



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

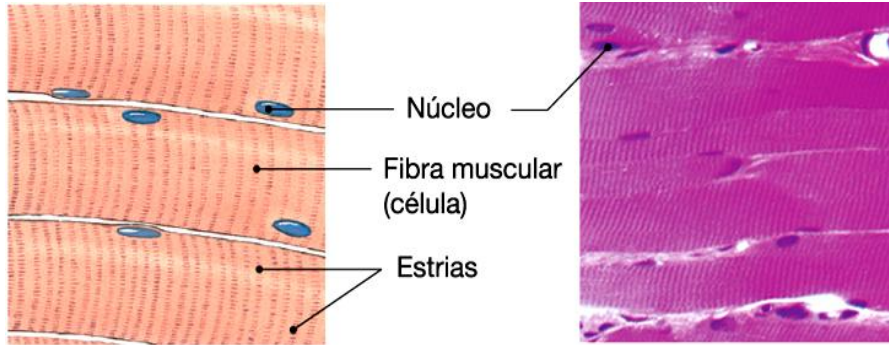
Objetivos

- ✓ 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 esquelético.

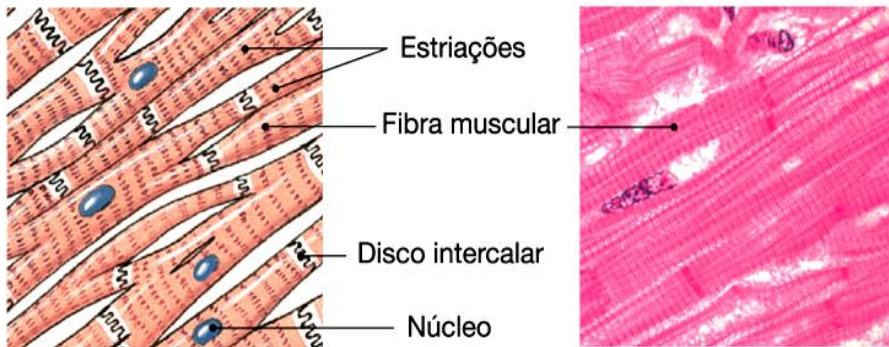
INTRODUÇÃO AO SISTEMA MUSCULAR

- ✓ Função básica: contração (equilíbrio e movimentação)
- ✓ Outras funções: força e calor
- ✓ Tipos de musculatura:
 - a. Músculo estriado esquelético
 - b. Músculo estriado cardíaco
 - c. Músculo liso
- ✓ Controle
 - a. Voluntário
 - b. Involuntário
 - c. Hormonal

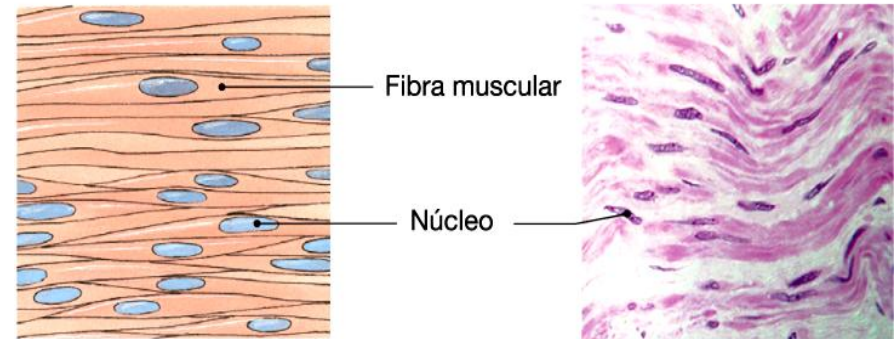
TIPOS DE MÚSCULOS



(a) Músculo esquelético



(b) Músculo cardíaco

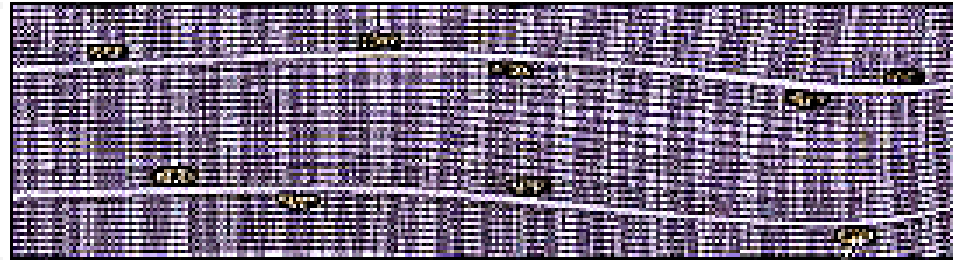


(c) Músculo liso

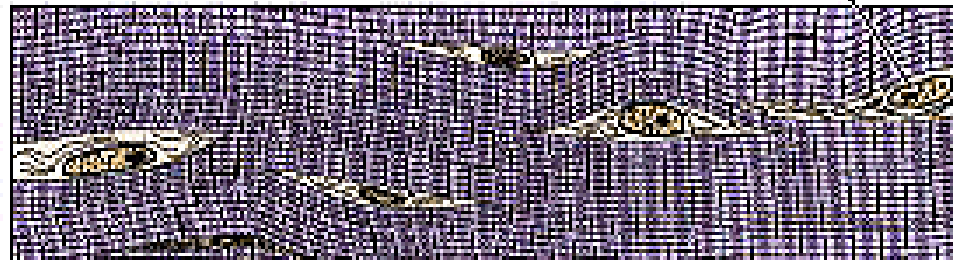
Musculo estriado: esquelético e cardíaco

Tipos de músculo

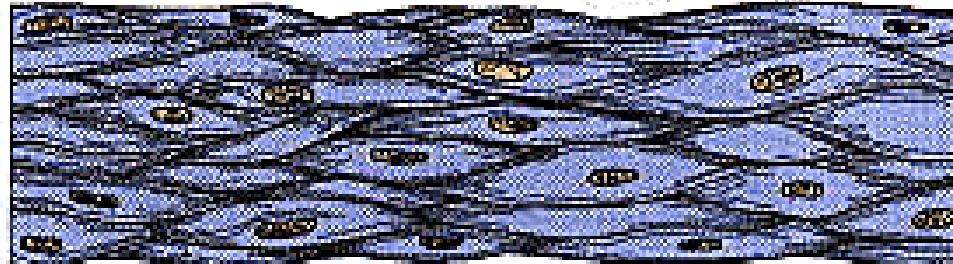
Músculo esquelético



Músculo cardíaco



Músculo liso

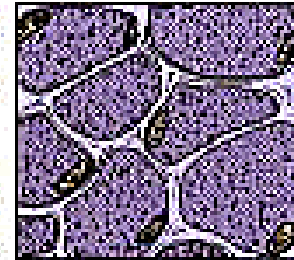


Núcleos

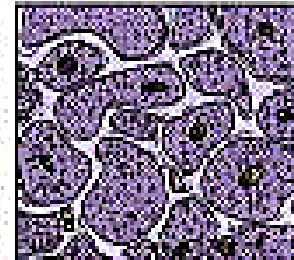
Discos intercalares

Atividade

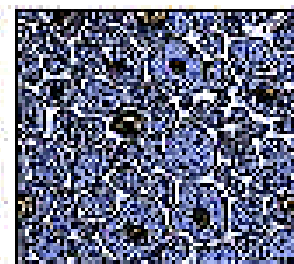
Cortes transversais



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**



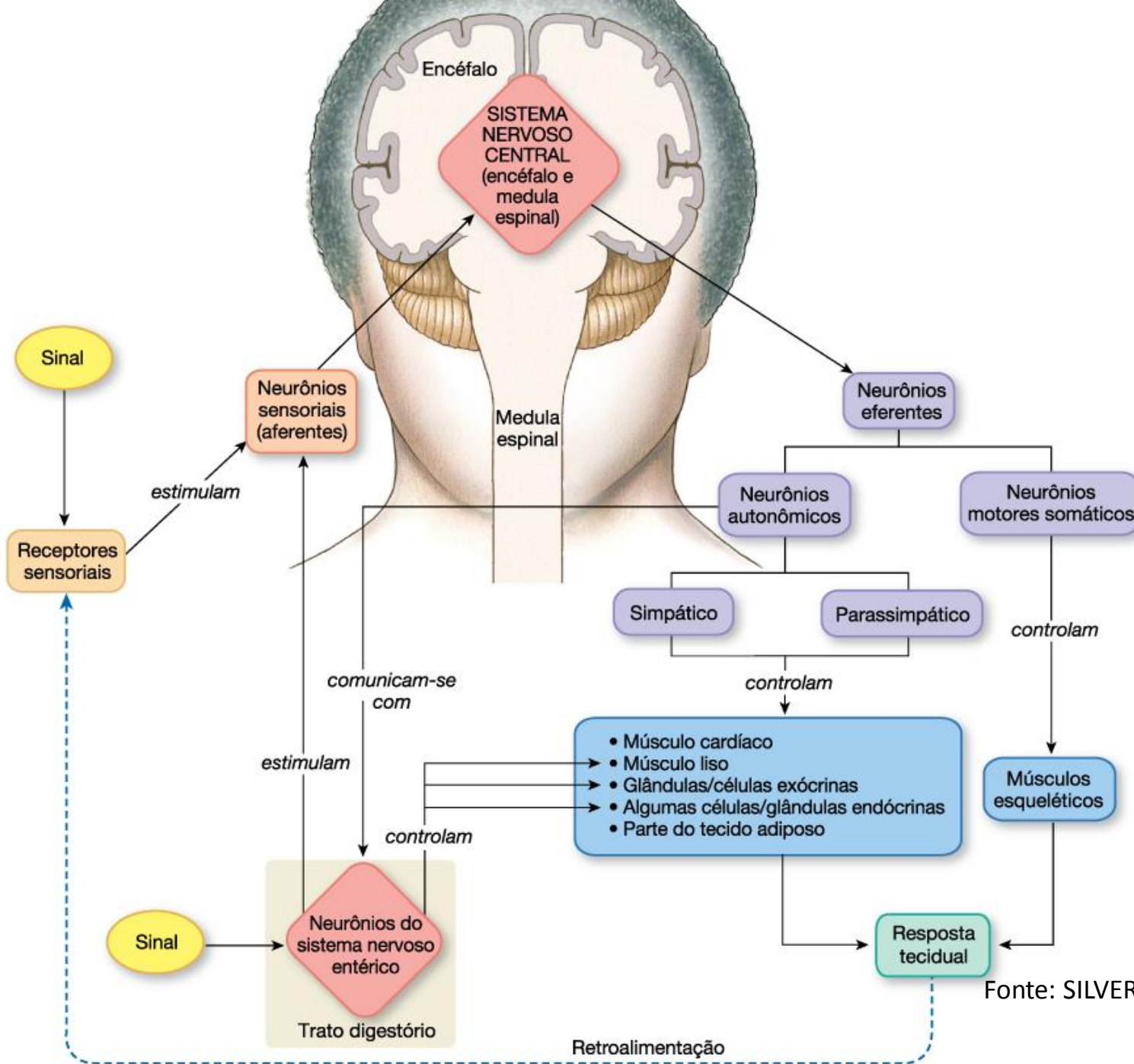
Encéfalo e Medula Espinhal

AUTONOMO

SOMÁTICO






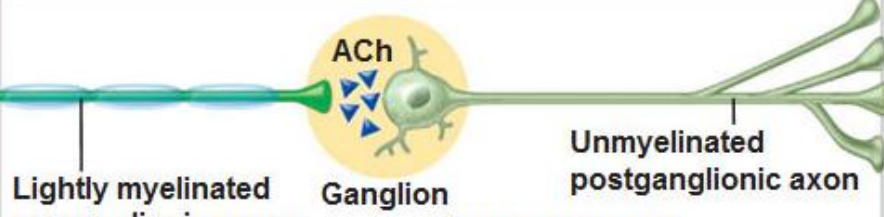

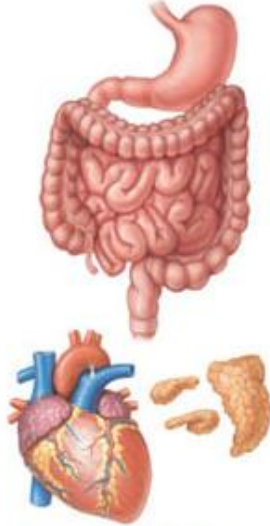
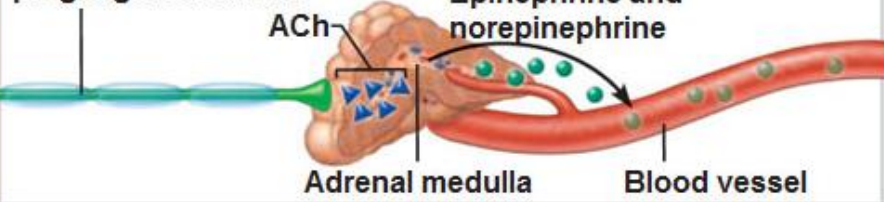

SIMPÁTICO

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

▲ Acetylcholine (ACh) ● Norepinephrine (NE)

O MÚSCULO ESQUELÉTICO

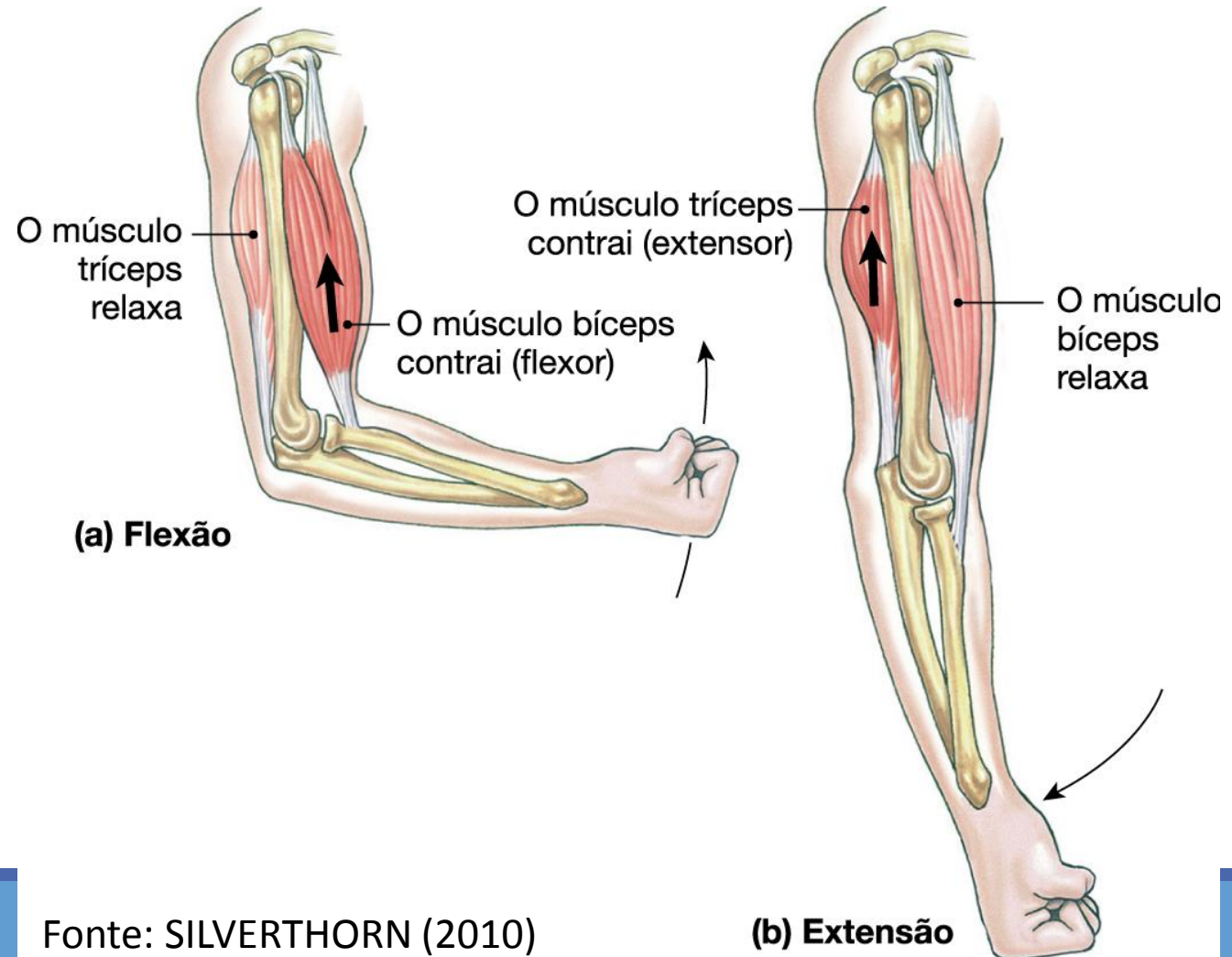
- Ligado aos ossos por tendões
- Função de sustentação e movimentação



- Controle voluntário
- Resposta a um neurônio motor somático

CONTRAÇÃO MUSCULAR PUXA O OSSO/ NUNCA EMPURRA

GRUPOS DE MÚSCULOS ANTAGONISTAS e AGONISTAS



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

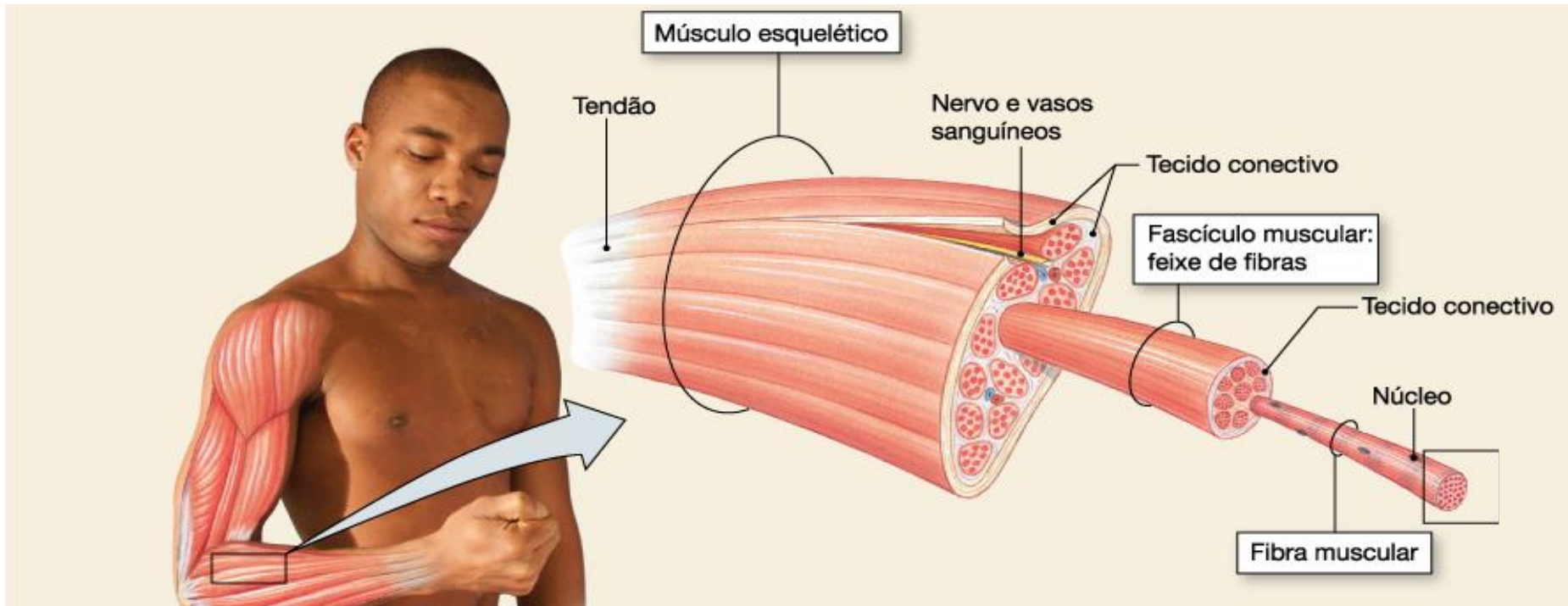
ISOMÉTRICA

Sem deslocamento das estruturas ósseas na contração

O MÚSCULO ESQUELÉTICO

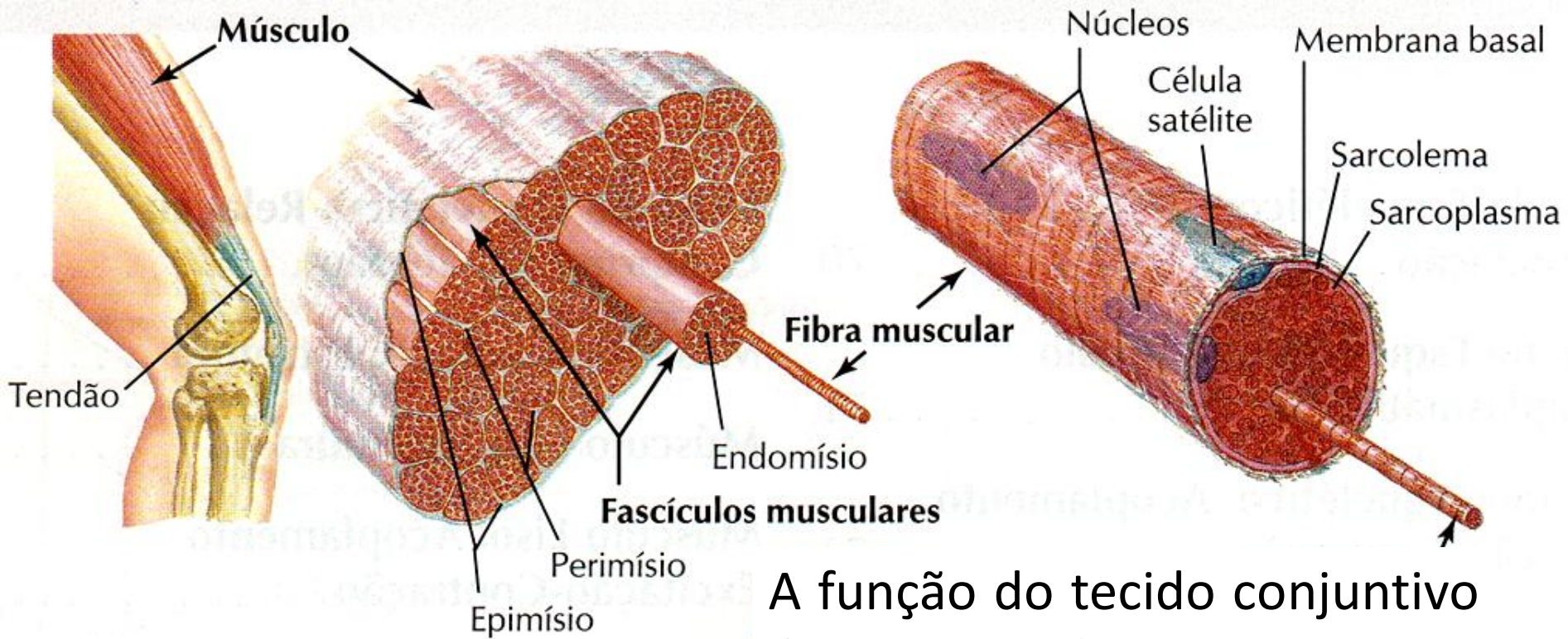
Vasos + nervos + tecido conectivo

Tecido conectivo = Tendão



Musculo esquelético = Fascículos musculares = Fibras musculares

Fonte: SILVERTHORN (2010)

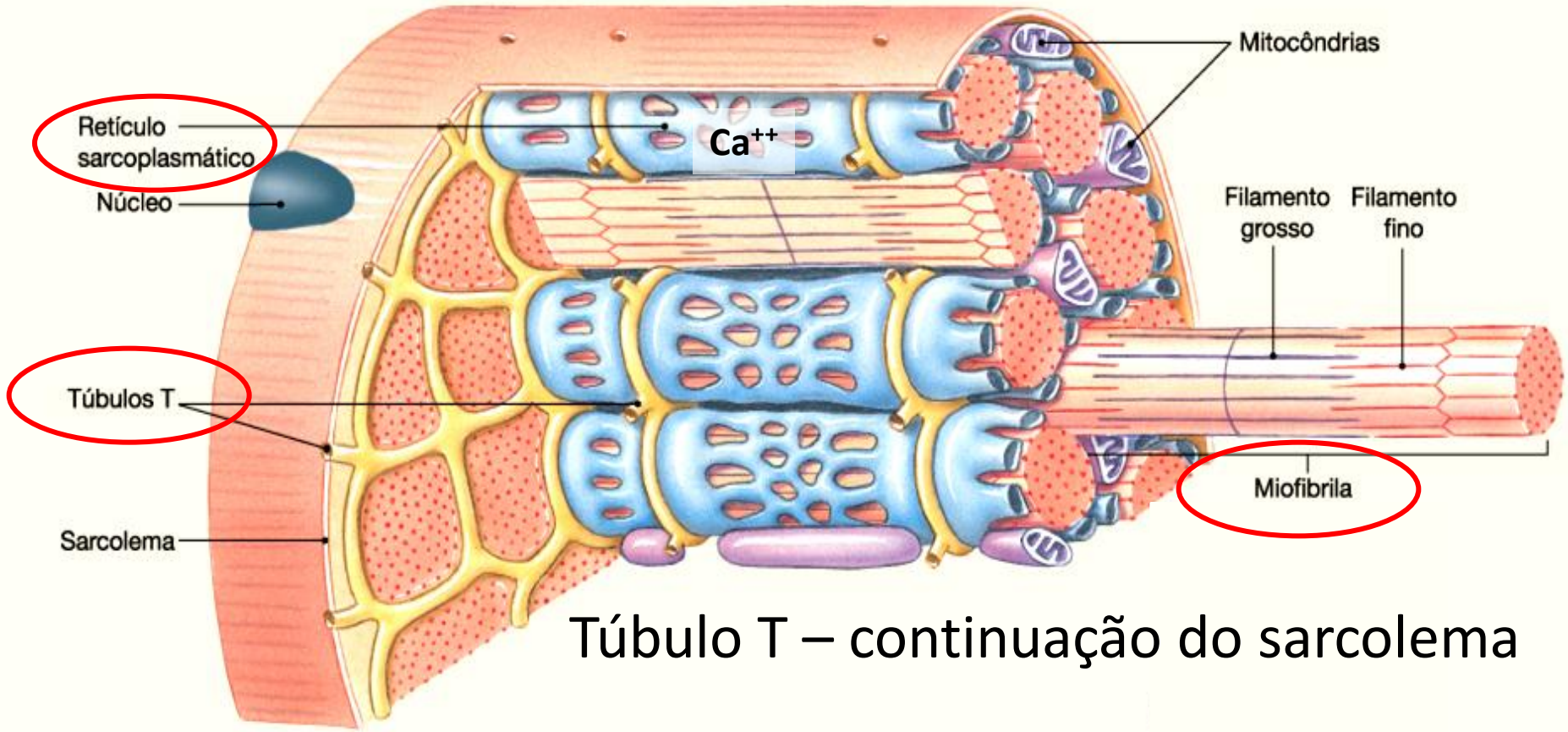


A função do tecido conjuntivo é manter as fibras musculares unidas, fazendo com que a força de contração individual atue no músculo inteiro e transmita para os tendões, ligamentos e periósteo.

Fonte: SILVERTHORN (2010)

FIBRA MUSCULAR ESQUELÉTICA

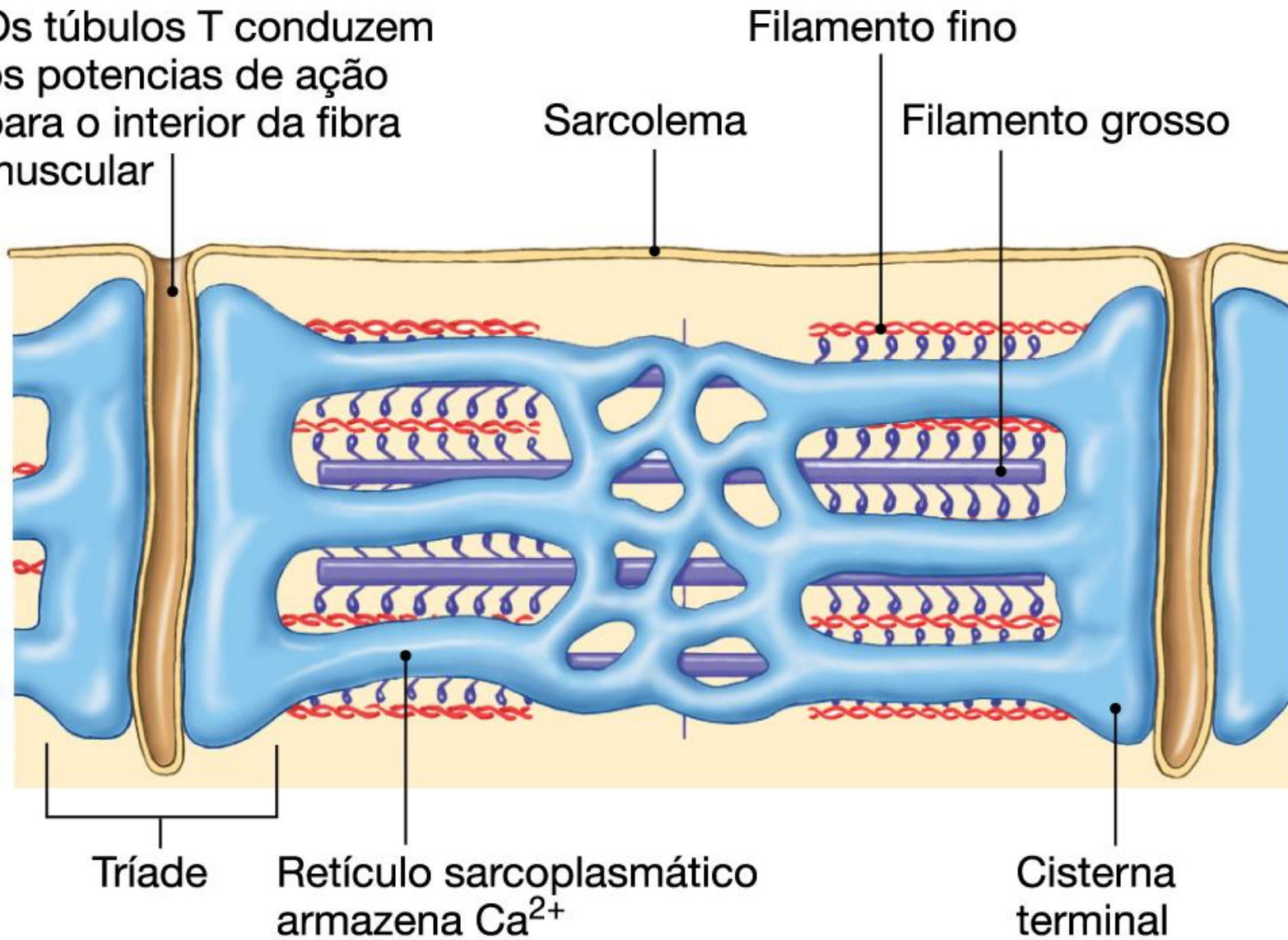
Miofibrila é o menor elemento contrátil do músculo



Túbulo T – continuação do sarcolema

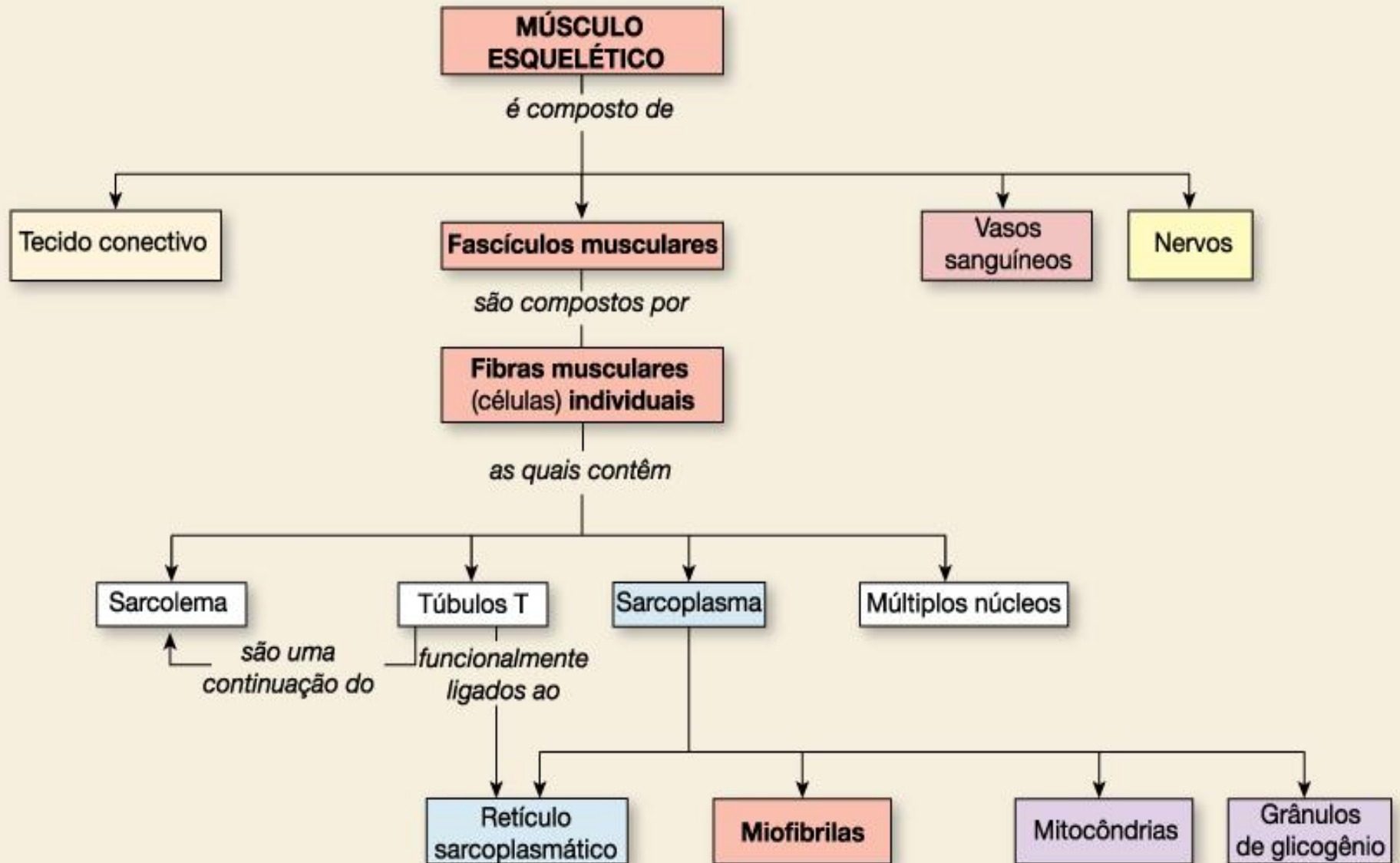
Fonte: SILVERTHORN (2010)

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

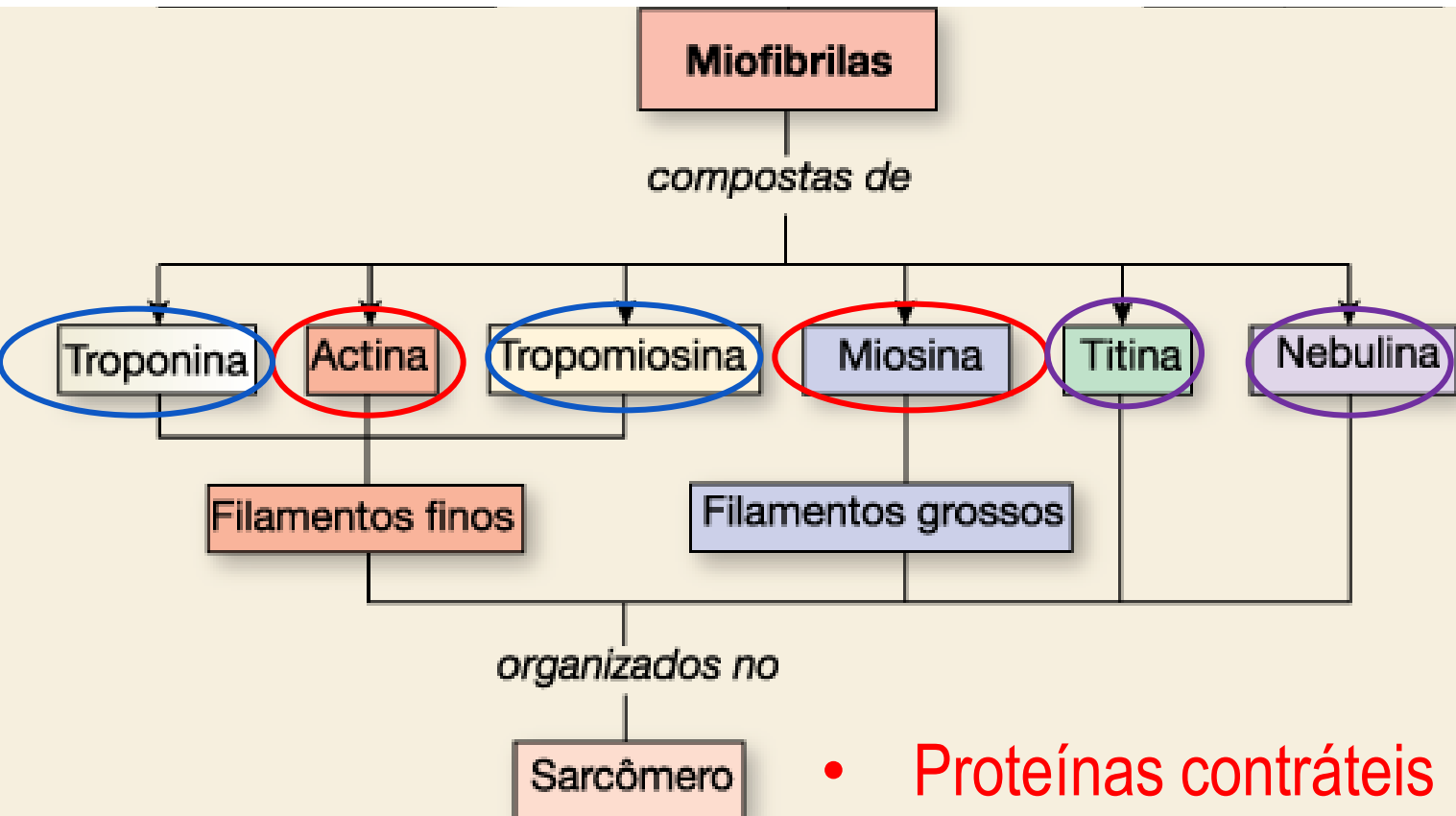


Fonte: SILVERTHORN (2010)

O MÚSCULO ESQUELÉTICO

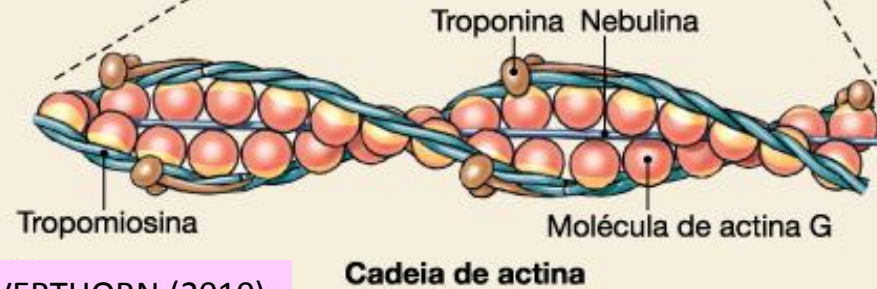
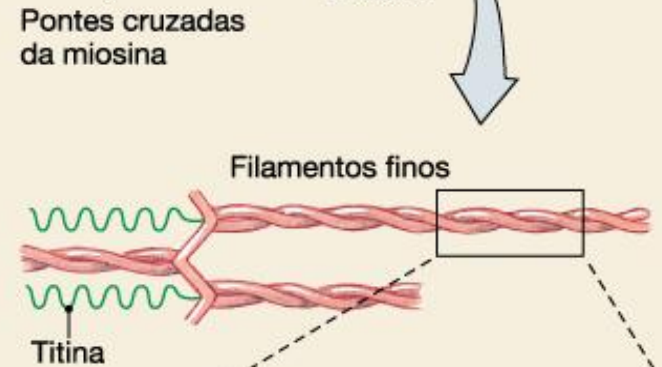
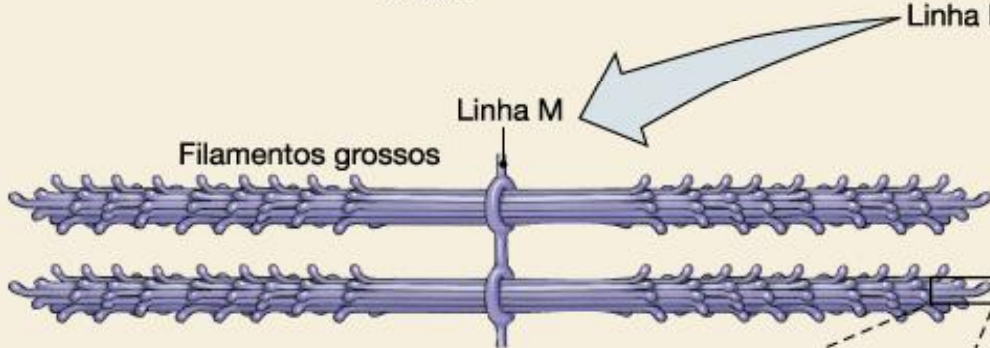
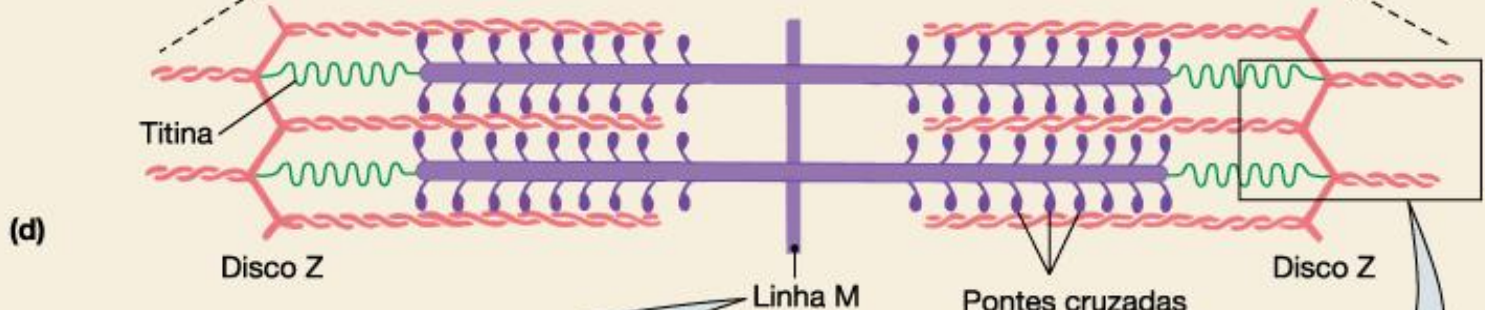
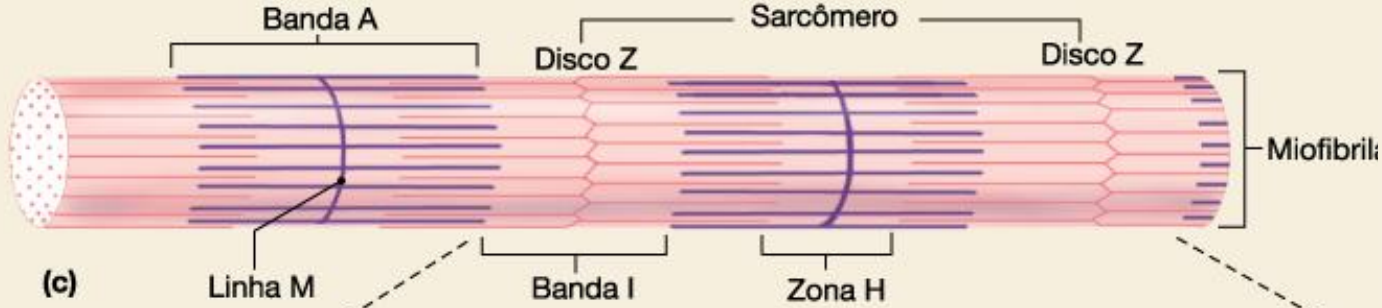


COMPOSIÇÃO DA MIOFIBRILA



- Proteínas contráteis
- Proteínas regulatórias
- Proteínas acessórias gigantes

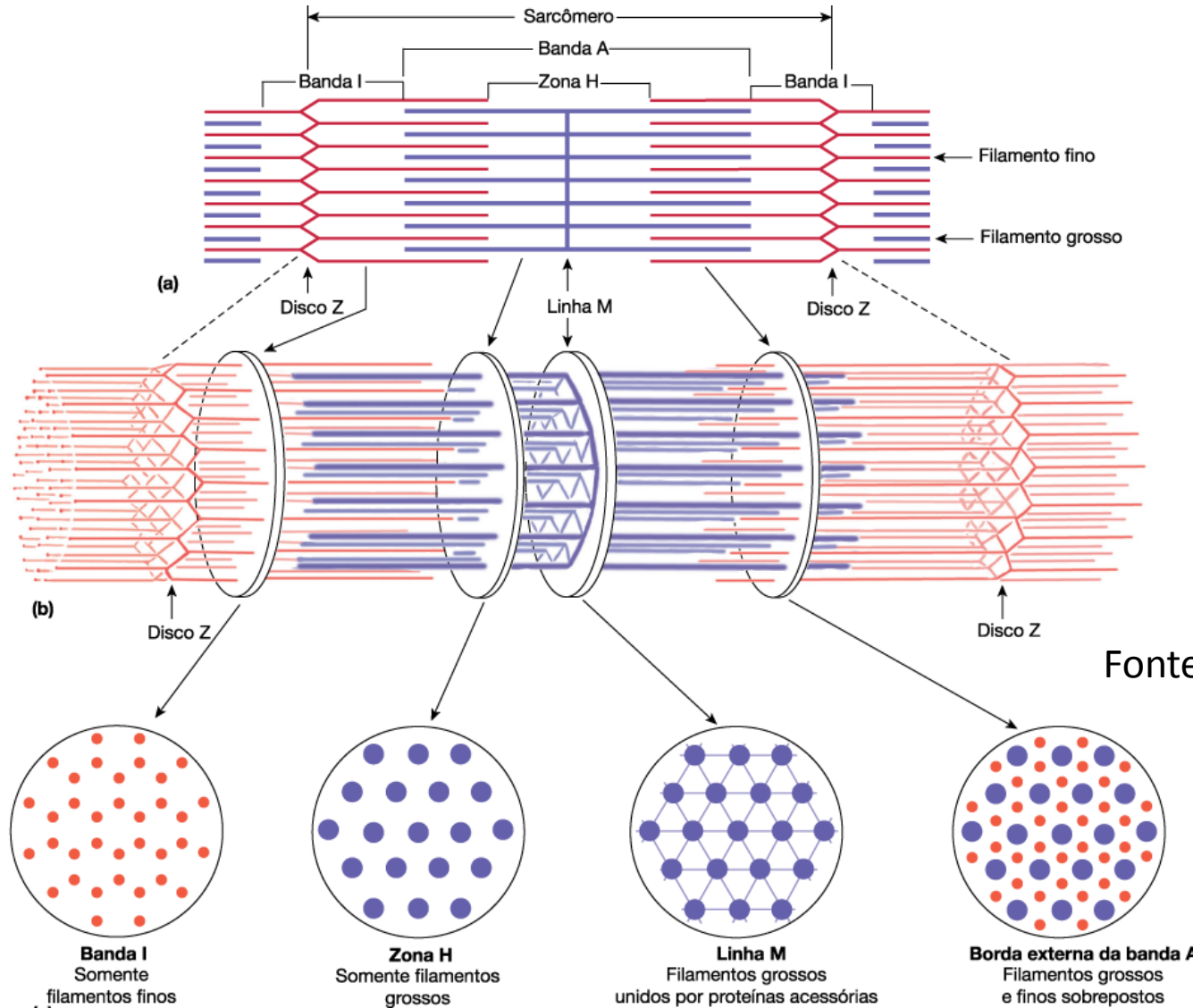
SARCÔMERO UNIDADE BÁSICA DA MIOFIBRILA



Fonte: SILVERTHORN (2010)

SARCÔMERO

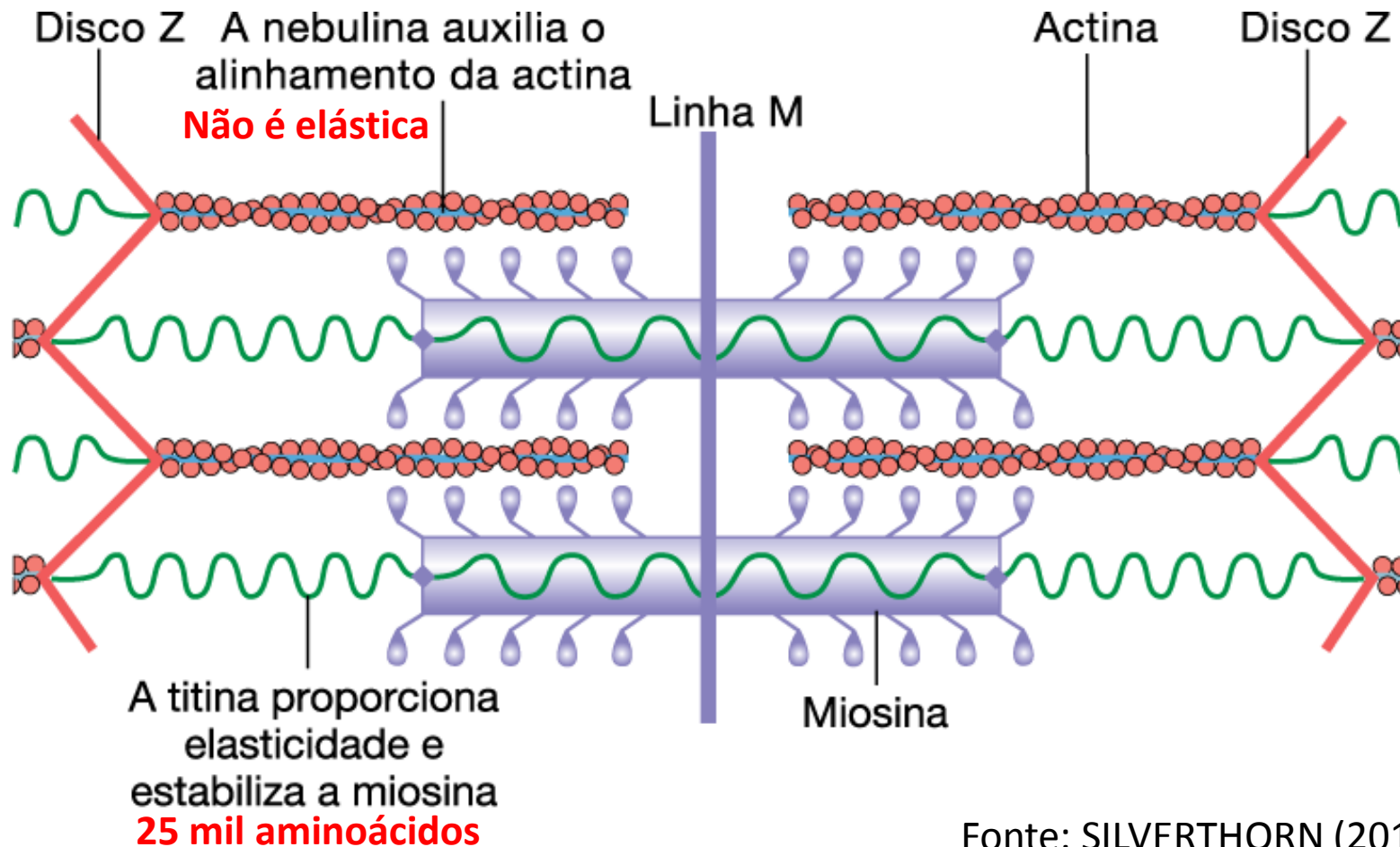
UNIDADE BÁSICA DA MIOFIBRILA



Fonte: SILVERTHORN (2010)

SARCÔMERO

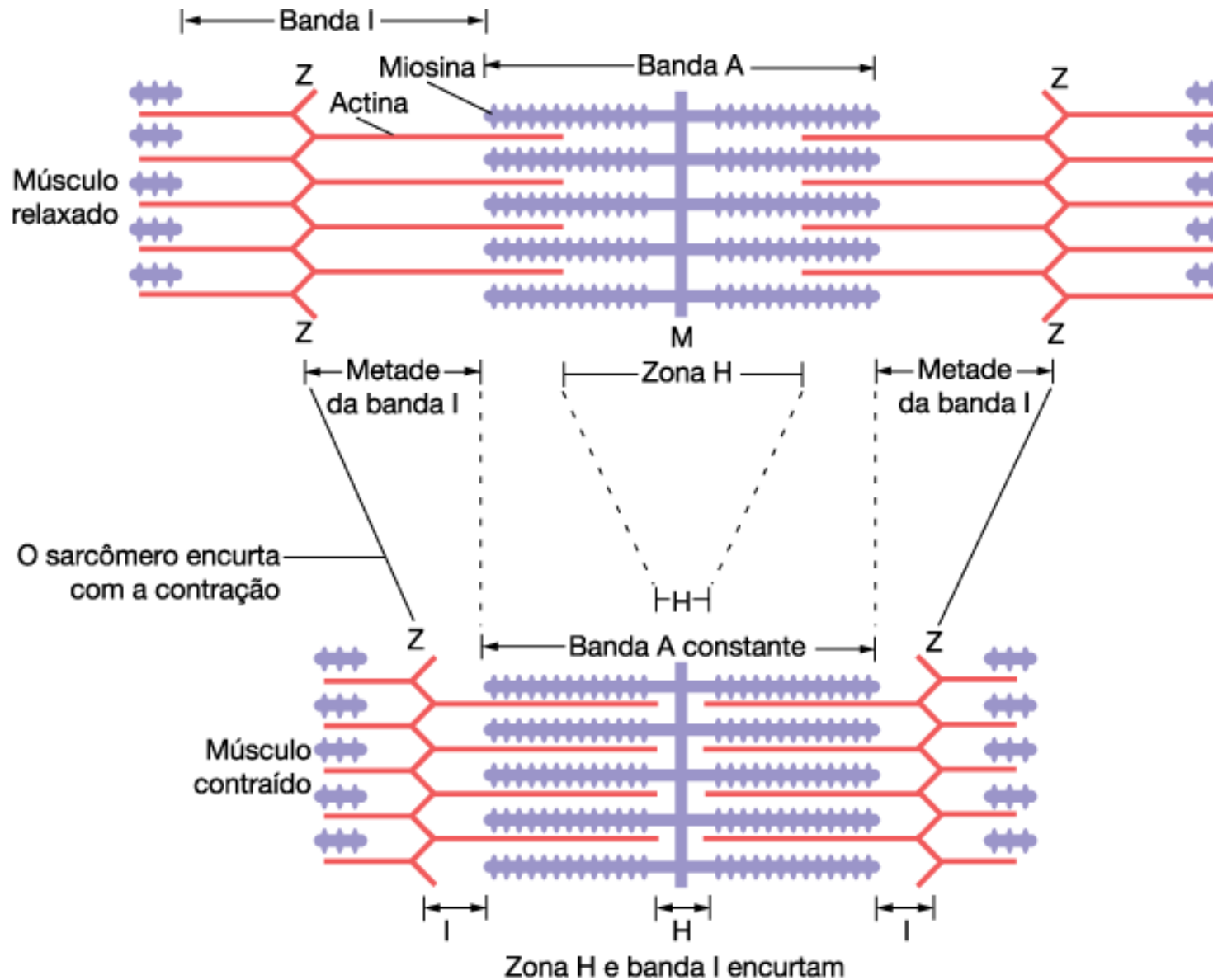
TITINA E NEBULINA



Fonte: SILVERTHORN (2010)

CONTRAÇÃO MUSCULAR ESQUELÉTICA

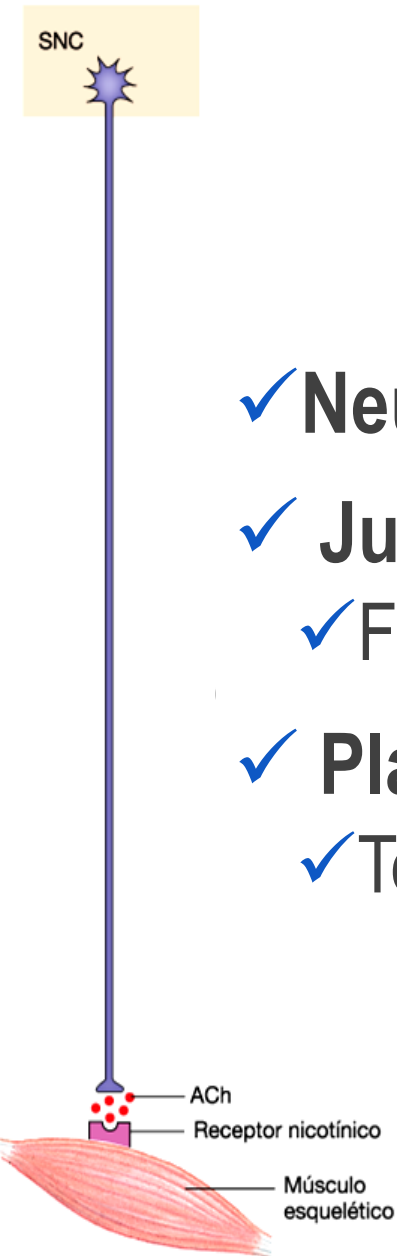
TEORIA DO DESLIZAMENTO



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+}

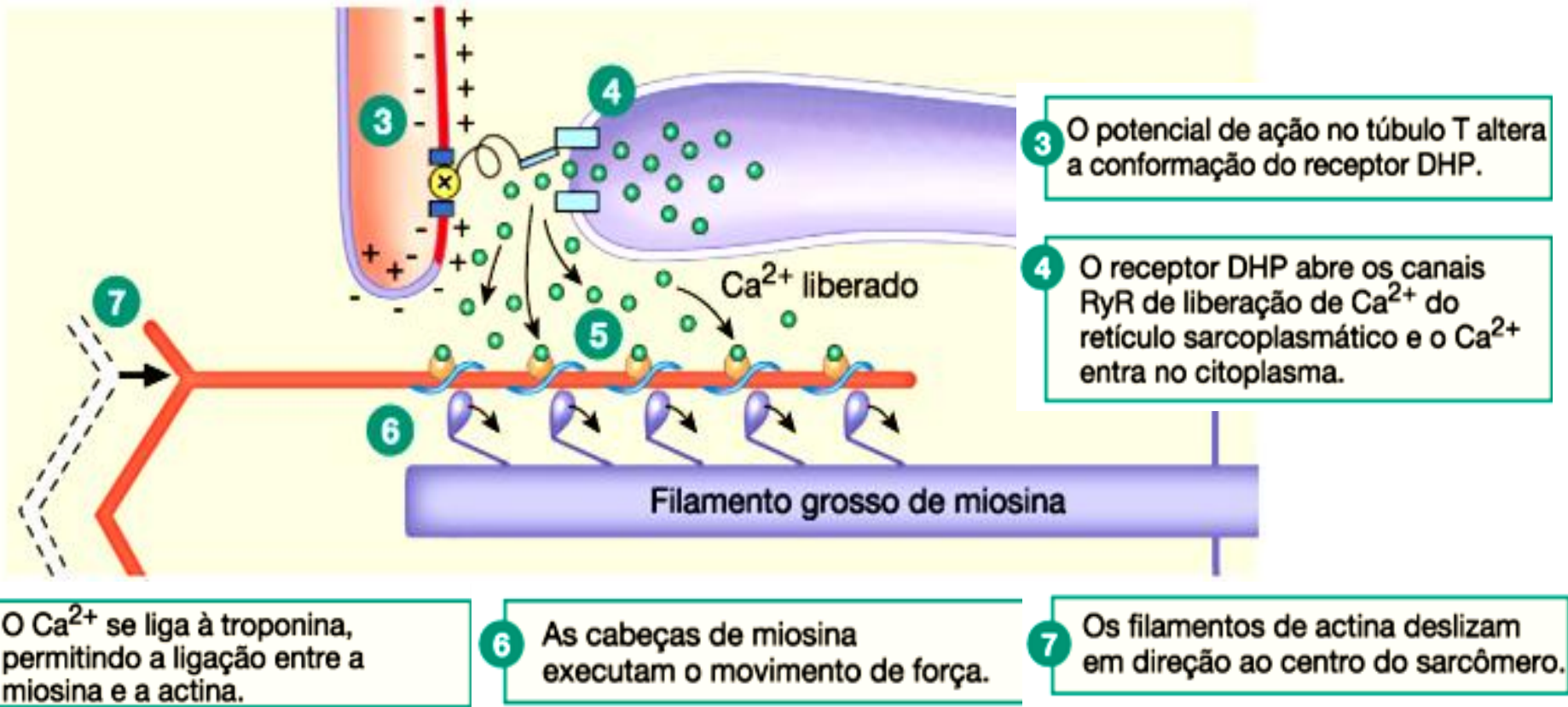
Ciclo contracção-relaxamento

Abalo muscular

Teoria do deslizamento dos filamentos

Fonte: SILVERTHORN (2010)

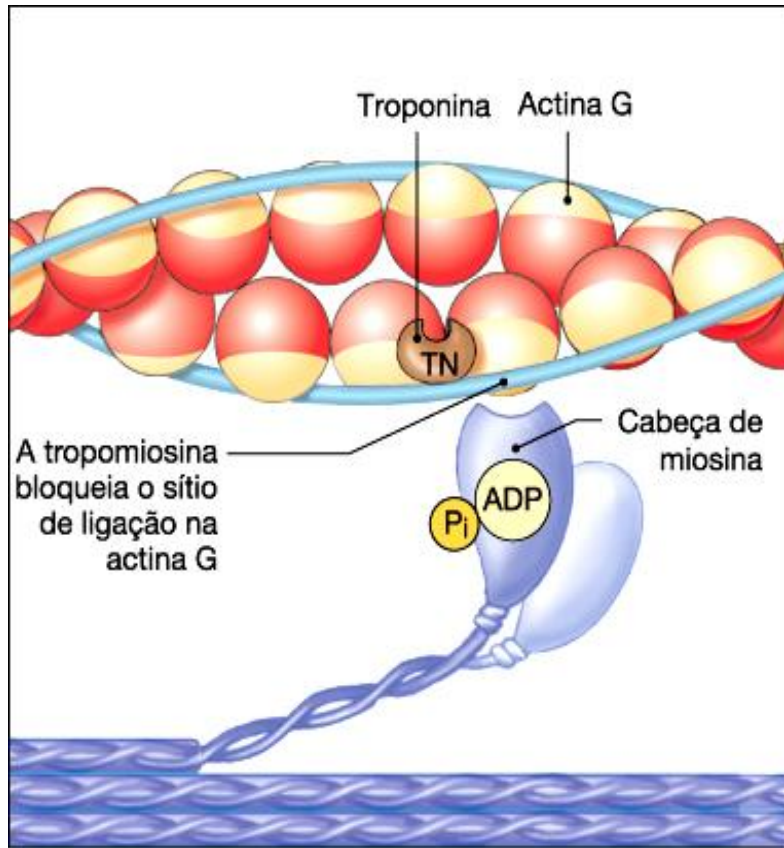
POTENCIAL DE AÇÃO DO MÚSCULO ESQUELÉTICO



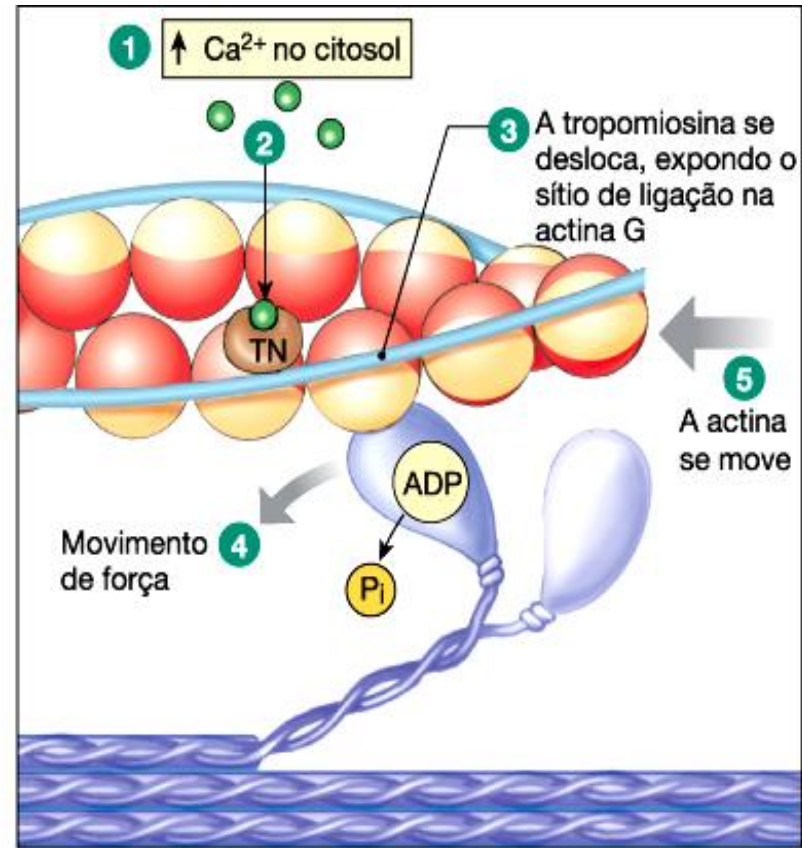
DHP – receptor de DHP (dihidropiridina)
RyR – Canais de Ryr (ryanodina)

Fonte: SILVERTHORN (2010)

CONTRAÇÃO MUSCULAR ESQUELÉTICA



(a) Estado relaxado. Cabeça de miosina engatilhada.



(b) Início da contração.

1 Os níveis de Ca²⁺ aumentam no citosol.

2 O Ca²⁺ se liga à troponina (TN).

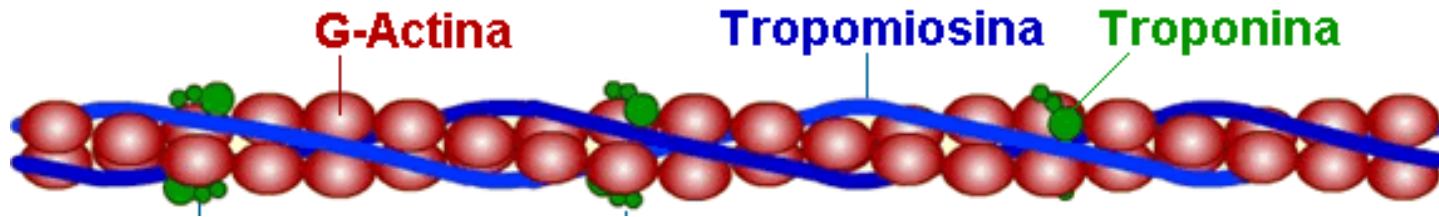
3 O complexo troponina-Ca²⁺ afasta a tropomiosina do sítio de ligação da miosina na actina G.

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

5 O filamento de actina se move.

Fonte: SILVERTHORN (2010)

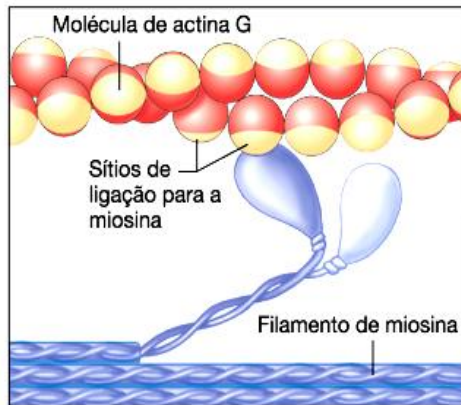
DESLOCAMENTO DO FILAMENTO FINO MÚSCULO ESQUELÉTICO



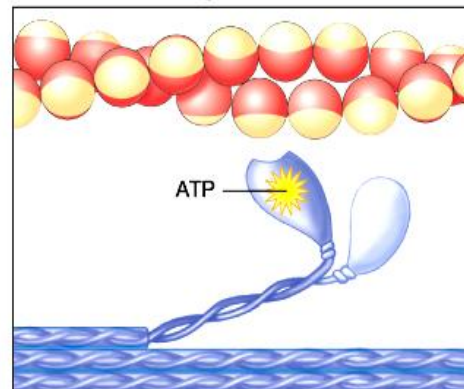
Hidrolisa o ATP e o transforma em ADP + Pi

ABALO MUSCULAR

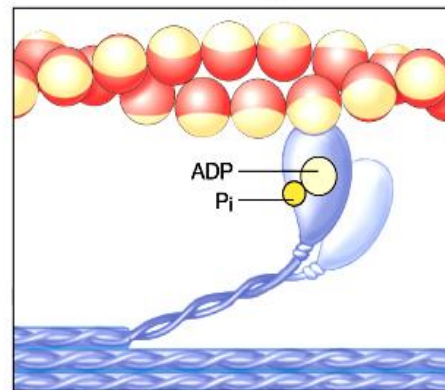
OU TRANSDUÇÃO QUIMIOMECANICA



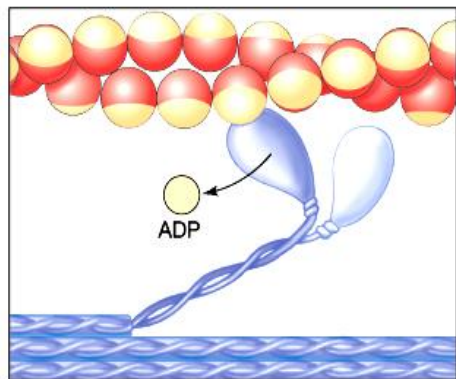
1 O ATP se liga na miosina. A miosina se solta da actina.



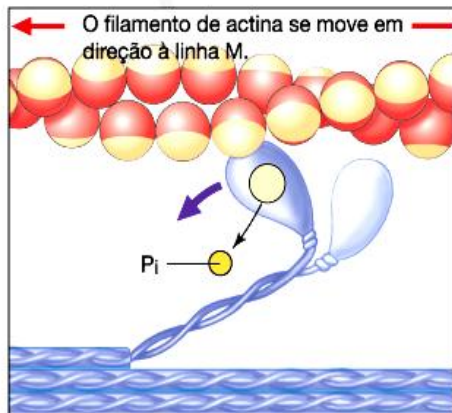
2 A miosina hidrolisa o ATP. A cabeça de miosina gira e se liga à actina.



ATPase

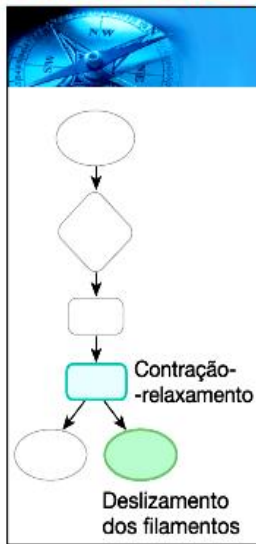


4 A miosina libera ADP.



3 Movimento de força.

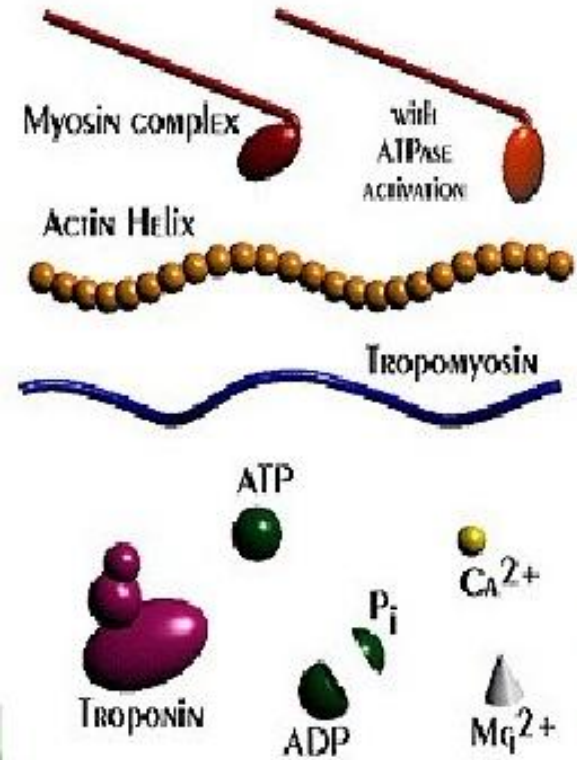
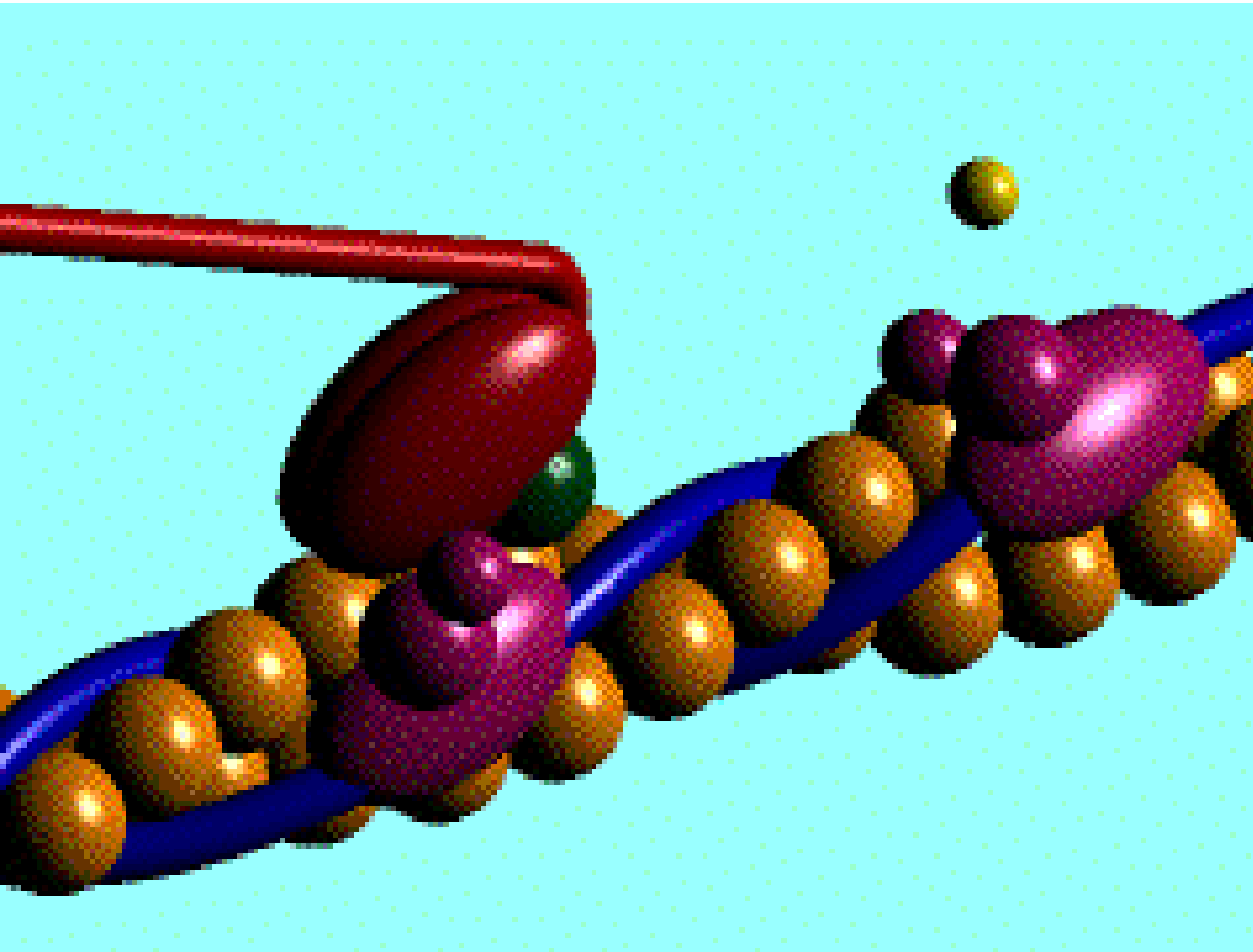
NAVEGADOR



Sinal de Ca²⁺

Estado relaxado com as cabeças de miosina engatilhadas.

MÚSCULO ESQUELÉTICO X ENERGIA



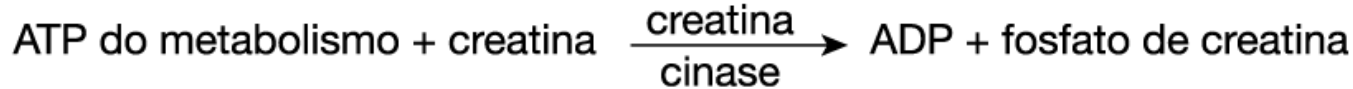
RELAXAMENTO MUSCULAR ESQUELÉTICO



- ✓ 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 Ca^{2+} -ATPase (relaxamento)
- A Na^{+} - 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)

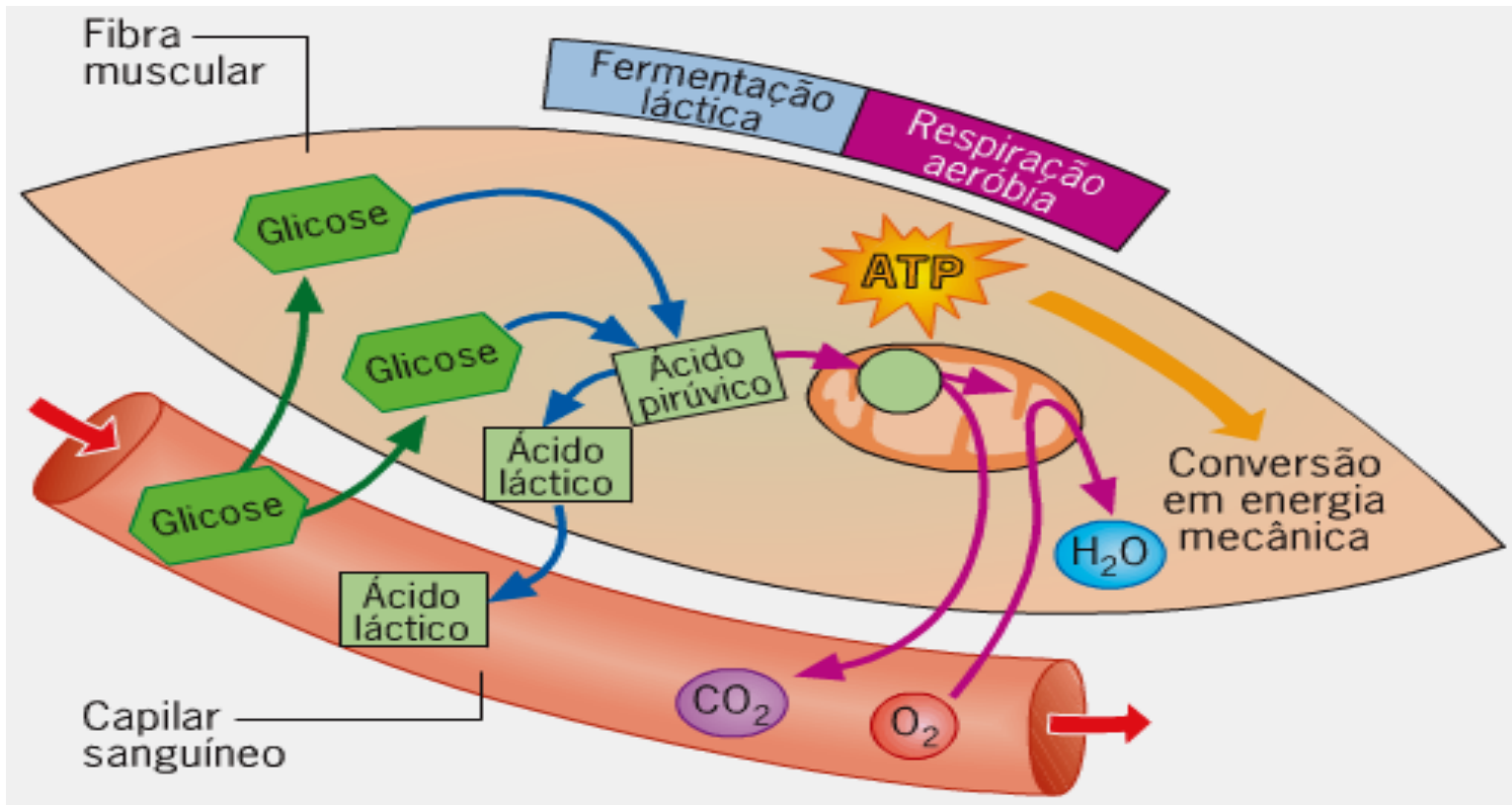
Reserva energética primária: Glicogênio

Reserva energética secundária: Lipídeos e Proteínas

Reposição imediata: FOSFOCREATINA (ADP = fosfato de creatina)

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.



TIPOS DE FIBRA MUSCULAR

- ✓ **FIBRAS VERMELHAS OU L (TIPO I)**
Contração lenta e sustentada.
Alta concentração de mioglobina.
Mais resistente a fadiga.

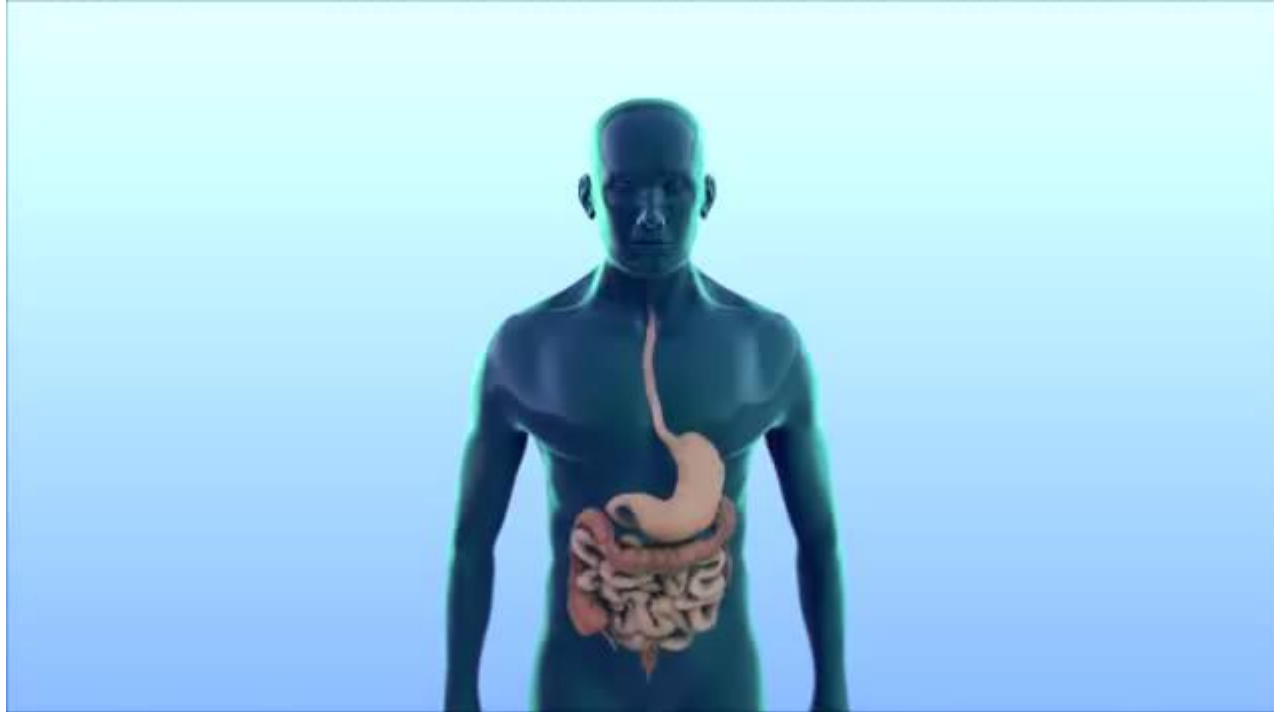
- ✓ **FIBRAS BRANCAS OU R (TIPO IIb)**
Contrações rápidas, fortes e transitórias.
Depende da glicólise anaeróbica
Fácil fadiga.

- ✓ **FIBRAS INTERMEDIÁRIAS (TIPO IIa)**
Utilizam primeiro a via oxidativa aeróbica.
Moderadamente resistente a fadiga

CONCLUSÕES



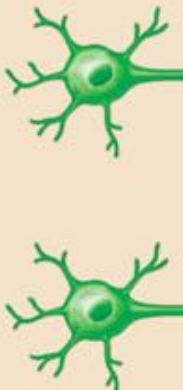
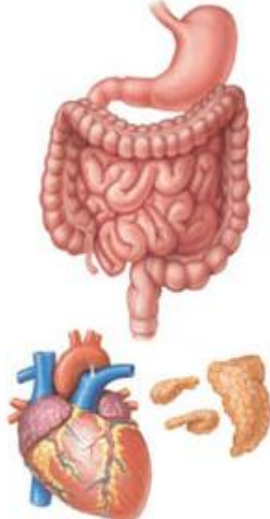

- ✓ O músculo esquelético é formado por fibras longas com diversos núcleos.
- ✓ É voluntário e representado por um neurônio eferente mielinizado cujo neurotransmissor é a acetilcolina.
- ✓ Sarcômero é a unidade básica da contração muscular.
- ✓ A contração muscular é resultante de forças geradas pela 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 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 Ca^{++} .
- ✓ Energia é necessária para o movimento das cabeças da miosina, para o desligamento da miosina com a actina, para bombear o Ca^{++} para o retículo sarcoplasmático e para a restauração do Na^{++} e K^{++} no meio intra e extracelular

MÚSCULO LISO



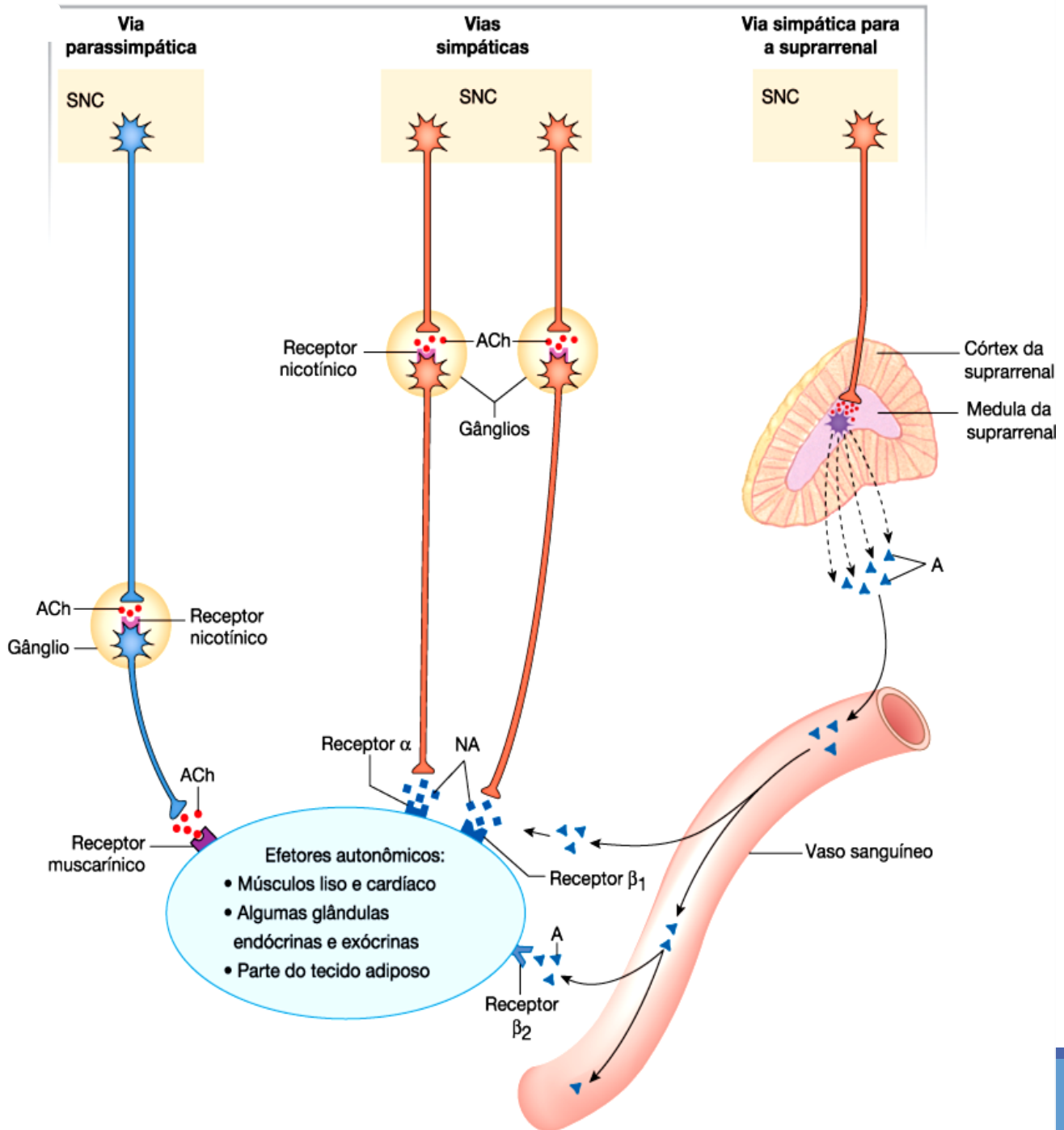
- Encontrado no tecido das paredes dos órgãos ocos e tubos
- As ondas sequenciais da contração
- Contração altera a forma do órgão
- Lento e usa menos energia quando comparado aos outros tipos

COMPARAÇÃO DO SISTEMA NERVOSO AUTÔNOMO E SOMÁTICO

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

▲ Acetylcholine (ACh) ● Norepinephrine (NE)

VIAS AUTONÔMICAS



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

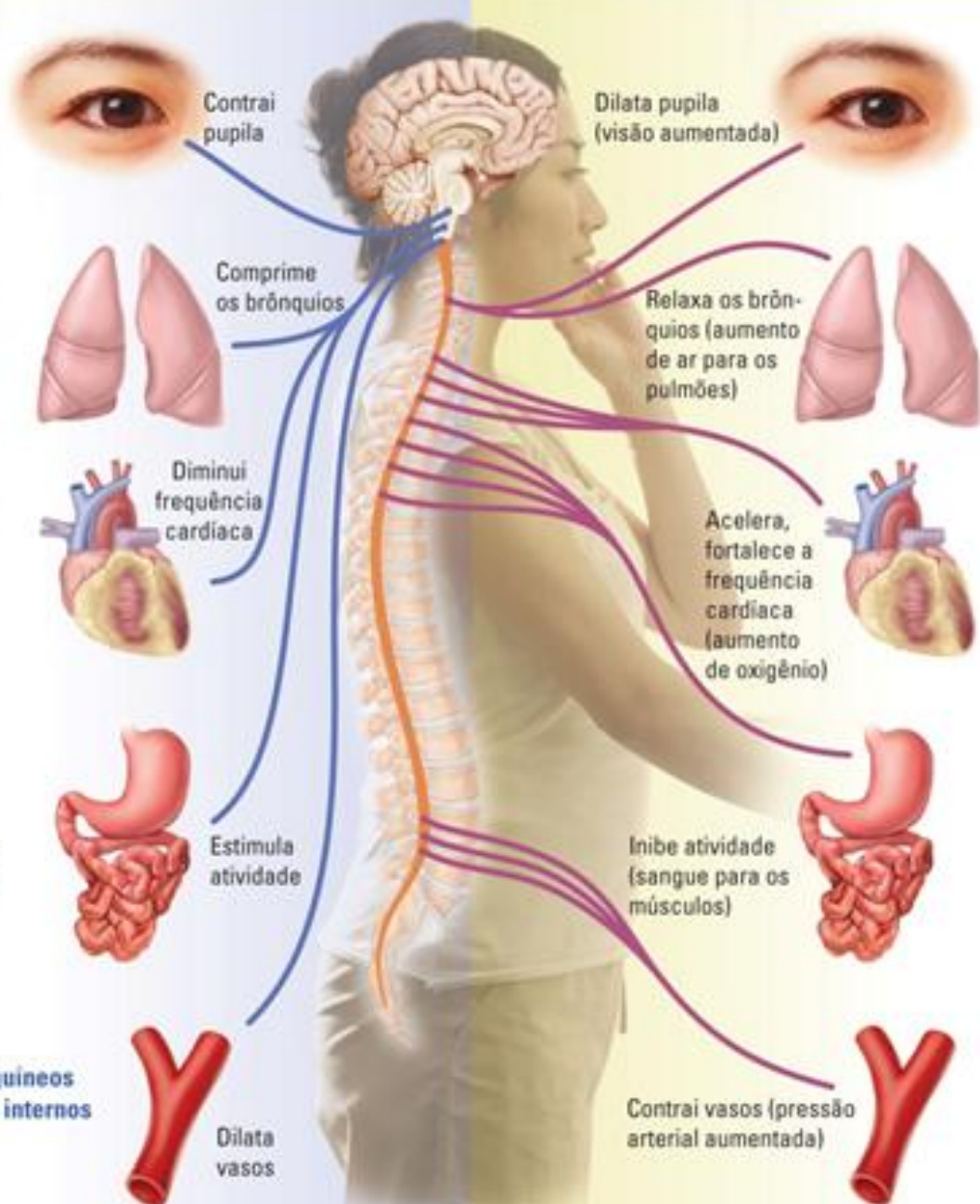
Estimula atividade

Inibe atividade (sangue para os músculos)

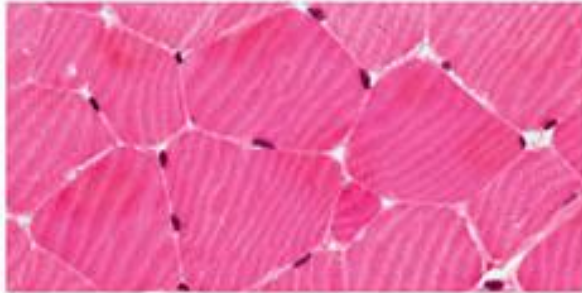
Vasos sanguíneos dos órgãos internos

Dilata vasos

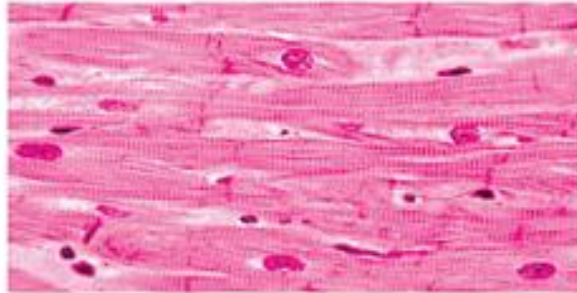
Contraí vasos (pressão arterial aumentada)



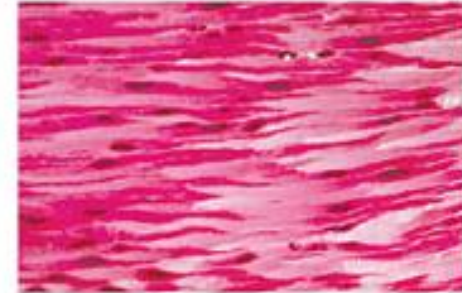
DIFERENÇAS DO MÚSCULO LISO



**Estriado
Esquelético**



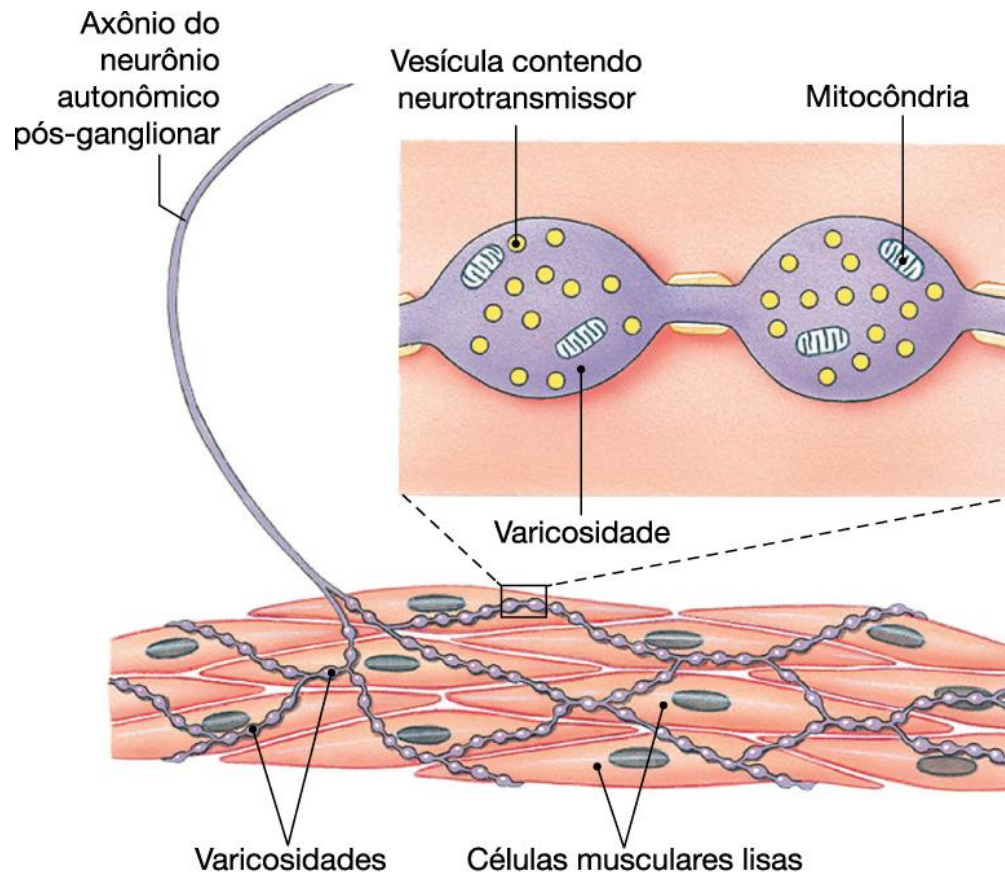
**Estriado
Cardíaco**



Liso

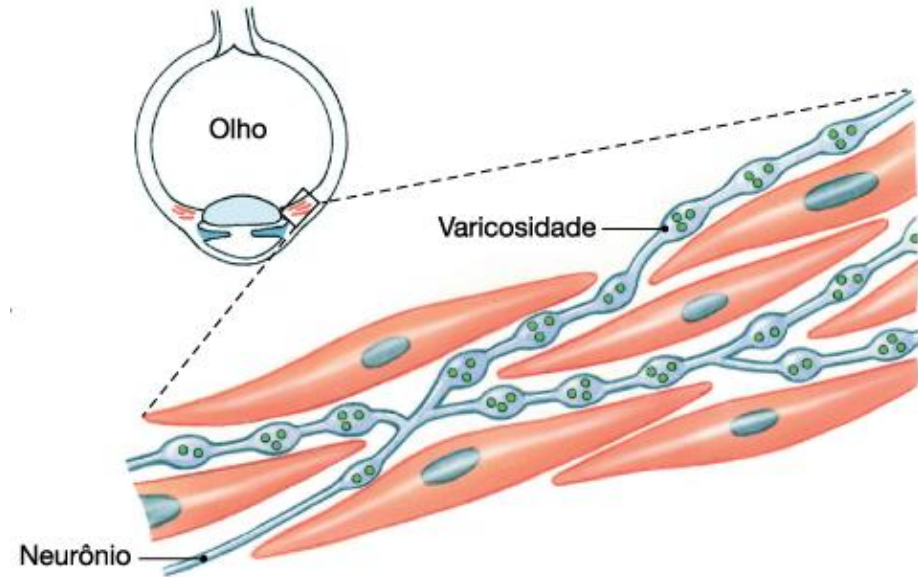
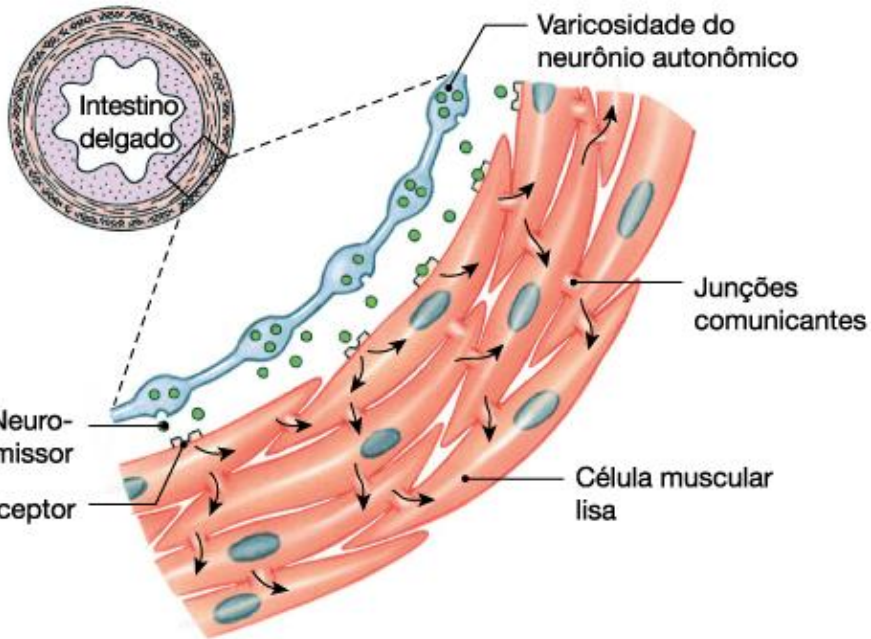
- Baixas taxas de consumo de O_2
- Permite contrações por longos períodos sem fadiga- esfíncteres
- Controlado por diferentes substâncias
- Tem propriedades elétricas variáveis
- Células são pequenas e fusiformes, com apenas um núcleo

ESTÍMULO NERVOSO DO MÚSCULO LISO



- Neurotransmissor liberado por varicosidades
- Não apresenta região receptora especializada

TIPOS DE MÚSCULO LISO



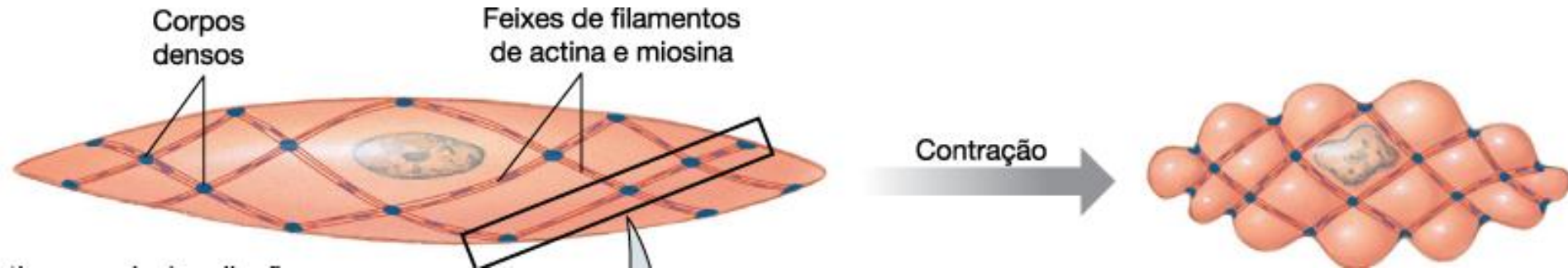
(a) As células do músculo liso unitário conectam-se por junções comunicantes e contraem-se como uma unidade.

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

Vísceras
Vasos sanguíneos
Trato gastrointestinal

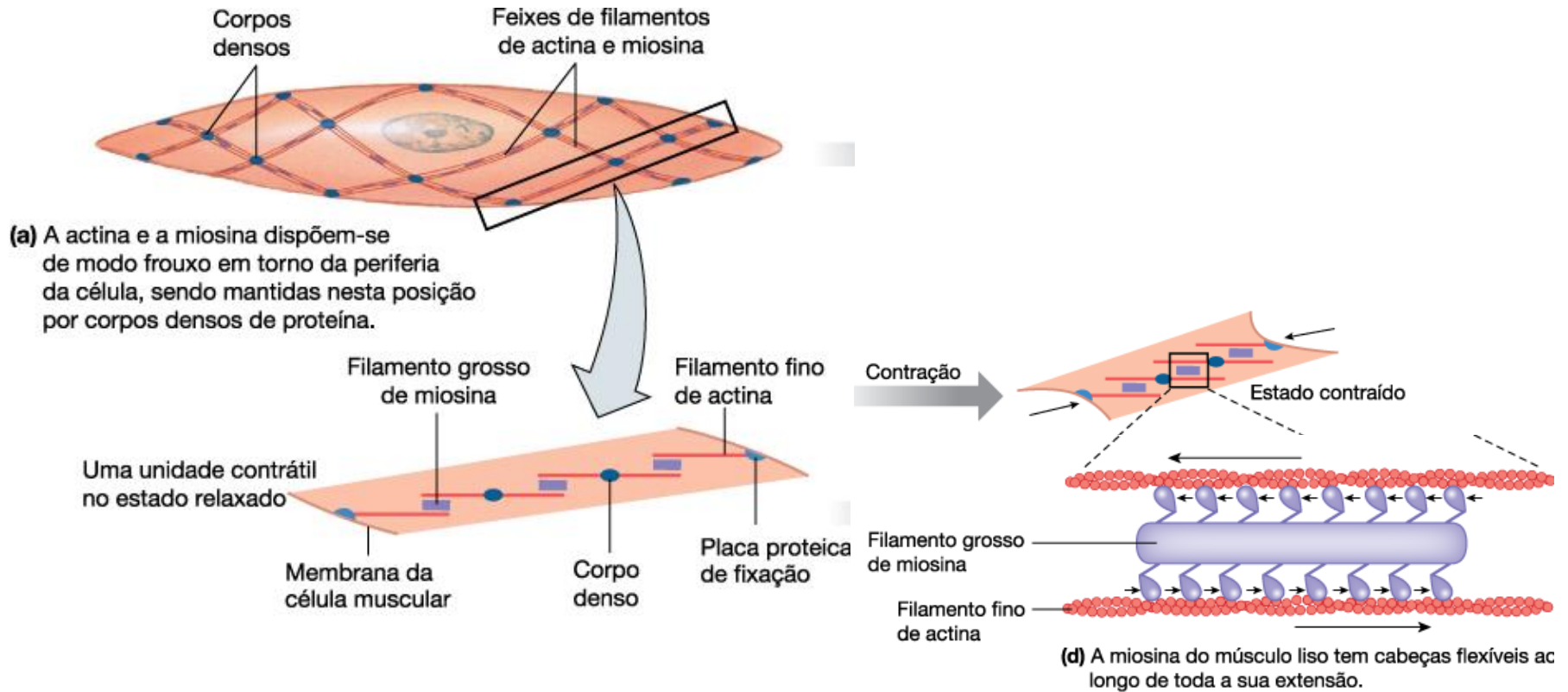
Íris e Corpo Ciliar
Trato genital masculino
Trato genital feminino

MÚSCULO LISO



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

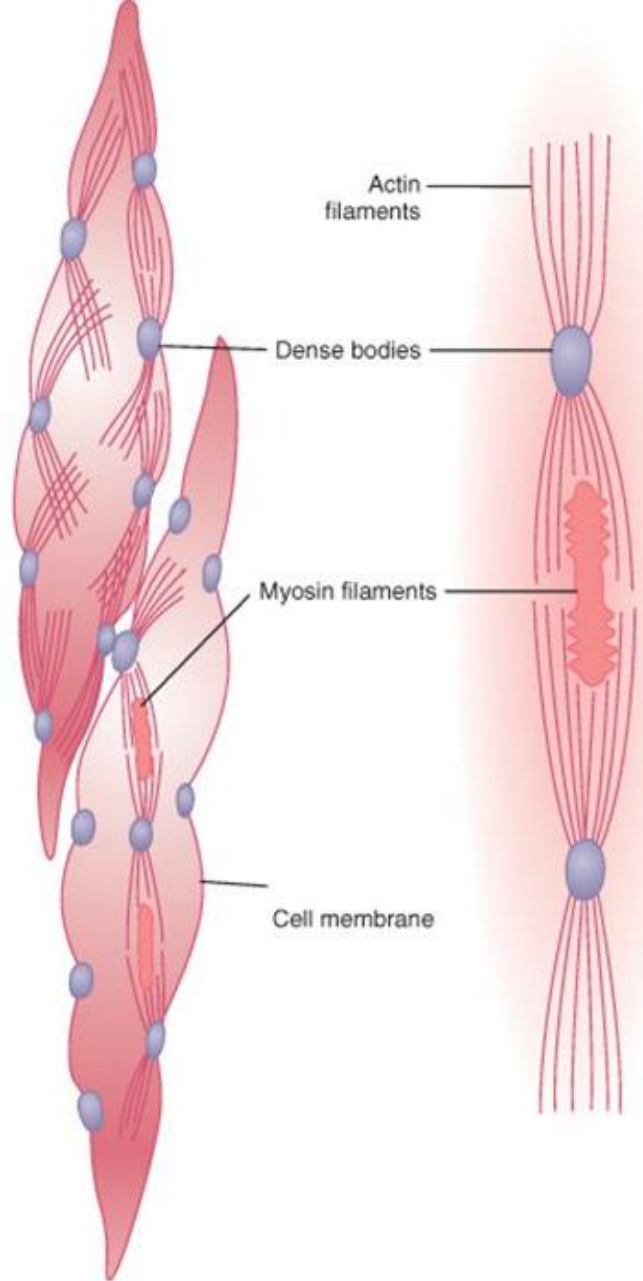
MÚSCULO LISO



Fonte: SILVERTHORN (2010)

➤ Deslizamento e estiramento

MÚSCULO LISO



- Miosina e Actina estão ancoradas nos corpos densos
- Ausência de Troponina/Tropomiosina
- Presença de Calmodulina
- Capacidade de detectar e ligar-se ao Ca^{2+} presente no citoplasma e interagir e regular a função de diversas proteínas alvo da célula.

MIOSINA DO MÚSCULO LISO

Cadeias leves de miosina – CONTRAÇÃO MAIS LENTA

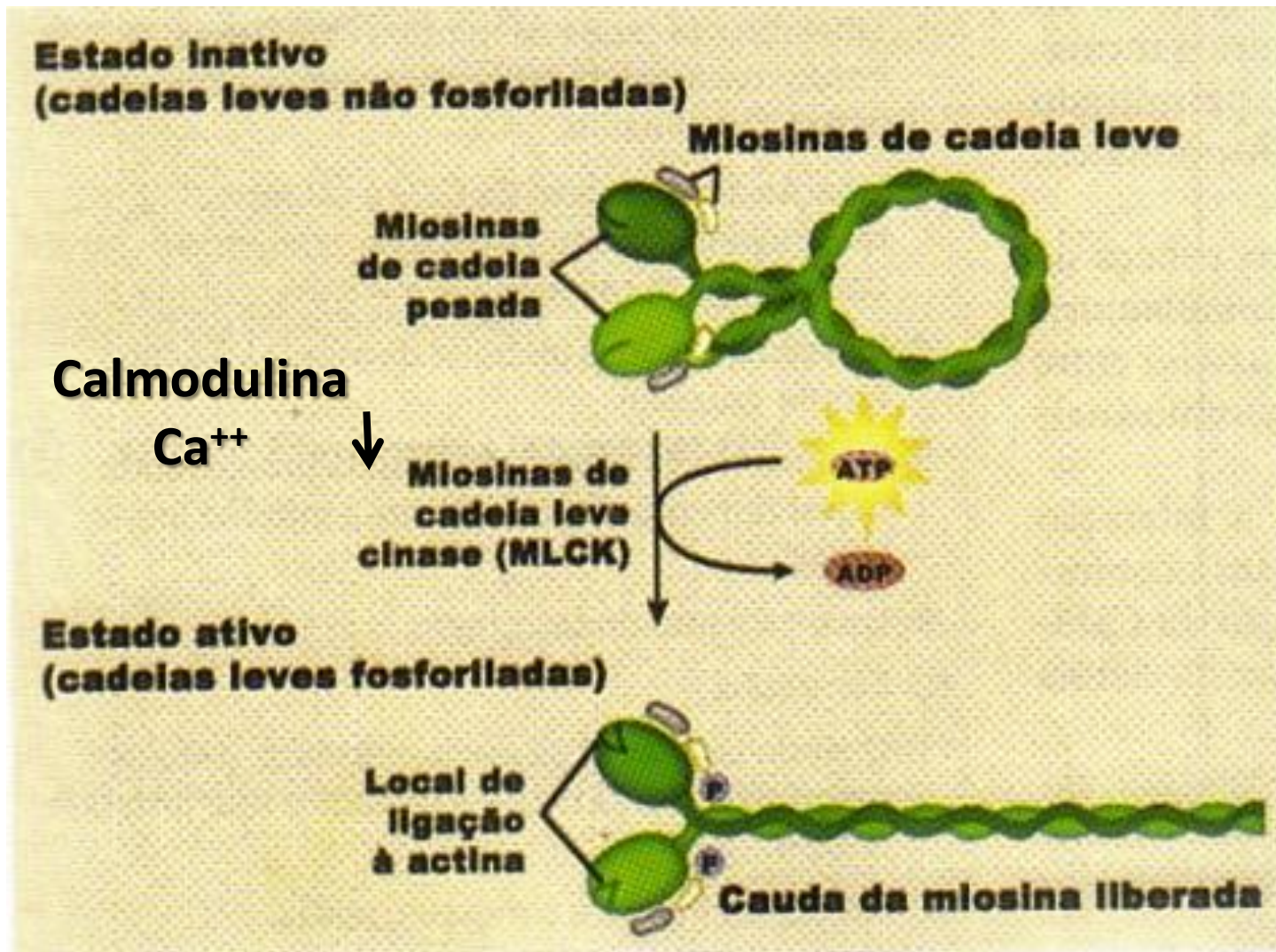


Molécula de miosina

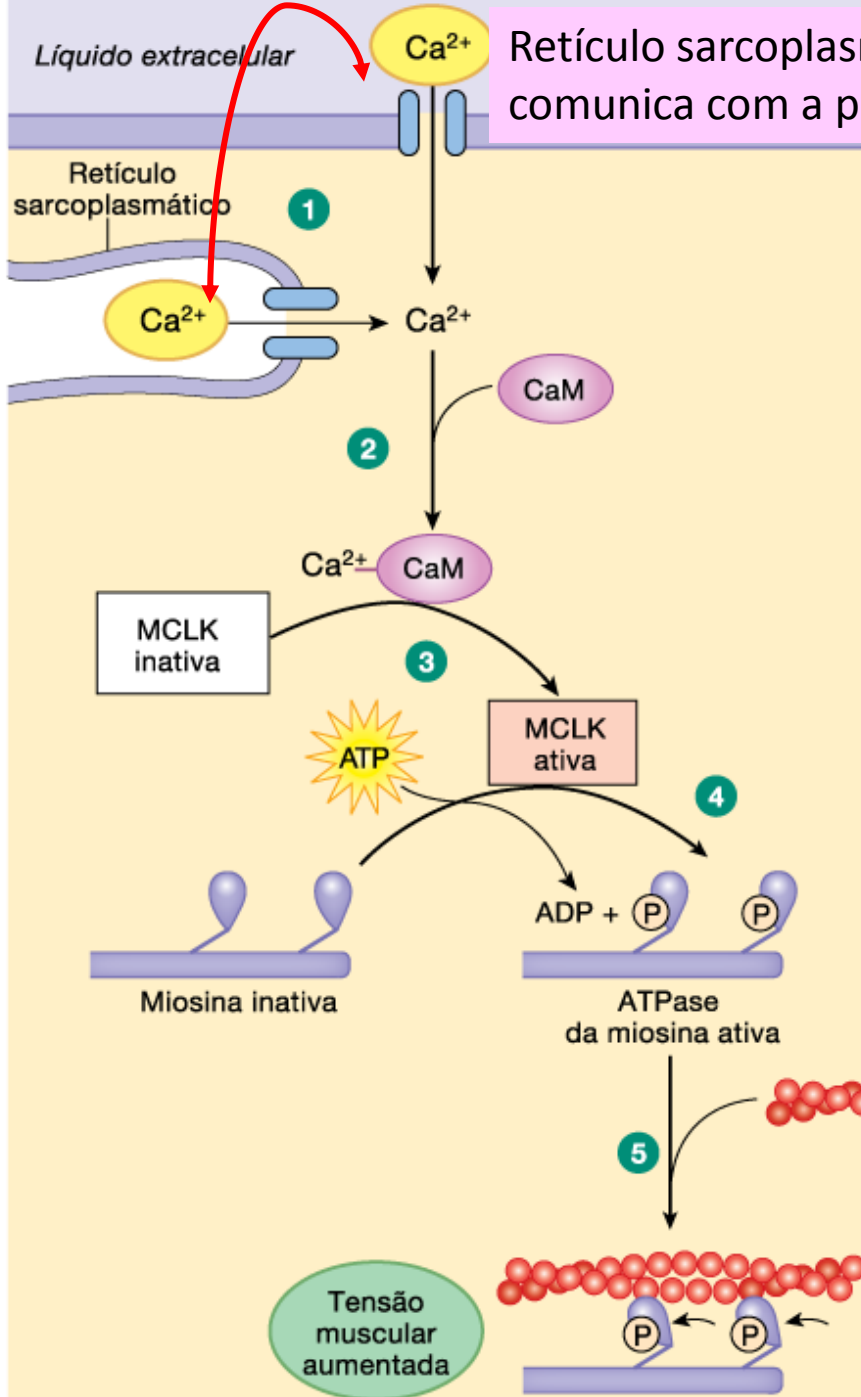


MIOSINA DO MÚSCULO LISO

Importante a fosforilação das cadeias leves pela MLCK



Reticulo sarcoplasmático existe uma proteína sensora Ca^{++} que se comunica com a proteína da membrana sarcoplasmática



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

2 O Ca^{2+} se liga à calmodulina (CaM).

3 A 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.

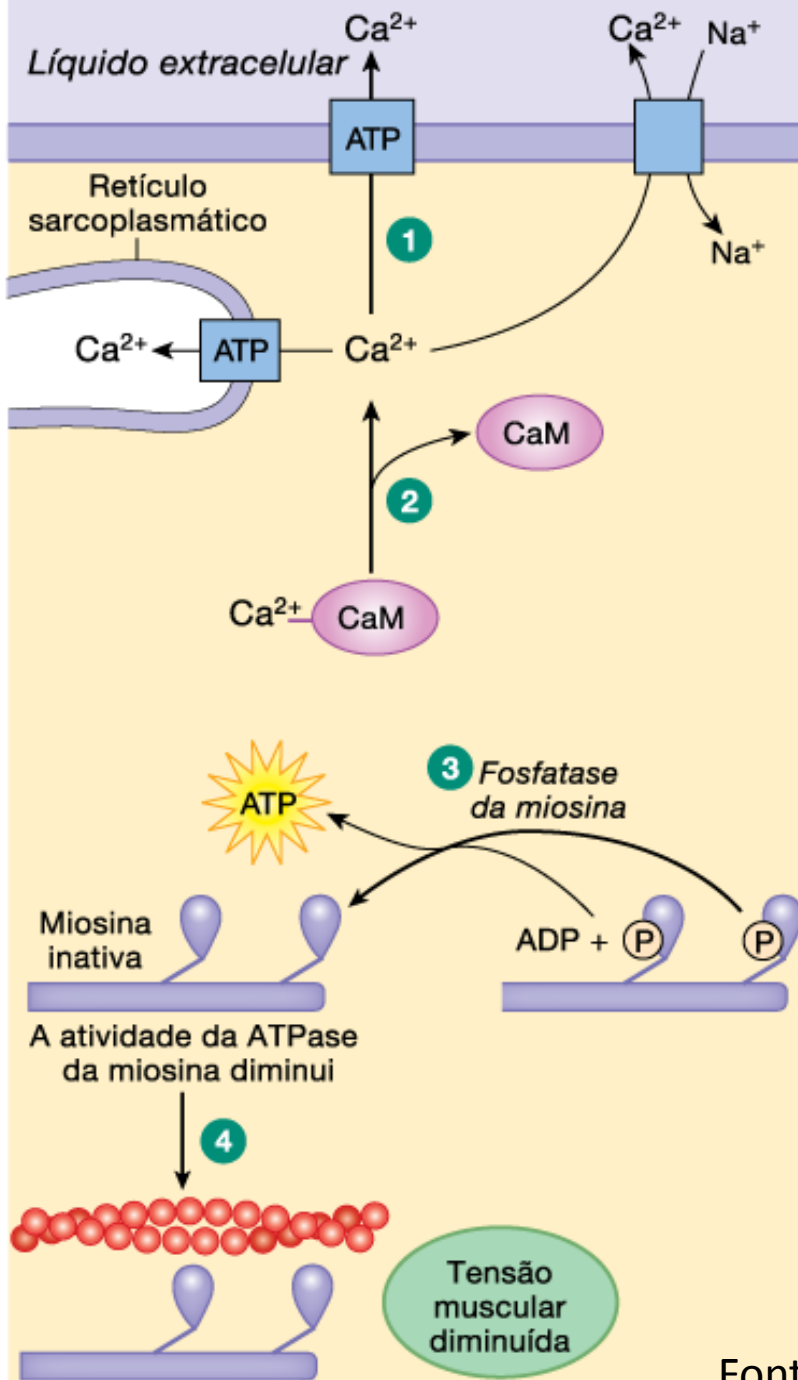
5 As pontes cruzadas ativas de miosina deslizam ao longo da actina e geram tensão muscular.

CONTRAÇÃO DO MÚSCULO LISO

A fosforilação das cadeias leves de miosina mantém a ligação por mais tempo com pouco gasto de energia

Fonte: SILVERTHORN (2010)

RELAXAMENTO DO MUSCULO LISO



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

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

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

ESTADO DE TRANCA

Desfosforilação da miosina - fosfatase de miosina
Relaxamento sem fadiga muscular

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

MÚSCULO LISO UNITÁRIO

- ✓ Contração 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?