



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

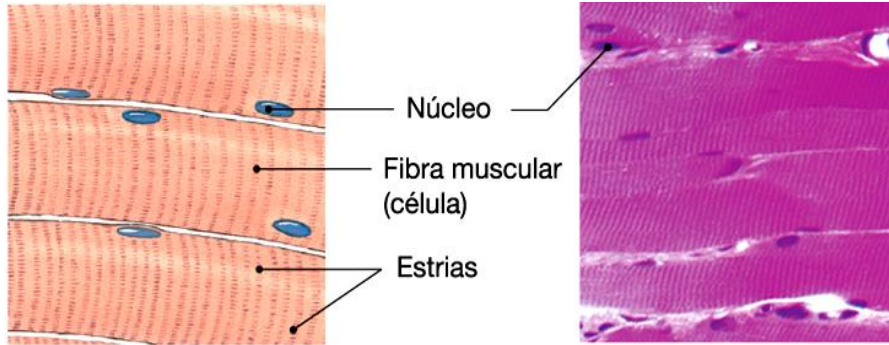
✓ Tipos de musculatura:

- 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)

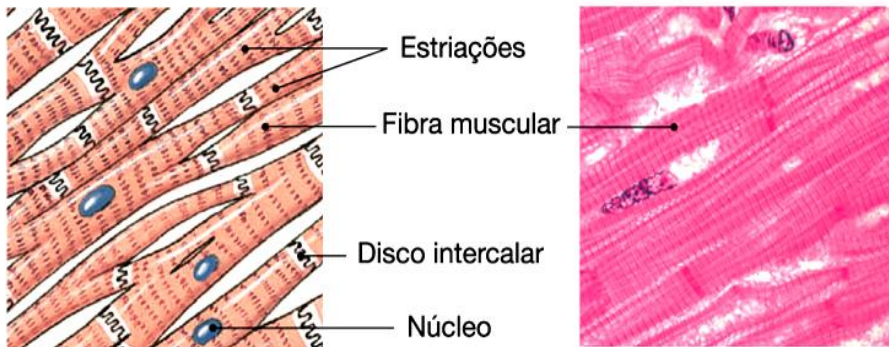
✓ Controle

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

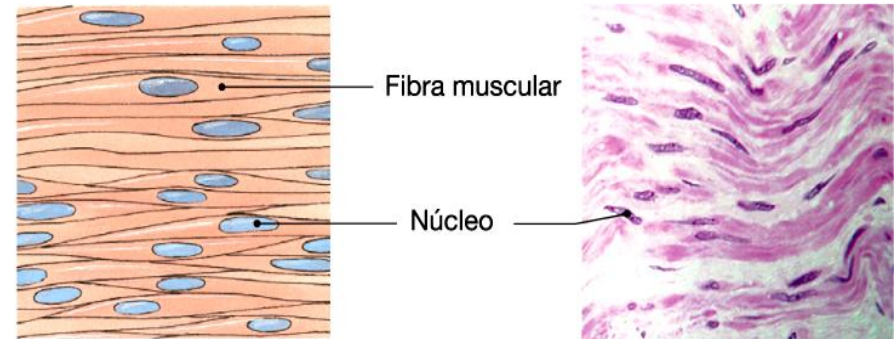
TIPOS DE MÚSCULOS



(a) Músculo esquelético



(b) Músculo cardíaco

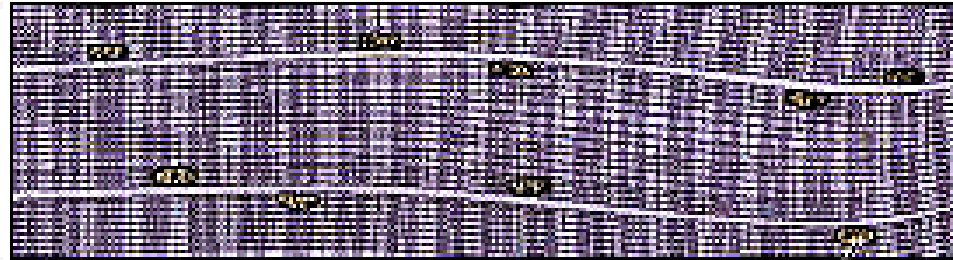


(c) Músculo liso

Musculo estriado: esquelético e cardíaco

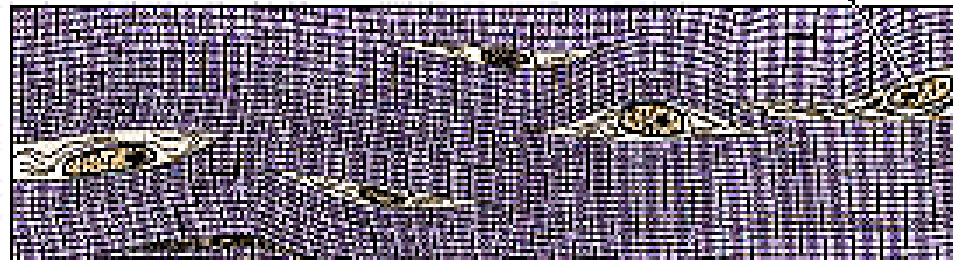
Tipos de músculo

Músculo esquelético



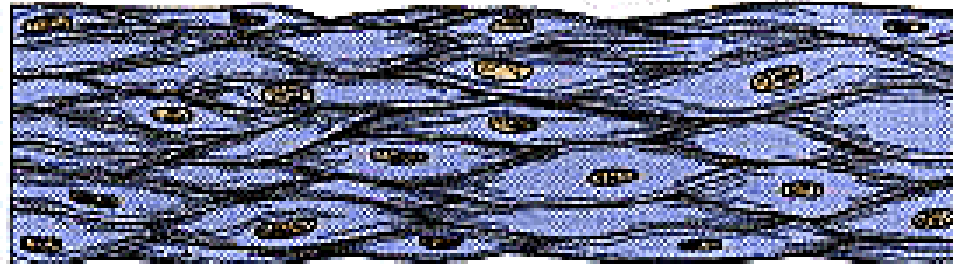
Núcleos

Músculo cardíaco

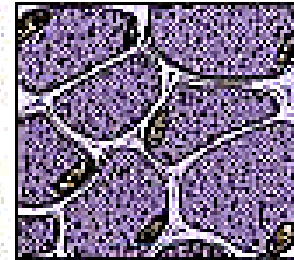


Músculo liso

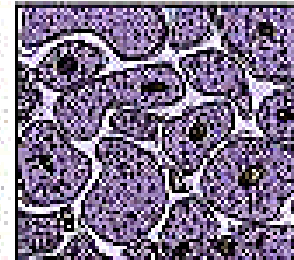
Discos intercalares



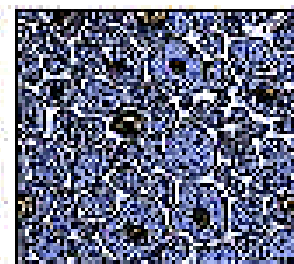
Cortes transversais



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**



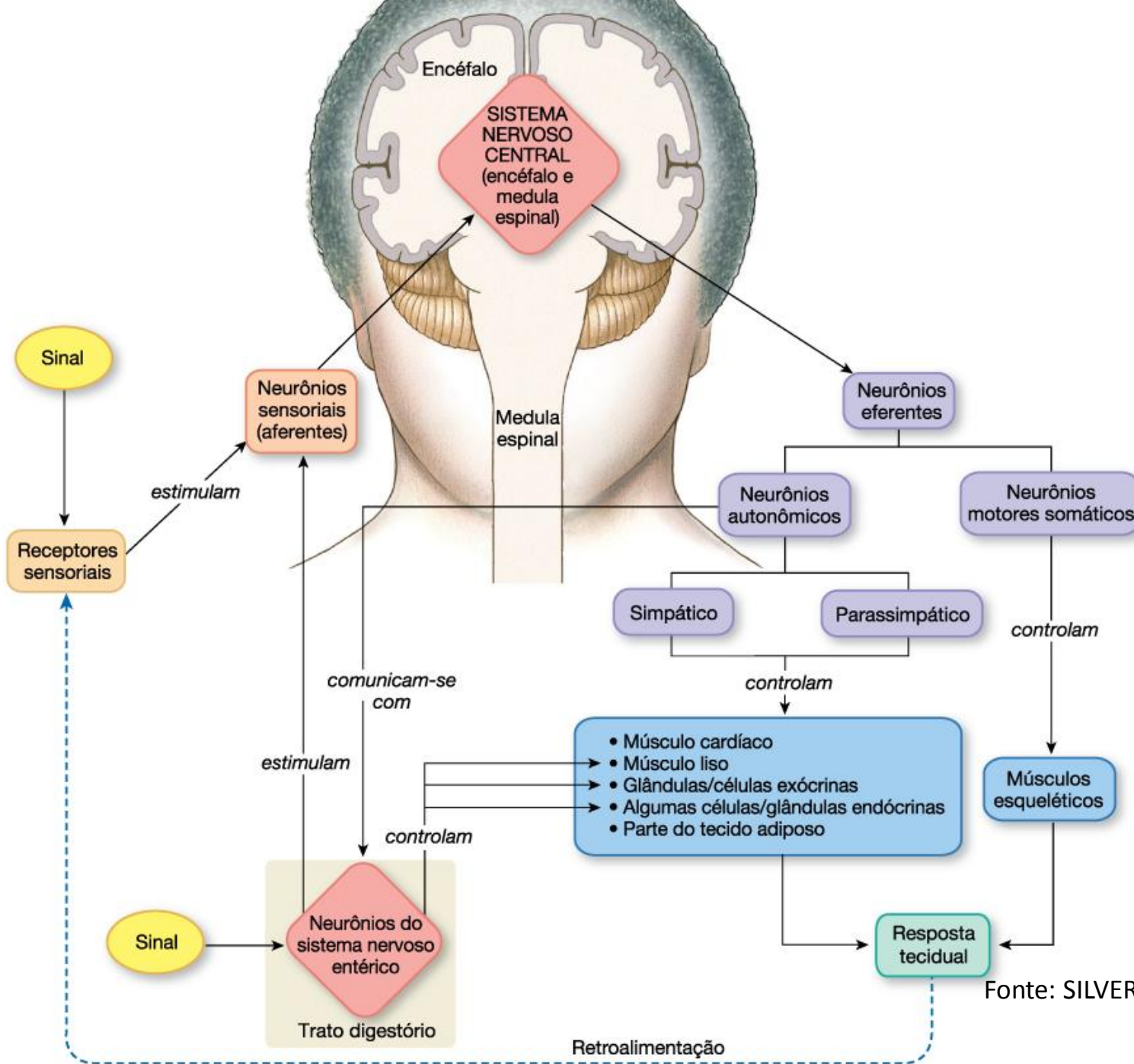
Encéfalo e Medula Espinhal

AUTONOMO

SOMÁTICO




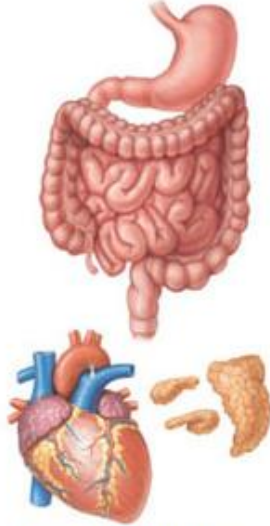

SIMPÁTICO

PARASIMPÁTICO



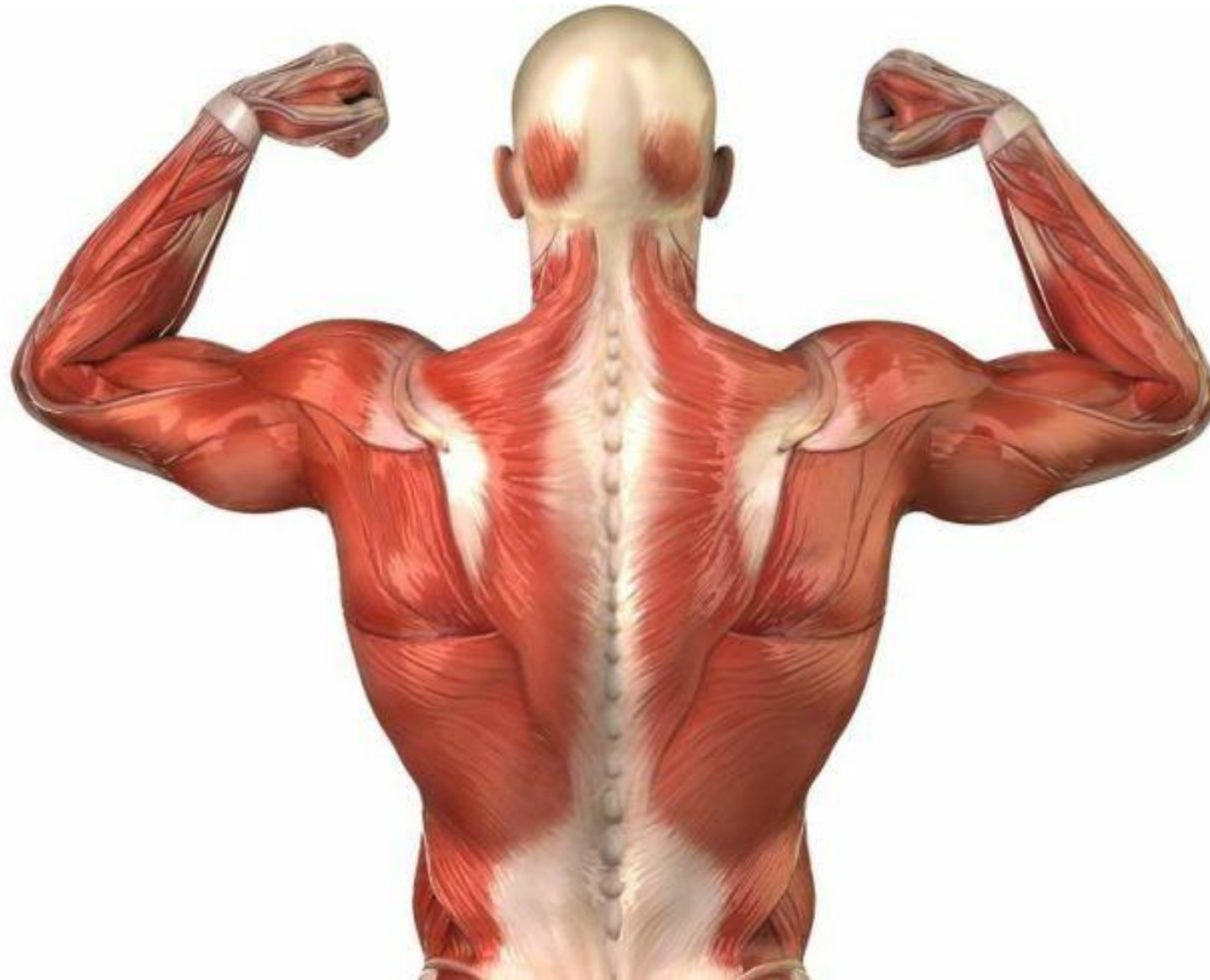
Fonte: SILVERTHORN (2010)

COMPARAÇÃO DO SISTEMA NERVOSO AUTÔNOMO E SOMÁTICO

	Cell bodies in central nervous system	Peripheral nervous system	Neurotransmitter at effector	Effector organs	Effect
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	 Smooth muscle (e.g., in gut), glands, cardiac muscle	+ - Stimulatory or inhibitory, depending on neurotransmitter and receptors on effector organs
		<p>SYMPATHETIC</p> <p>Lightly myelinated preganglionic axons → Ganglion → Unmyelinated postganglionic axon</p> <p>ACh → Epinephrine and norepinephrine → Blood vessel</p> <p>Adrenal medulla</p>			
PARASYMPATHETIC		Lightly myelinated preganglionic axon → Ganglion → Unmyelinated postganglionic axon	ACh		

▲ Acetylcholine (ACh) ● Norepinephrine (NE)

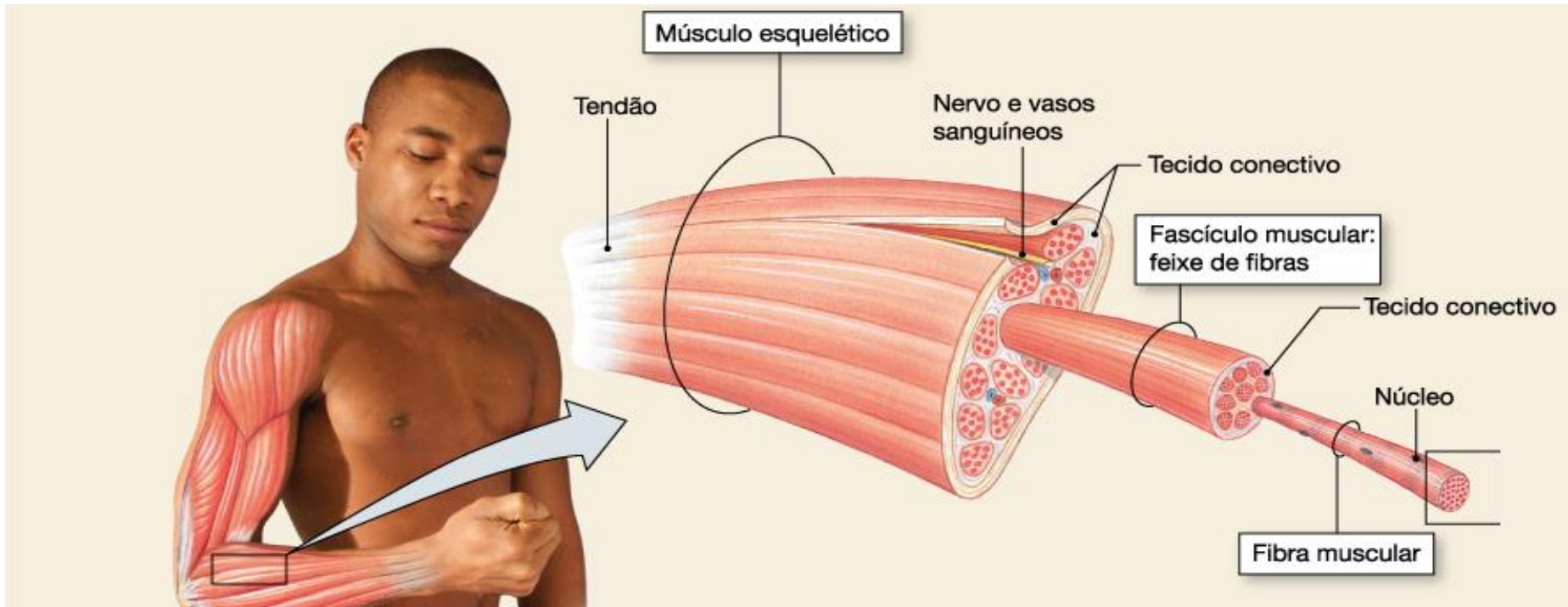
MÚSCULO ESQUELETICO ESTRIADO



O MÚSCULO ESQUELÉTICO

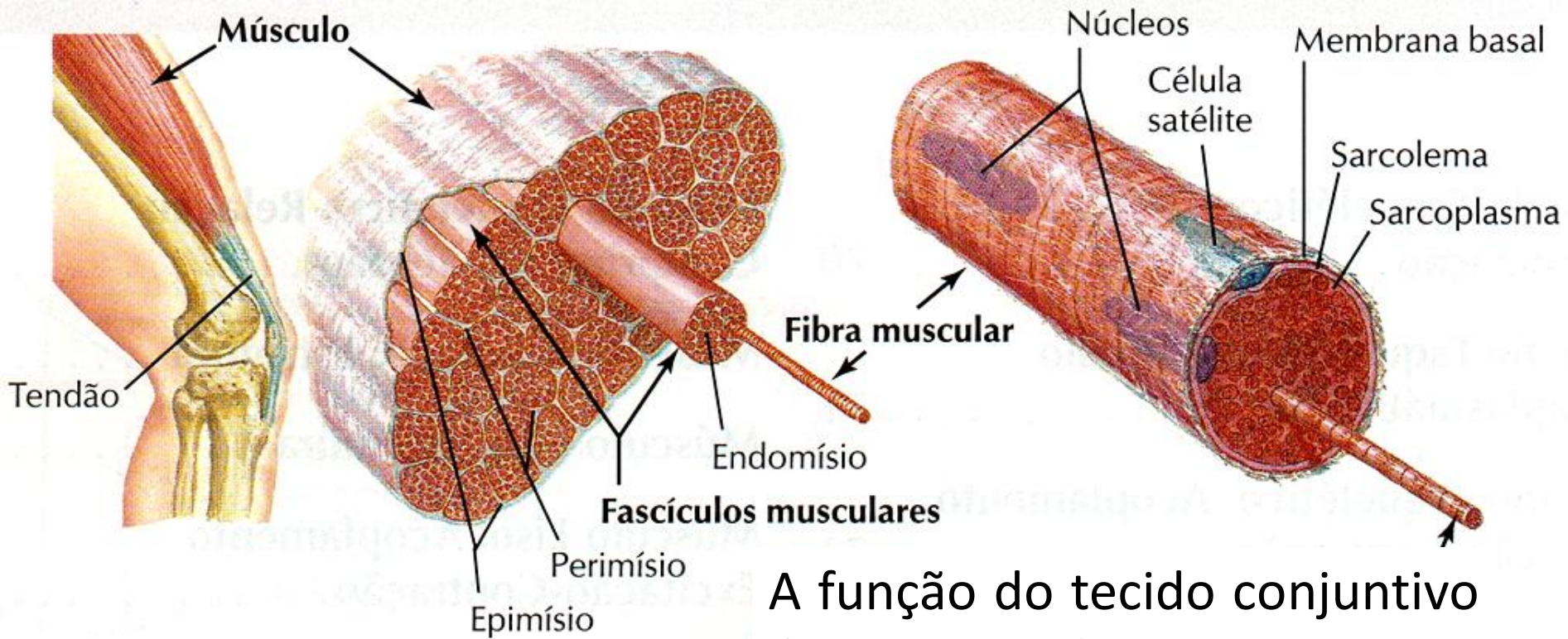
Fibras musculares + vasos + nervos + tecido conectivo

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

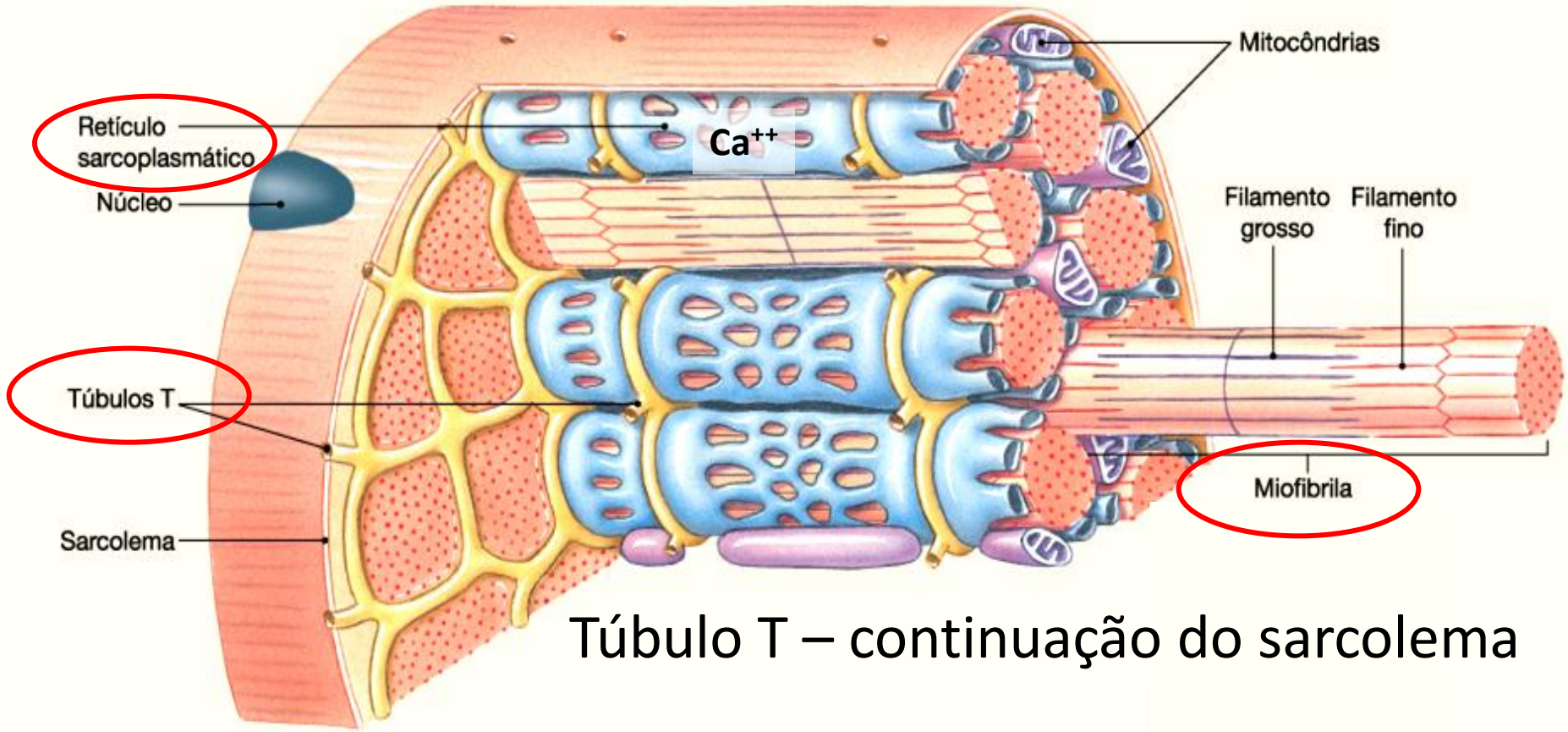
Sem deslocamento das estruturas ósseas na contração

CONTRAÇÃO MUSCULAR ISOMÉTRICA CONTRAÇÃO SEM ALTERAÇÃO DO ÂNGULO



FIBRA MUSCULAR ESQUELÉTICA

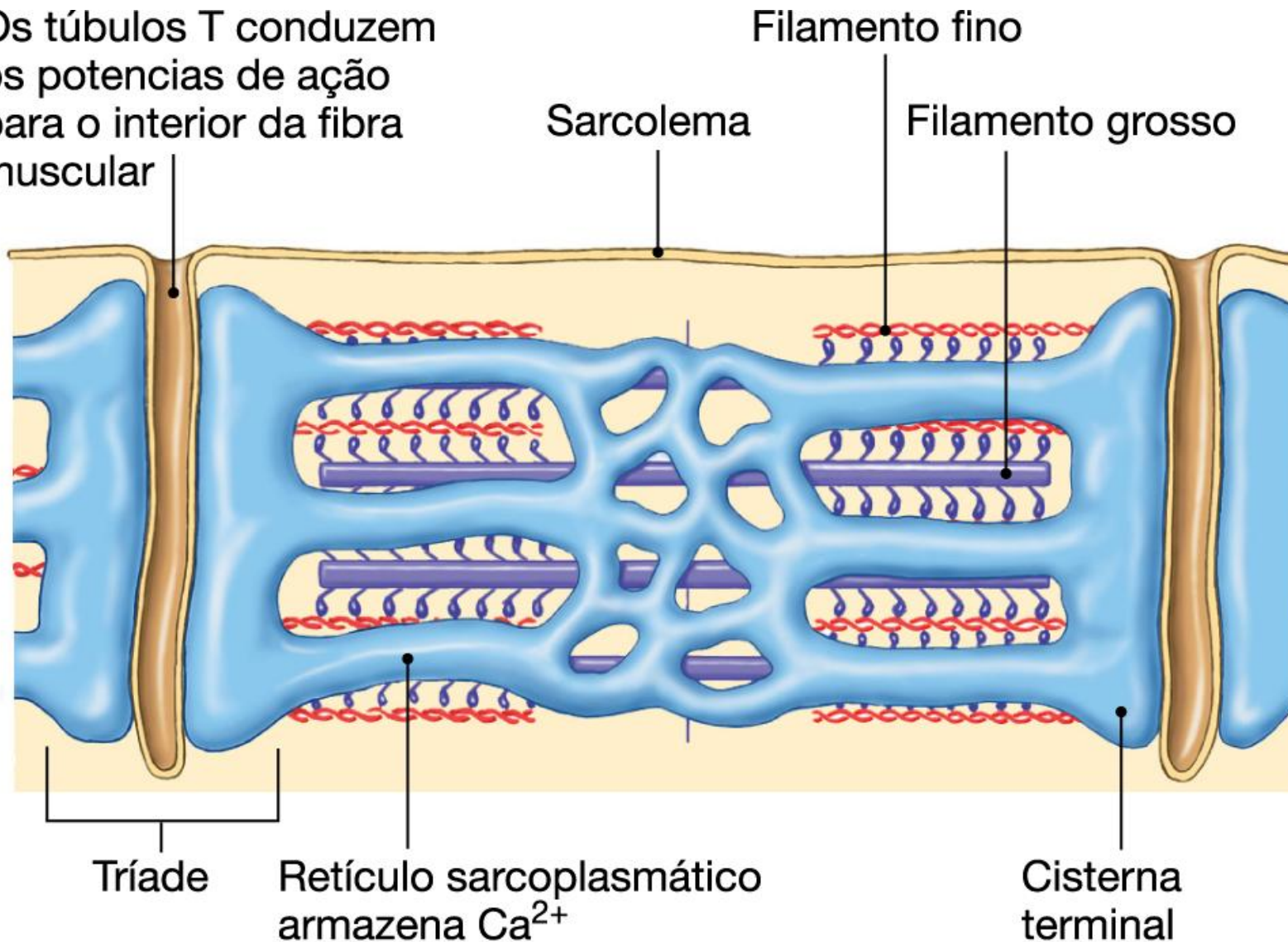
Miofibrila é o menor elemento contrátil do músculo



Túbulo T – continuação do sarcolema

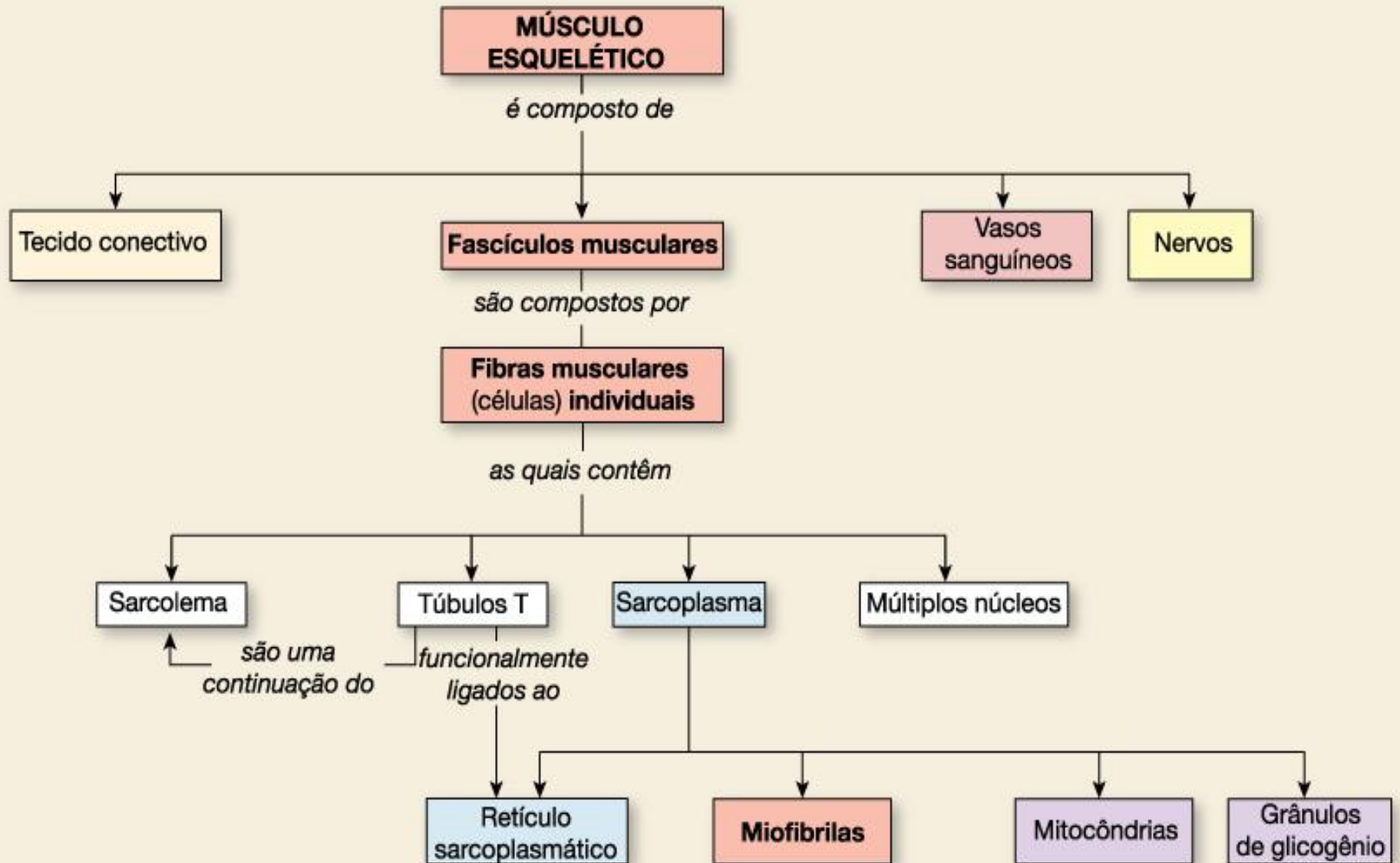
Fonte: SILVERTHORN (2010)

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

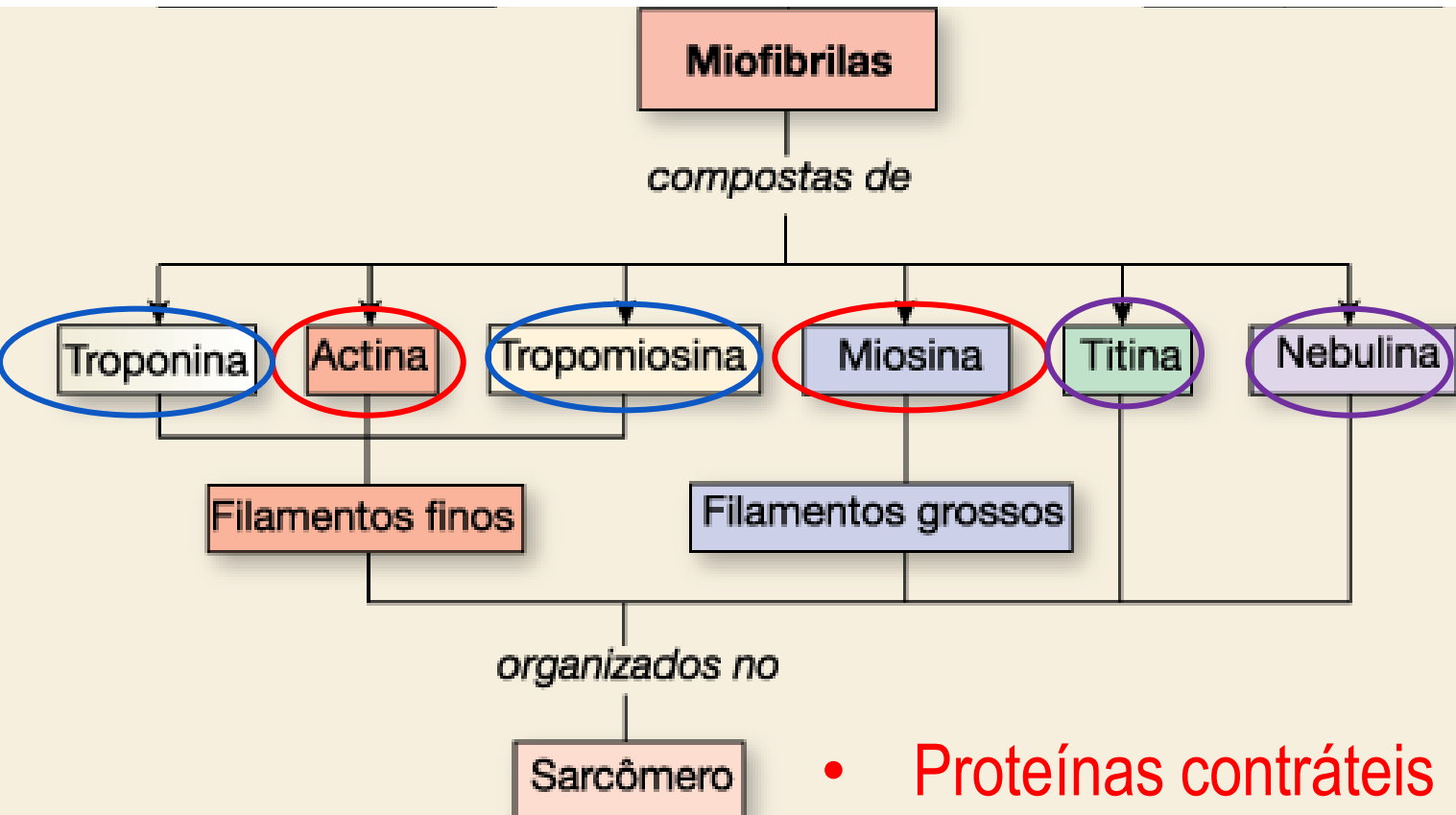


Fonte: SILVERTHORN (2010)

O MÚSCULO ESQUELÉTICO

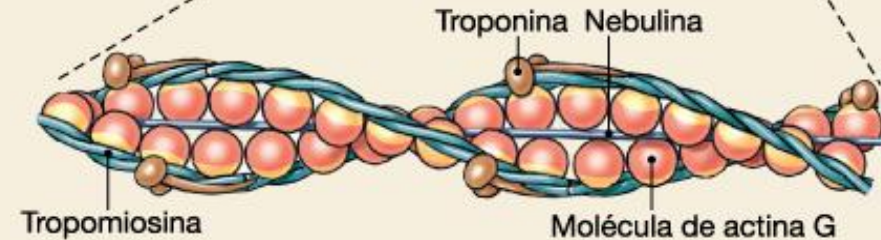
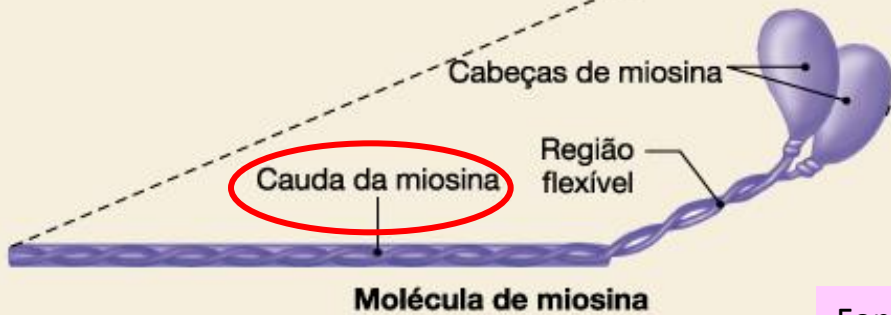
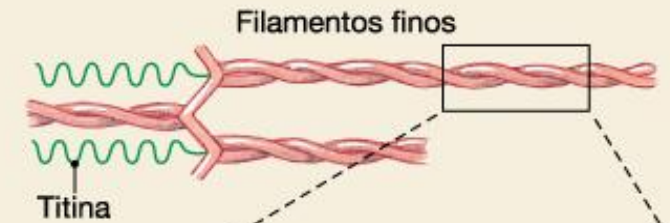
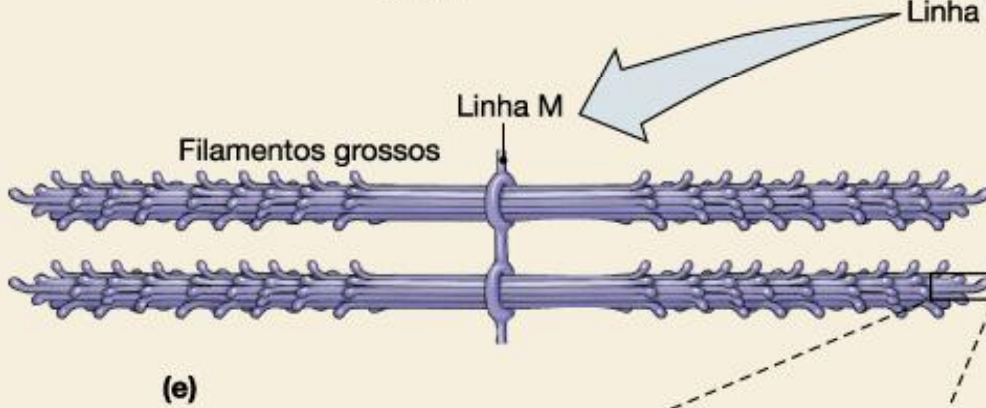
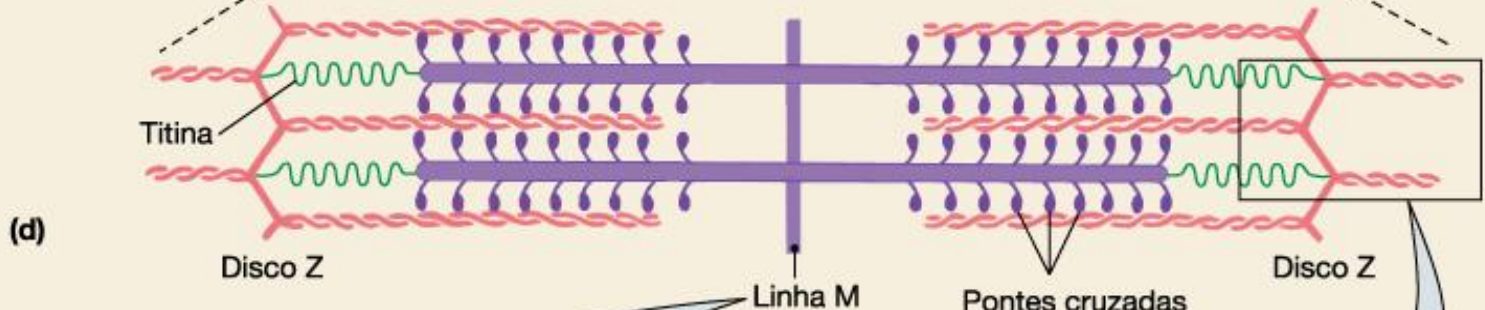
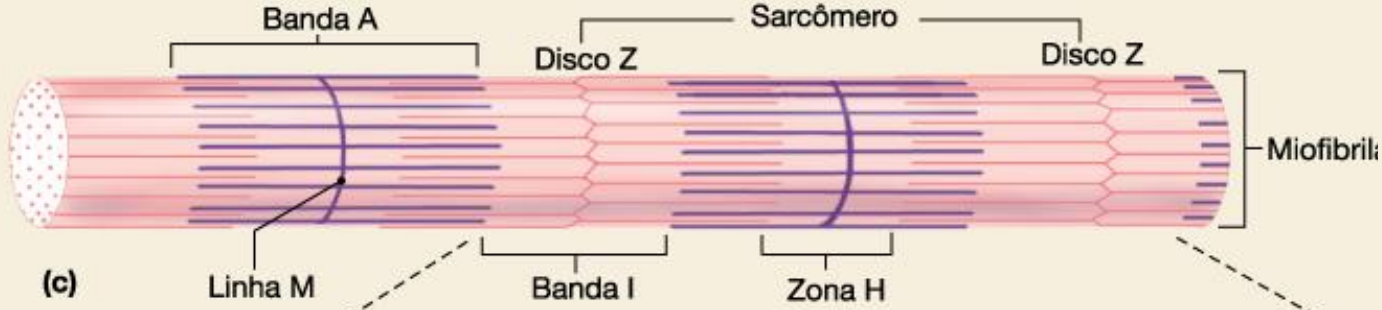


COMPOSIÇÃO DA MIOFIBRILA



- Proteínas contráteis
- Proteínas regulatórias
- Proteínas acessórias gigantes

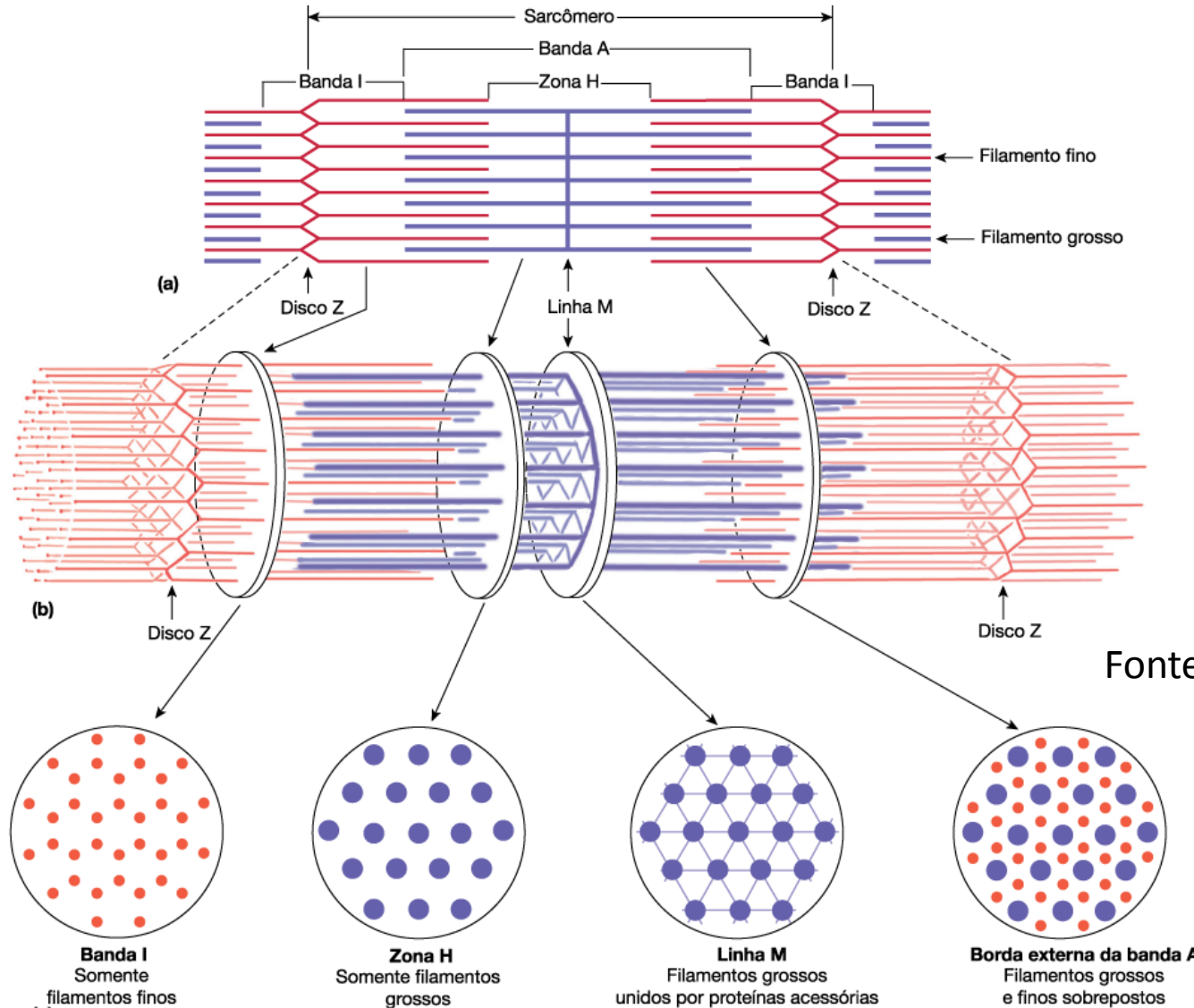
SARCÔMERO UNIDADE BÁSICA DA MIOFIBRILA



Cadeia de actina

SARCÔMERO

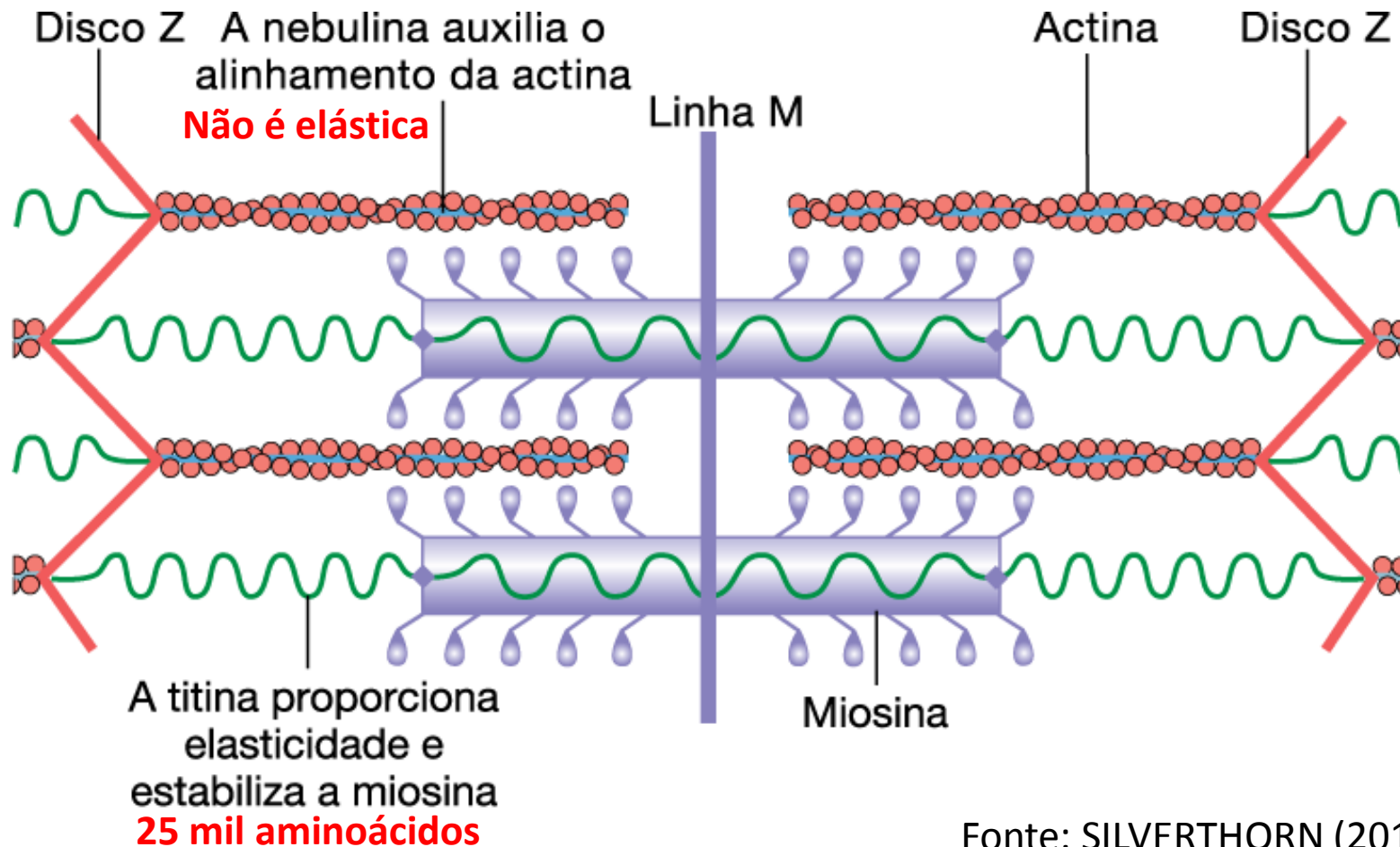
UNIDADE BÁSICA DA MIOFIBRILA



Fonte: SILVERTHORN (2010)

SARCÔMERO

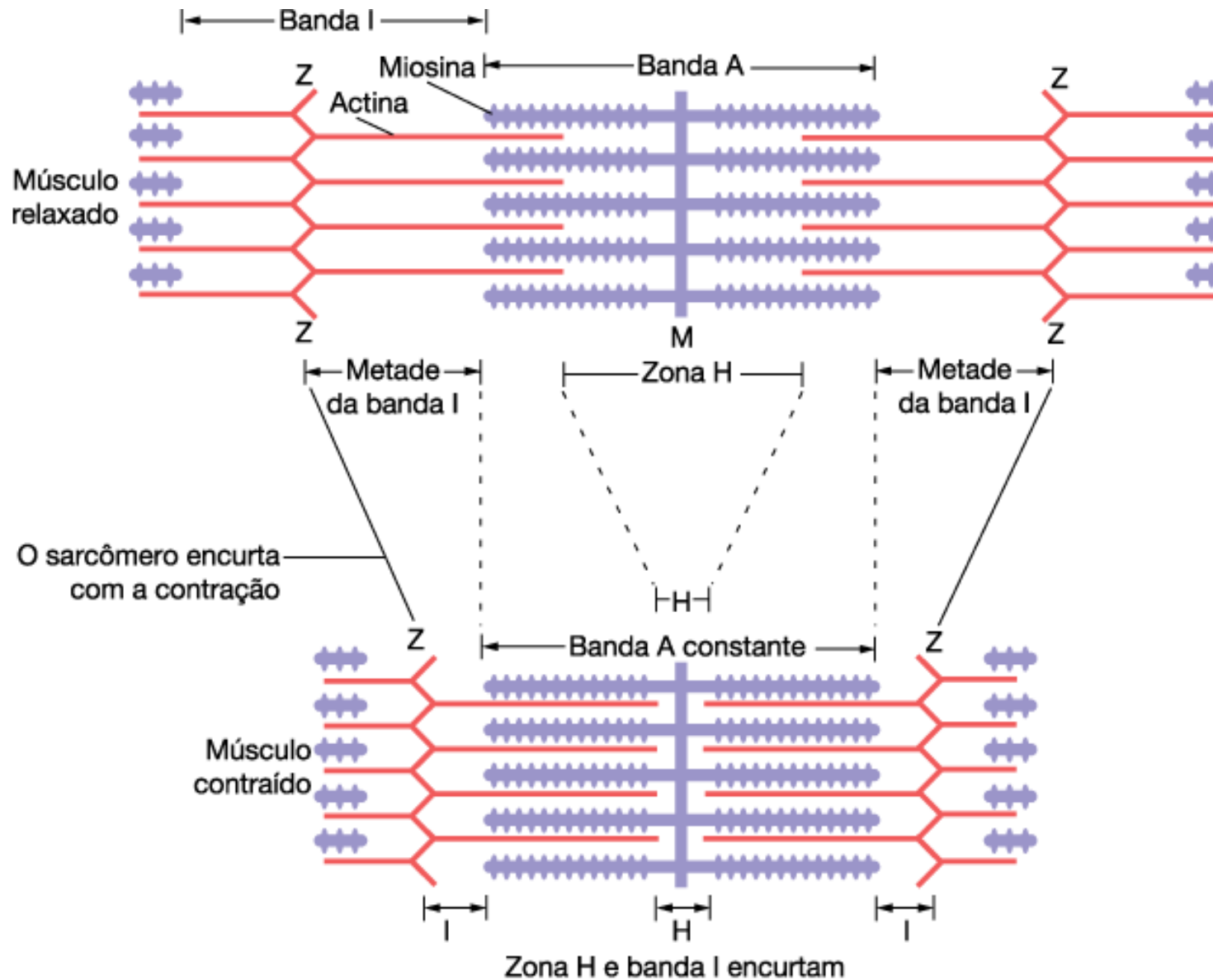
TITINA E NEBULINA



Fonte: SILVERTHORN (2010)

CONTRAÇÃO MUSCULAR ESQUELÉTICA

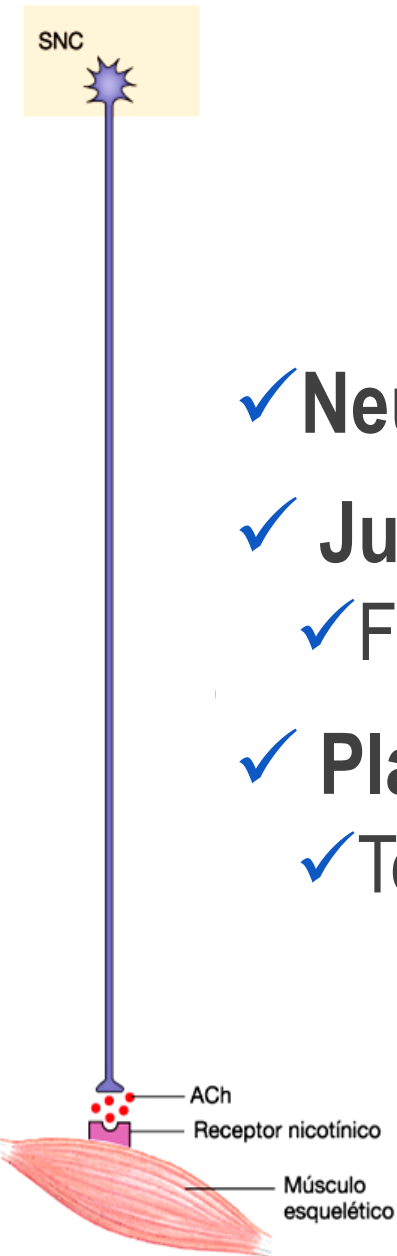
TEORIA DO DESLIZAMENTO



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+}

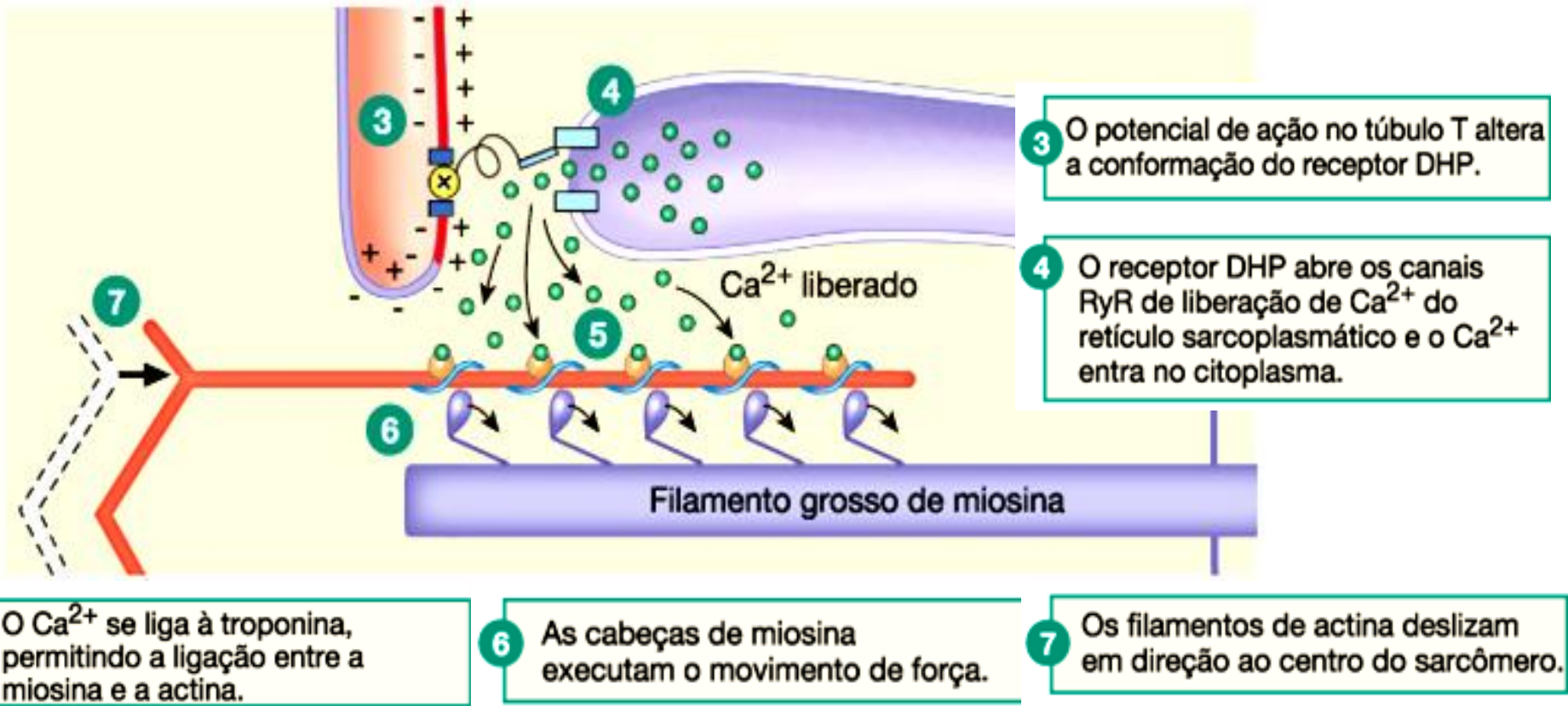
Ciclo contracção-relaxamento

Abalo muscular

Teoria do deslizamento dos filamentos

Fonte: SILVERTHORN (2010)

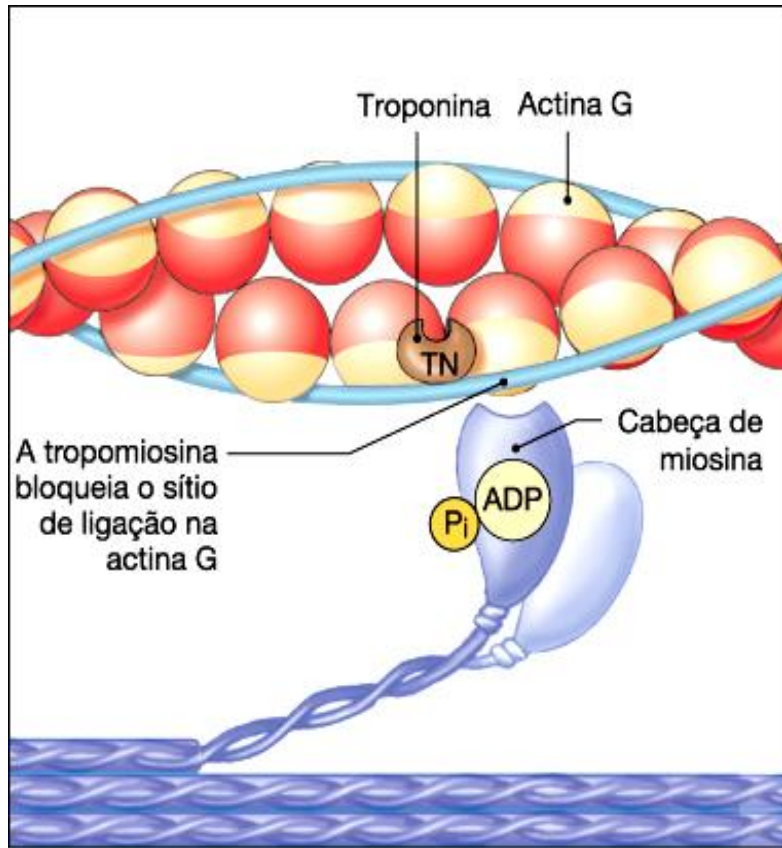
POTENCIAL DE AÇÃO DO MÚSCULO ESQUELÉTICO



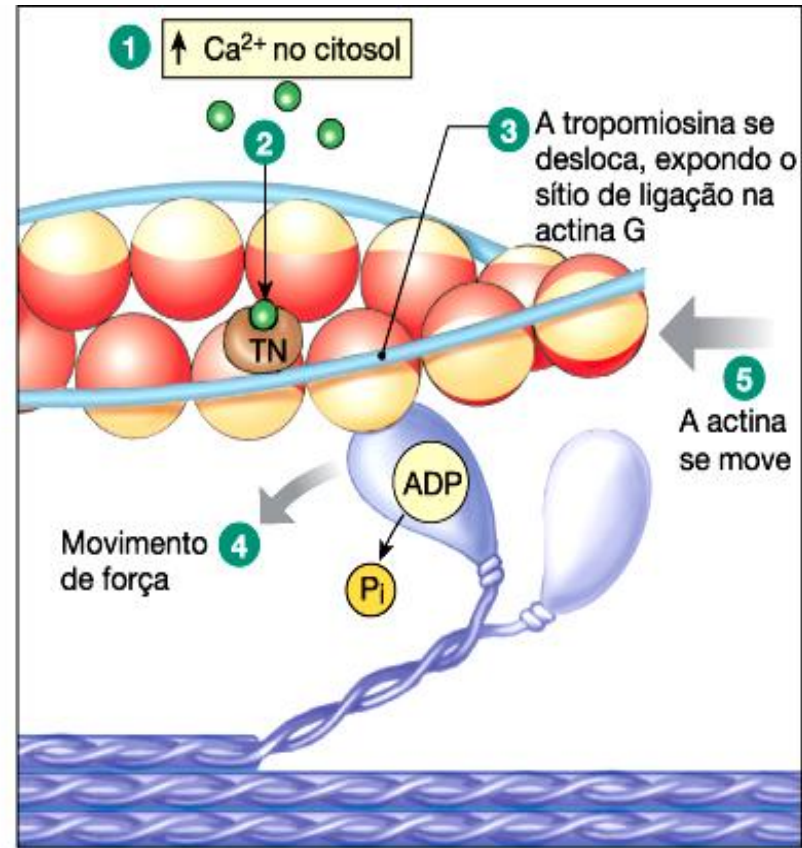
DHP – receptor de DHP (dihidropiridina)
RyR – Canais de Ryr (ryanodina)

Fonte: SILVERTHORN (2010)

CONTRAÇÃO MUSCULAR ESQUELÉTICA



(a) Estado relaxado. Cabeça de miosina engatilhada.



(b) Início da contração.

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

2 O Ca^{2+} se liga à troponina (TN).

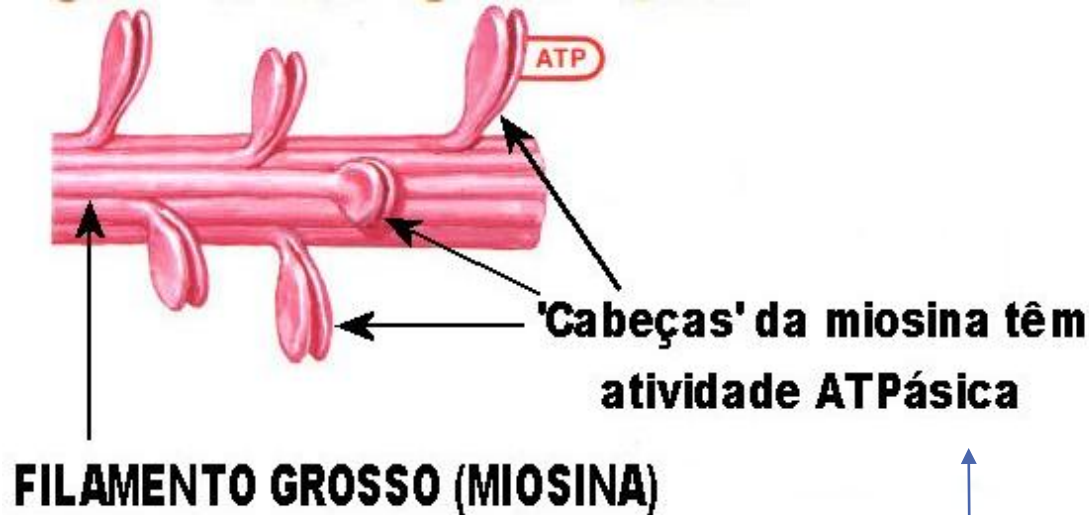
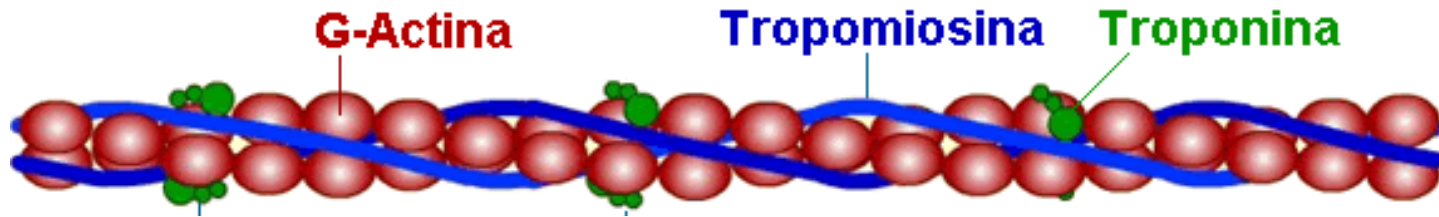
3 O complexo troponina- Ca^{2+} afasta a tropomiosina do sítio de ligação da miosina na actina G.

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

5 O filamento de actina se move.

Fonte: SILVERTHORN (2010)

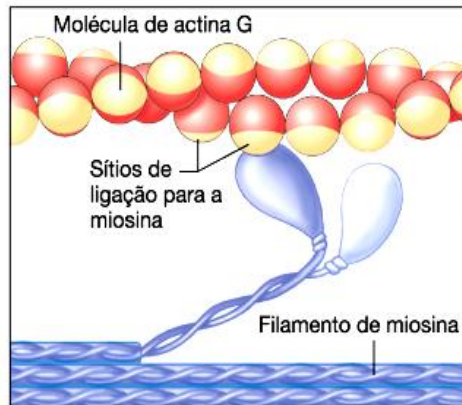
DESLOCAMENTO DO FILAMENTO FINO MÚSCULO ESQUELÉTICO



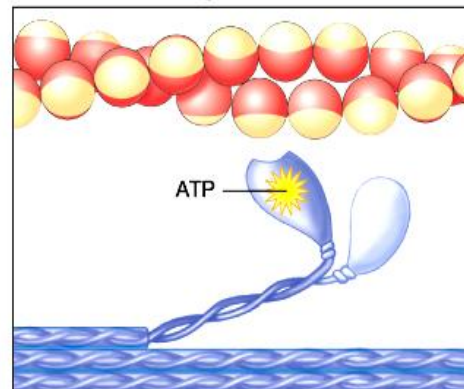
Hidrolisa o ATP e o transforma em ADP + Pi

ABALO MUSCULAR

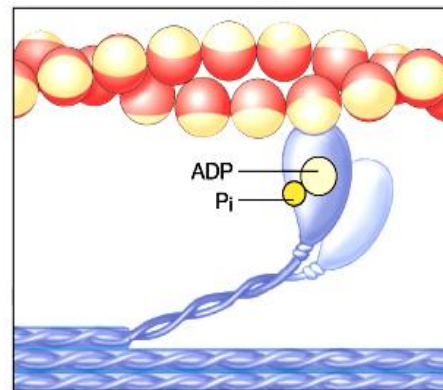
OU TRANSDUÇÃO QUIMIOMECANICA



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

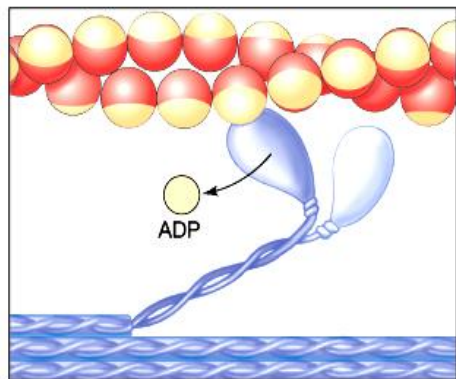


2 A miosina hidrolisa o ATP. A cabeça de miosina gira e se liga à actina.

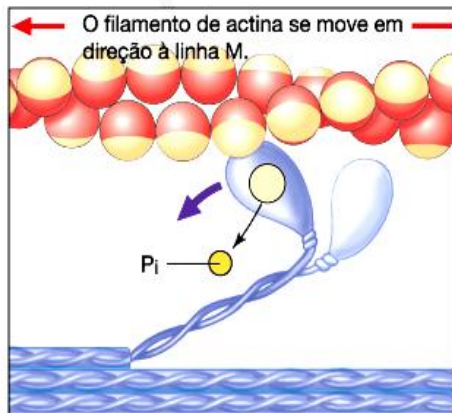


ATPase

Estado relaxado com as cabeças de miosina engatilhadas.

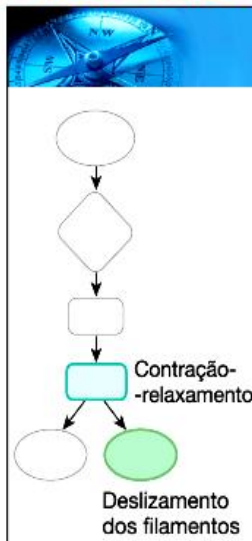


4 A miosina libera ADP.



Sítio de ligação do ATP

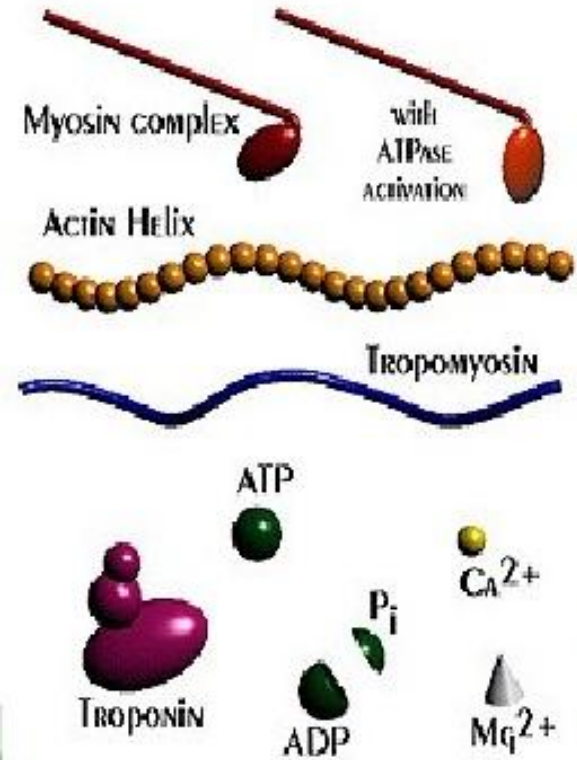
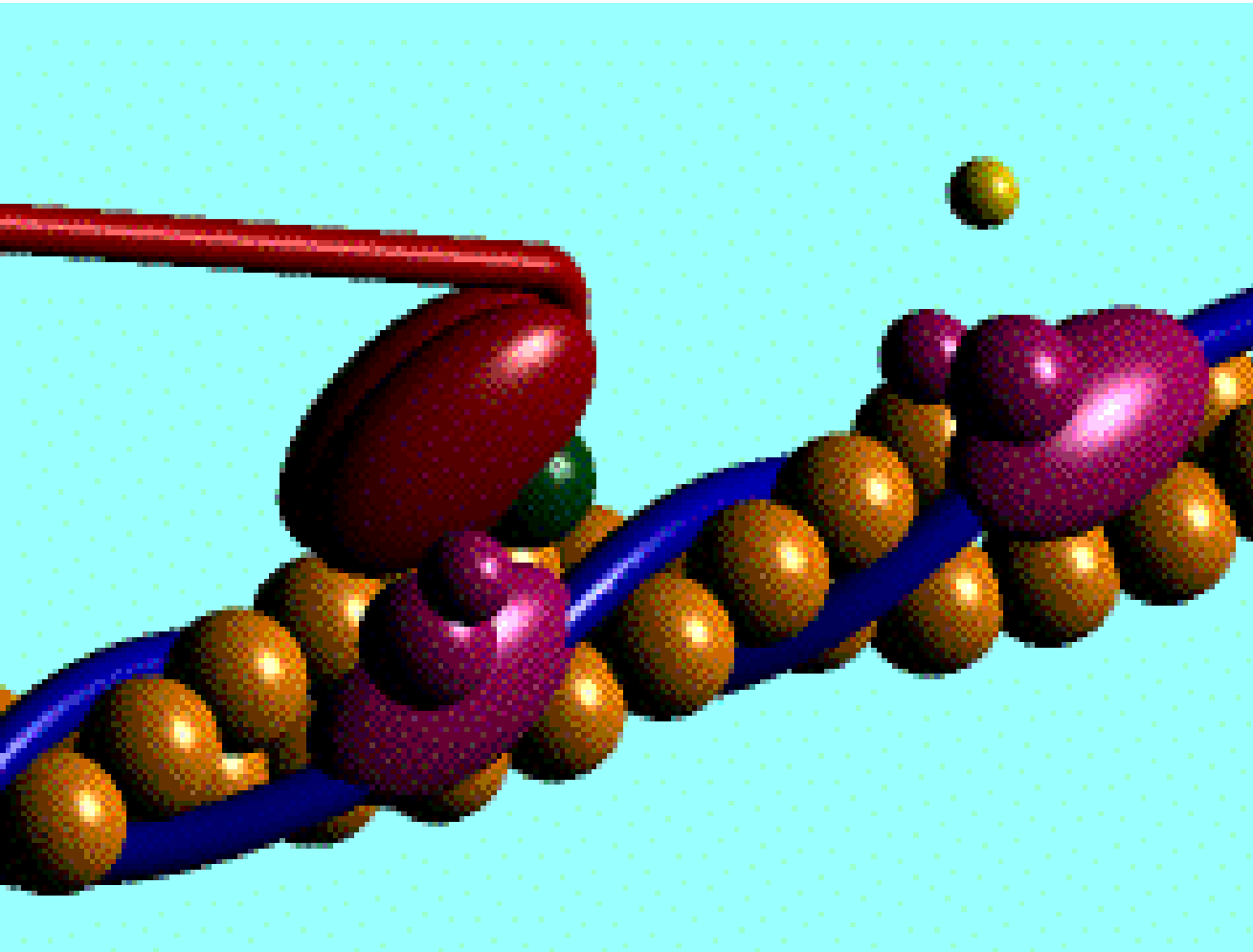
NAVEGADOR



Sinal de Ca²⁺

3 Movimento de força.

MÚSCULO ESQUELÉTICO X ENERGIA



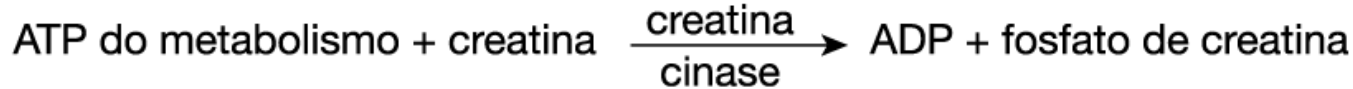
RELAXAMENTO MUSCULAR ESQUELÉTICO



- ✓ 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 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)

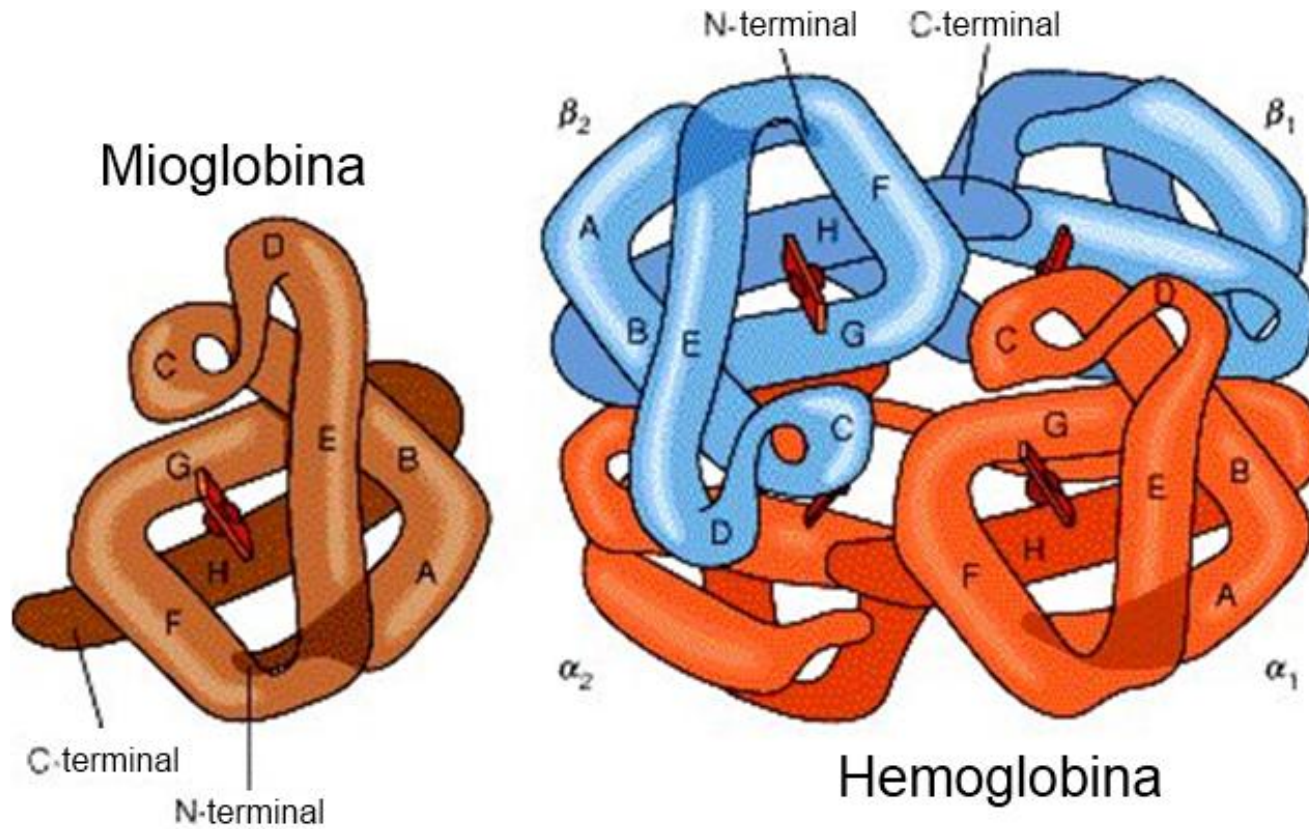
Glicose (respiração aeróbica ou anaeróbica)

Reserva energética primária: Glicogênio

Reserva energética secundária: Lipídeos e Proteínas

Reposição imediata: FOSFOCREATINA (ADP + fosfato de creatina)

RESPIRAÇÃO AERÓBICA MUSCULAR - MIOGLOBINA



Tem em comum o grupamento heme

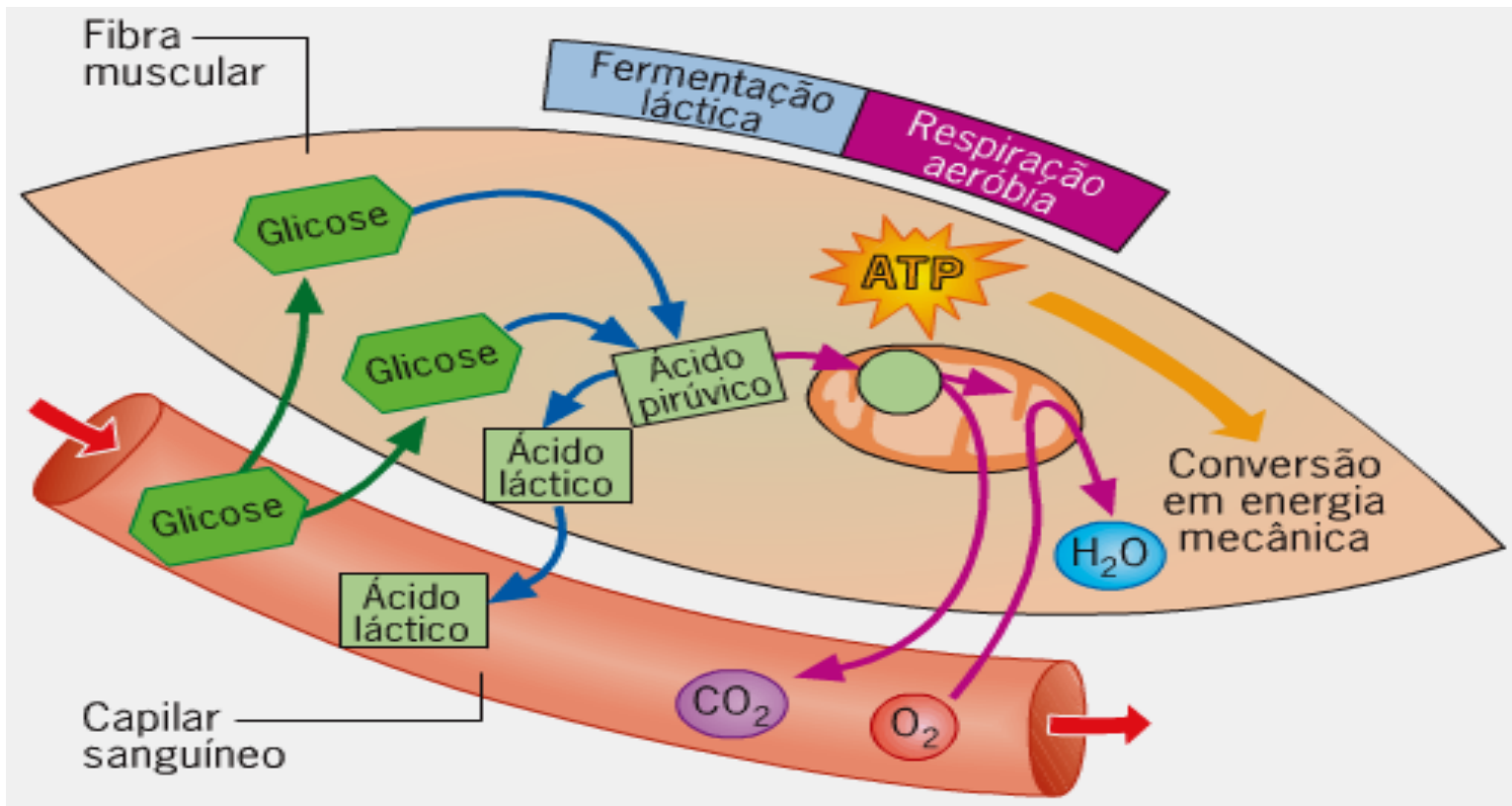
Myoglobin amplia a velocidade de difusão e “retém” oxigênio nos músculos.

Ferro é responsável por essa “retenção” pois liga-se a uma molécula de O₂.

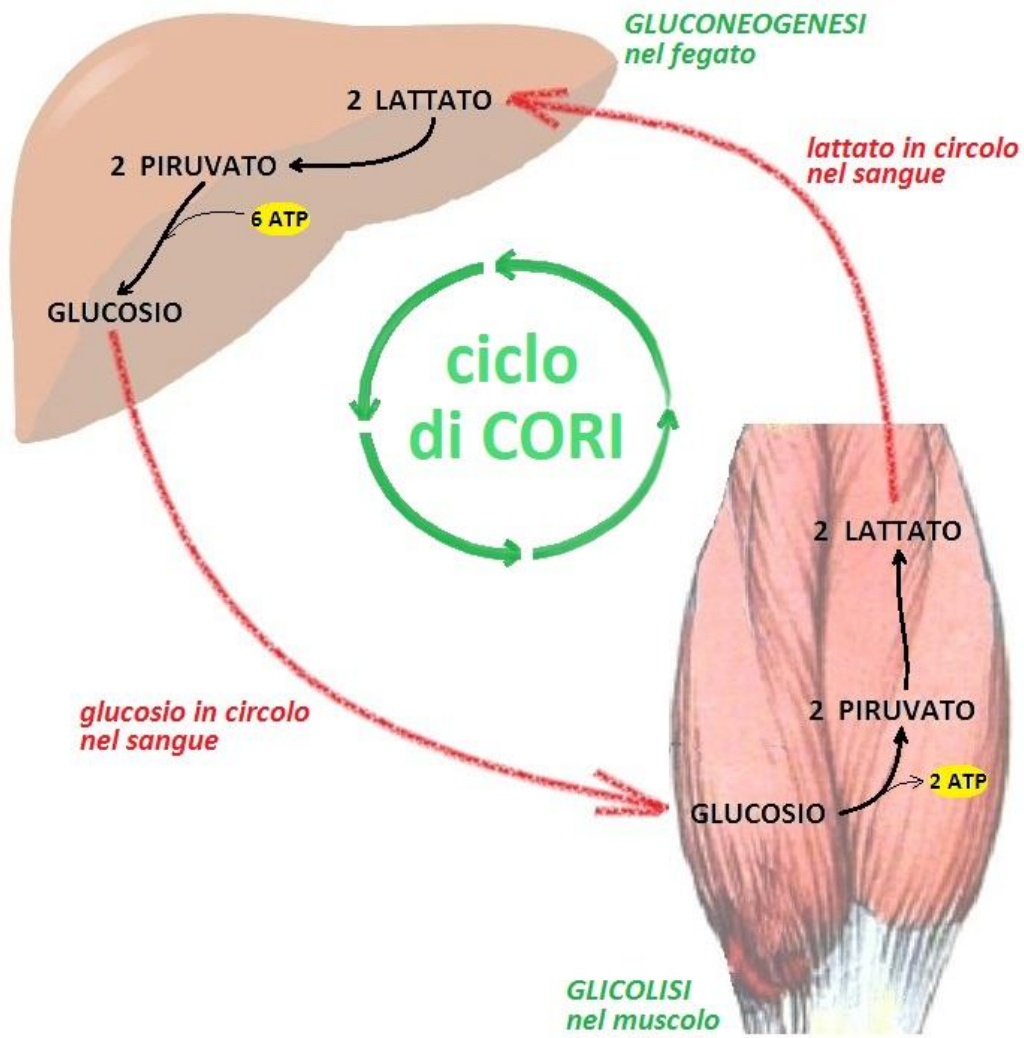
Hemoglobina é um tetrâmero - Myoglobin é um monômero

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)

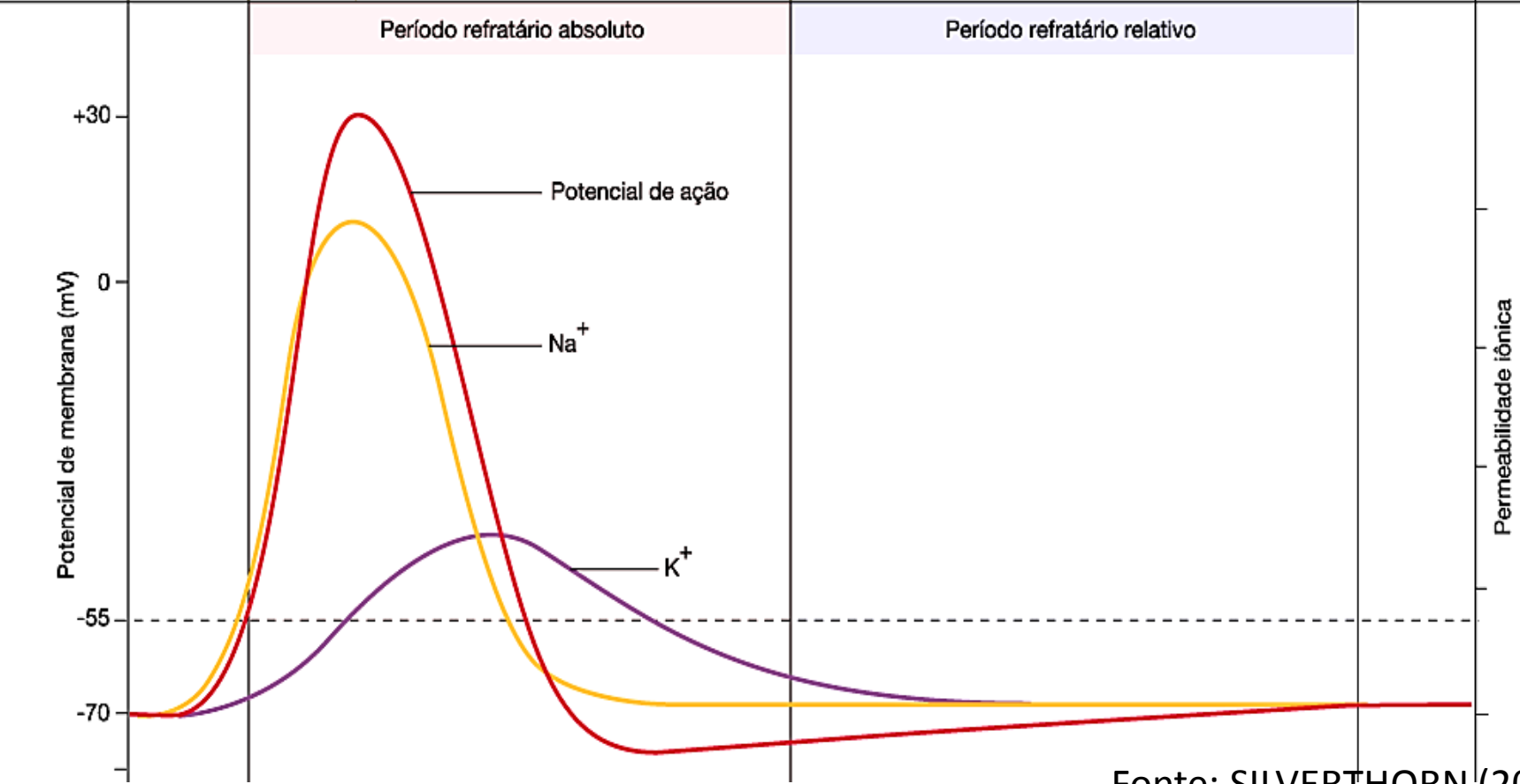
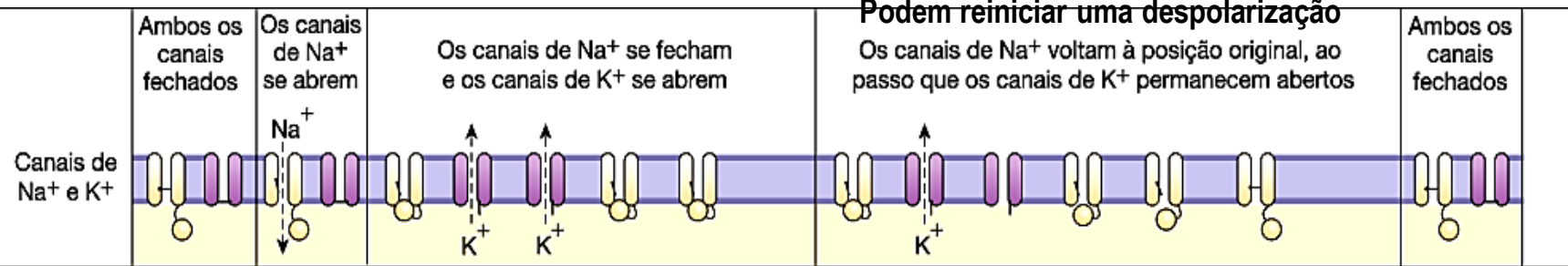
Moderadamente resistente a fadiga

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 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

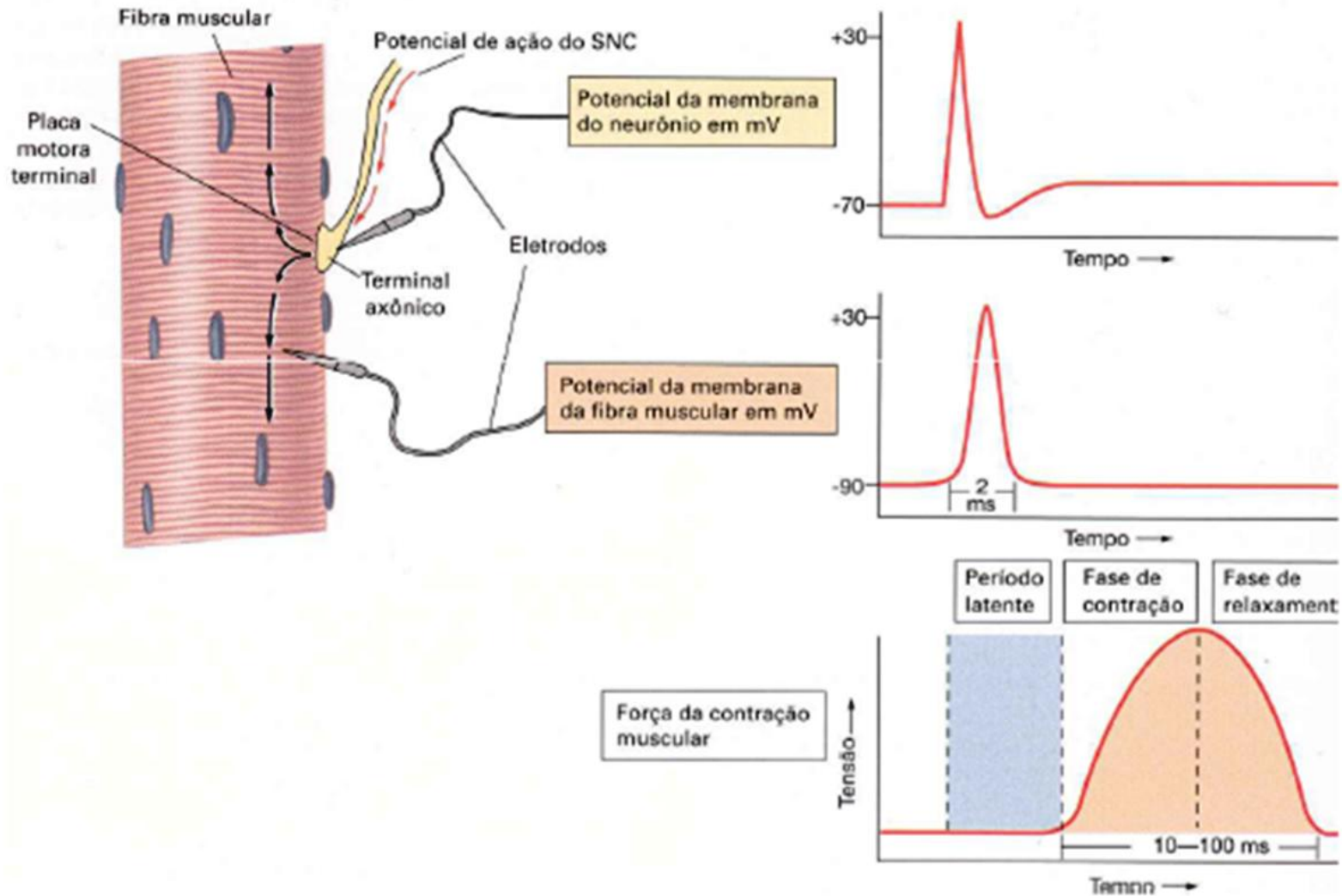
Canais de Na de comporta rápida aberta.
Não podem reiniciar uma despolarização

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



Fonte: SILVERTHORN (2010)

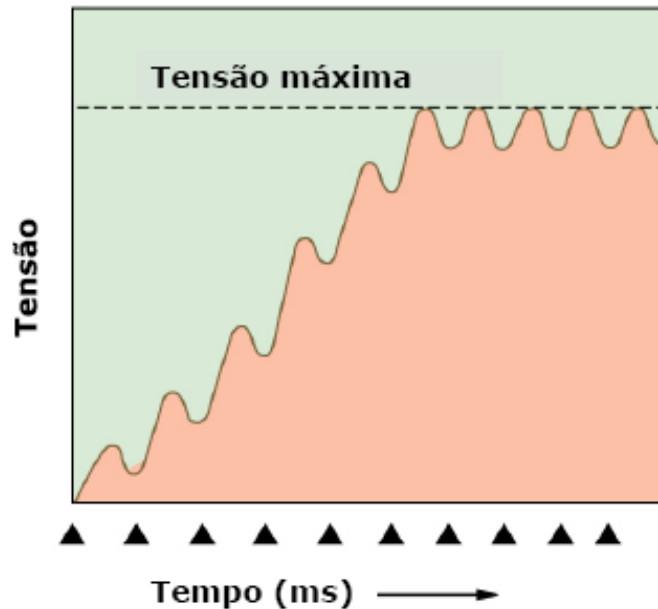
Eventos elétricos e mecânicos da contração muscular



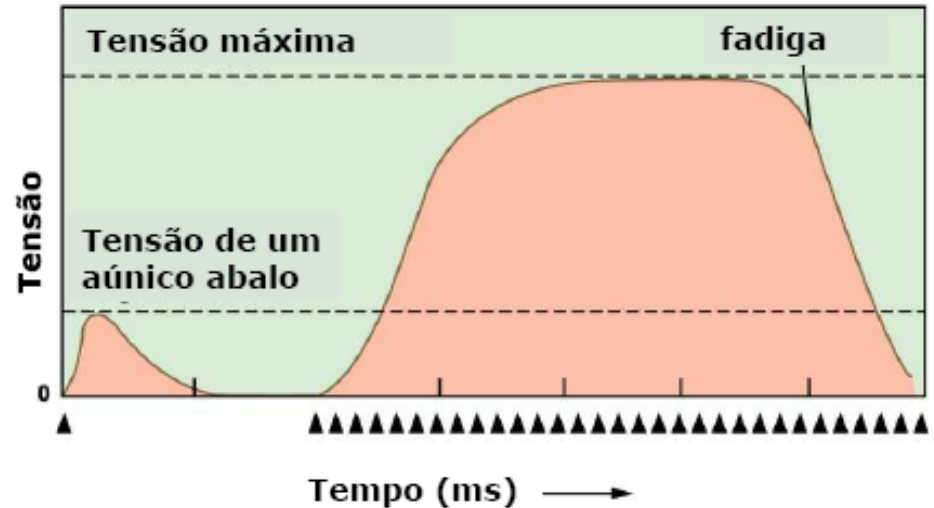
SOMAÇÃO DOS POTENCIAIS DE AÇÃO - TETANIA

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



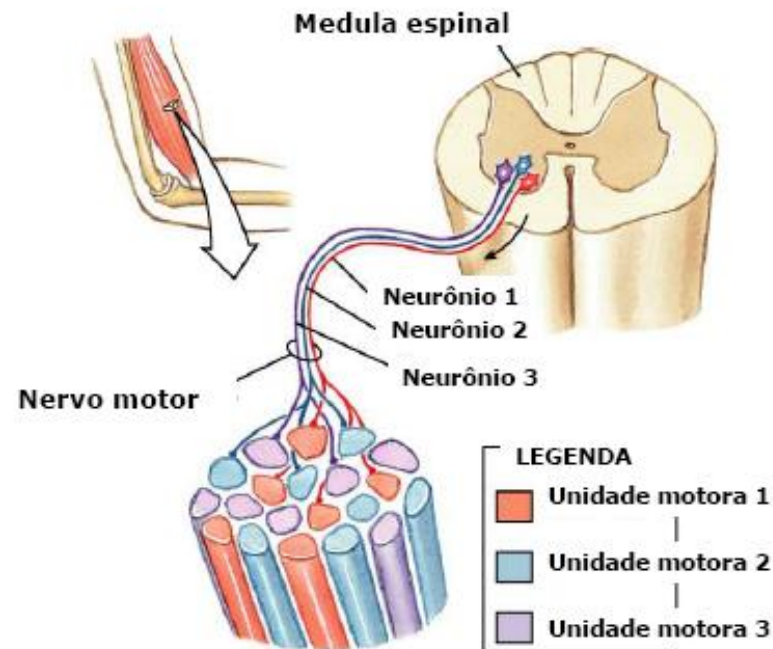
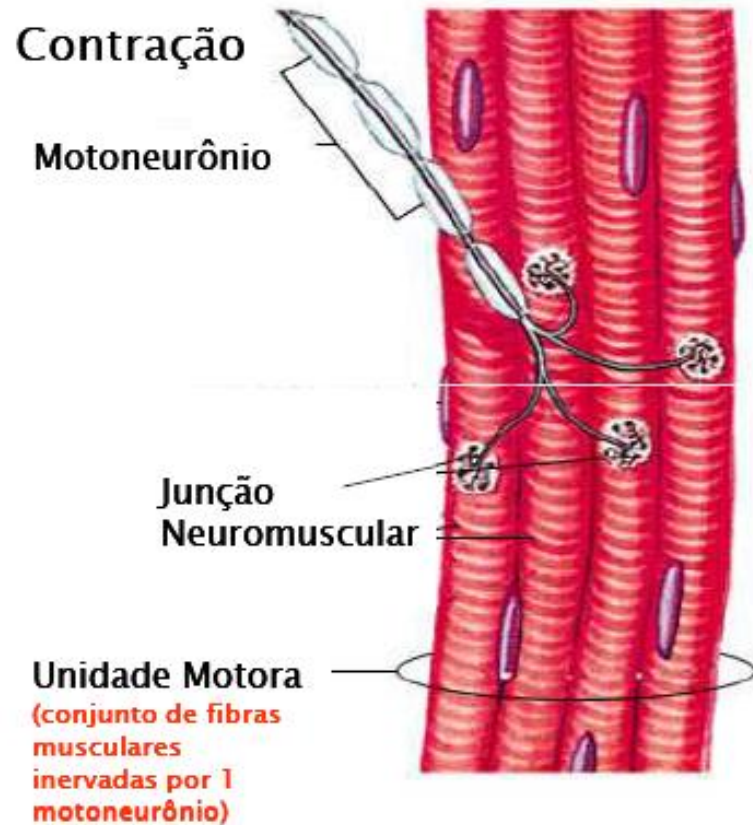
SOMAÇÃO TEMPORAL - Aumento da frequência de força
(Não há tempo do Ca^{++} não retorna ao reticulo sarcoplasmático)

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

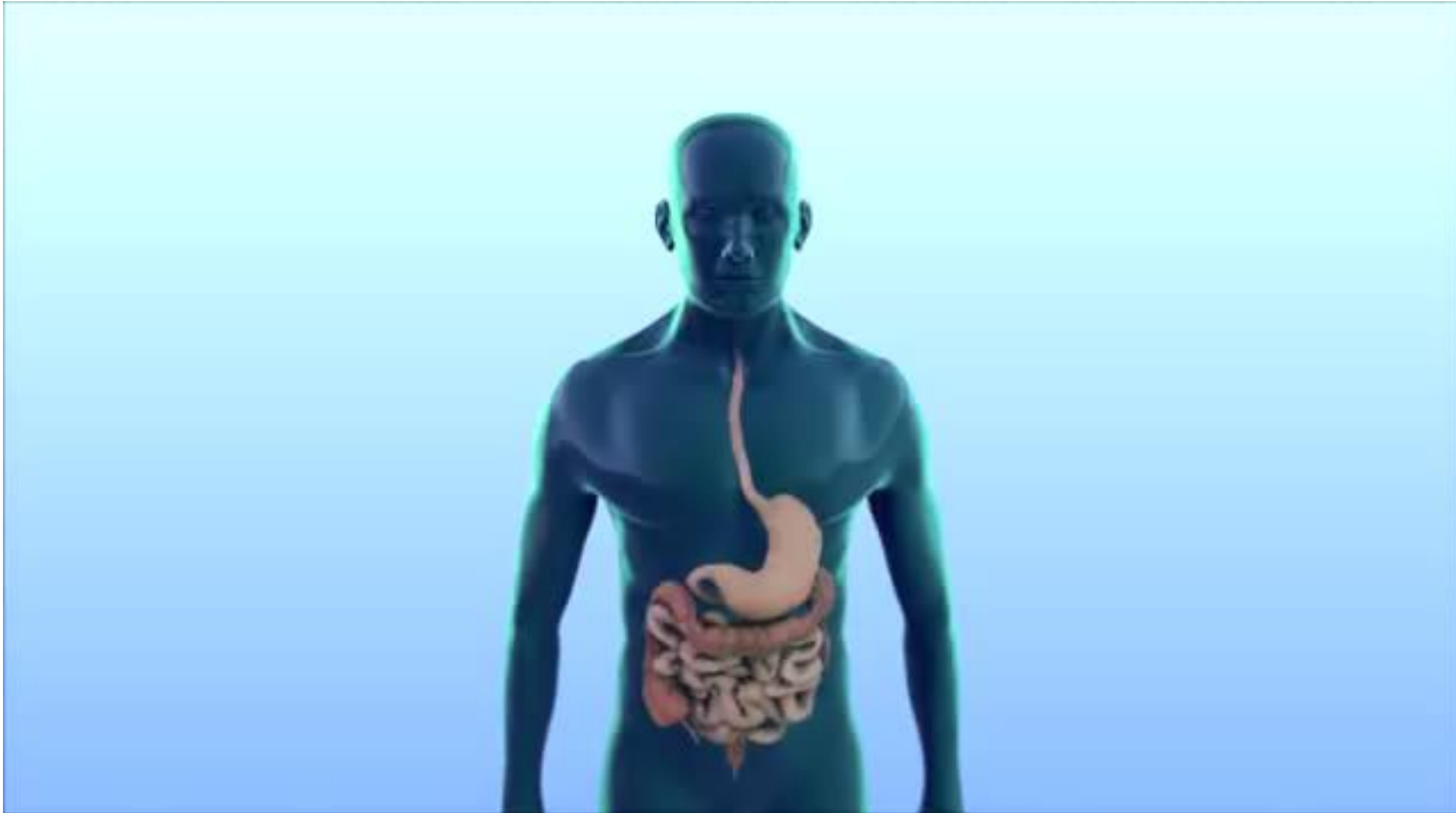
A contração depende dos tipos e do número de unidades motoras





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




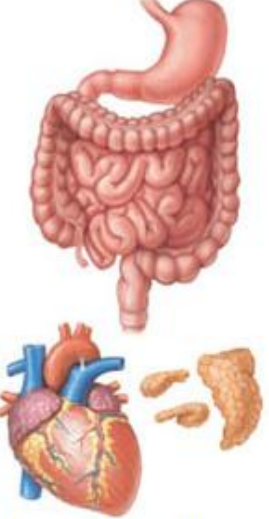

✓ Tipos de musculatura:

- 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
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	 Smooth muscle (e.g., in gut), glands, cardiac muscle	+ - Stimulatory or inhibitory, depending on neurotransmitter and receptors on effector organs
		Sympathetic: Lightly myelinated preganglionic axons → Ganglion → Unmyelinated postganglionic axon → Adrenal medulla (releasing Epinephrine and norepinephrine) → Blood vessel. Parasympathetic: Lightly myelinated preganglionic axon → Ganglion → Unmyelinated postganglionic axon.			
PARASYMPATHETIC		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

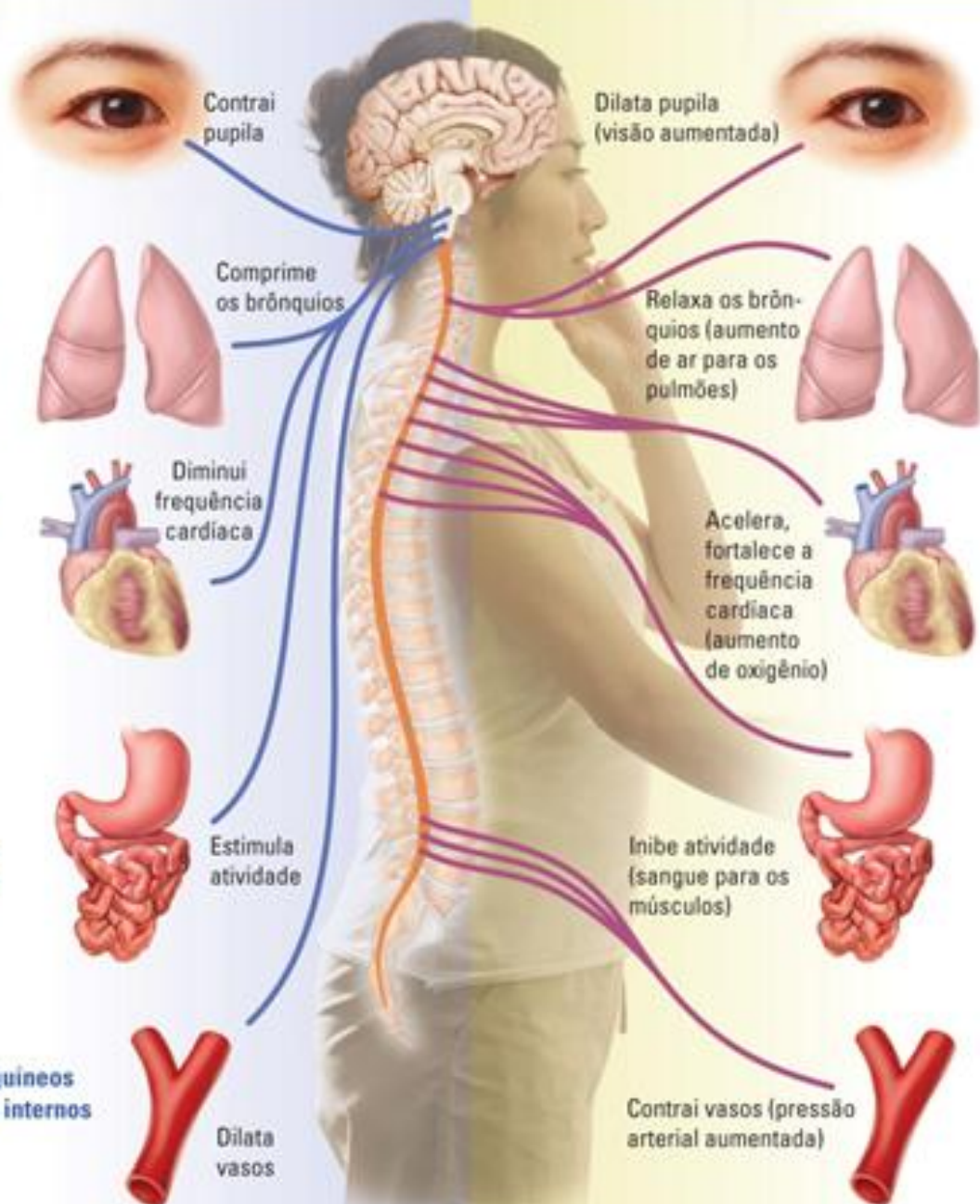
Estimula atividade

Inibe atividade (sangue para os músculos)

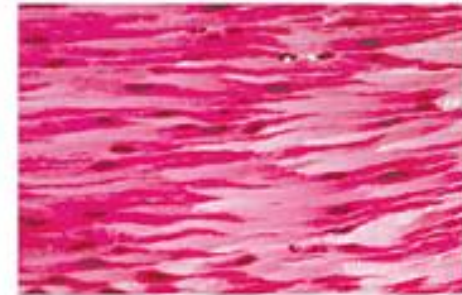
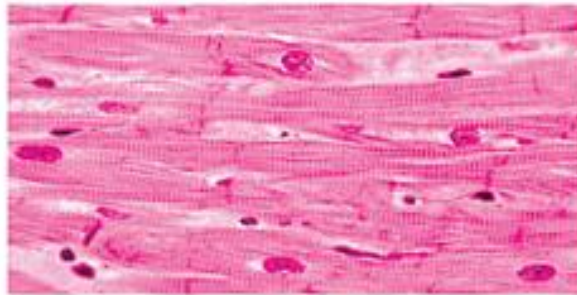
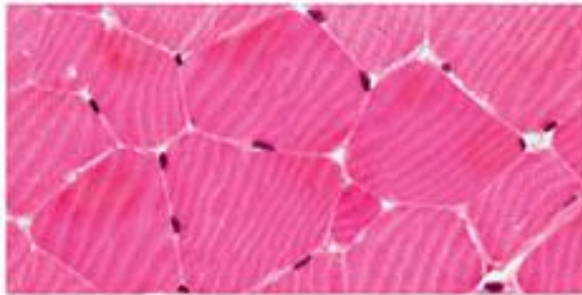
Vasos sanguíneos dos órgãos internos

Dilata vasos

Contraí vasos (pressão arterial aumentada)



DIFERENÇAS DO MÚSCULO LISO



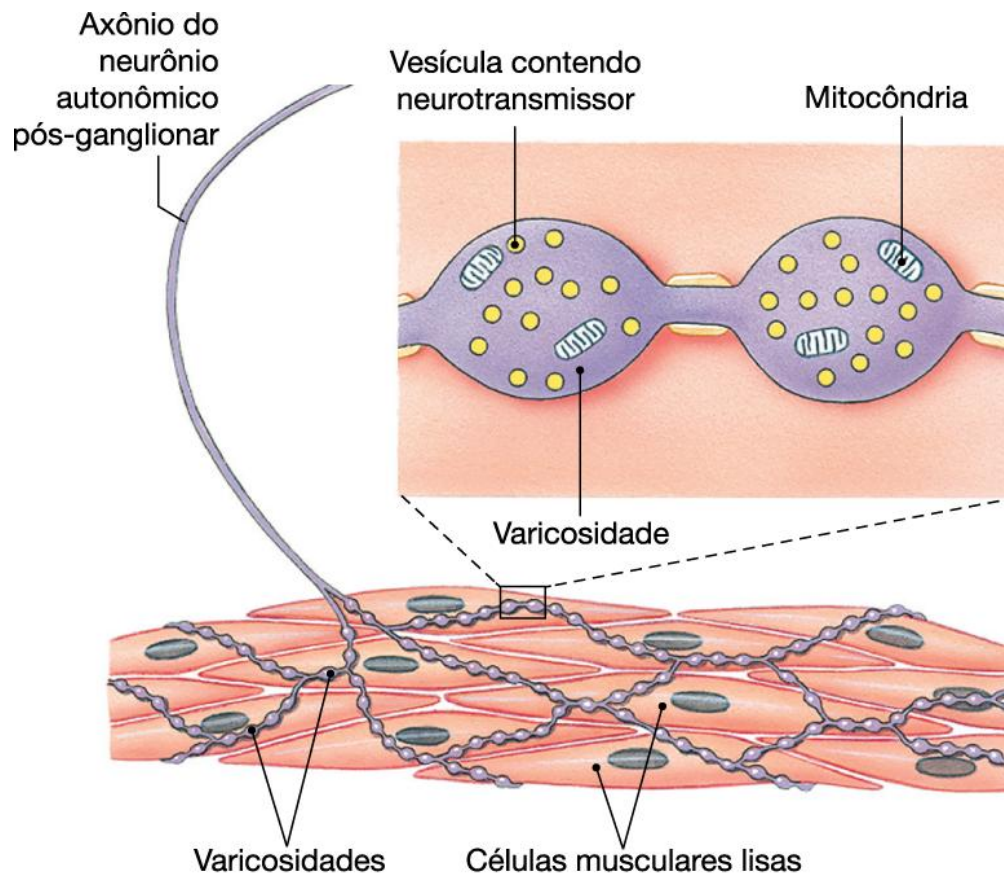
Estriado Esquelético

Estriado Cardíaco

Liso

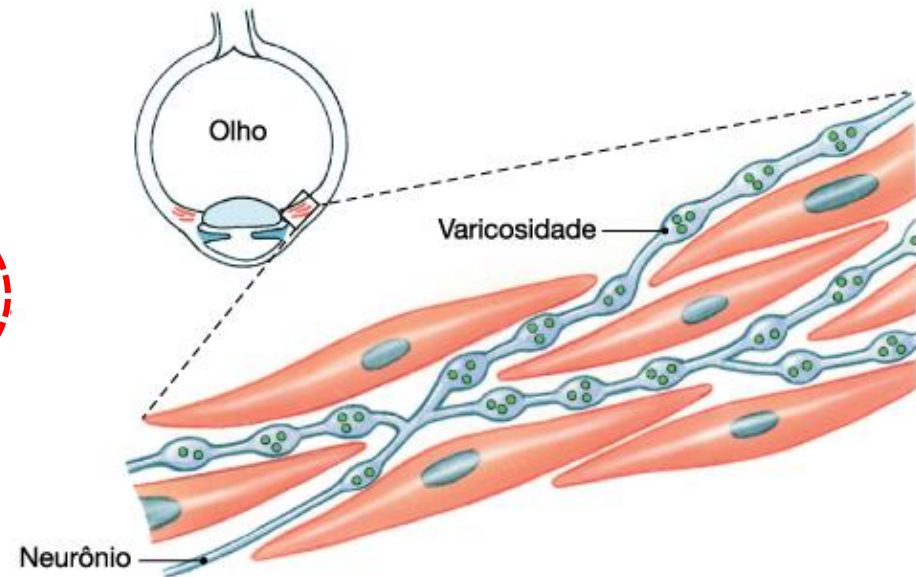
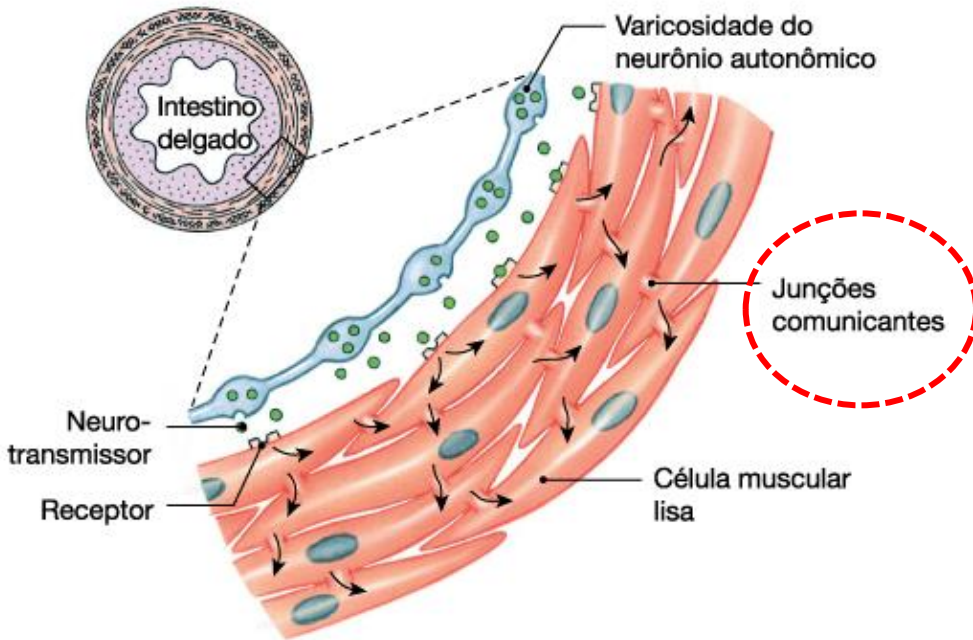
- Células são pequenas e fusiformes, com apenas um núcleo
- Baixas taxas de consumo de O_2 - Menor gasto de ATP
- Contração mais lenta e por longos períodos sem fadiga
- Controlado por diferentes substâncias
 - ACh, O_2 , CO_2 , noradrenalina, angiotensina, vasopressina, serotonina e outras
- Tem propriedades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

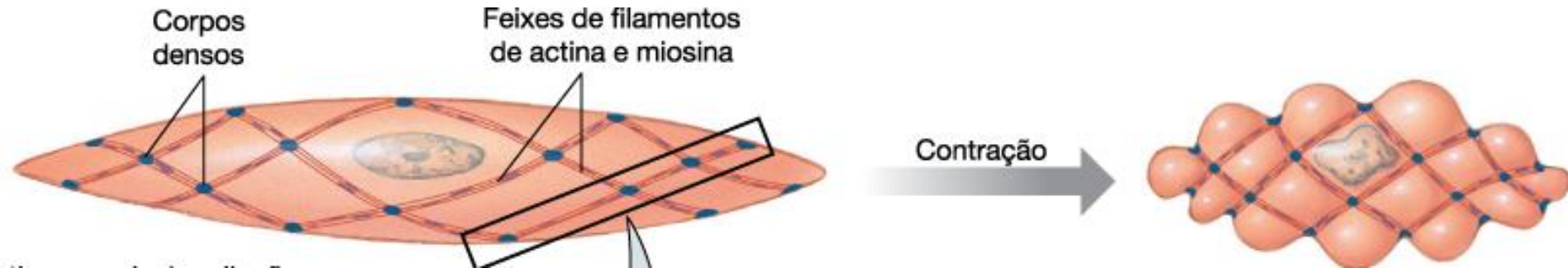
Trato gastrointestinal

Íris e Corpo Ciliar

Trato genital masculino

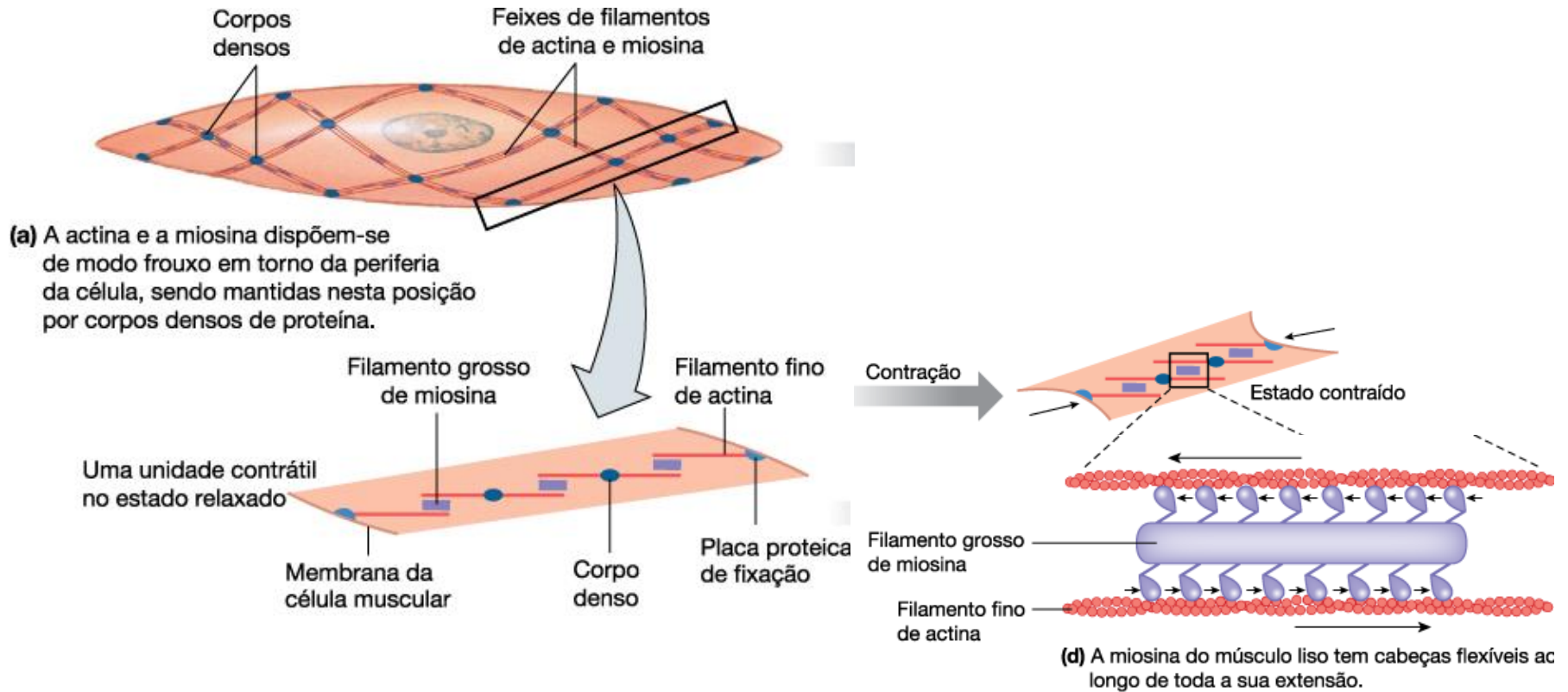
Trato genital feminino

MÚSCULO LISO



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

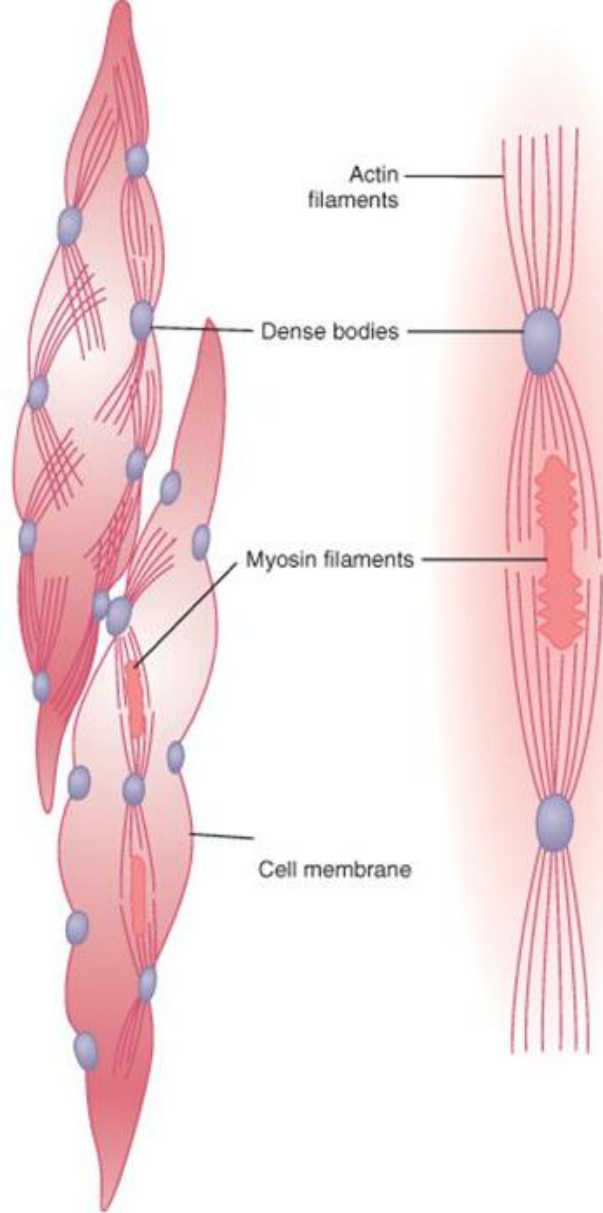
MÚSCULO LISO



Fonte: SILVERTHORN (2010)

➤ Deslizamento e estiramento

CONTROLE DA CONTRAÇÃO DO MÚSCULO LISO



- Dependente do Ca^{++}
- 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.
- Enzimas responsáveis em fosforilar e desfosforilar a cadeia leve da miosina
 - Quinase da cadeia leve da miosina (MLCK)
 - Miosina fosfatase

MIOSINA DO MÚSCULO LISO

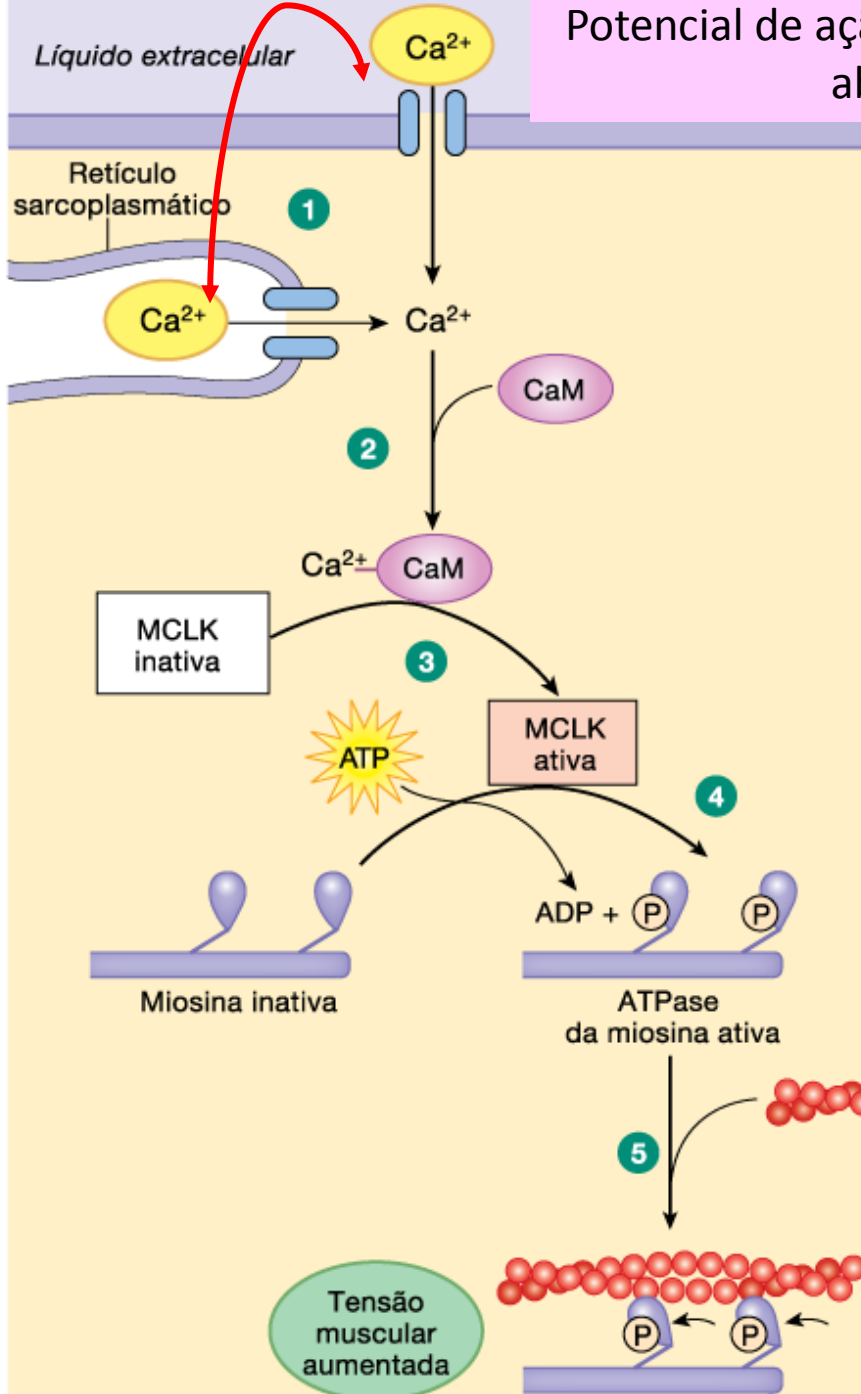
Cadeias leves de miosina – CONTRAÇÃO MAIS LENTA



Molécula de miosina



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



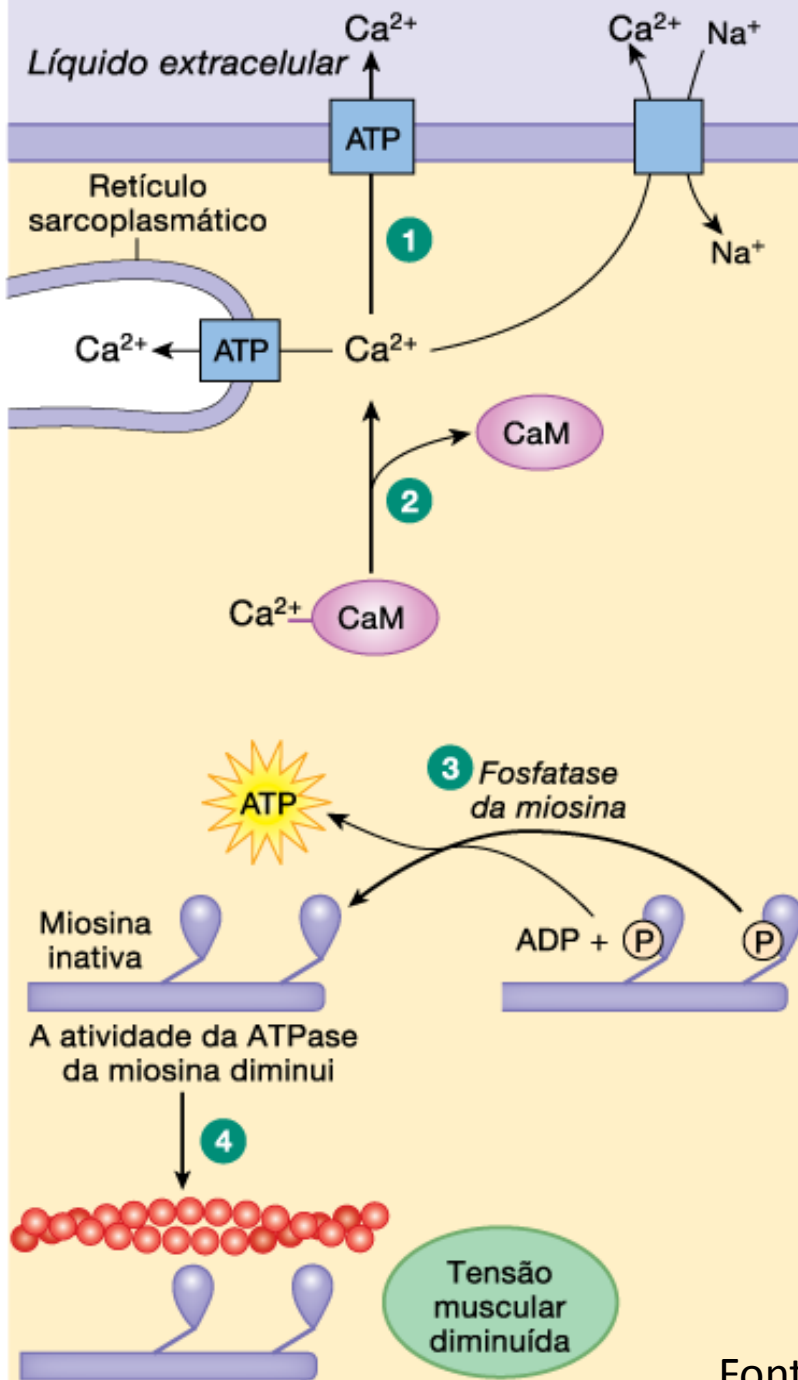
- 1** As concentrações de Ca^{2+} intracelular aumentam quando o Ca^{2+} entra na célula e quando é liberado a partir do retículo sarcoplasmático.
- 2** O Ca^{2+} se liga à calmodulina (CaM).
- 3** A Ca^{2+} -calmodulina ativa a cinase da cadeia leve da miosina (MLCK).
- 4** A MLCK fosforila as cadeias 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

ESTADO DE TRANCA
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.

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?