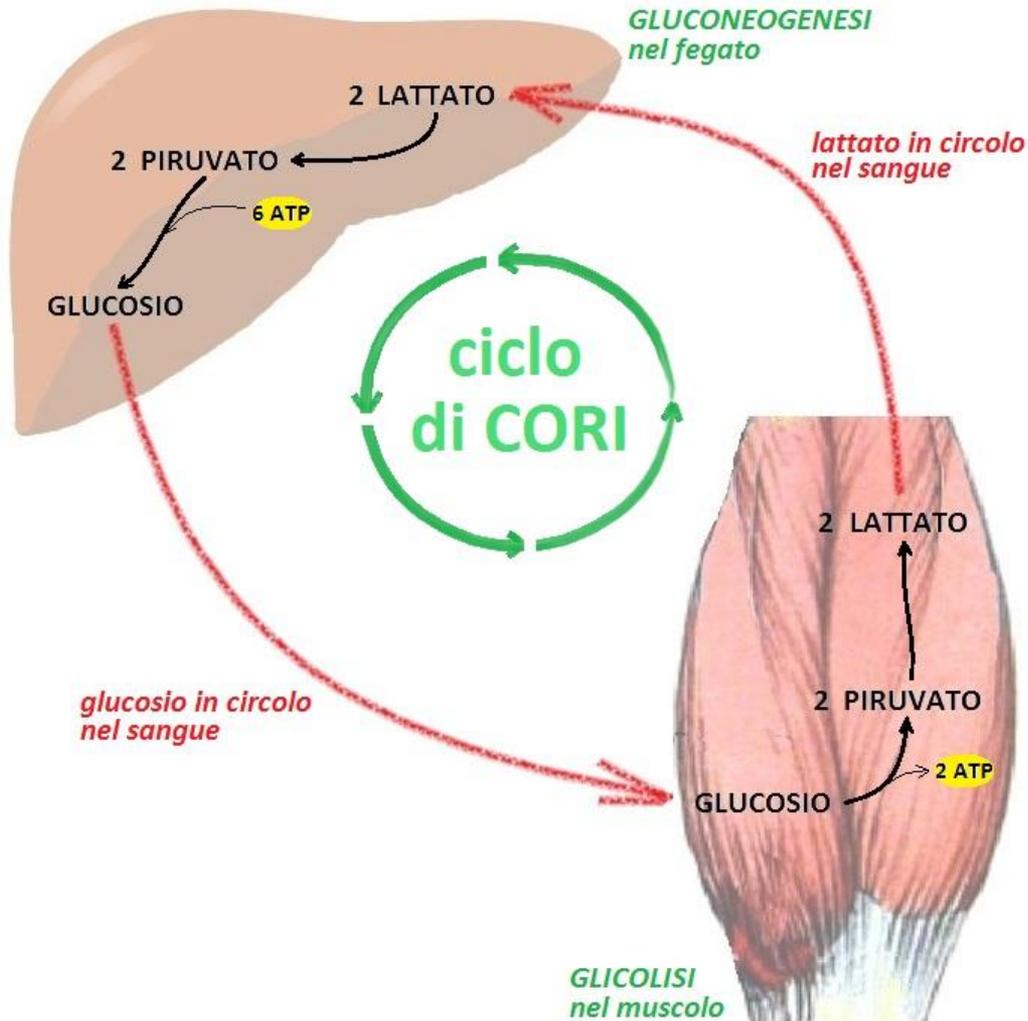
Hemoglobina é um tetrâmero - Mioglobina é um monômero

# GLICOSE ANAERÓBICA E FADIGA MUSCULAR

Fadiga muscular é a redução da capacidade de gerar força pelo declínio da tensão muscular causado pela estimulação repetitiva e prolongada de uma atividade.



# CICLO DE CORI OU DOS ORI VIA GLICOSE-LACTATO-GLICOSE



# TIPOS DE FIBRA MUSCULAR (FATORES GENÉTICOS)

## ✓ FIBRAS VERMELHAS OU L (TIPO I) = AERÓBICA

Contração lenta e sustentada.

Alta concentração de mioglobina (Vermelha)

Resistente a fadiga.

Exercícios de longa duração

## ✓ FIBRAS BRANCAS = ANAERÓBICA

✓ Alta capacidade para contrair rapidamente

✓ Gera movimentos rápidos e poderosos

### ✓ FIBRAS BRANCAS TIPO IIb

Dependente exclusiva da glicólise anaeróbica

Fácil fadiga.

### ✓ FIBRAS BRANCAS INTERMEDIÁRIAS TIPO IIa

Utilizam primeiro a via oxidativa aeróbica (glicose e fosfocreatina)

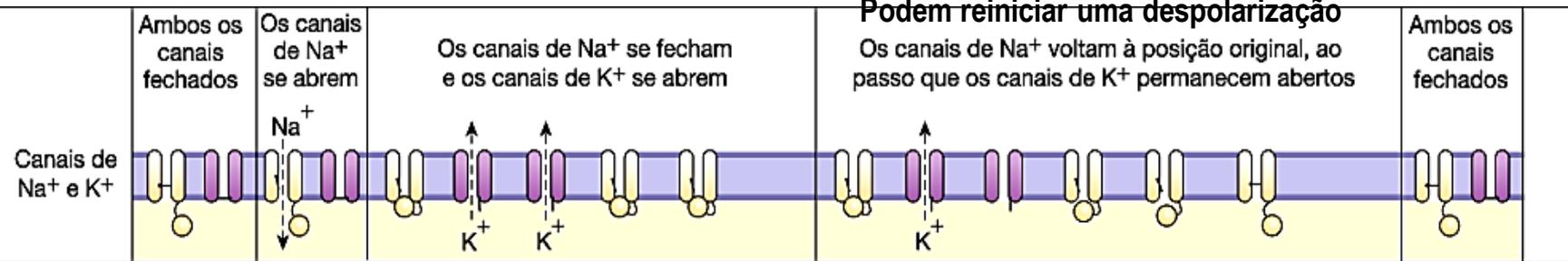
Moderadamente resistente a fadiga

# CONCLUSÕES

- ✓ O músculo esquelético é formado por fibras longas com diversos núcleos.
- ✓ É voluntário e representado por um neurônio eferente mielinizado cujo neurotransmissor é a acetilcolina.
- ✓ Sarcômero é a unidade básica da contração muscular.
- ✓ A contração muscular é resultante de forças geradas pela integração de proteínas que necessitam de energia na forma de ATP para realizar a transdução quimiomecânica.
- ✓ A despolarização do Sarcolema e Túbulos T promove a liberação do  $\text{Ca}^{++}$  do retículo sarcoplasmático para o sarcoplasma que é o principal fator da contração.
- ✓ A contração ocorre por modificações de conformação das miofibrilas gerada pela presença do  $\text{Ca}^{++}$ .
- ✓ Energia é necessária para o movimento das cabeças da miosina, para o desligamento da miosina com a actina, para bombear o  $\text{Ca}^{++}$  para o retículo sarcoplasmático e para a restauração do  $\text{Na}^{++}$  e  $\text{K}^{++}$  no meio intra e extracelular

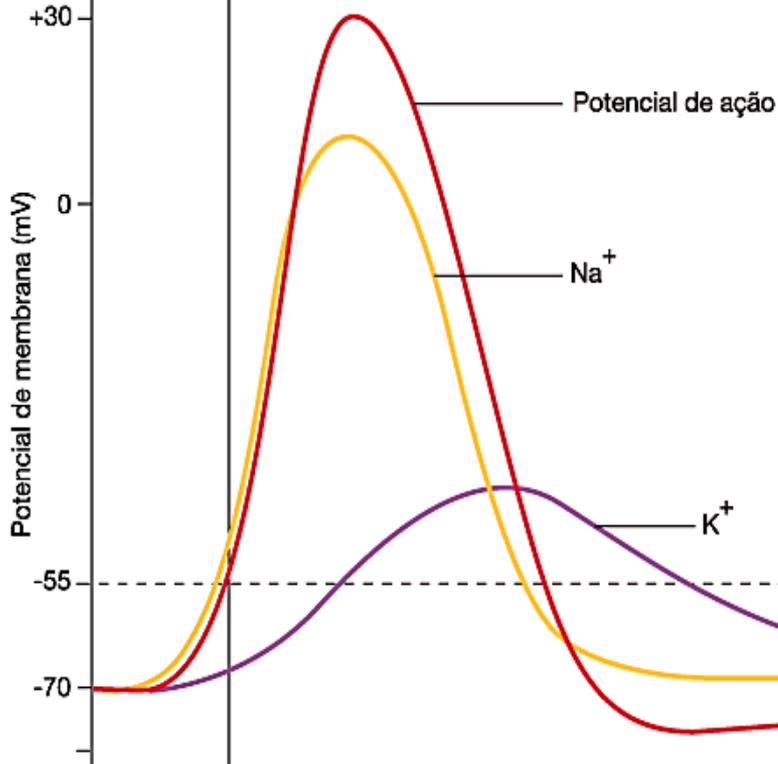
Canais de Na de comporta rápida aberta.  
**Não podem reiniciar uma despolarização**

Canais de Na de comporta rápida fechada.  
**Podem reiniciar uma despolarização**



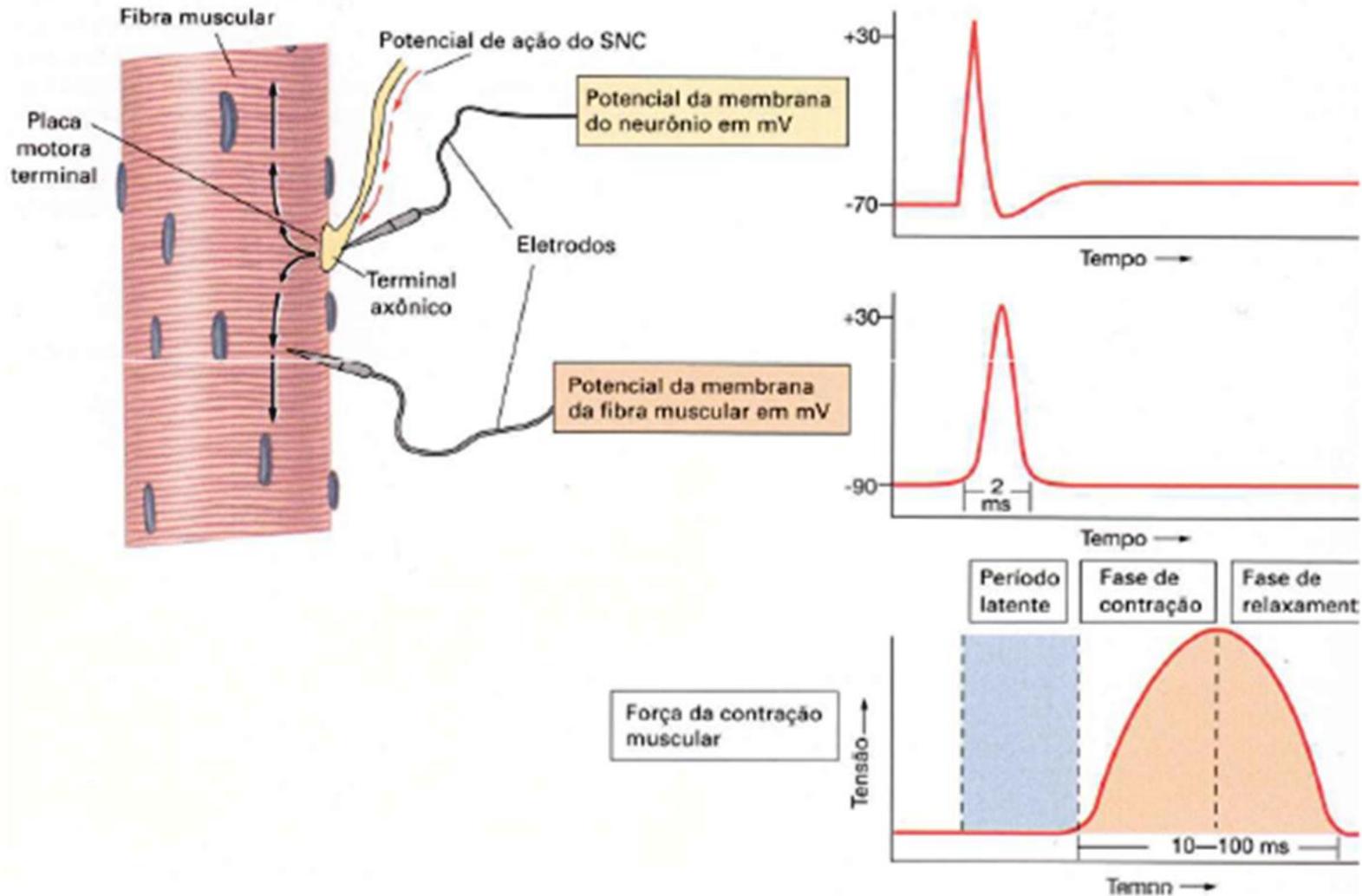
Período refratário absoluto

Período refratário relativo



Fonte: SILVERTHORN (2010)

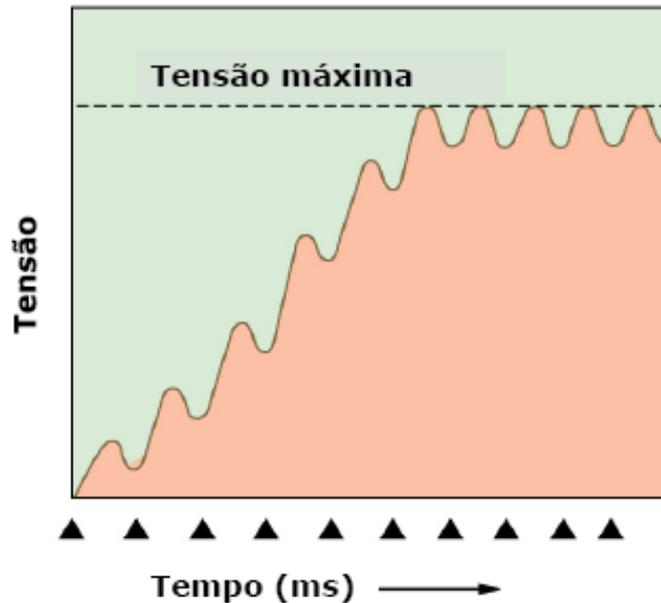
# Eventos elétricos e mecânicos da contração muscular



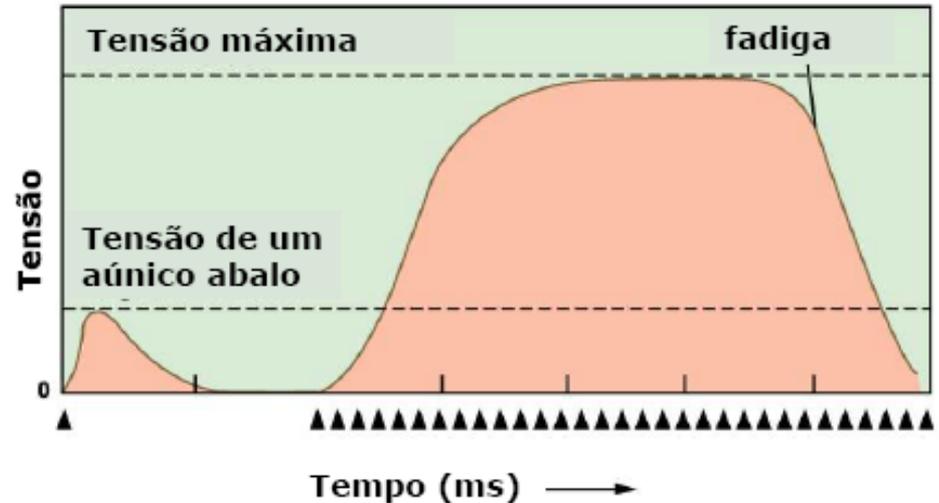
# SOMAÇÃO DOS POTENCIAIS DE AÇÃO - TETANIA

A força de contração aumenta com a SOMAÇÃO das contrações musculares

Somação que leva a uma tetania incompleta



Somação que leva a uma tetania completa



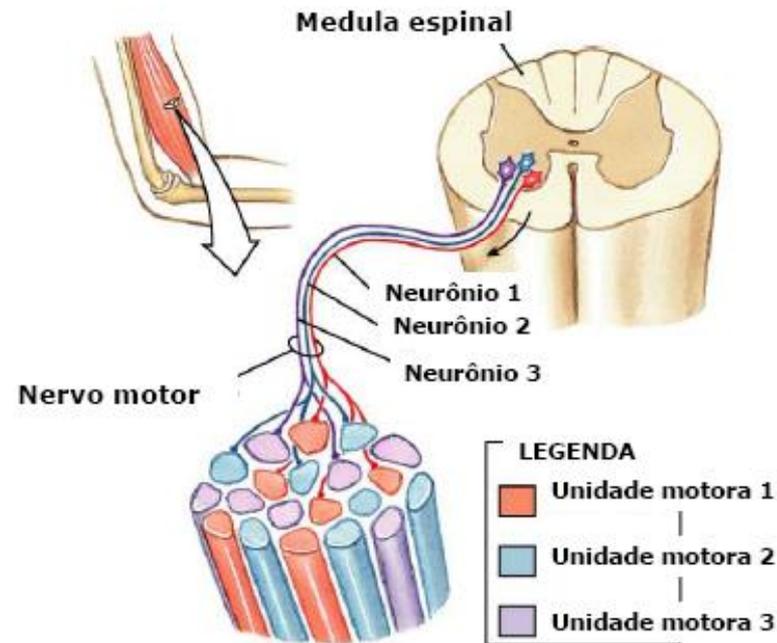
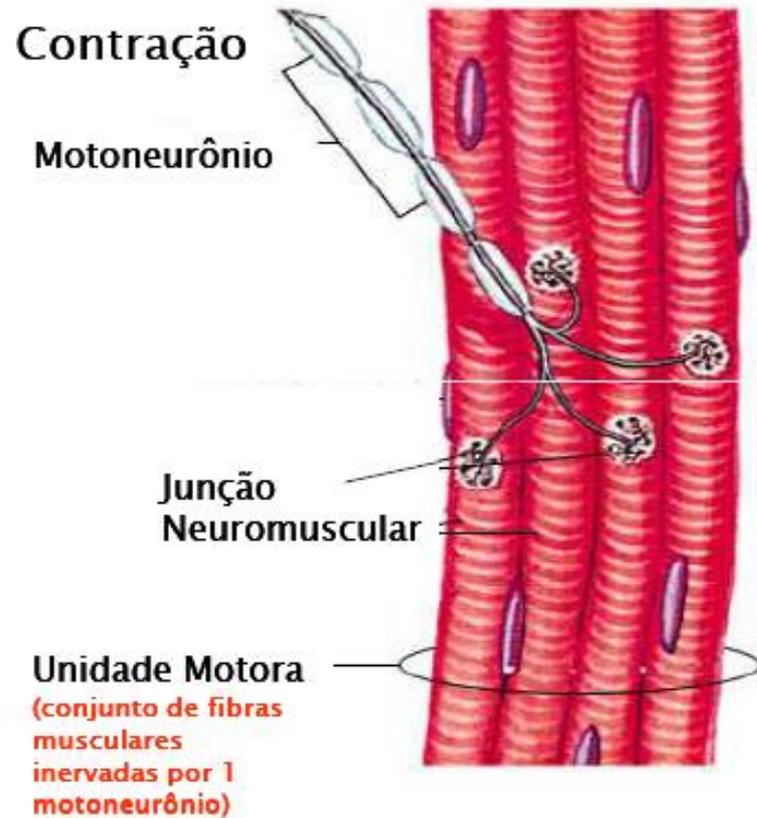
SOMAÇÃO TEMPORAL - Aumento da frequência de força  
( Não há tempo do  $\text{Ca}^{++}$  não retorna ao reticulo sarcoplasmático)

SOMAÇÃO ESPACIAL – Maior número de unidades motoras envolvidas

# SOMAÇÃO DOS POTENCIAIS DE AÇÃO - TETANIA

A força de contração aumenta com a SOMAÇÃO das contrações musculares

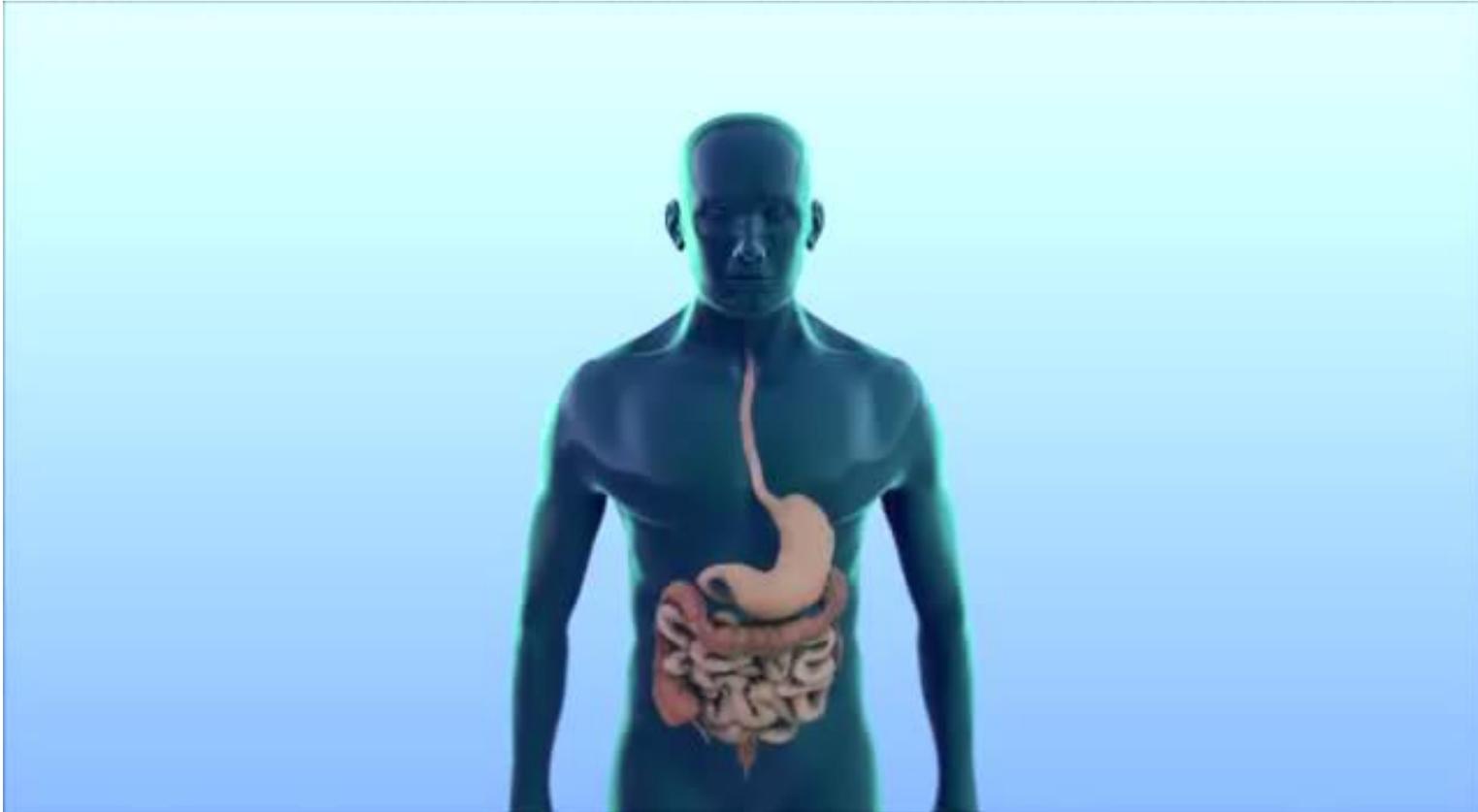
A contração depende dos tipos e do número de unidades motoras





**DUVIDAS?**

# MÚSCULO LISO



# FISIOLOGIA DO SISTEMA MUSCULAR LISO

## Objetivos

---

- ✓ Evidenciar as estruturas funcionais básicas do sistema muscular liso.
- ✓ Identificar a relação das estruturas do sistema nervoso central com o sistema muscular e com outros fatores de contração da musculatura lisa.
- ✓ Caracterizar o controle de contração/relaxamento do sistema muscular liso.

# INTRODUÇÃO AO SISTEMA MUSCULAR

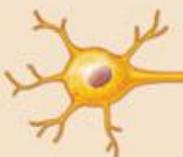
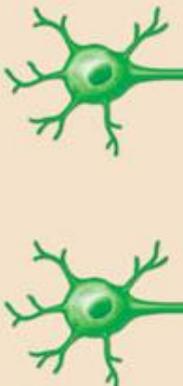
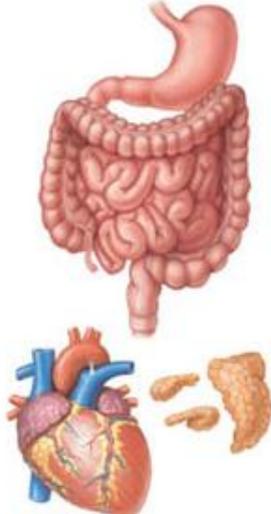
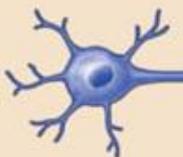
## ✓ Tipos de musculatura:

- a. Músculo estriado esquelético
- b. Músculo estriado cardíaco
- c. Músculo liso

## ✓ Controle

- a. Voluntário - SNC
- b. Involuntário - SNA
- c. Involuntário/Hormonal – SNA e outros componentes

# COMPARAÇÃO DO SISTEMA NERVOSO AUTÔNOMO E SOMÁTICO

	Cell bodies in central nervous system	Peripheral nervous system	Neurotransmitter at effector	Effector organs	Effect
<b>SOMATIC NERVOUS SYSTEM</b>		Single neuron from CNS to effector organs Heavily myelinated axon	ACh	 Skeletal muscle	+ Stimulatory
<b>AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM</b>		Two-neuron chain from CNS to effector organs Lightly myelinated preganglionic axons Ganglion Unmyelinated postganglionic axon	NE	 Smooth muscle (e.g., in gut), glands, cardiac muscle	+ - Stimulatory or inhibitory, depending on neurotransmitter and receptors on effector organs
		Adrenal medulla Blood vessel Epinephrine and norepinephrine	ACh		
<b>PARASYMPATHETIC</b>		Lightly myelinated preganglionic axon Ganglion Unmyelinated postganglionic axon	ACh		

▲ Acetylcholine (ACh) ● Norepinephrine (NE)

Olhos

Contraí pupila

Dilata pupila (visão aumentada)

Pulmões

Comprime os brônquios

Relaxa os brônquios (aumento de ar para os pulmões)

Coração

Diminui frequência cardíaca

Acelera, fortalece a frequência cardíaca (aumento de oxigênio)

Estômago, intestinos

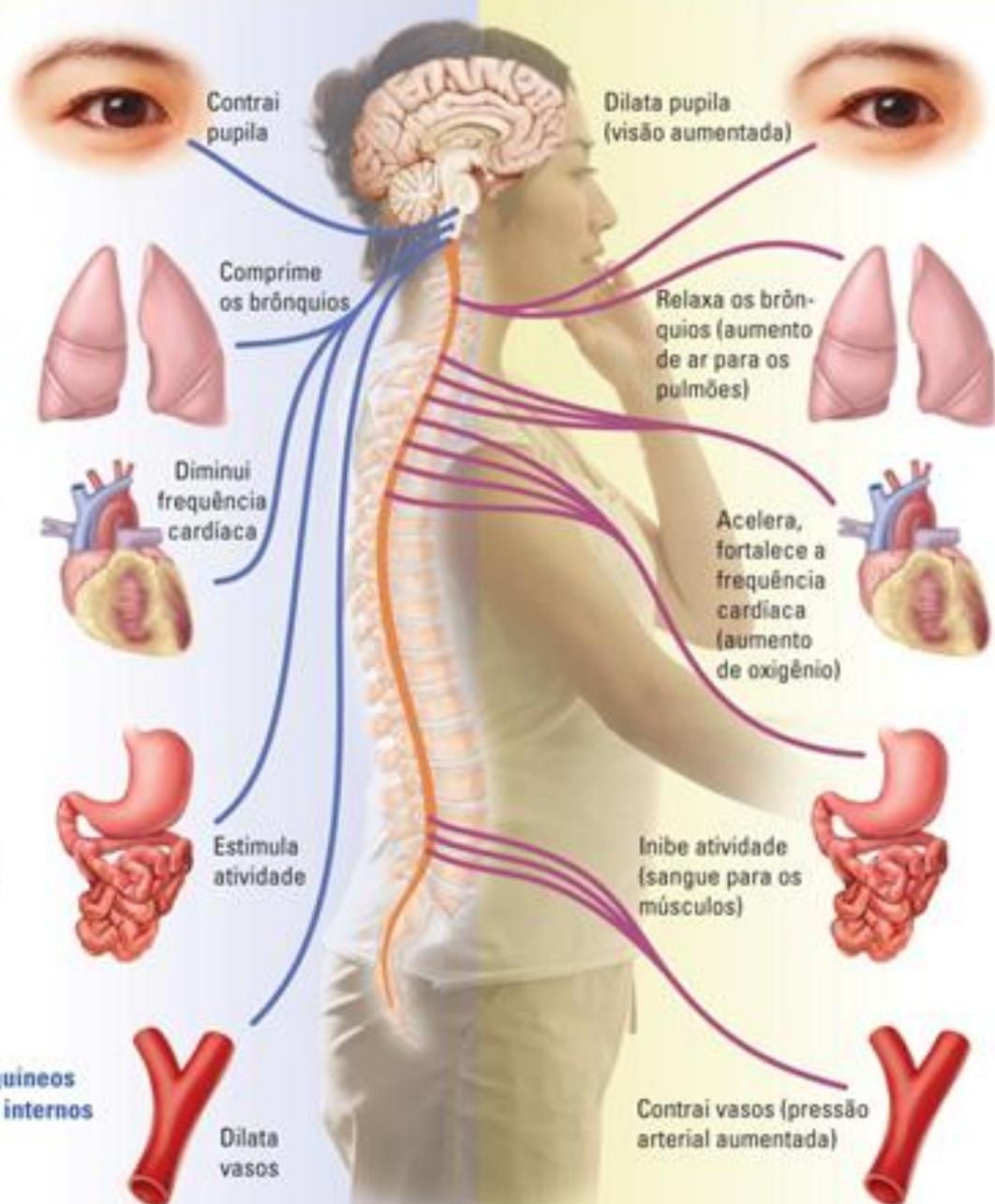
Estimula atividade

Inibe atividade (sangue para os músculos)

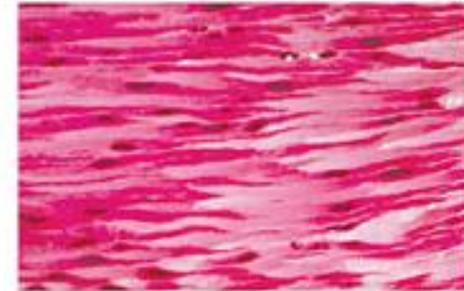
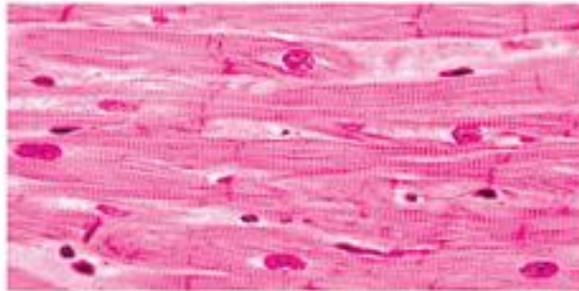
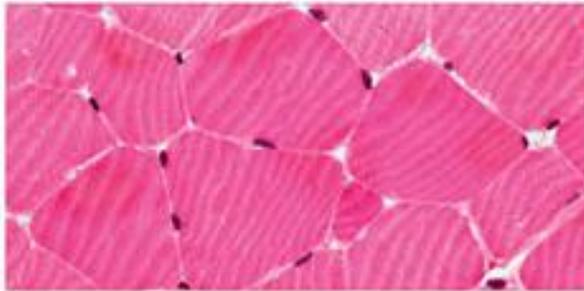
Vasos sanguíneos dos órgãos internos

Dilata vasos

Contraí vasos (pressão arterial aumentada)



# DIFERENÇAS DO MÚSCULO LISO



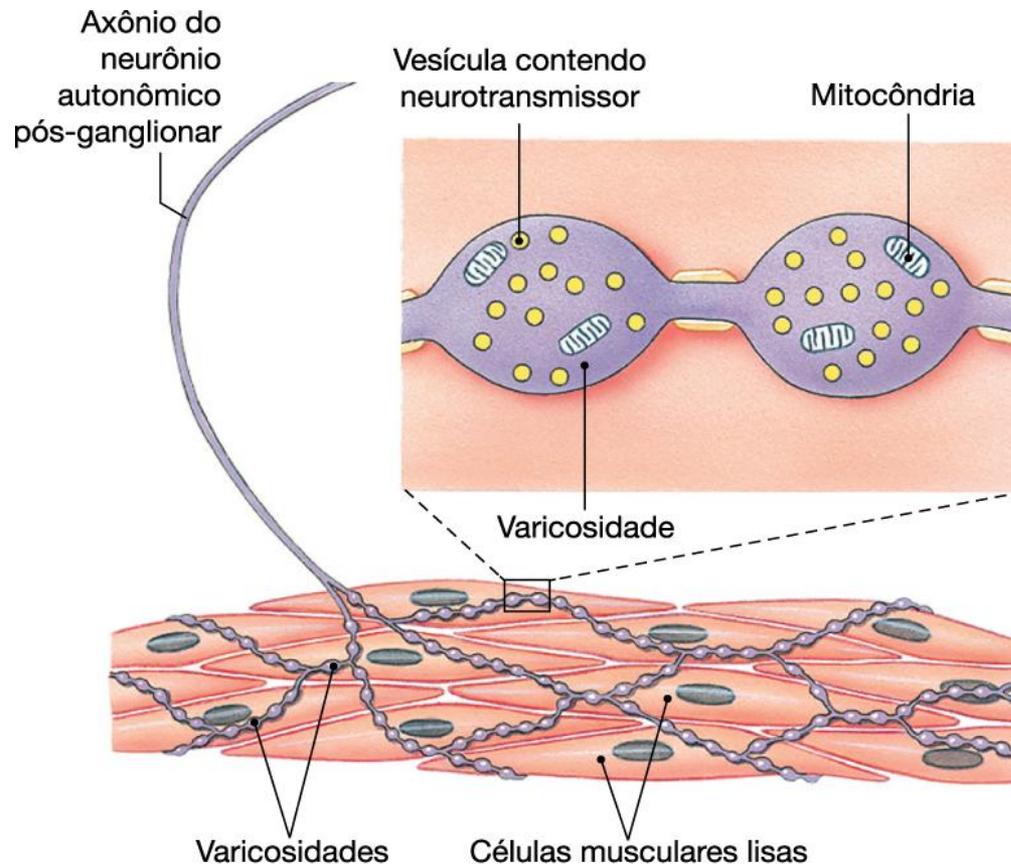
## **Estriado Esquelético**

## **Estriado Cardíaco**

## **Liso**

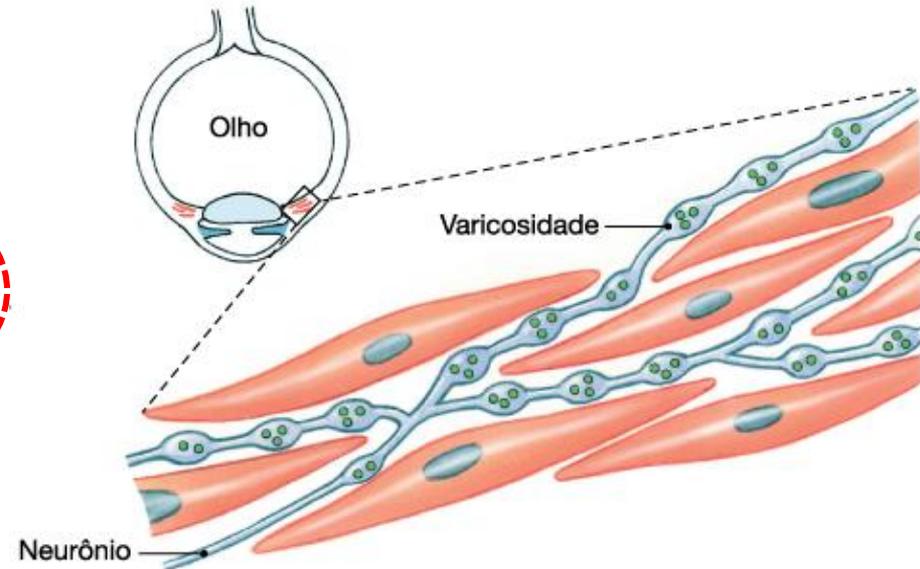
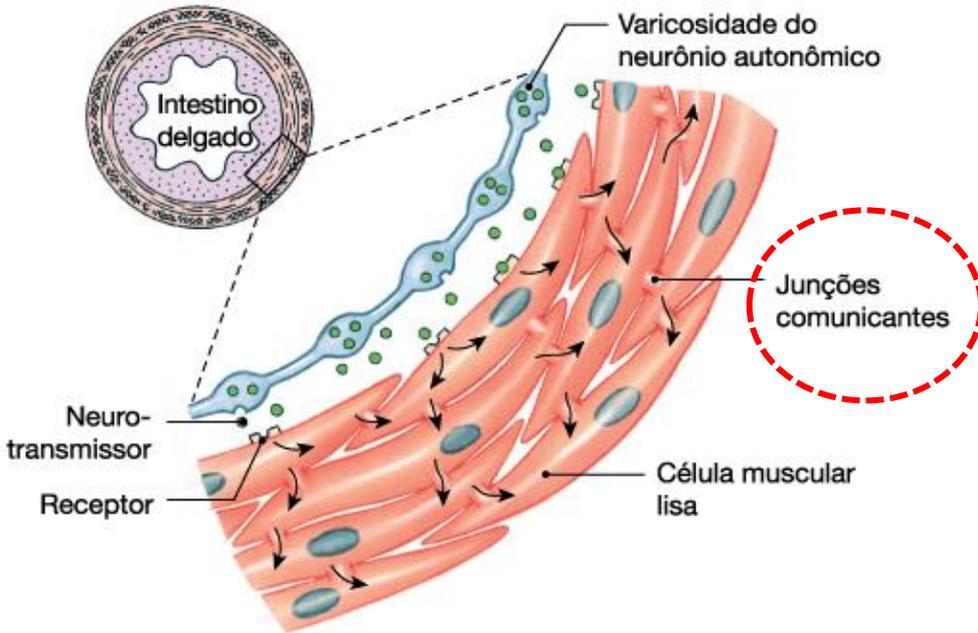
- Células são pequenas e fusiformes, com apenas um núcleo
- Baixas taxas de consumo de  $O_2$  - Menor gasto de ATP
- Contração mais lenta e por longos períodos sem fadiga
- Controlado por diferentes substâncias
  - ACh,  $O_2$ ,  $CO_2$ , noradrenalina, angiotensina, vasopressina, serotonina e outras
- Tem propriedades elétricas variáveis
  - potencial de ação em ponta, onda lenta e platô

# ESTÍMULO NERVOSO DO MÚSCULO LISO



- Neurotransmissor liberado por varicosidades
- Não apresenta região receptora especializada

# TIPOS DE MÚSCULO LISO



(a) As células do músculo liso unitário conectam-se por junções comunicantes e contraem-se como uma unidade.

(b) As células do músculo liso multiunitário não se conectam eletricamente; cada célula precisa ser estimulada de modo independente.

**Vísceras**

**Vasos sanguíneos**

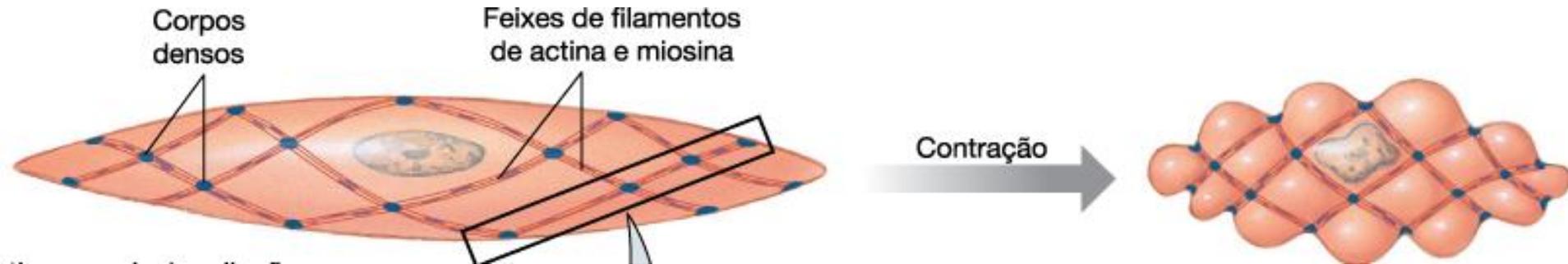
**Trato gastrointestinal**

**Íris e Corpo Ciliar**

**Trato genital masculino**

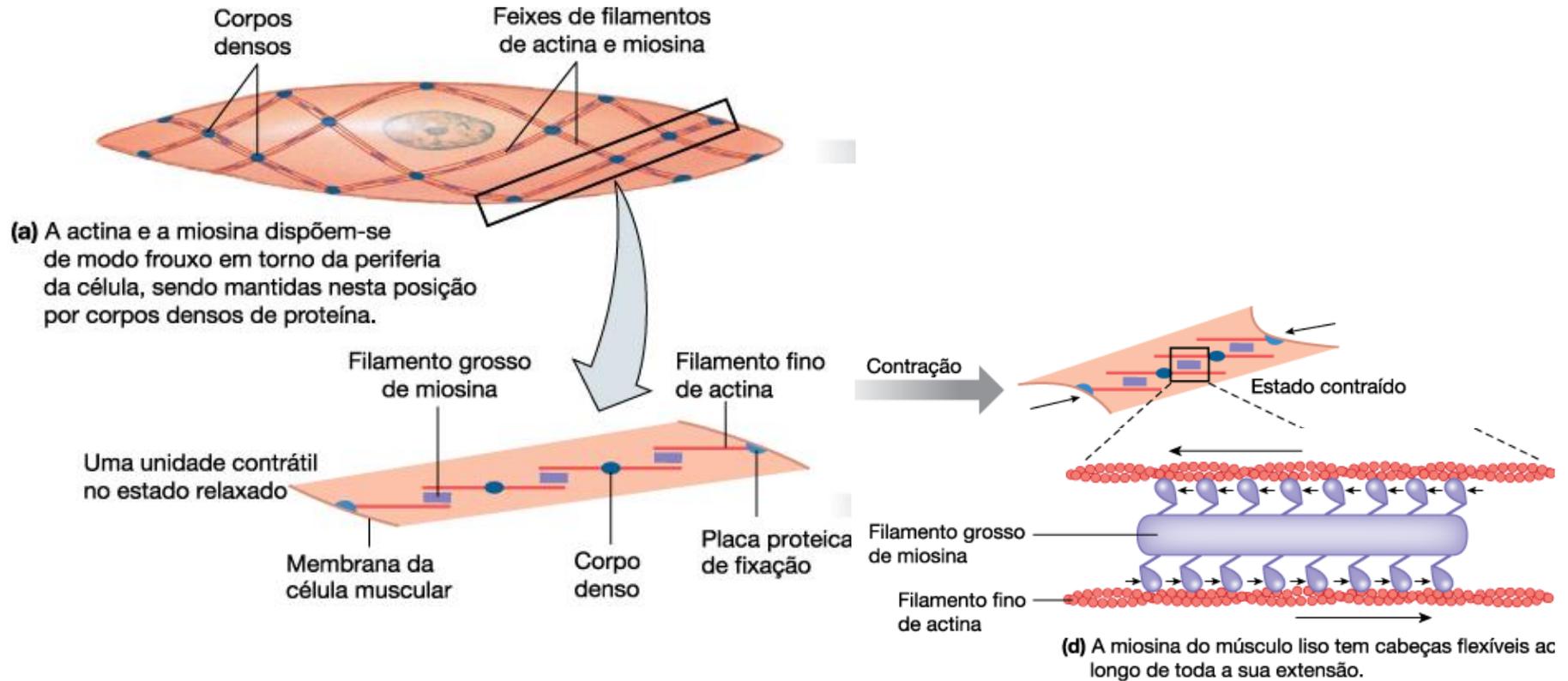
**Trato genital feminino**

# MÚSCULO LISO



- Filetes de actina e miosina abaixo da membrana citoplasmática
- Arranjo diagonal forma de entreliça
- Filamentos de actina estão ancorados nos corpos densos
- **Corpos densos fixam o feixe a membrana citoplasmática**
- Contração altera forma da célula - globulosa

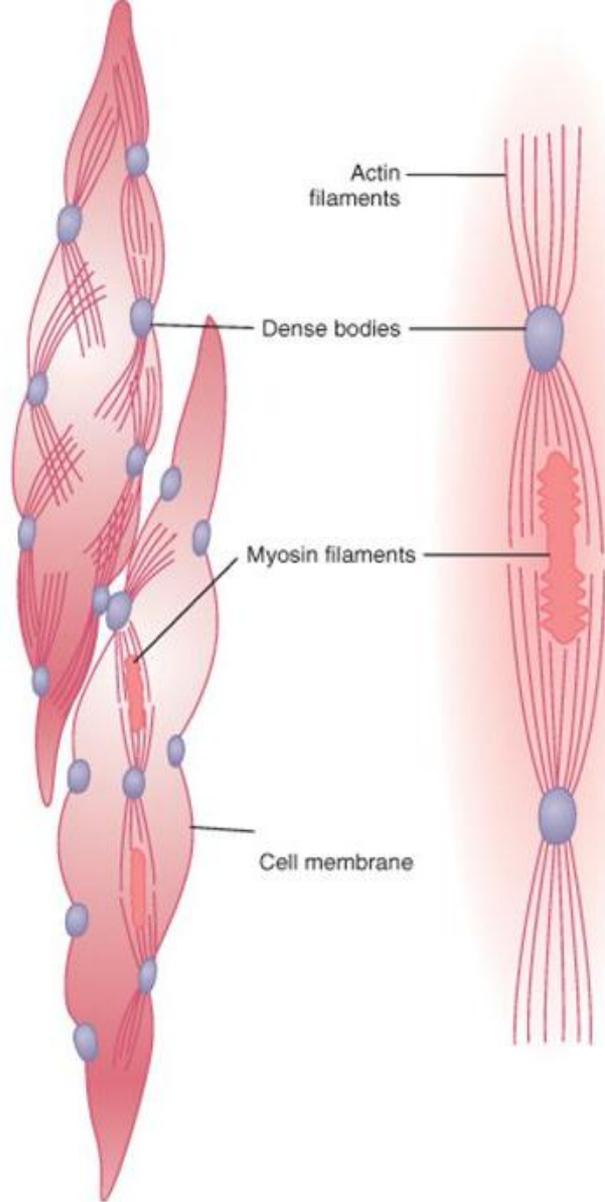
# MÚSCULO LISO



Fonte: SILVERTHORN (2010)

➤ Deslizamento e estiramento

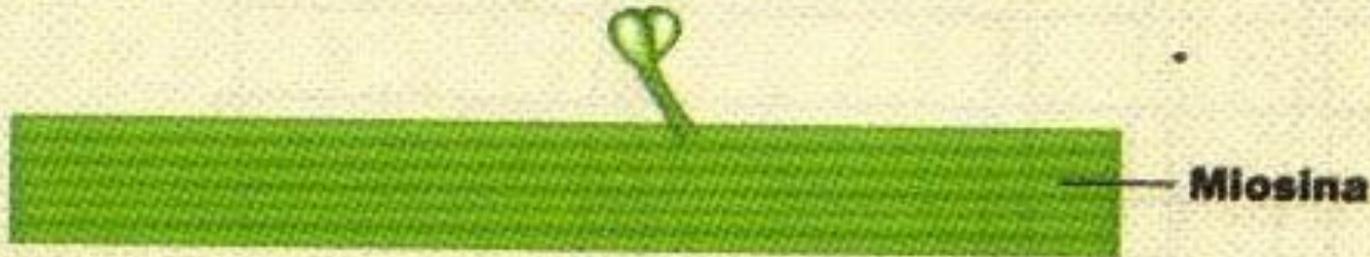
# CONTROLE DA CONTRAÇÃO DO MÚSCULO LISO



- Dependente do  $\text{Ca}^{++}$
- Ausência de Troponina/Tropomiosina
- Presença de Calmodulina
  - Capacidade de detectar e ligar-se ao  $\text{Ca}^{2+}$  presente no citoplasma e interagir e regular a função de diversas proteínas alvo da célula.
- Enzimas responsáveis em fosforilar e desfosforilar a cadeia leve da miosina
  - Quinase da cadeia leve da miosina (MLCK)
  - Miosina fosfatase

# MIOSINA DO MÚSCULO LISO

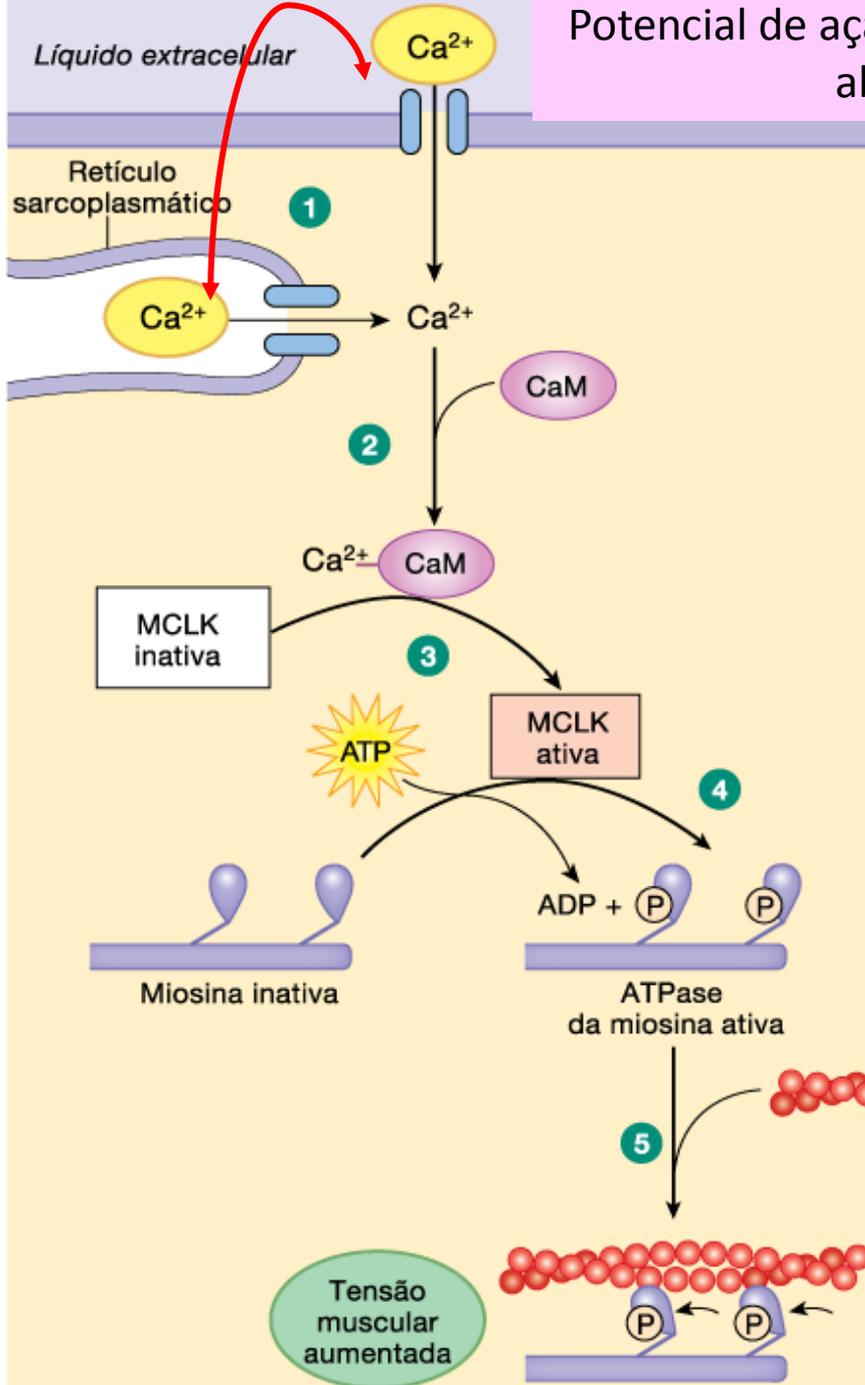
Cadeias leves de miosina – CONTRAÇÃO MAIS LENTA



## Molécula de miosina



Potencial de ação gerado pela entrada de  $\text{Na}^{++}$   
abre canais de  $\text{Ca}^{++}$



**1** As concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  intracelular aumentam quando o  $\text{Ca}^{2+}$  entra na célula e quando é liberado a partir do retículo sarcoplasmático.

**2** O  $\text{Ca}^{2+}$  se liga à calmodulina (CaM).

**3** A  $\text{Ca}^{2+}$ -calmodulina ativa a cinase da cadeia leve da miosina (MLCK).

**4** A MLCK fosforila as cadeias leves nas cabeças da miosina e aumenta a atividade da ATPase da miosina.

**5** As pontes cruzadas ativas de miosina deslizam ao longo da actina e geram tensão muscular.

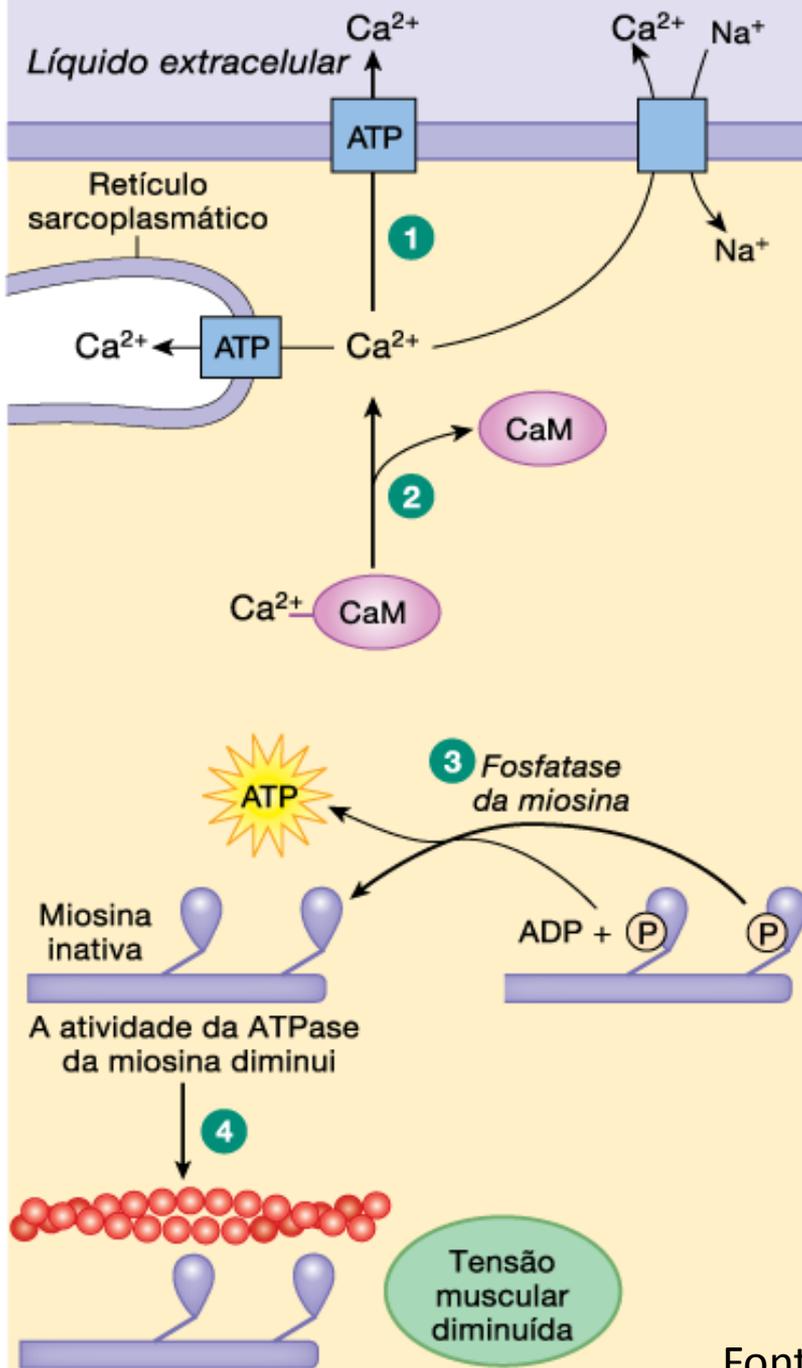
# CONTRAÇÃO DO MÚSCULO LISO

**ESTADO DE TRANCA**  
fosforilação das cadeias leves de miosina mantém a ligação por mais tempo com pouco gasto de energia

Tensão muscular aumentada

Fonte: SILVERTHORN (2010)

# RELAXAMENTO DO MUSCULO LISO



1 O  $\text{Ca}^{2+}$  livre no citosol diminui quando o  $\text{Ca}^{2+}$  é bombeado para fora da célula ou de volta para o retículo sarcoplasmático.

2 O  $\text{Ca}^{2+}$  se desliga da calmodulina (CaM).

3 A fosfatase da miosina retira o fosfato da miosina, diminuindo a atividade da ATPase da miosina.

Desfosforilação da miosina - miosina fosfatase  
Relaxamento sem fadiga muscular

4 Menos ATPase da miosina resulta na diminuição da tensão muscular.

# CONCLUSÃO

- ✓ Contração do músculo liso não requer necessariamente estímulo nervoso. Outras substâncias podem provocar o estímulo.
- ✓ Para ocorrer contração deverá existir uma concentração elevada de cálcio intracelular que se liga a calmodulina, caso contrário não há contração.
- ✓ Energia é necessária para união da miosina com actina assim como retirada do cálcio do meio intracelular para o extracelular e para dentro do reticulo sarcoplasmático
- ✓ Contração mais duradoura pela lenta degradação do ATP
- ✓ Relaxamento se dá pela ação da fosfatase da miosina no desgaste do ATP da contração.

# LITERATURA CONSULTADA

---

- AIRES, M.M. **Fisiologia**. 4 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012. 1352p.
- CURI, R. & ARAÚJO FILHO, J. P. **Fisiologia básica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. 857 p.
- GOLDBERG, S. C. **Clinical Physiology made ridiculously simple**. Miami: MedMaster, ed.2.2014.153 p.
- GUYTON, A.C. & HALL, J.E., **Tratado de fisiologia médica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, Ed.9, 1997. 1116p.
- SILVERTHORN, D.U. **Fisiologia humana. Uma abordagem integrada**. Porto Alegre: Artmed, 2010. 992p.



**DUVIDAS?**