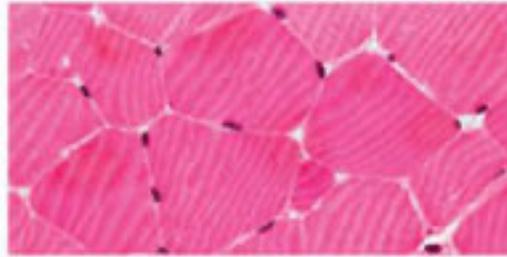


# Adaptações Metabólicas ao Exercício

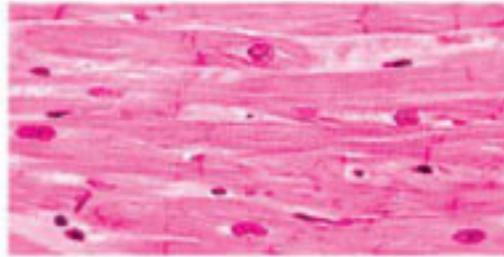


<https://www.youtube.com/watch?v=-Mfo3Af5E3c&t=90s>

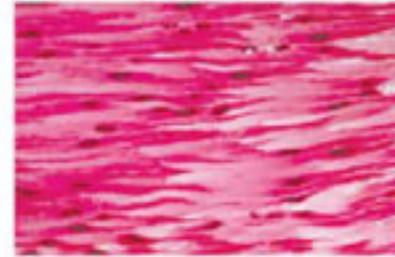
Tipos de músculos nos vertebrados:



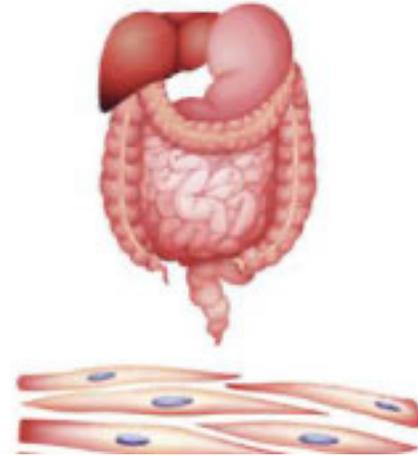
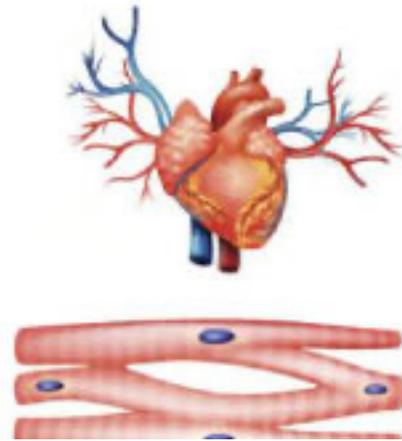
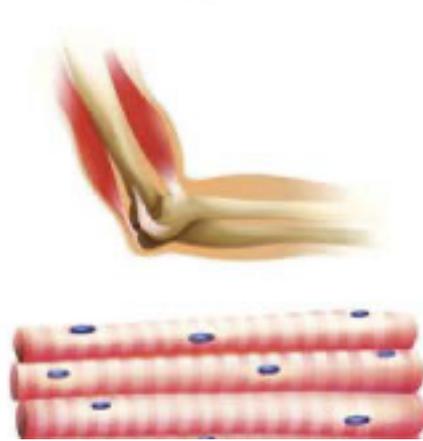
**ESTRIADO ESQUELÉTICO**



**ESTRIADO CARDÍACO**



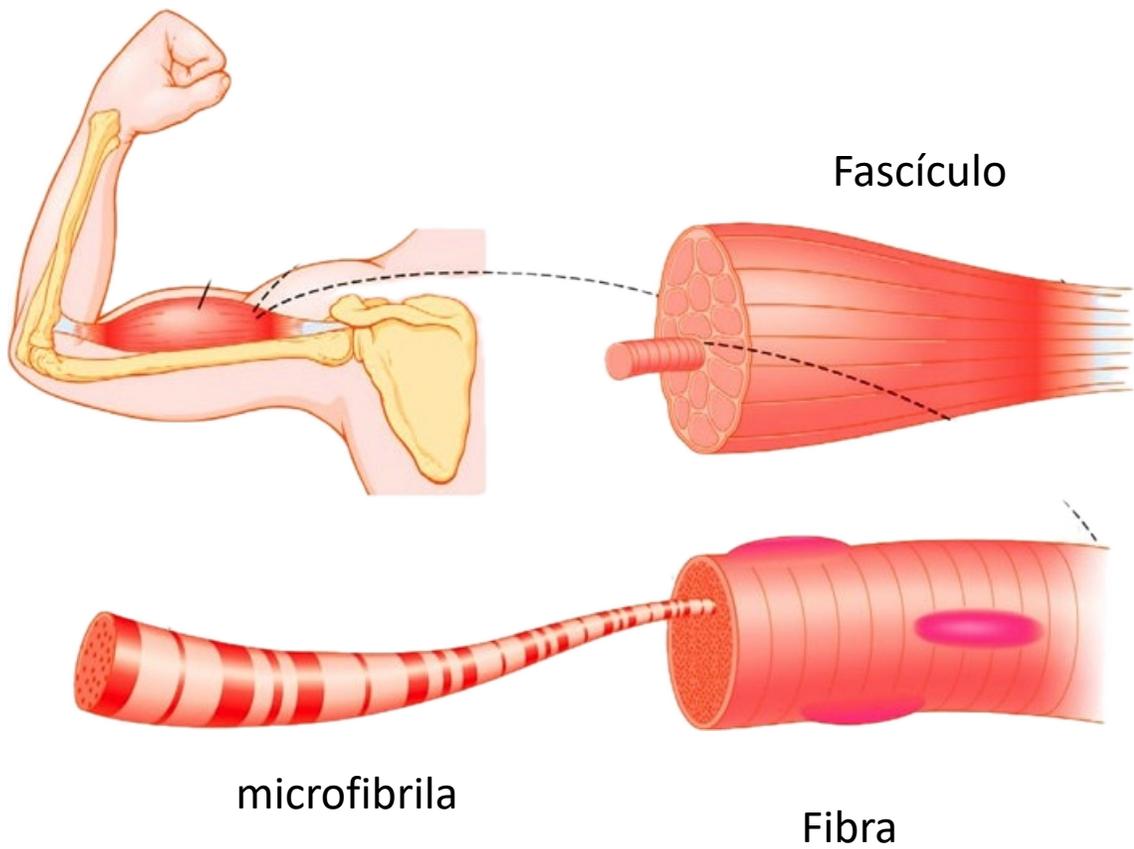
**LISO OU NÃO ESTRIADO**



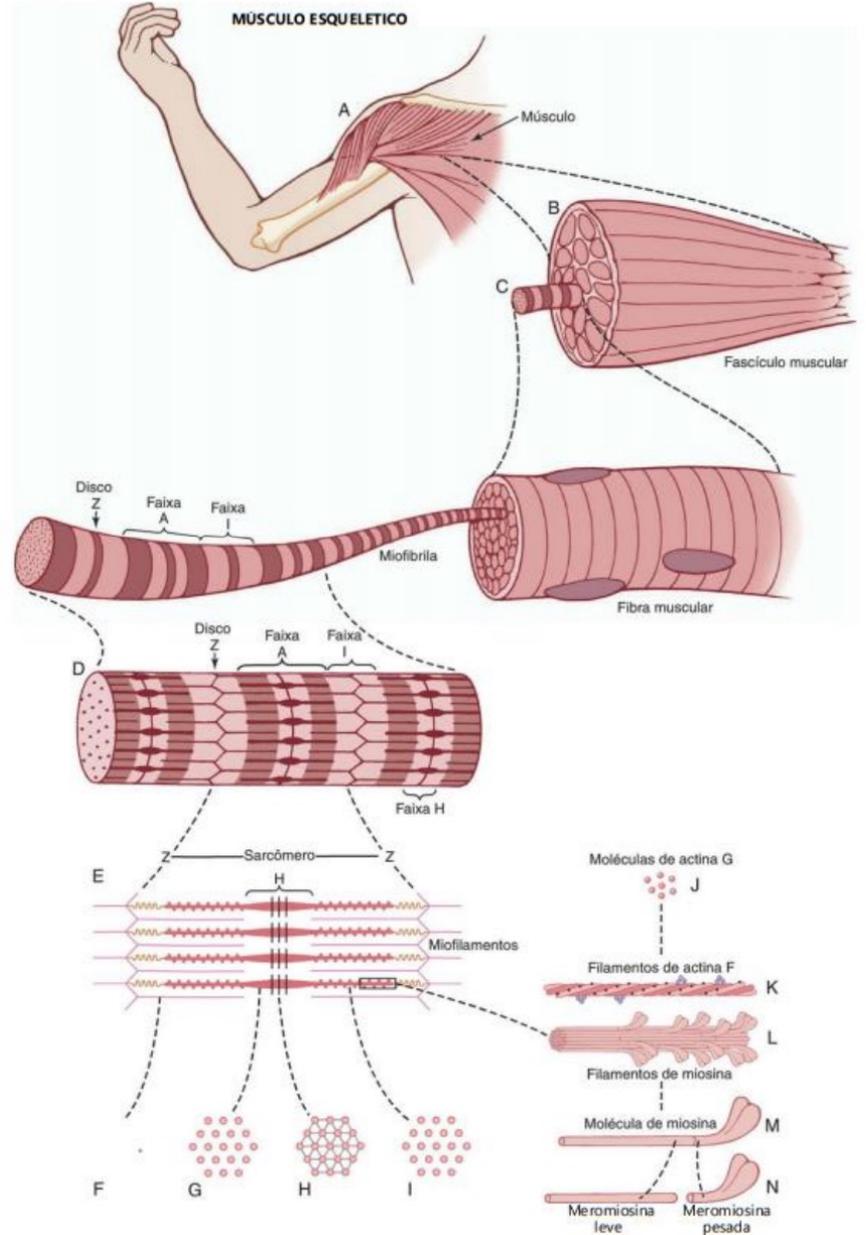
Músculo esquelético sofre contração voluntária

Músculo liso e cardíaco sofre contração involuntária

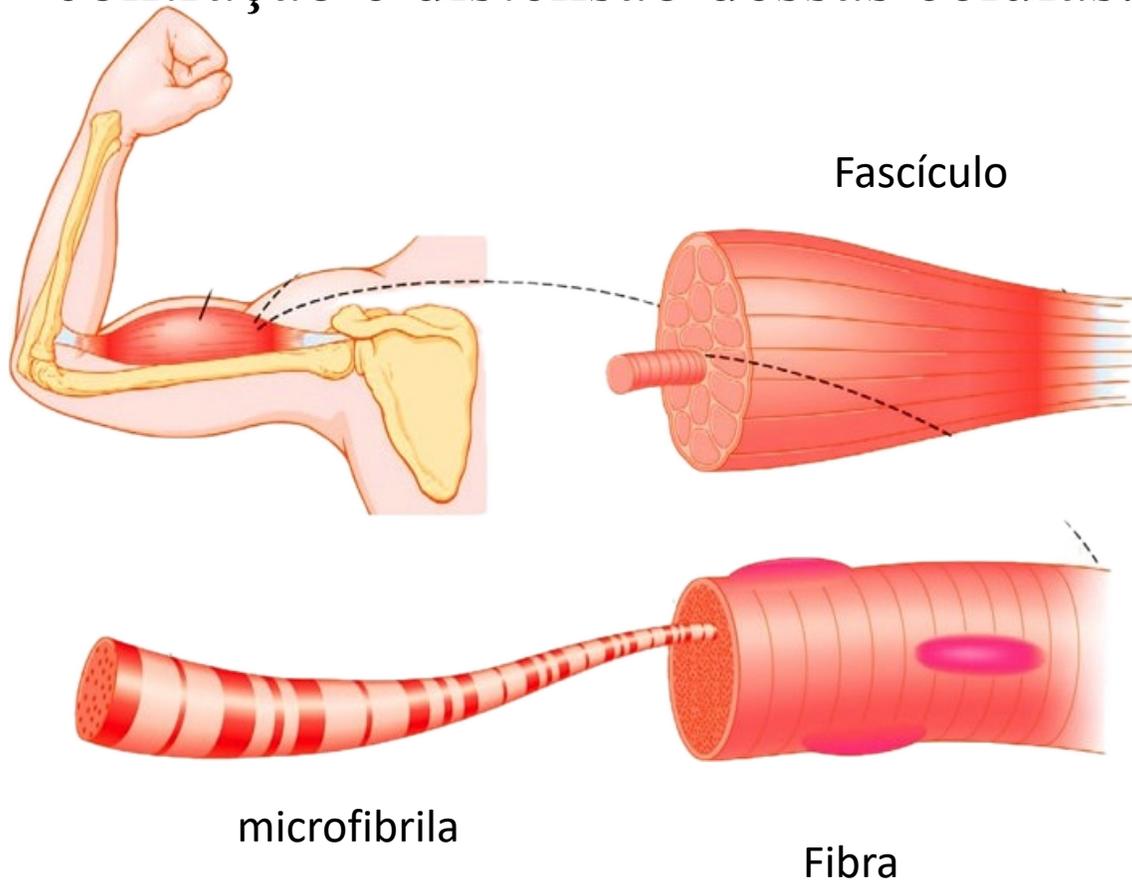
# Estrutura do Músculo Esquelético



Fascículo muscular é um conjunto de fibras musculares esqueléticas cobertas por perimísio, um tipo de tecido conjuntivo.



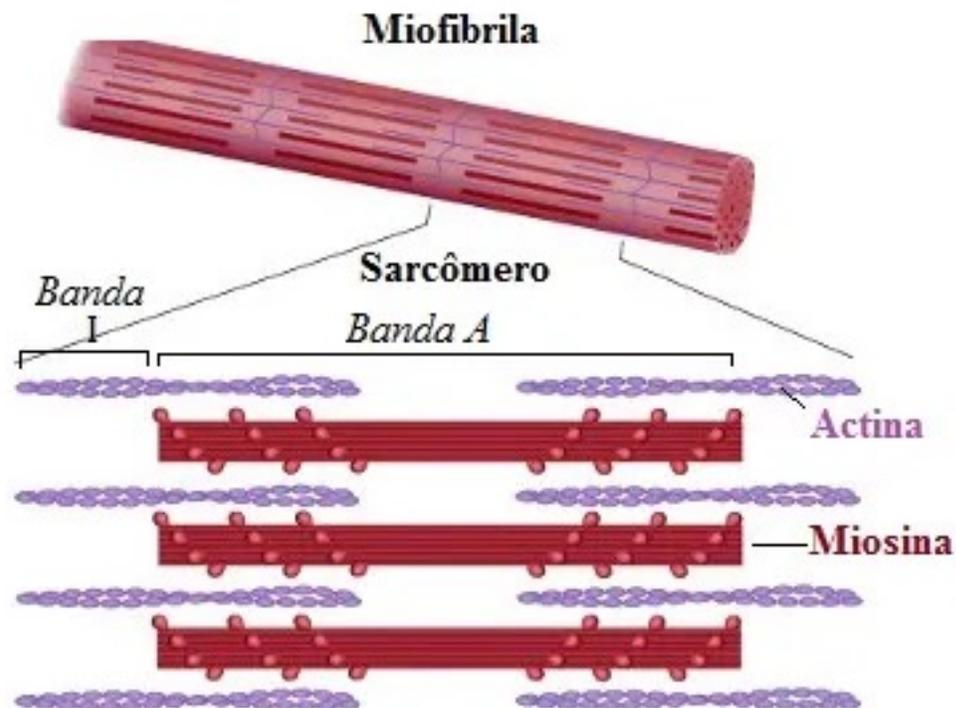
As células dos tecidos musculares, denominadas fibras musculares ou miócitos, são alongadas, possuem **tecido conjuntivo associado** e são caracterizadas por terem em seu citoplasma grande quantidade de filamentos proteicos de actina e miosina (as chamadas miofibrilas; o prefixo mio-, do latim, se refere a músculo), que são responsáveis pela capacidade de contração e distensão dessas células.

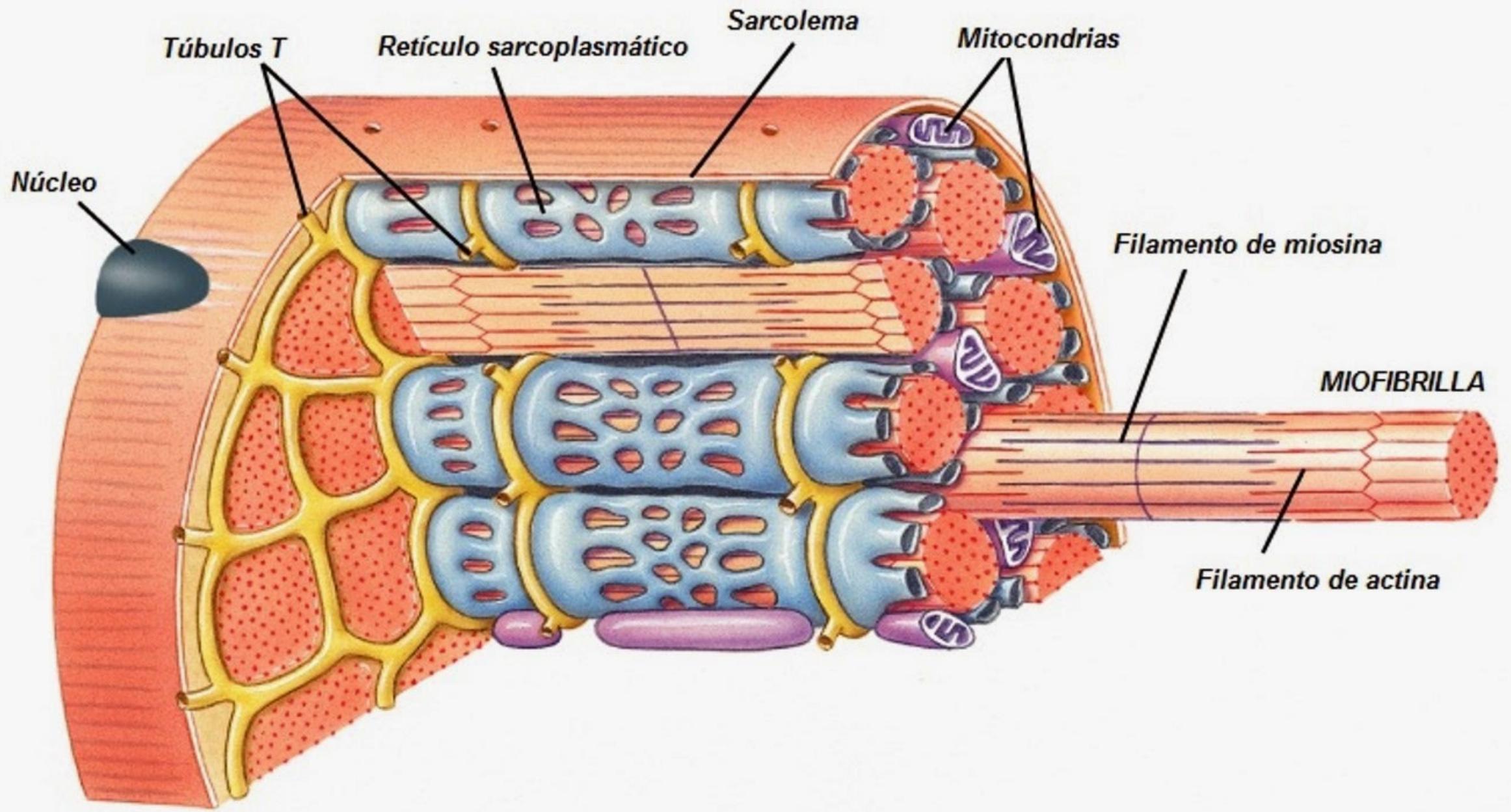


Tecido Conjuntivo é um tecido de conexão, composto de grande quantidade de matriz extracelular, células e fibras.

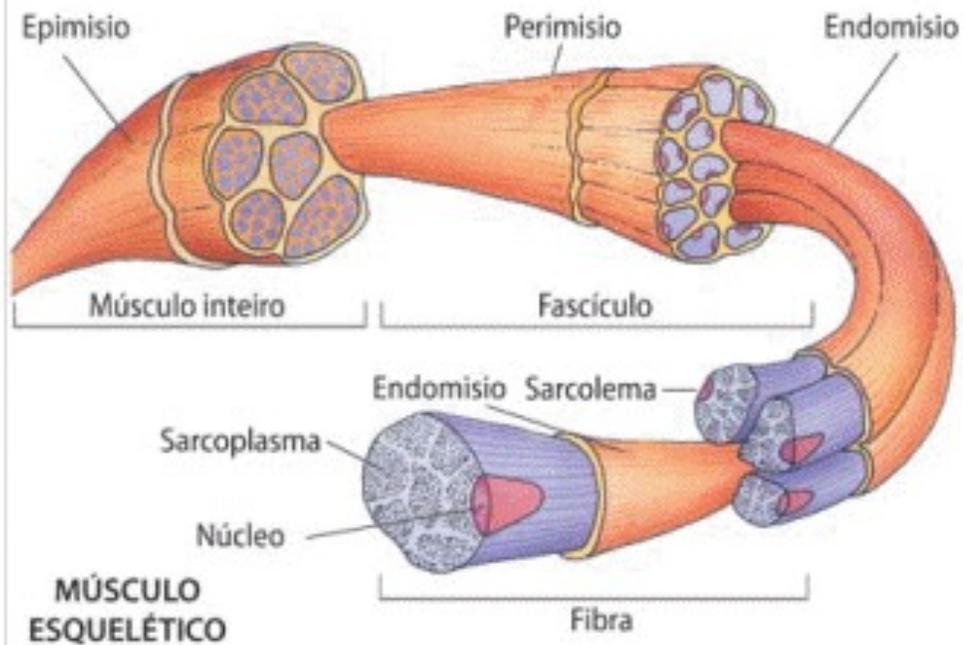
Suas principais funções são fornecer sustentação e preencher espaços entre os tecidos, além de nutri-los.

A actina é uma proteína do citoesqueleto celular (microfilamentos) e a miosina é uma proteína associada ao citoesqueleto que permite a geração de movimento celular (contração).



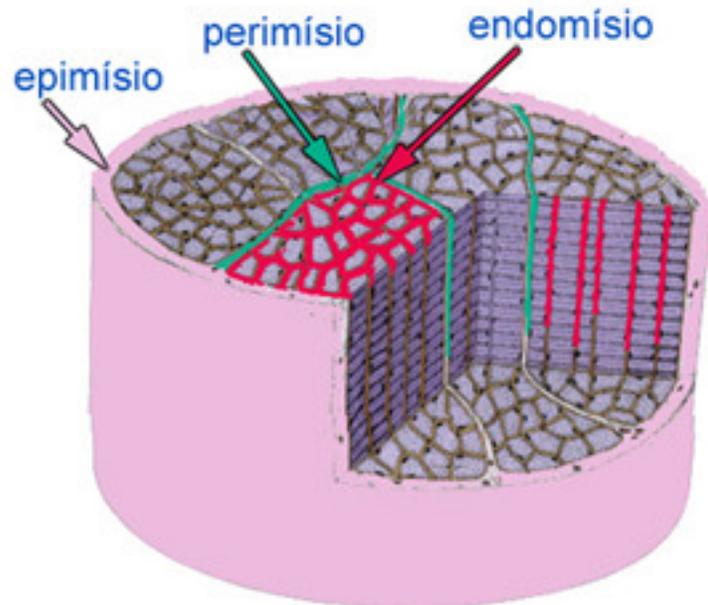


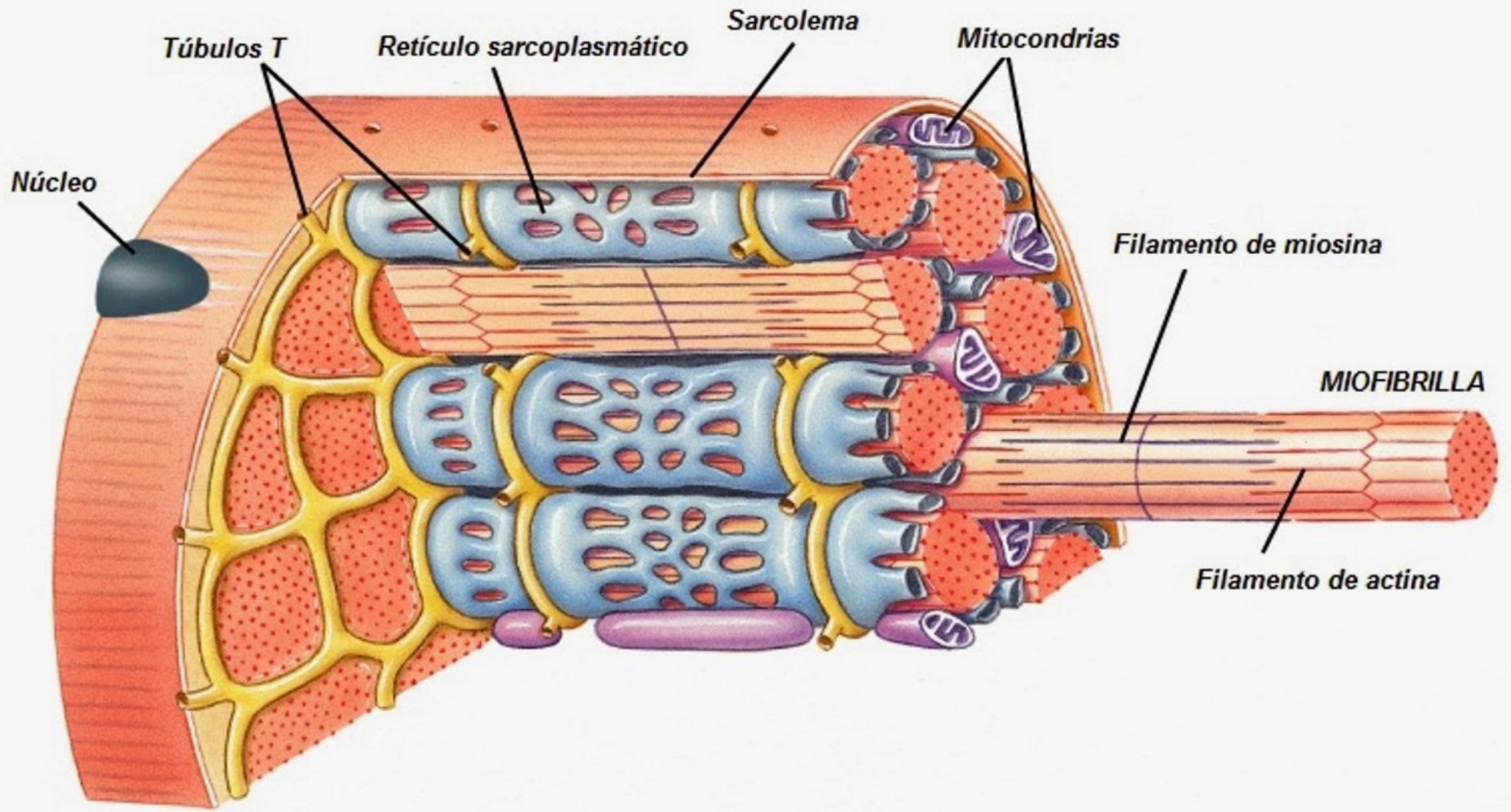
**Composición de la célula muscular (miocito)**



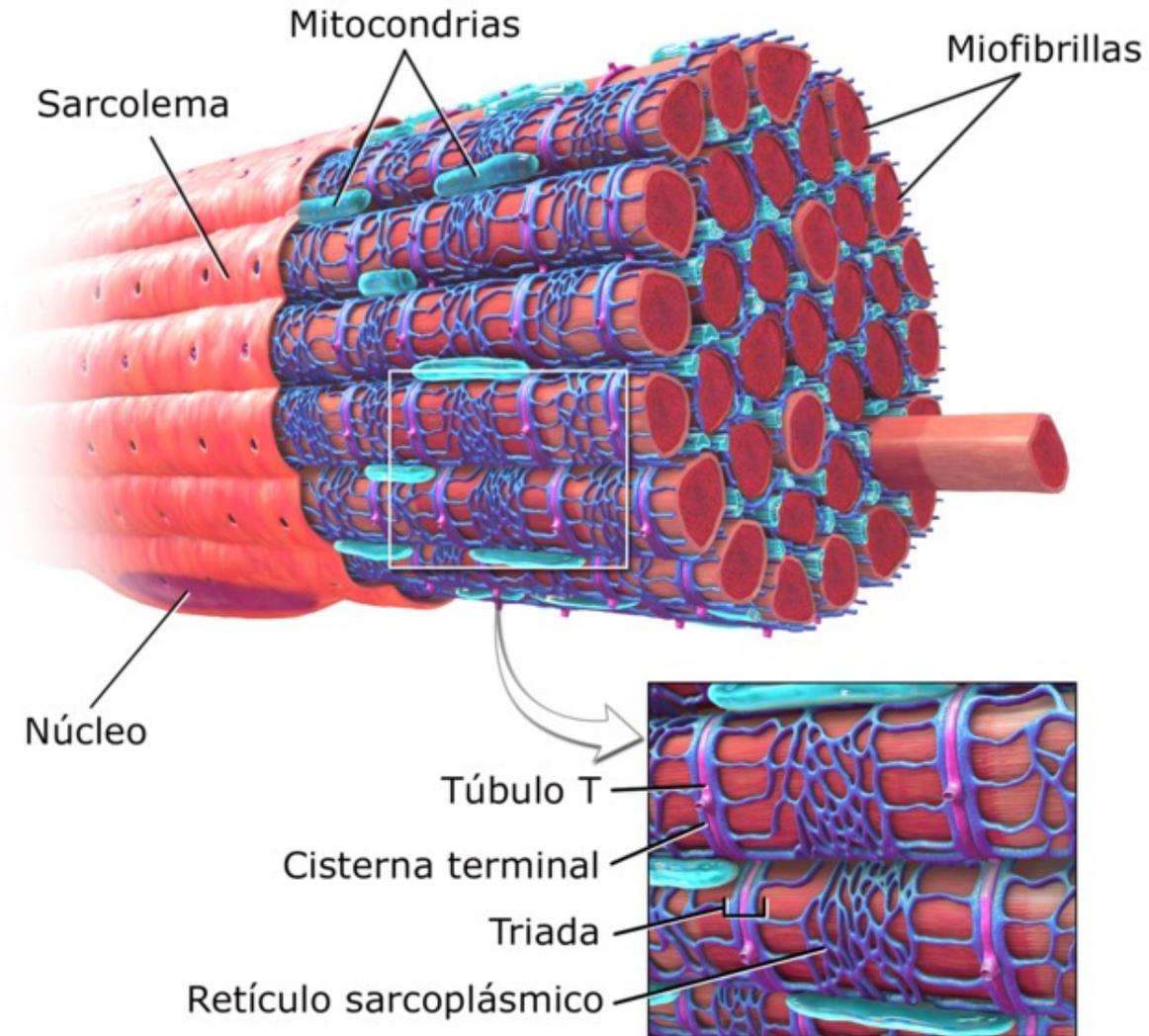
O músculo é organizado em várias partes, que são envolvidas por membranas conjuntivas até chegar ao nível de fibra muscular. Assim temos:

- **Epimísio:** envolve o músculo inteiro;
- **Perimísio:** envolve um conjunto de fibras musculares, constituindo um fascículo;
- **Endomísio** ou **Sarcolema:** envolve, por fim, cada fibra muscular; é a membrana plasmática da fibra muscular que é capaz de gerar eletricidade em resposta a estimulação do nervo. Quando o sarcolema gera impulso elétrico o sinal propaga-se ao longo da fibra e pelos túbulos T até chegar no retículo sarcoplasmático.





**Composición de la célula muscular (miocito)**

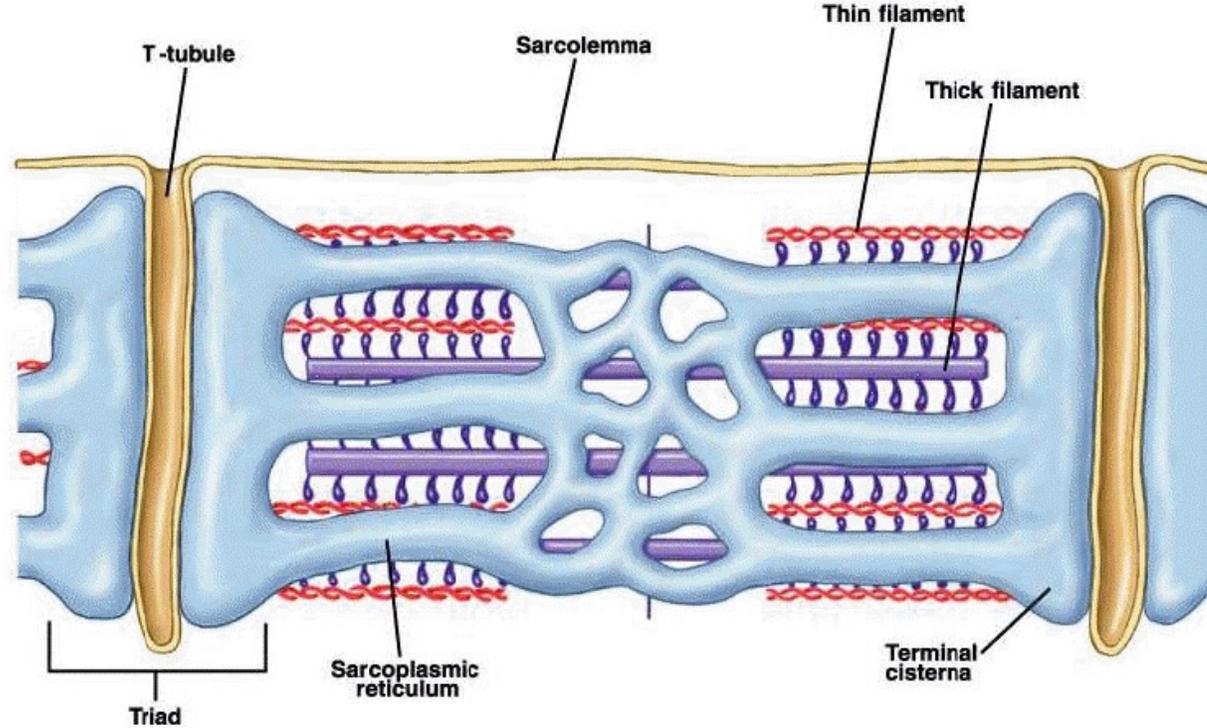


## Sarcolema

A membrana lipoprotéica que recobre cada fibra muscular não difere essencialmente das membranas plasmáticas de outros tipos celulares, mas recebe o nome de sarcolema, derivado da junção das palavras gregas *sarx* ou *sarkos* que significa carne e *lema* que significa casca. Ela é bastante elástica para suportar as distorções que ocorrem nas fases de contração, relaxamento e estiramento do músculo.

Uma característica exclusiva do sarcolema é a formação de invaginações ao longo de toda a superfície da fibra, formando uma rede de túbulos, chamados de túbulos transversais ou túbulos T

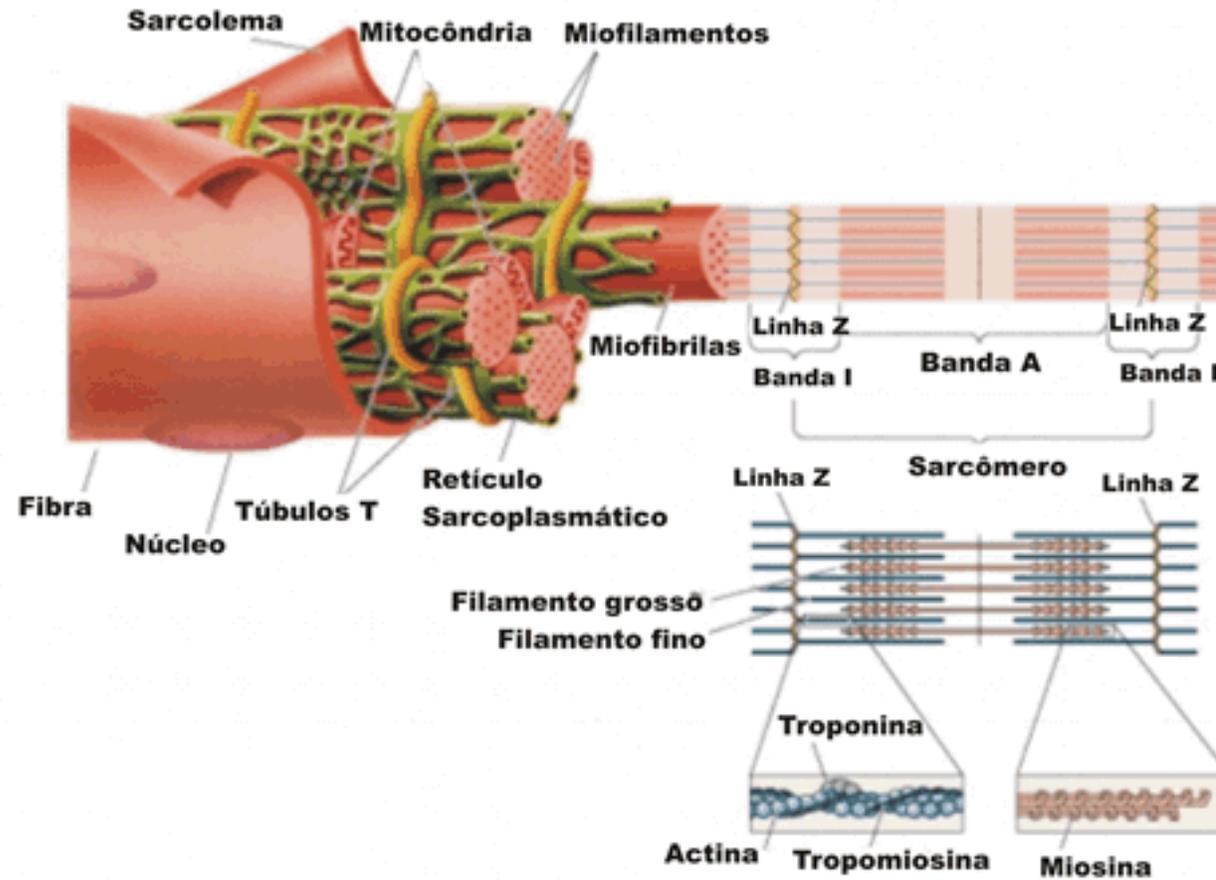
- Tríade: \_Túbulo T + 2 cisternas laterais - fazem parte do retículo sarcoplásmico



**Túbulos T:** é o sistema transversal de túbulos constituído de invaginações do sarcolema e intimamente associado ao retículo sarcoplasmático: têm, em ambos lados, uma cisterna do retículo sarcoplasmático formando uma estrutura chamada *tríade*.

É responsável pela contração uniforme de toda a fibra muscular, garantindo que o estímulo que chega em determinada região do sarcolema possa ser espalhado o mais rapidamente possível por toda a fibra, a cada miofibrila e sarcômero.

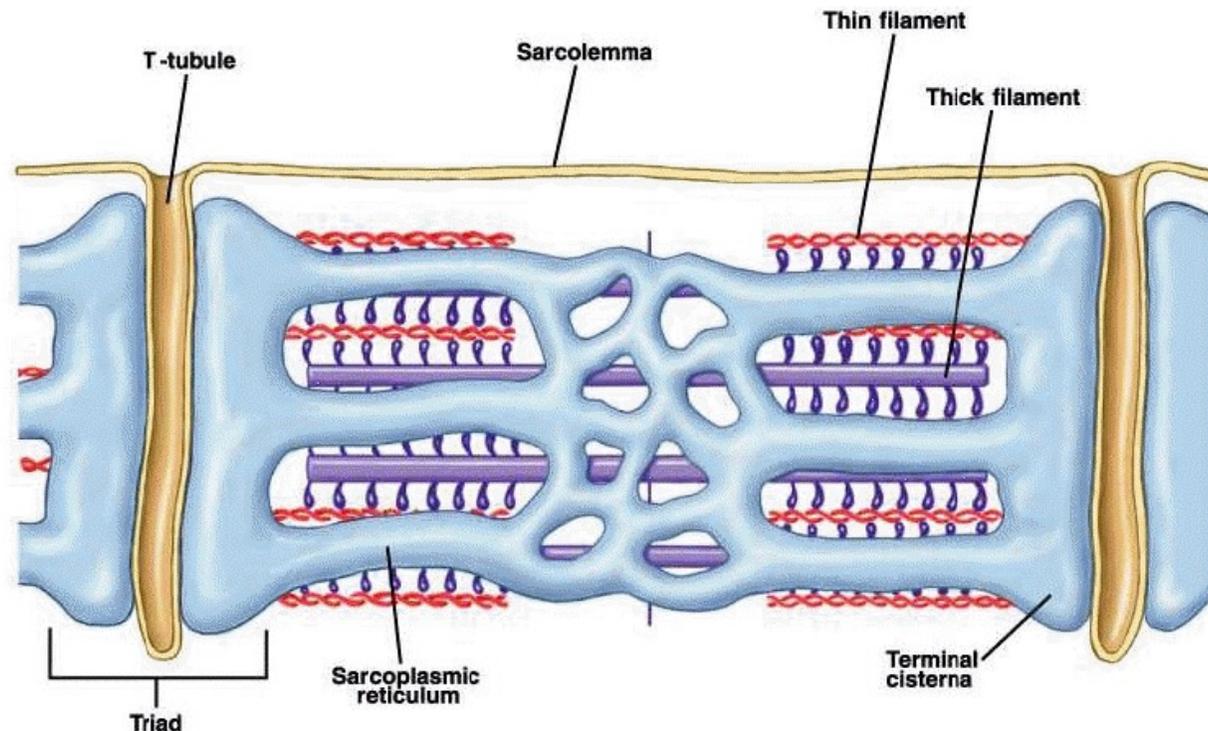
## Organização da fibra muscular



**Retículo Sarcoplasmático:** é parecido com o retículo endoplasmático liso e está em íntimo contato com os túbulos T.

É responsável por armazenar em seu interior, muito **cálcio** ( $\text{Ca}^{2+}$ ).

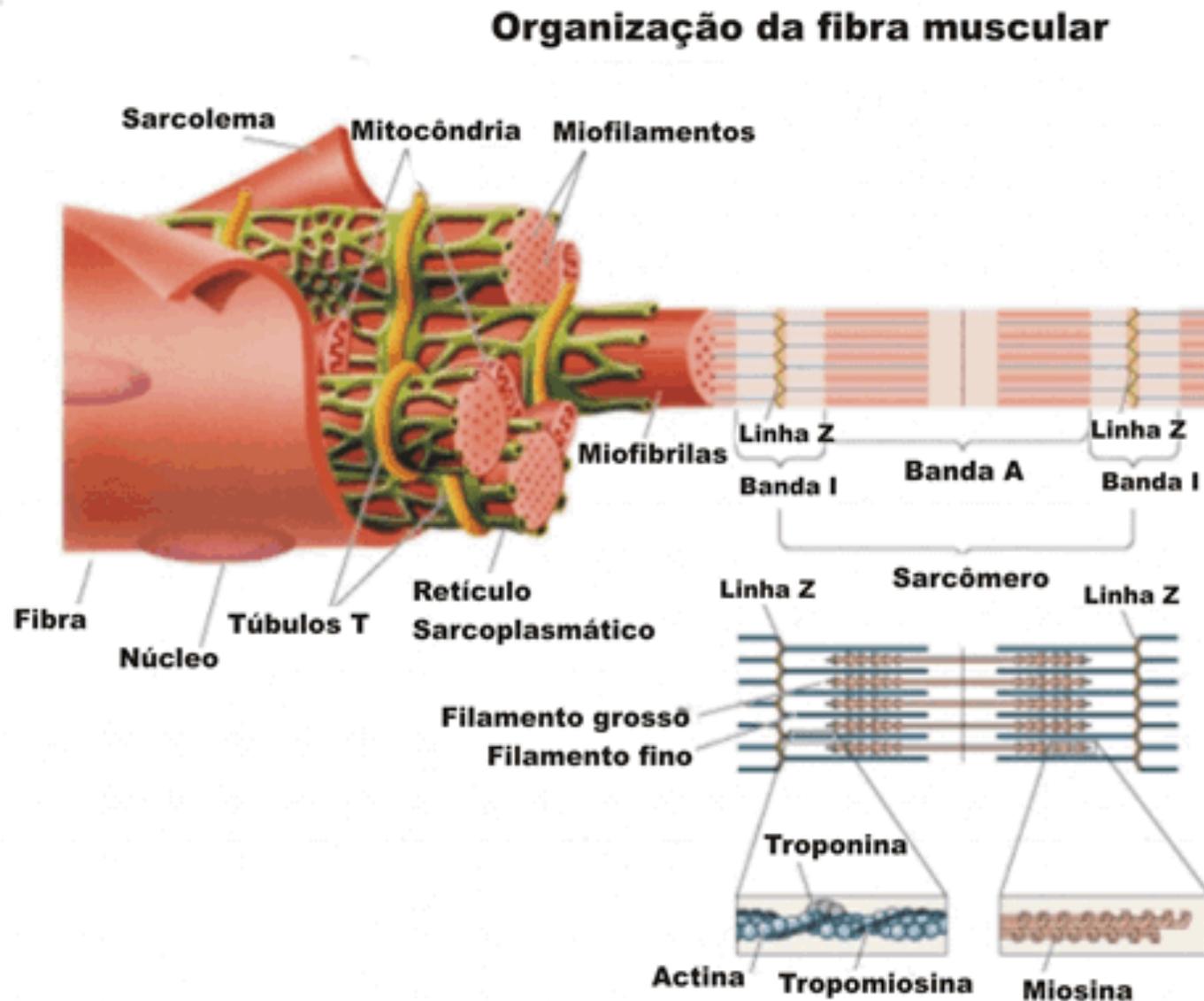
Quando o impulso elétrico chega ao retículo sarcoplasmático, o  $\text{Ca}^{2+}$  aprisionado é liberado para o citoplasma. Os íons  $\text{Ca}^{2+}$  então se ligam a moléculas de troponina que remove a tropomiosina do sitio de ligação da actina com a miosina, liberando-o para que os miofilamentos se liguem e promovam a contração.



As miofibrilas são constituídas de dois tipos de filamento proteícos;

Filamento grosso- Miosina

Filamento fino- actina, tropomiosina e troponina



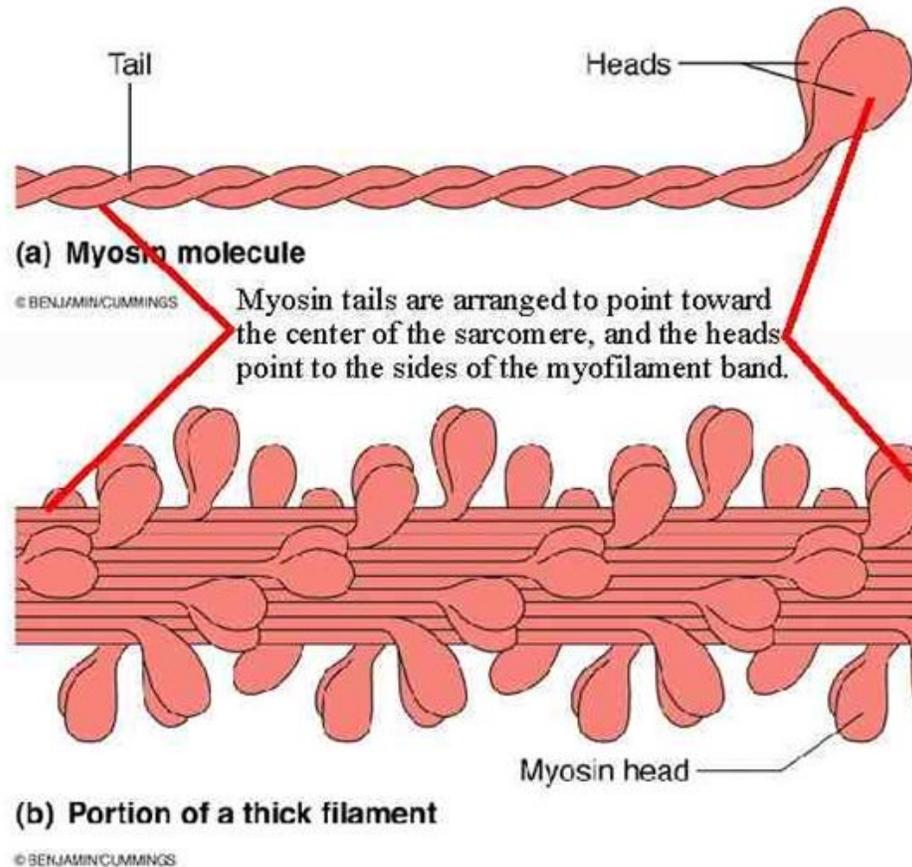
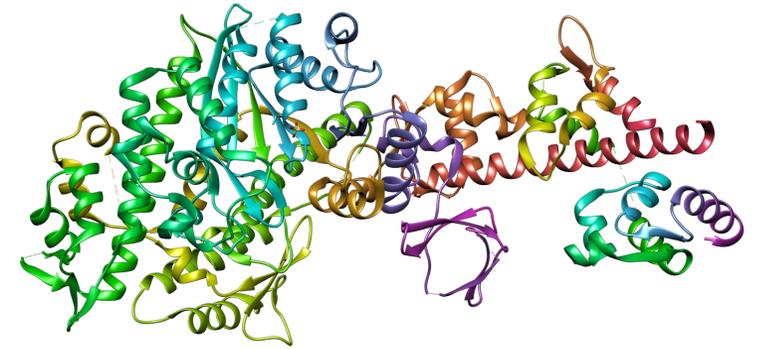
Um **sarcômero** compreende o segmento entre duas linhas Z consecutivas e é a unidade contrátil da fibra muscular

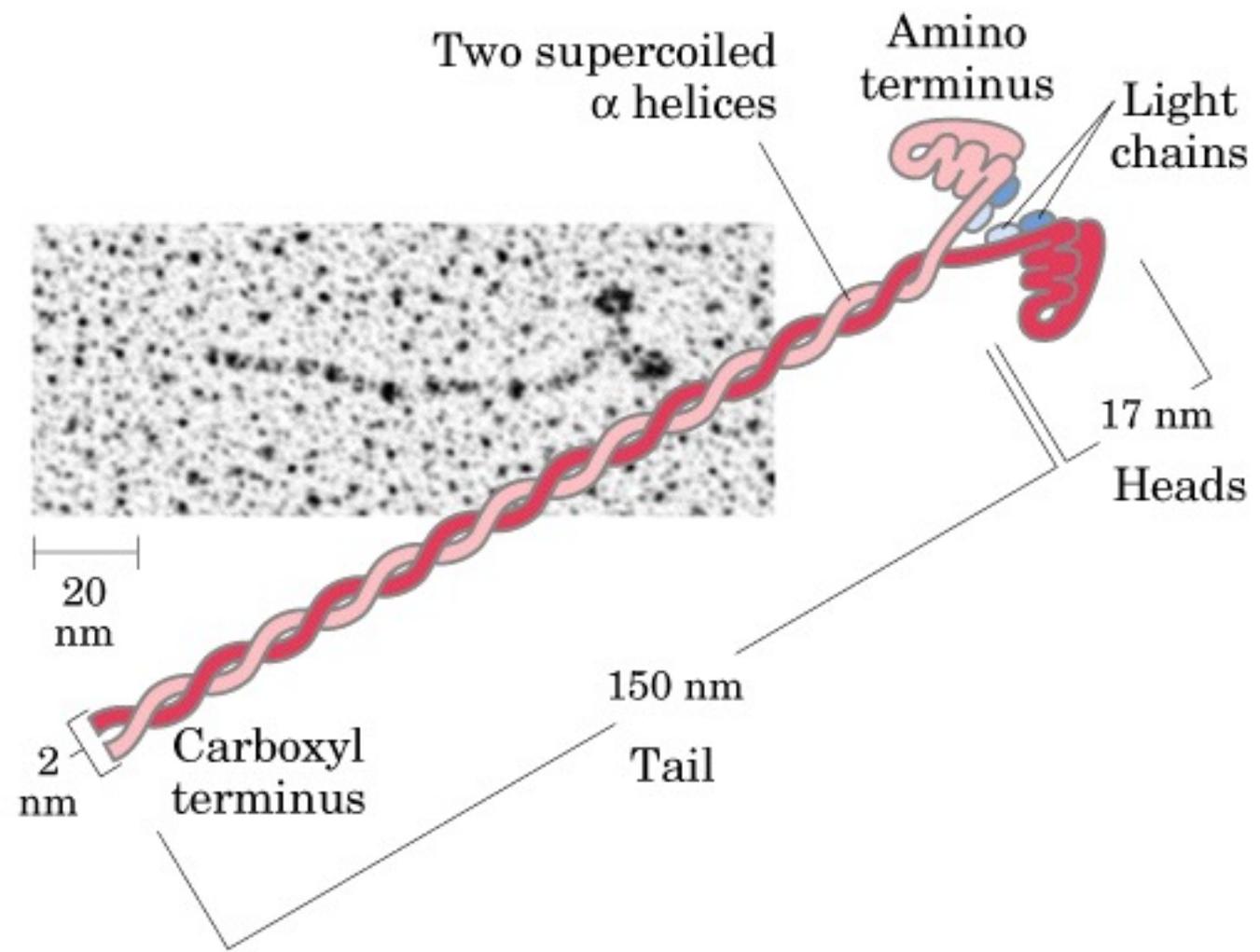
# Miosina

Constituída por dois longos peptídeos enrolados que assumem a forma de um bastão longo com duas cabeças globulares em uma das suas extremidades.

Muitas moléculas de miosina associam-se entre si para formar o filamento grosso, onde as cabeças de miosina formam saliências.

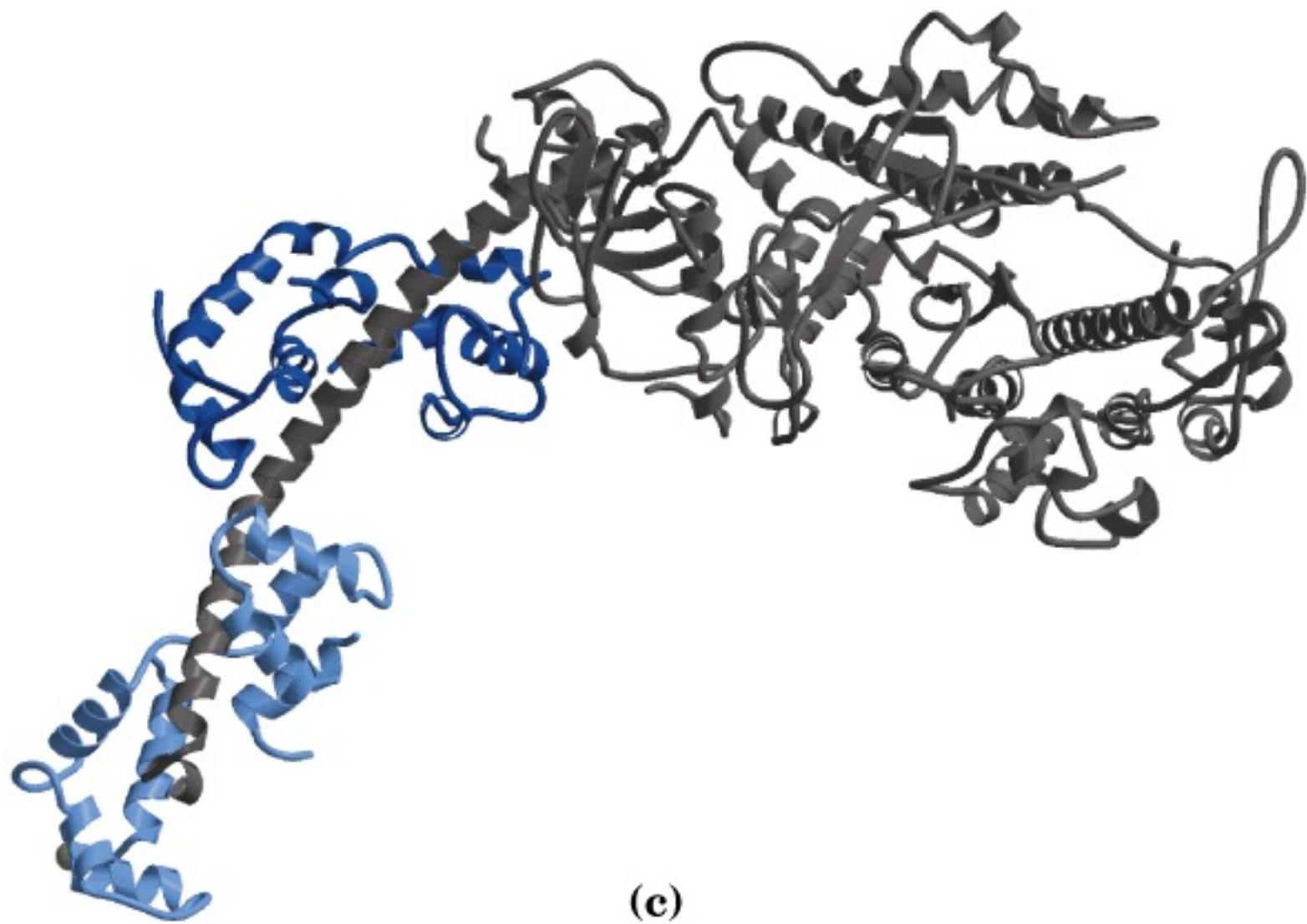
As cabeças da miosina contêm uma região que se combina de maneira reversível com a actina.





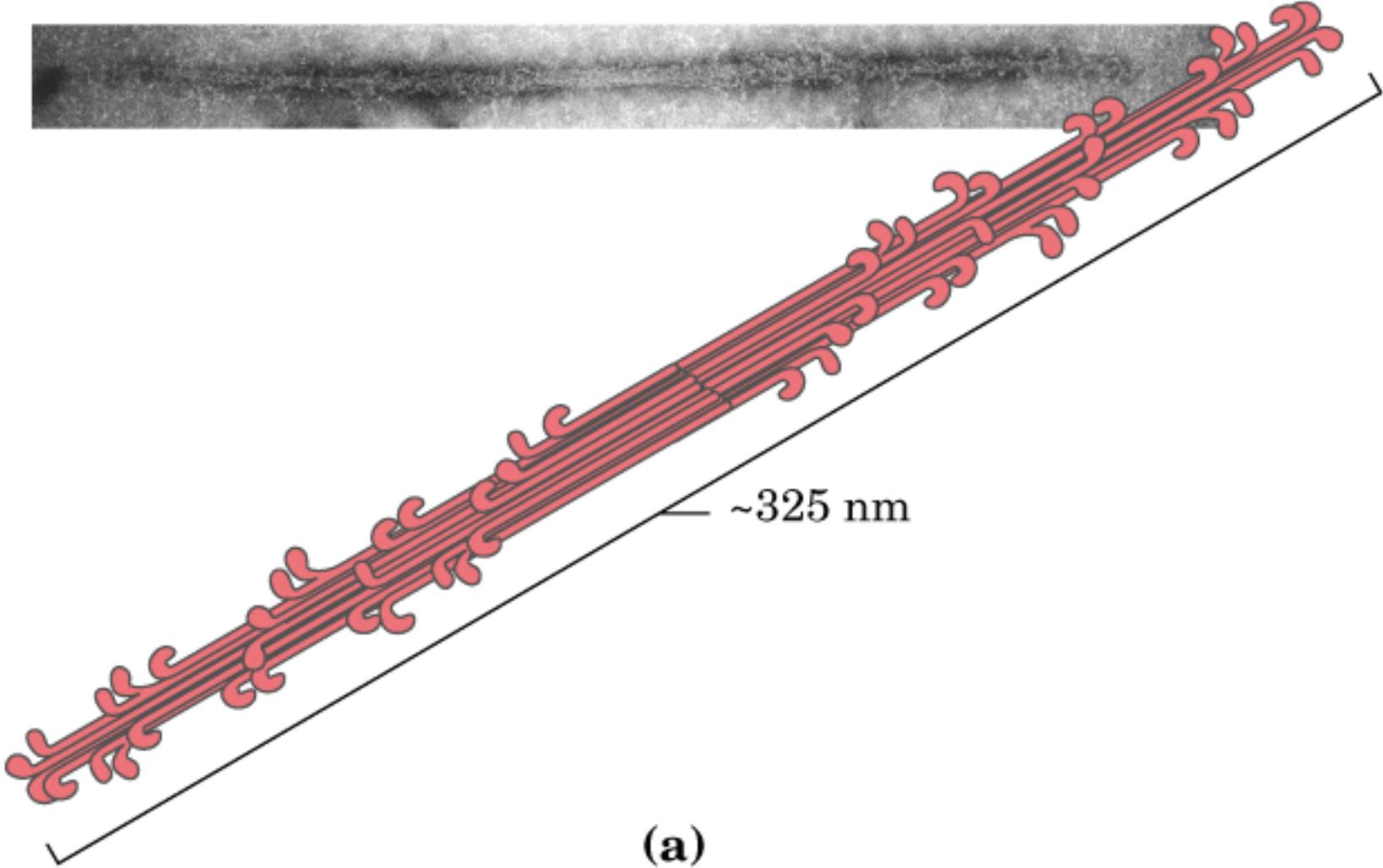
(a)

Miosina

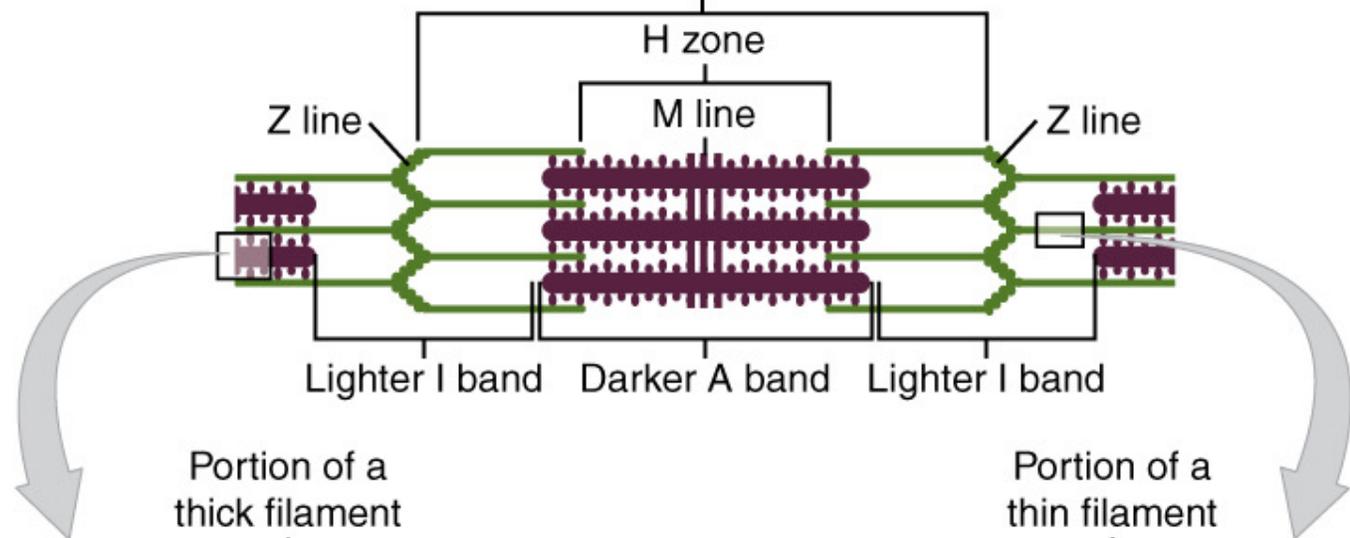


(c)

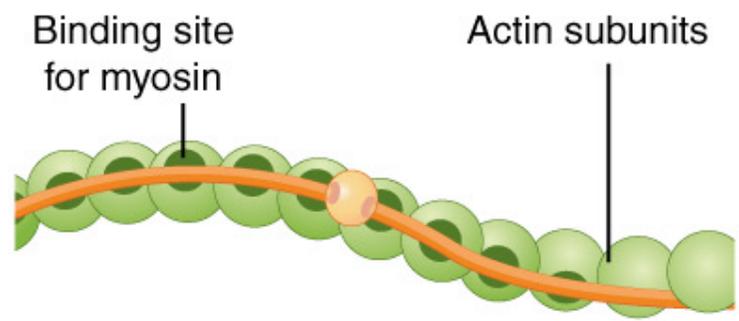
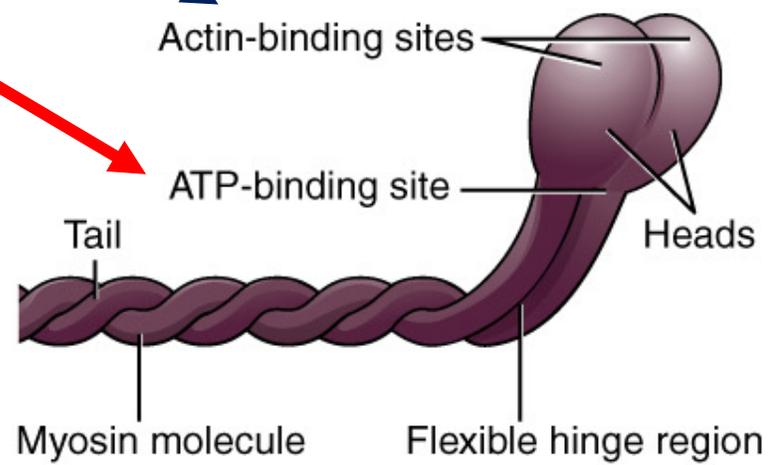
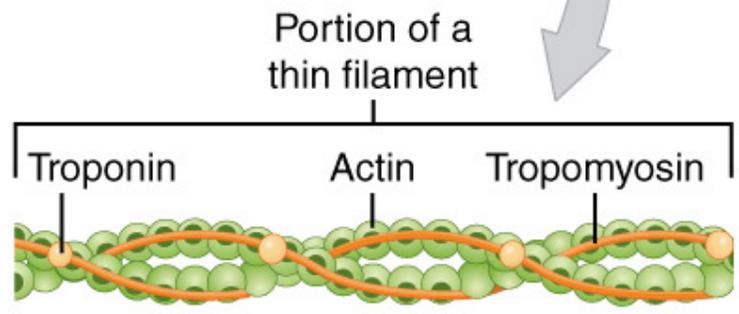
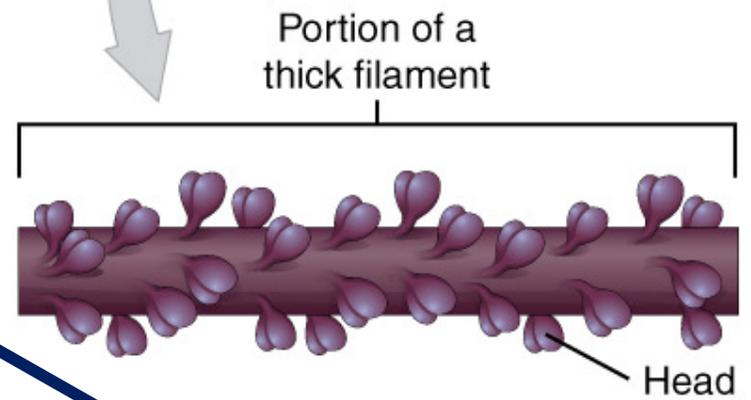
Filamento de miosina



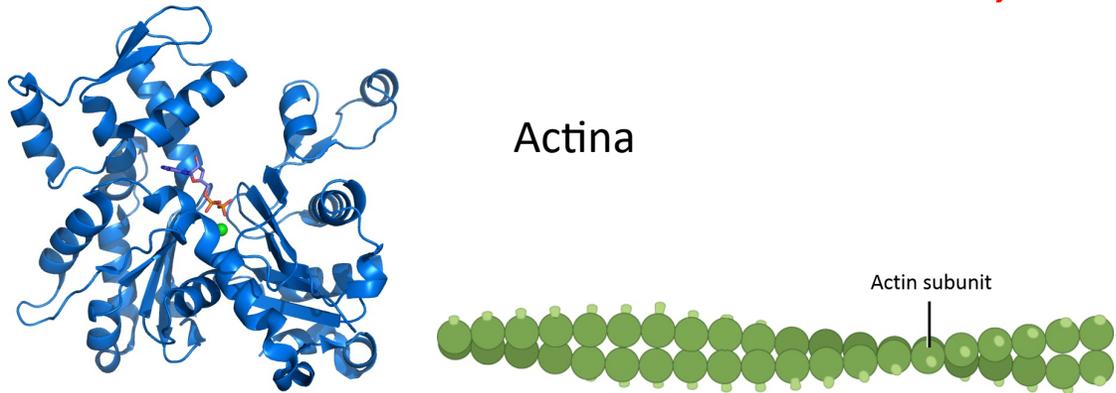
# Sarcomere



Sítio de ligação filamentos finos

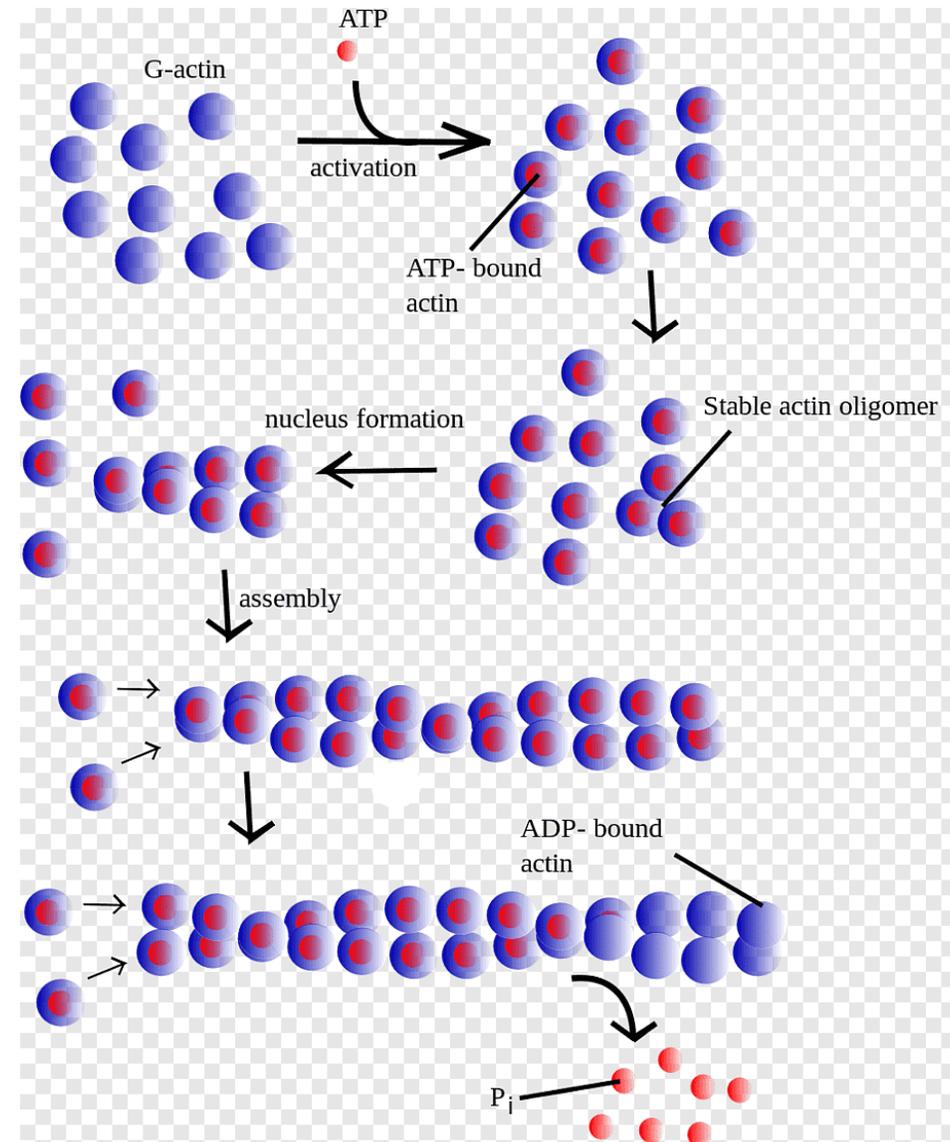


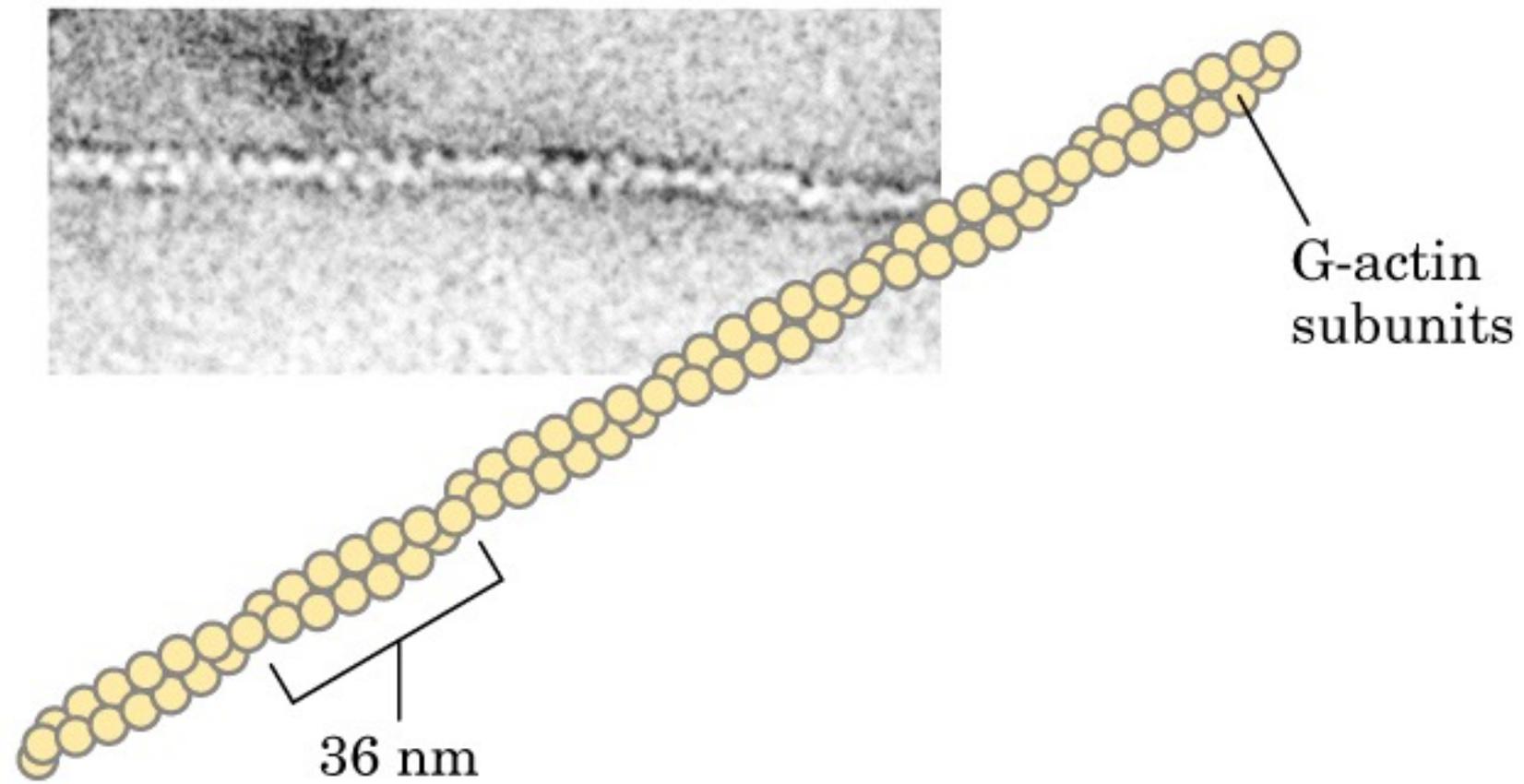
# Filamentos Finos : Actina, Tropomiosina e Troponina



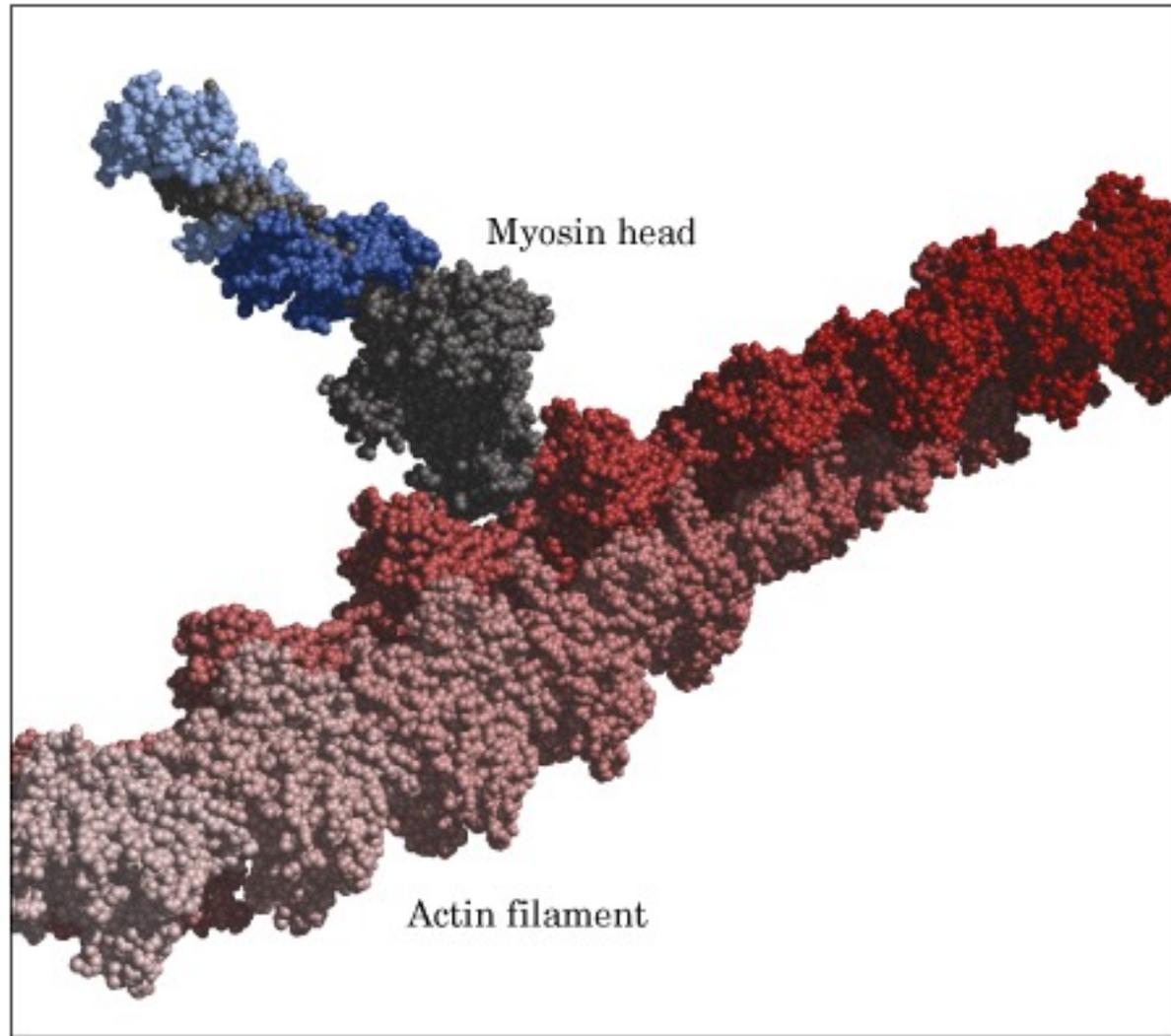
Nas condições celulares os monômeros globulares de actina polimerizam formando fita helicoidal com aspecto de colar de contas aberto.

Cada filamento contém duas dessas fitas enroladas em dupla hélice.





**(b)**



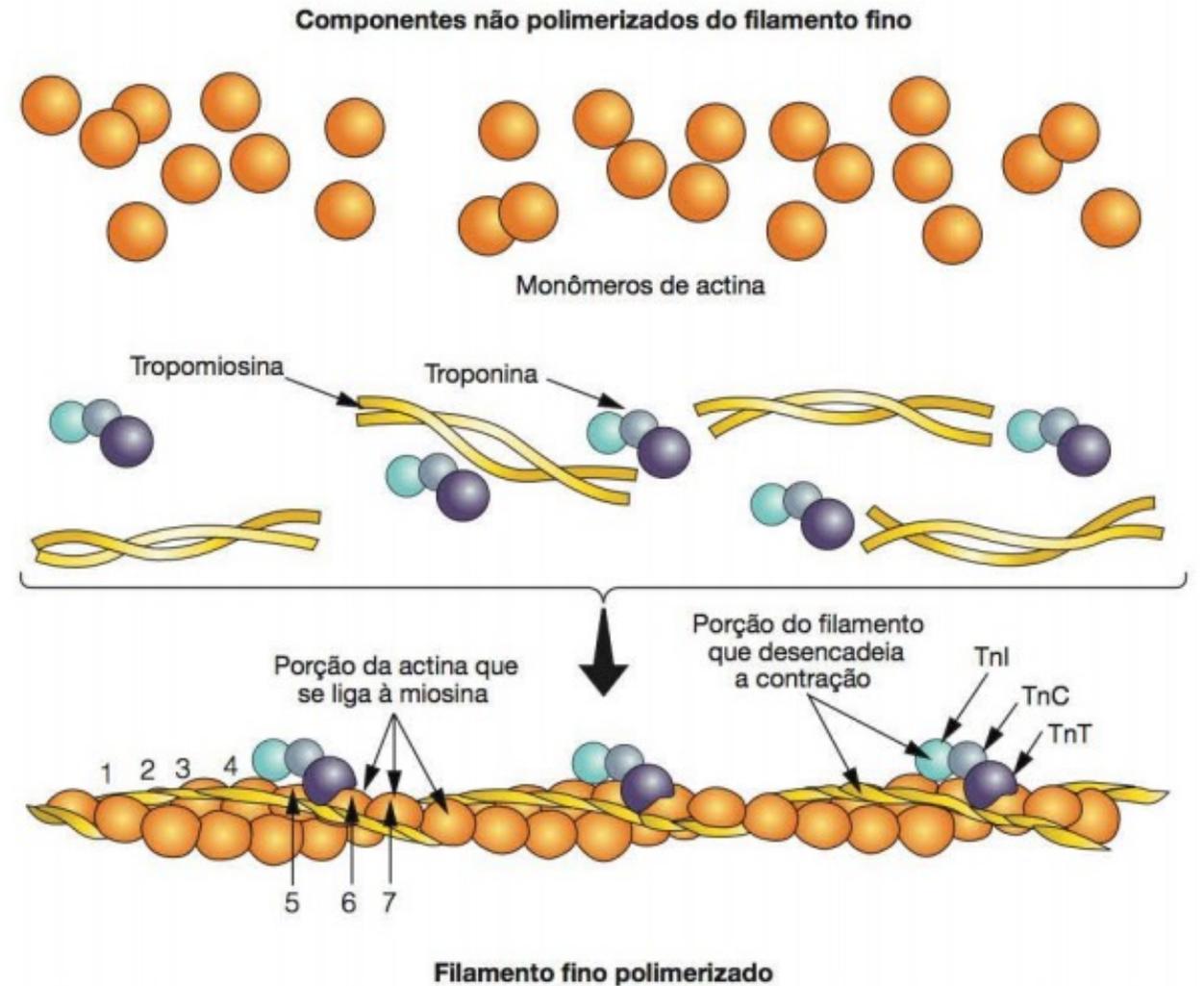
(c)

O filamento fino é composto por três proteínas, a actina, a troponina e a tropomiosina.

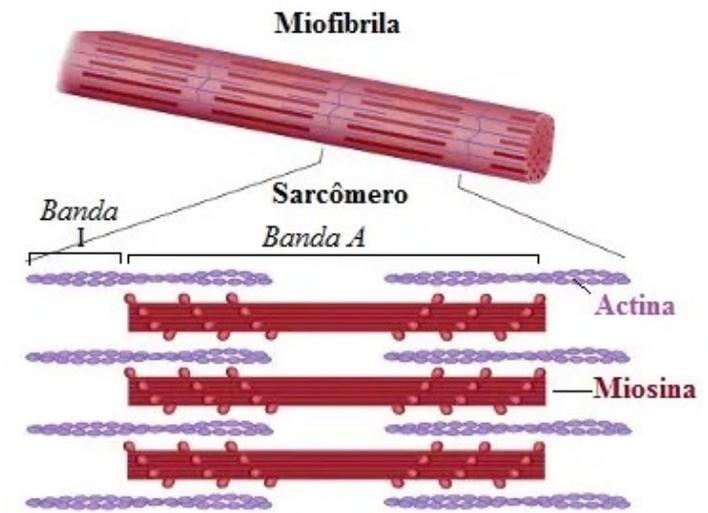
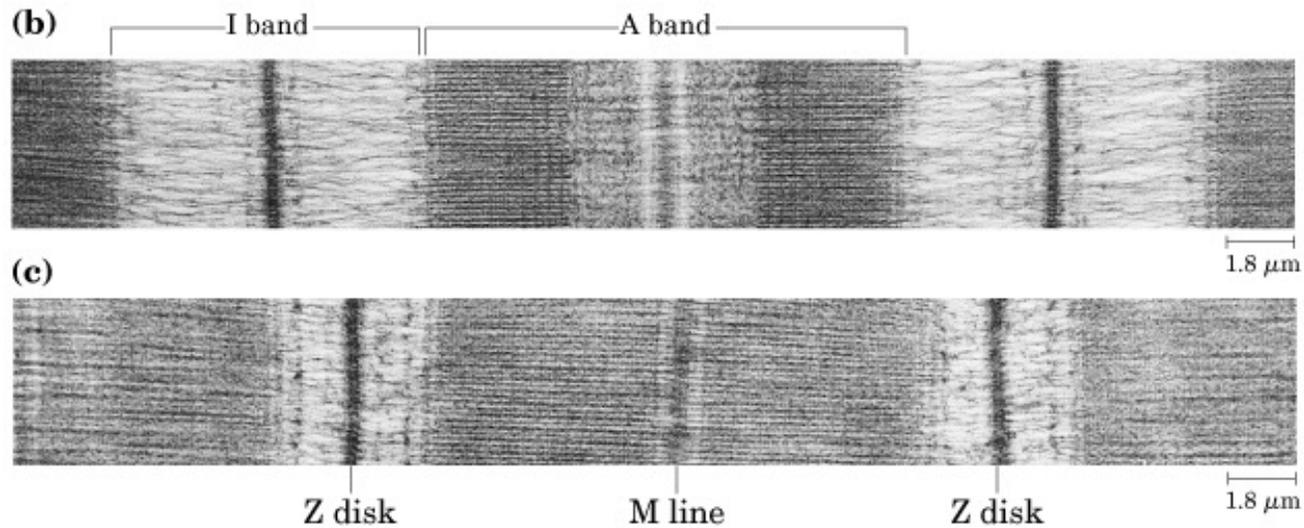
A actina é a molécula central, que polimerizada forma uma dupla hélice e contém os sítios de ligação com a miosina.

A tropomiosina é uma molécula presa à actina de forma espiralada sobre a dupla hélice. A tropomiosina impede a ligação actina/miosina bloqueando o sítio de ligação.

A troponina fica presa à molécula de tropomiosina, e possui três subunidades: uma com afinidade à actina, outra a tropomiosina e uma última ao  $\text{Ca}^{2+}$ , a troponina regula o bloqueio do sítio de ligação feito pela tropomiosina.



## Sarcômero

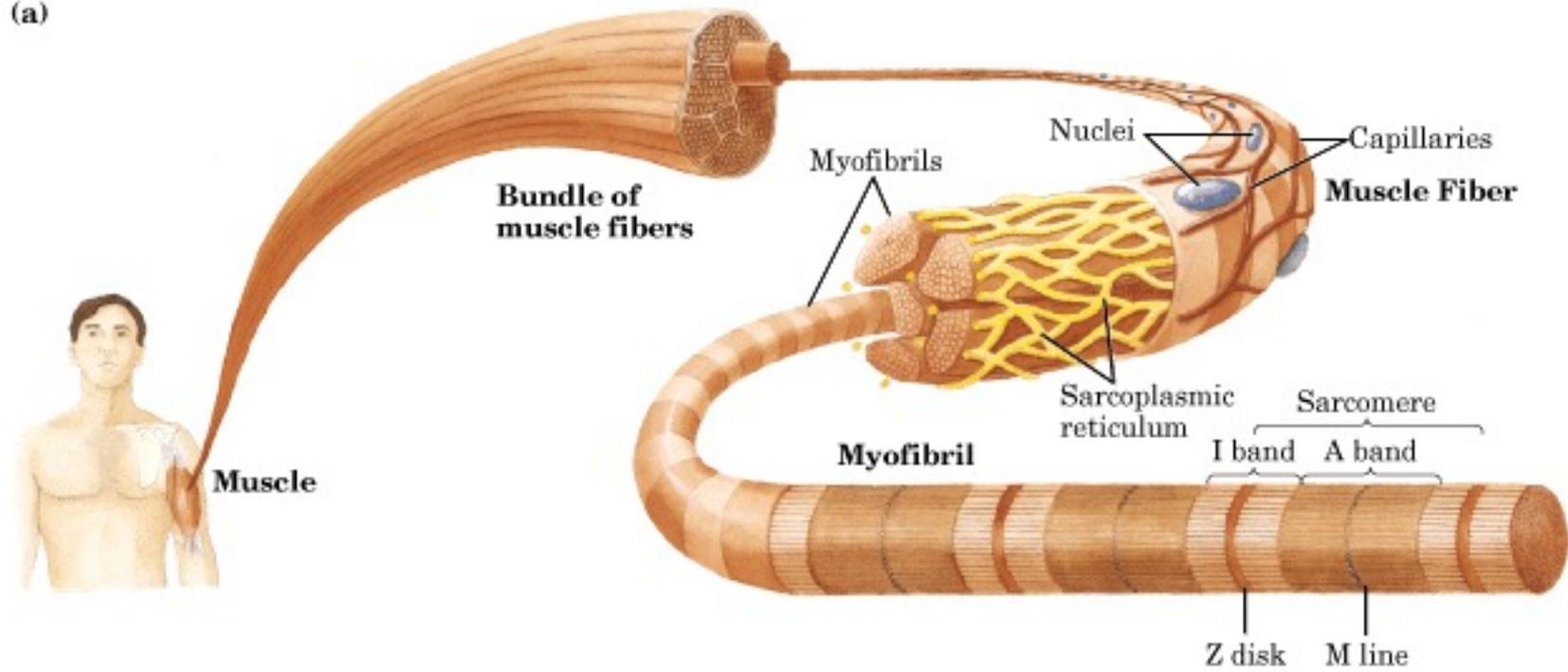


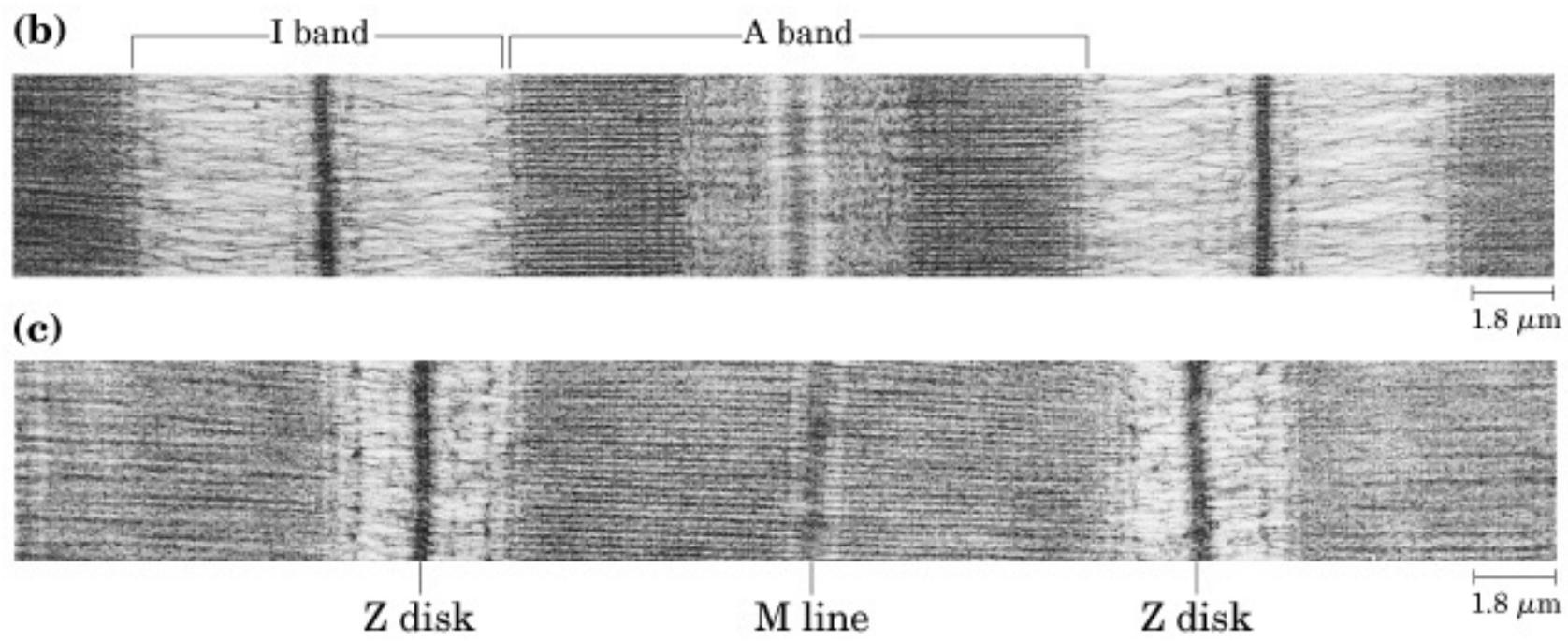
O sarcômero é a unidade contrátil básica das fibras musculares do músculo esquelético. Cada sarcômero é composto por filamentos de proteínas chamados de miofilamentos, e incluem os filamentos grossos de miosina e os filamentos finos de actina. Os feixes de miofilamentos são chamados de miofibrilas.

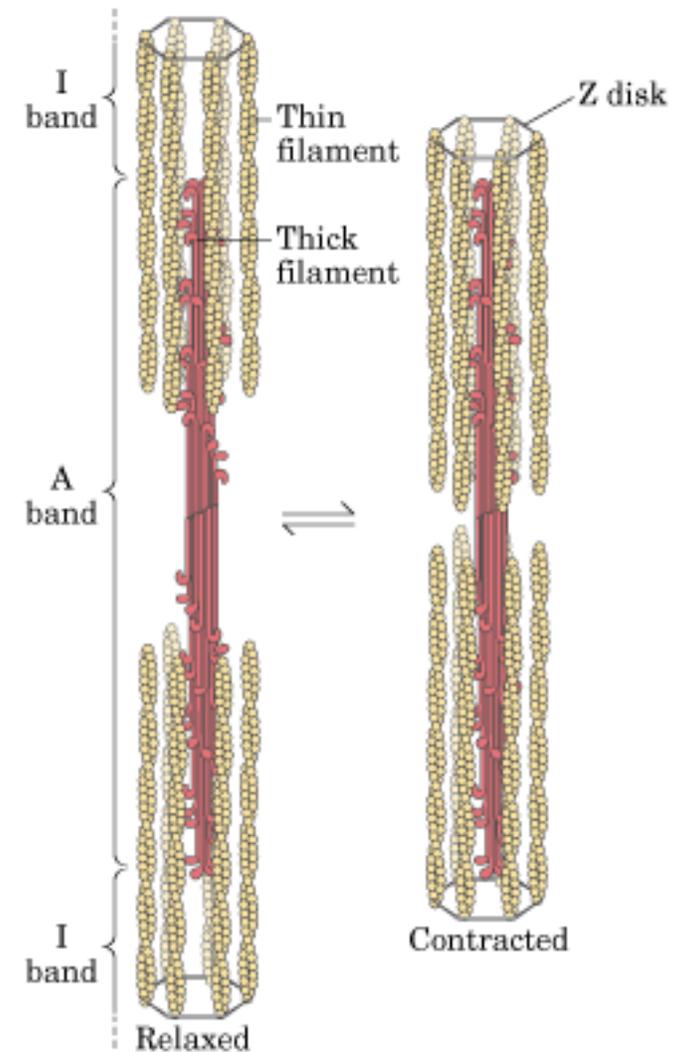
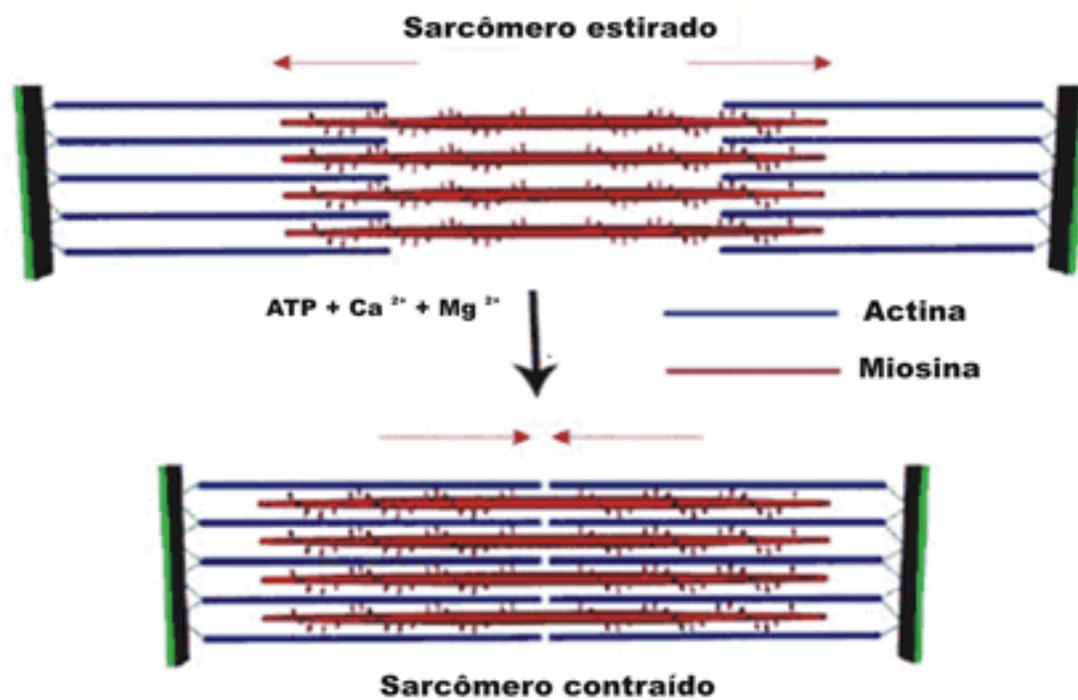
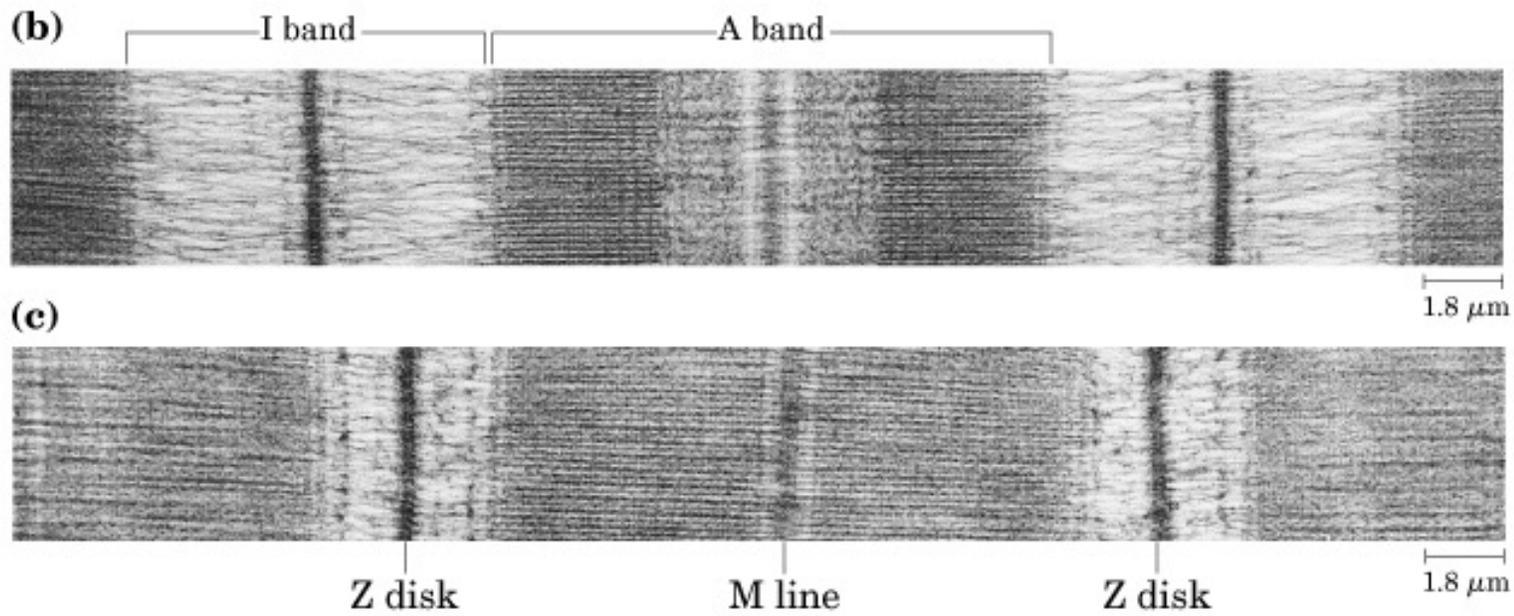
A estrutura do sarcômero é tradicionalmente descrita como bandas escuras e claras visíveis no microscópio. Esse padrão de bandas nos sarcômeros deve-se principalmente ao arranjo dos miofilamentos grossos e finos de cada unidade. Essas bandas incluem:

- Bandas A (ou bandas anisotrópicas) - bandas escuras que englobam todo o comprimento dos filamentos grossos (miosina).
- Bandas I (ou bandas isotrópicas) - bandas claras que contêm apenas filamentos finos (actina) e que se encontram no espaço entre dois filamentos grossos.
- Discos Z - uma área que atravessa as bandas I e marca o ponto de conexão entre dois filamentos de actina adjacentes. Assim, o sarcômero também pode ser descrito como a estrutura entre dois discos Z.
- Linha M - marca o ponto médio do sarcômero, e contém uma proteína chamada de miomesina.
- Zona H - é a área entre a linha M e o disco Z. A zona H contém apenas miosina.

(a)



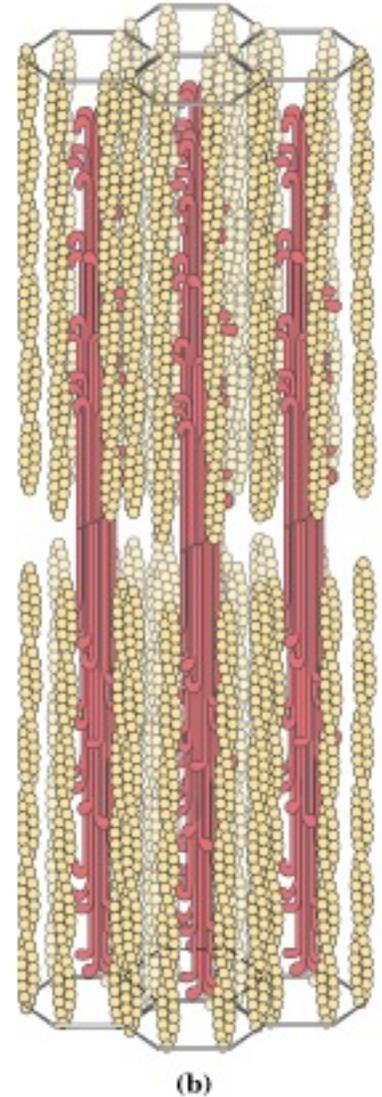


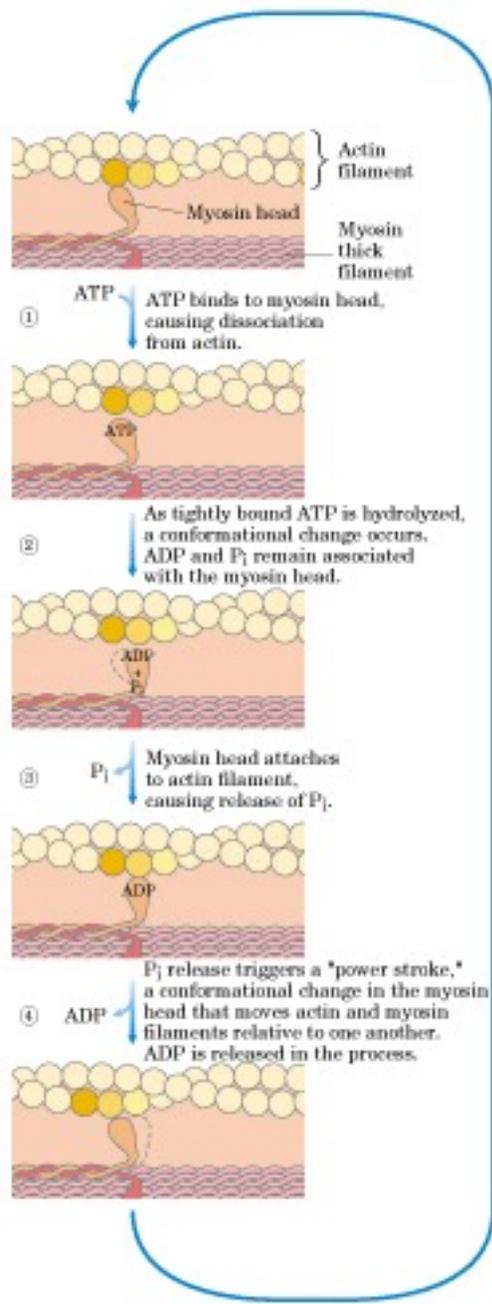


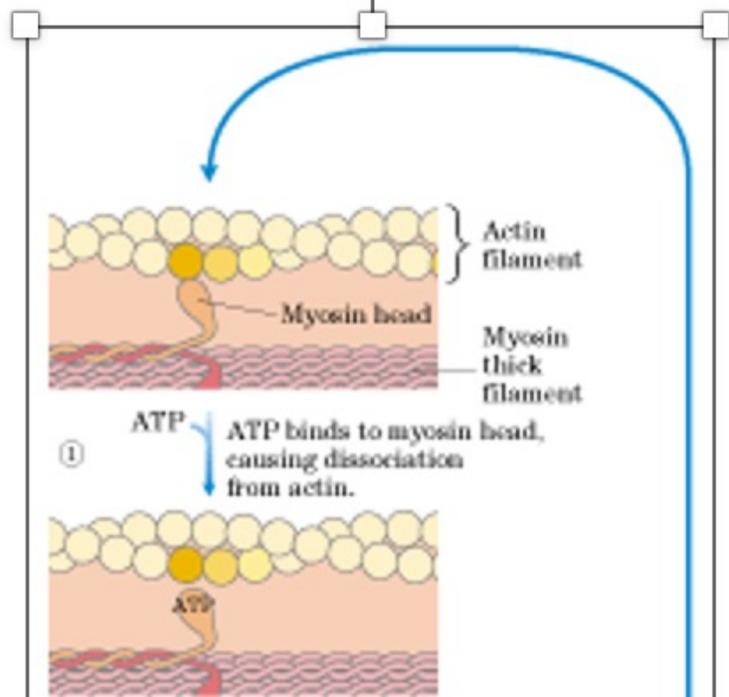
**(a)**

A liberação de cálcio no sarcoplasma inicia a contração muscular que ocorre pelo encurtamento do sarcômero devido ao deslizamento dos filamentos finos entre os grossos.

O Cálcio liga-se a troponina C alterando a conformação da troponina que empurra a tropomiosina mais para o interior do sulco da actina descobrindo os sítios das actinas para a ligação das cabeças de miosina contendo ATP

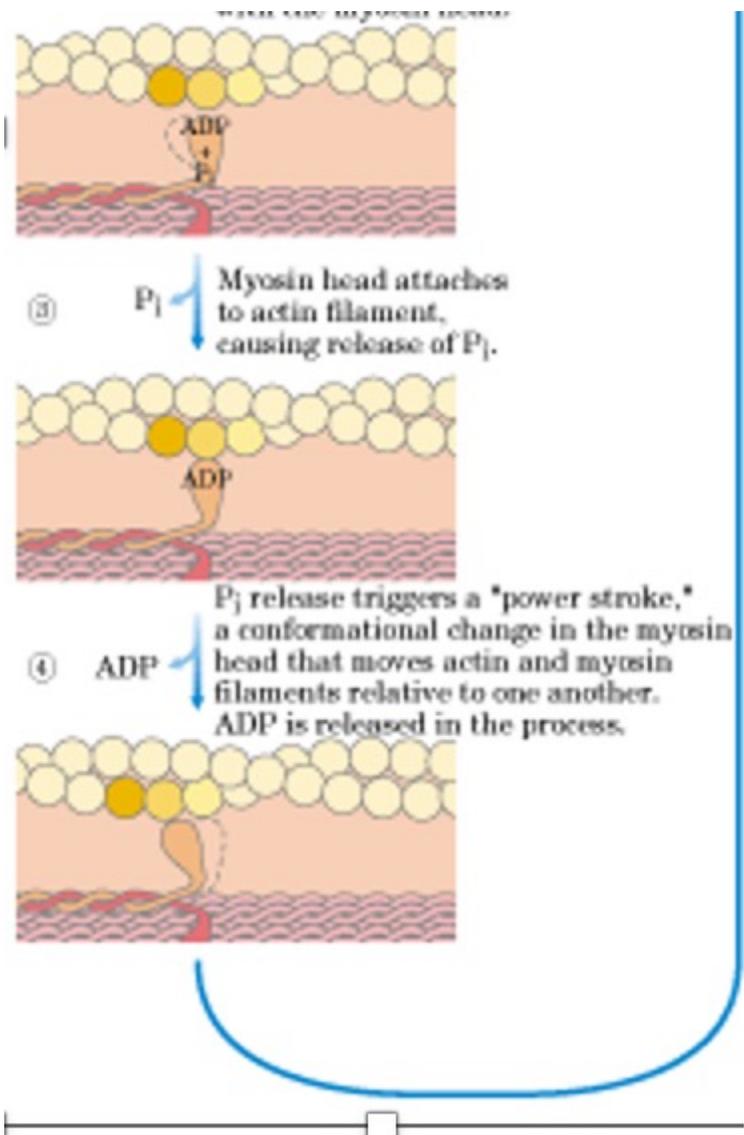






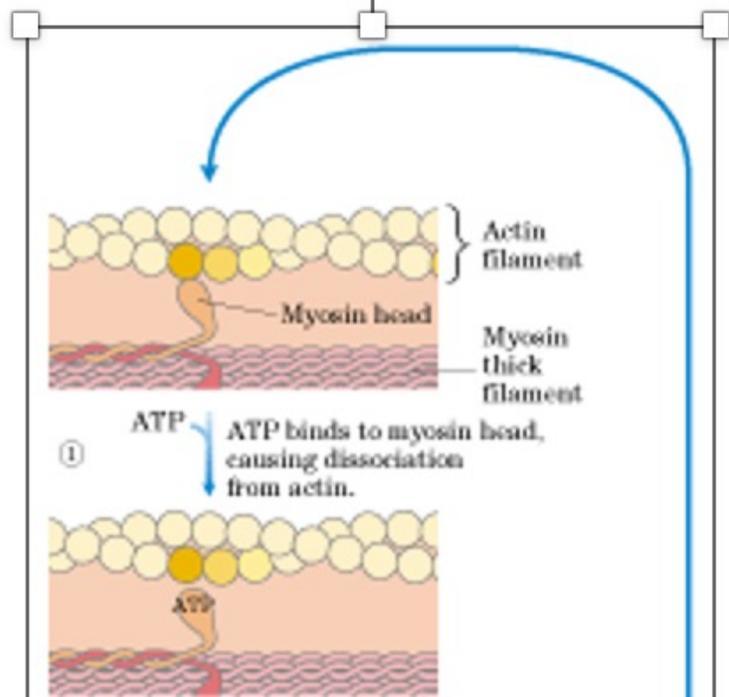
O Calcio liga-se a troponina C alterando a conformação da troponina que empurra a tropomiosina mais para o interior do sulco da actina descobrindo os sítios das actinas para a ligação das cabeças de miosina contendo ATP

A ligação da miosina à actina estimula atividade ATPásica das cabeças de miosina formando ADP + Pi



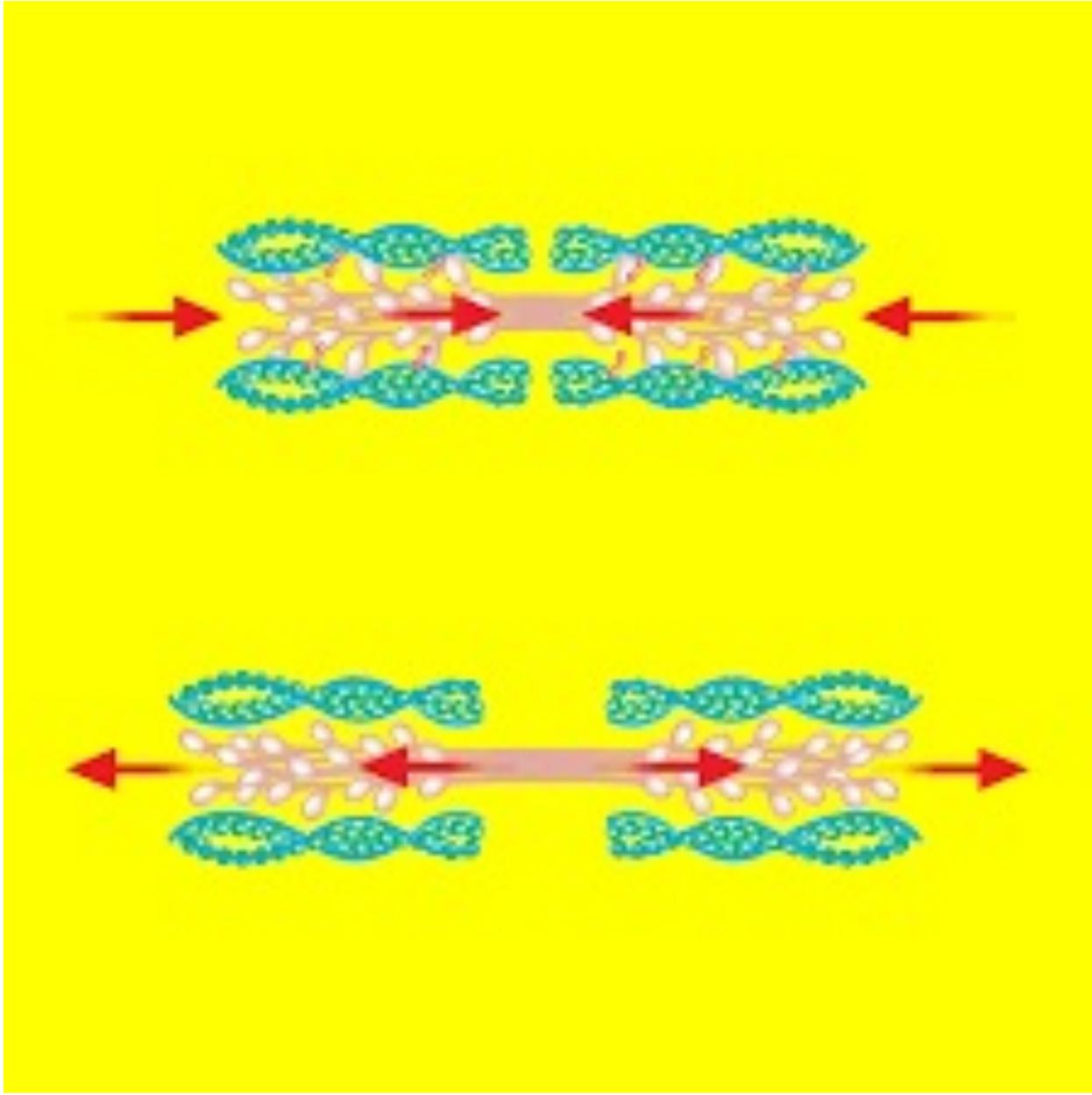
A ligação da miosina à actina estimula atividade ATPásica das cabeças de miosina formando  $ADP + P_i$

A hidrólise de ATP acompanhada pela saída do  $ADP + P_i$  provoca alteração no ângulo de ligação da cabeça de miosina  
E fornece energia para que as cabeças empurrem o filamento fino, como um remo.

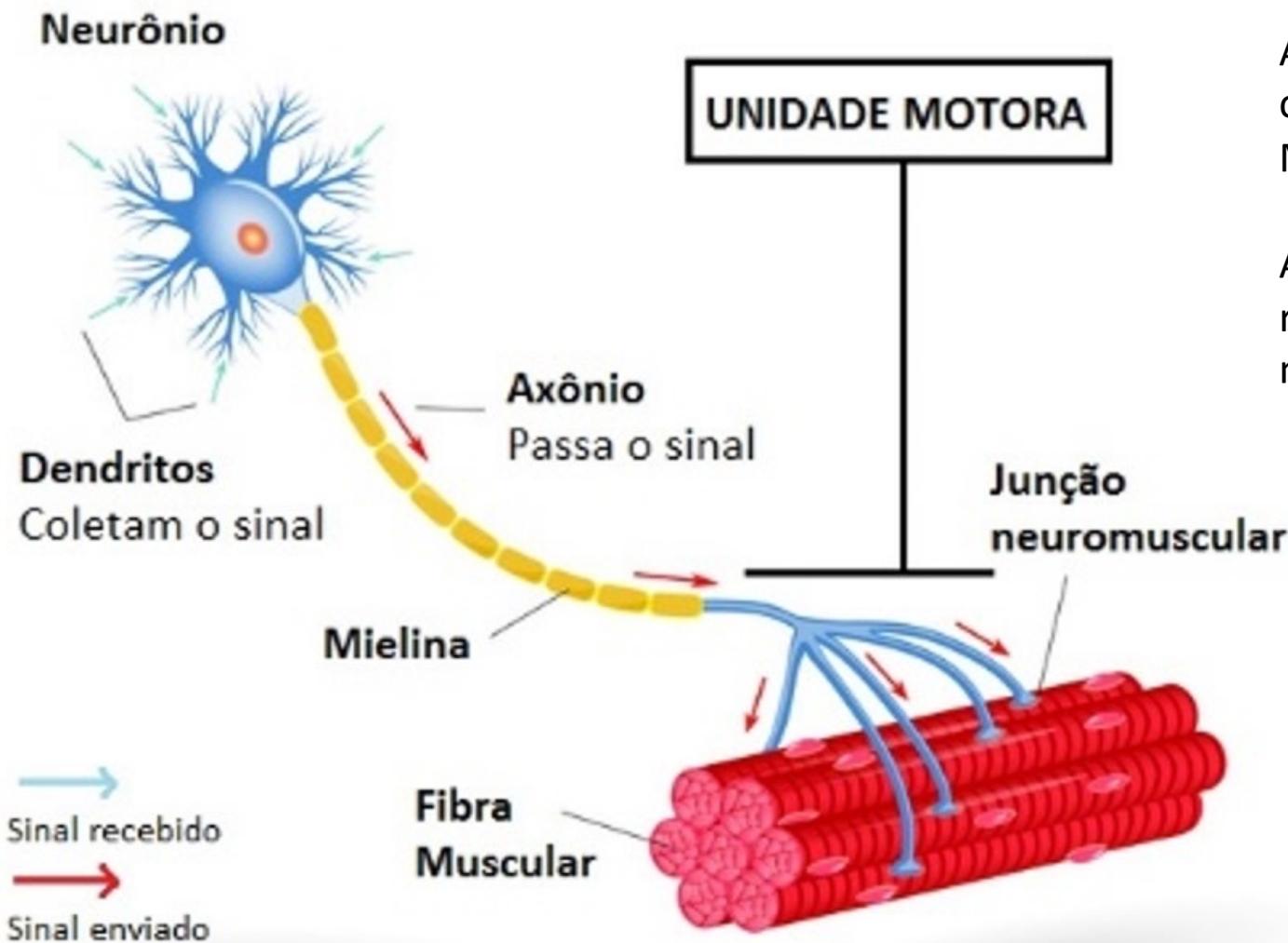


Uma nova molécula de ATP liga-se à cabeça de miosina provocando a separação da actina e iniciando outro ciclo

Cessada a excitação nervosa, os íons cálcio são bombeados para dentro do retículo



# Ca<sup>2+</sup> é o intermediário entre o impulso nervoso e a contração muscular

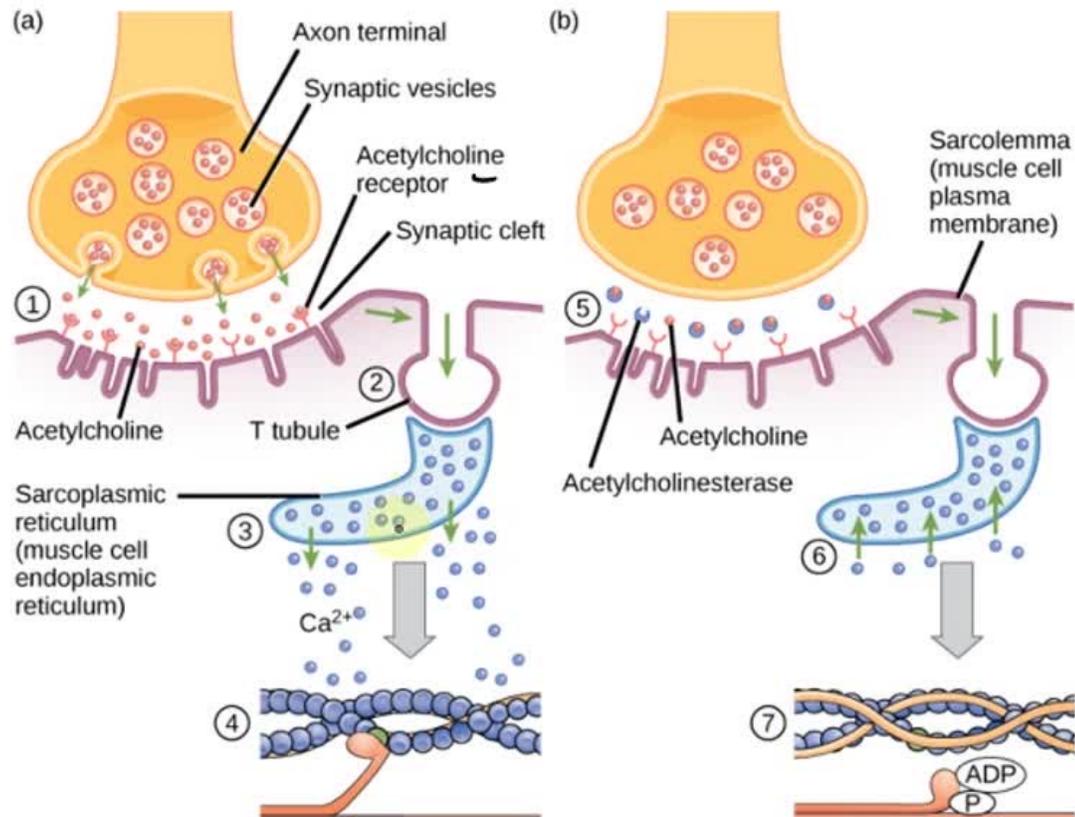


A contração muscular é desencadeada por uma onda de despolarização que se propaga pela Membrana da fibra muscular.

As cisternas do retículo sarcoplasmático responde a mudança don potencial de membrana liberando cálcio

# Neuro-muscular junction

AP  $\rightarrow$   $Ca^{2+}$   $\rightarrow$  muscle contraction



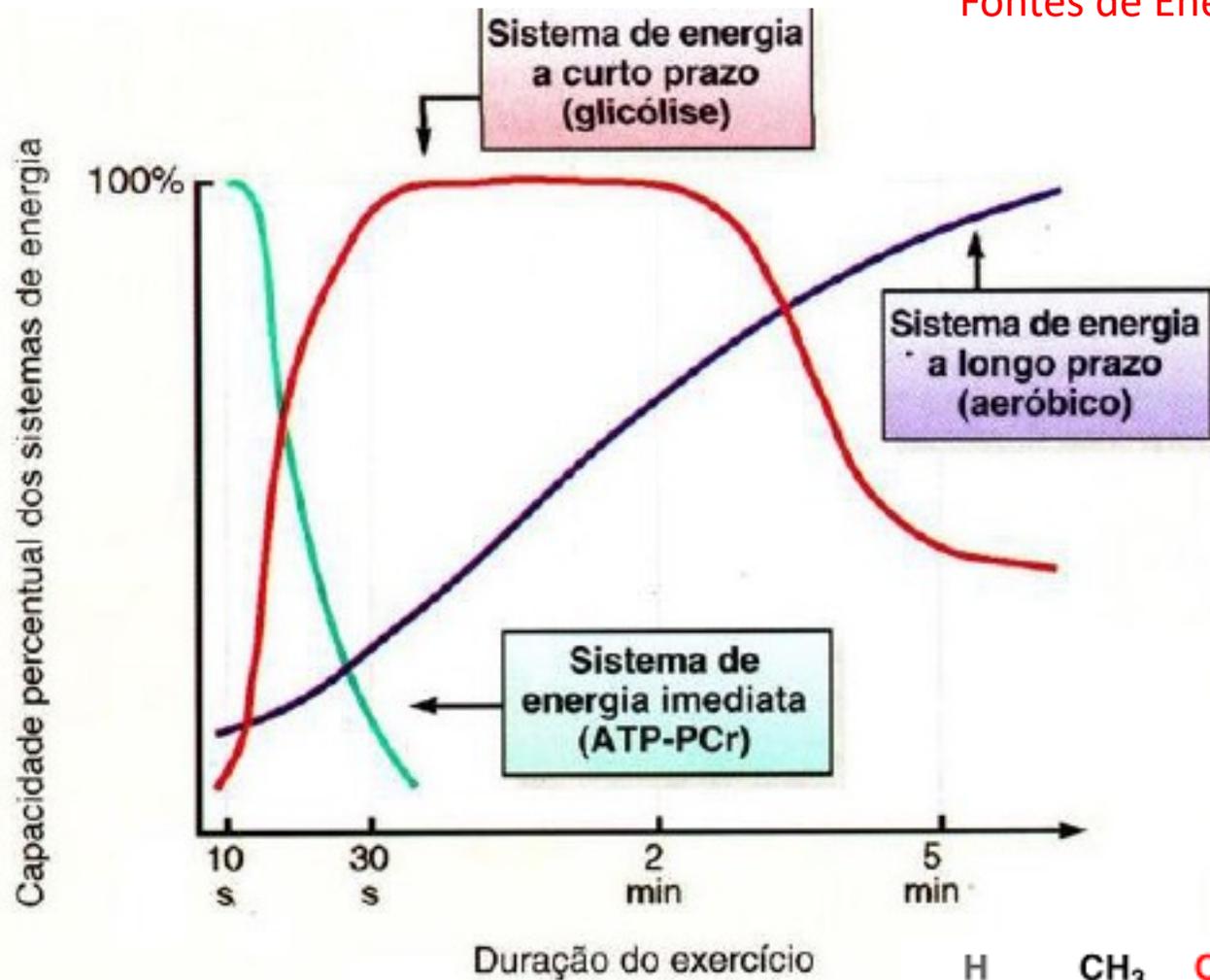
No músculo em repouso a concentração de cálcio no retículo é muito alta 10 mM  
Em relação ao citoplasma  $10^{-7}$  M.

A chegada desse impulso nervoso torna a membrana permeável ao cálcio e o vazamento eleva a concentração para  $10^{-5}$  M

A liberação do cálcio inicia a contração muscular

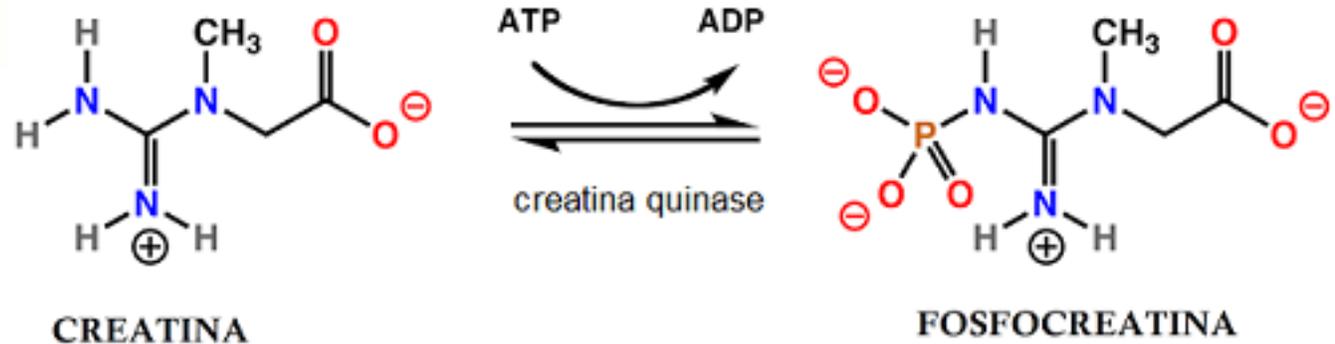
<https://www.youtube.com/watch?v=VoDjmSRkYyk>

## Fontes de Energia para o trabalho Muscular



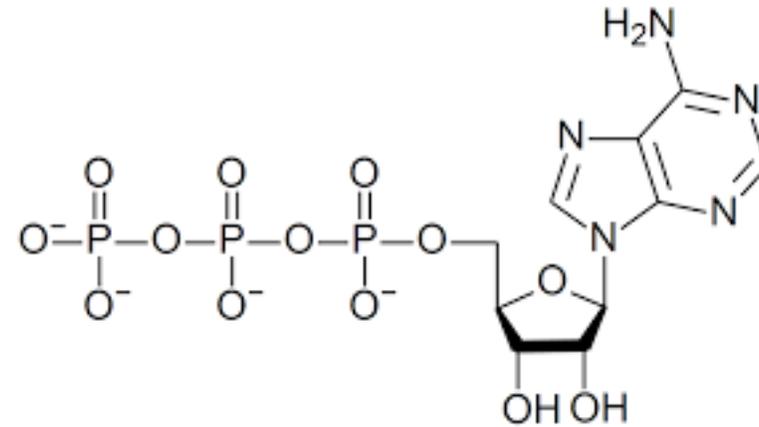
A concentração de **ATP** nos músculos estriados só fornece energia para **1-2 segundos** de atividade intensa

**Fosfocreatina** – reservatório adicional de energia (concentração 3-5 x maior que a de ATP)



# Suprimento imediato de Energia

Sistema ATP-FC (ATP- fosfocreatina )



Esforço máximo e pouco duradouro (6-8 segundos). Processos anaeróbio

Corrida de 100 m rasos

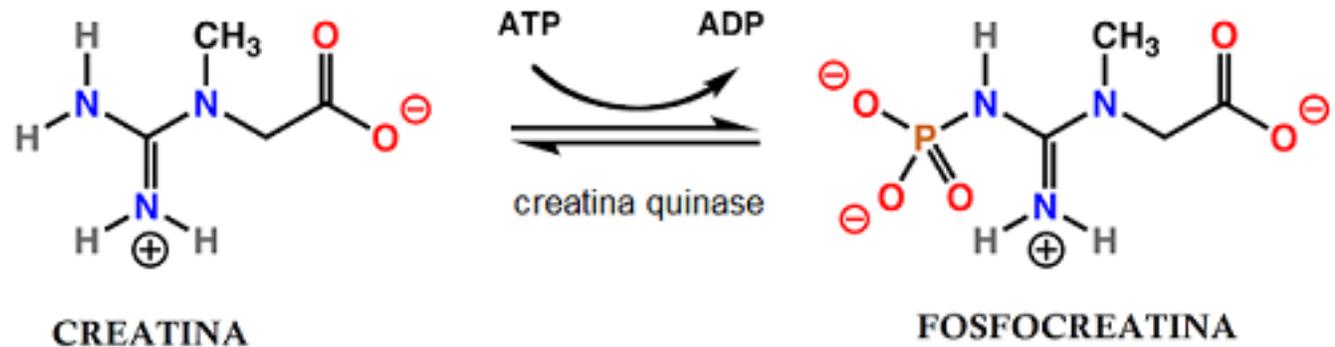
Natação 25 m

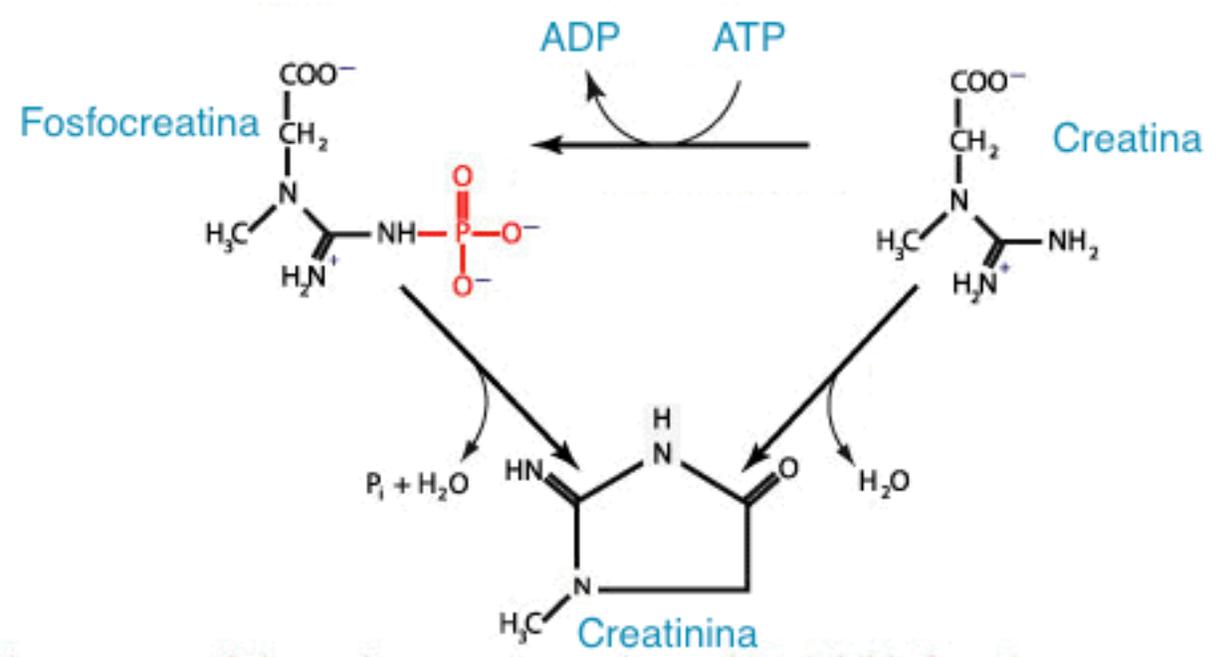
Levantamento de peso

Saque de tênis

Salto em altura

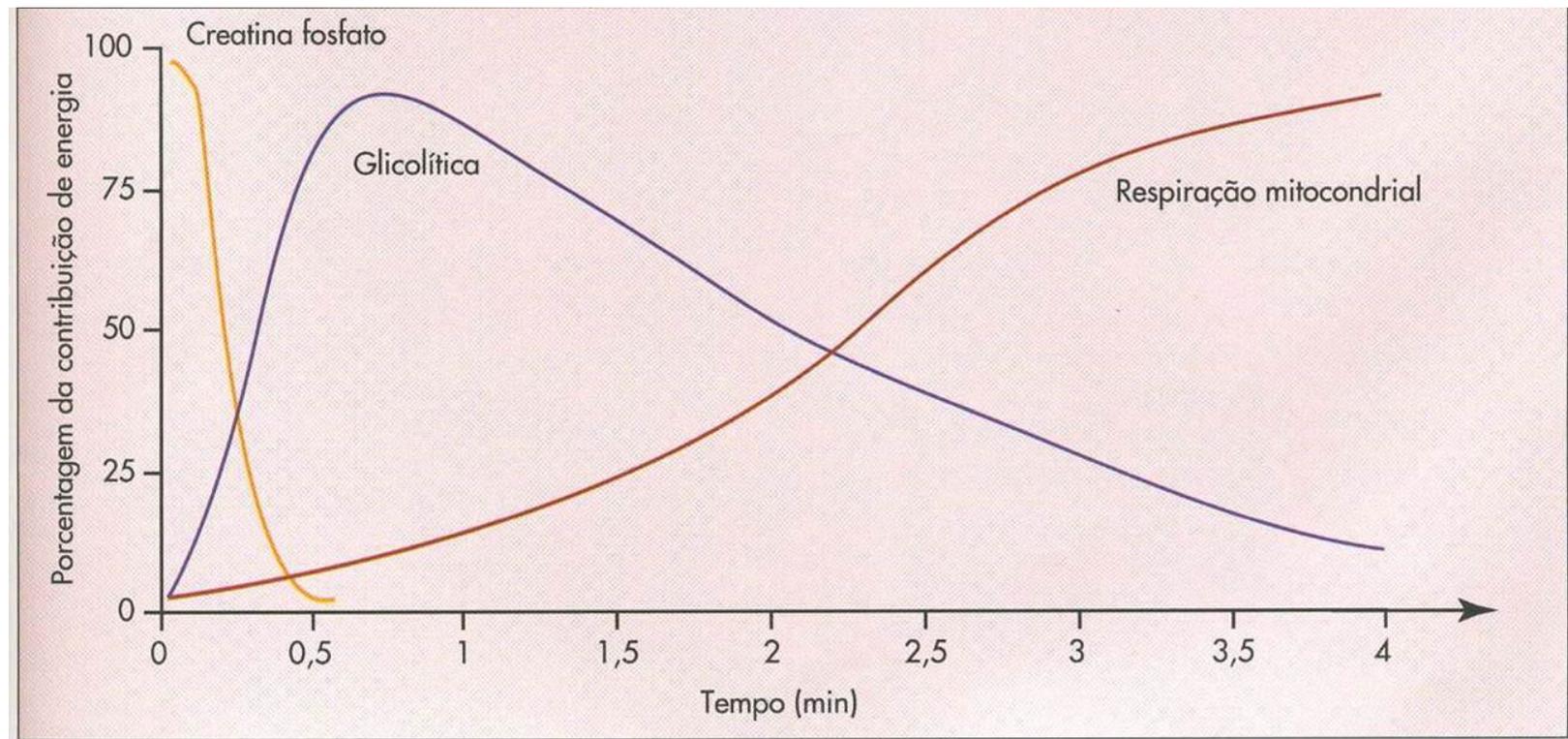
Chute de futebol





## Glicogênio muscular

A degradação do glicogênio é estimulada por  $\text{Ca}^{2+}$  ou por adrenalina



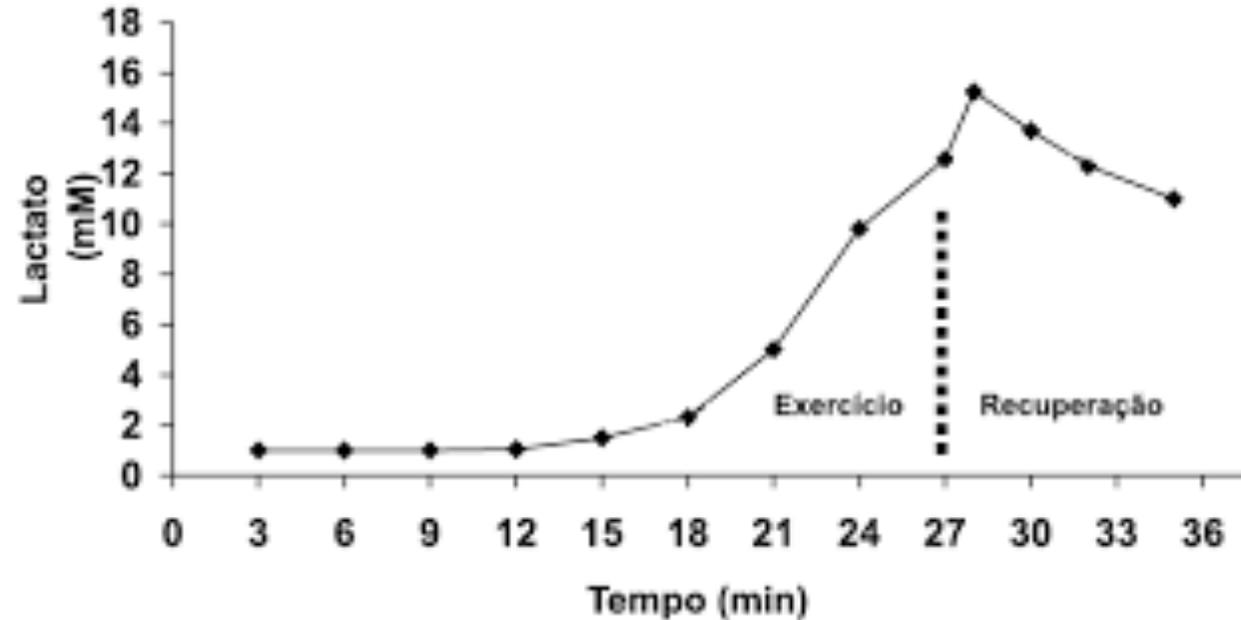
A degradação do glicogênio é anaeróbica no início uma vez que a reserva de oxigênio não aumenta de forma imediata

Músculo passa do repouso para o exercício intenso:

Consumo de oxigênio aumenta 25 x

ATP Hidrolisado chega a aumentar 120 x

# Glicólise anaeróbica originada no glicogênio produz Lactato e H<sup>+</sup>

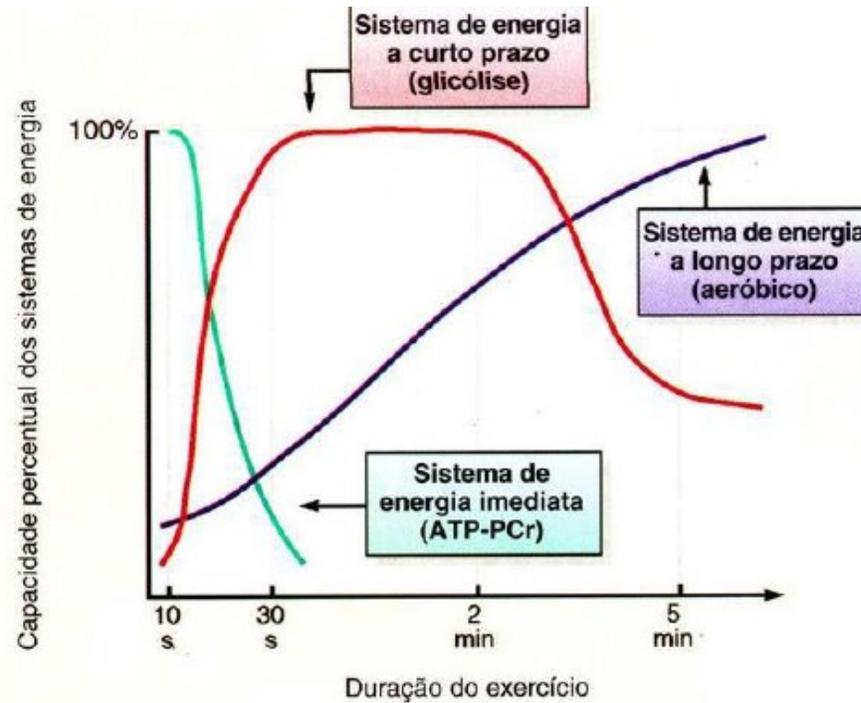


Valor máximo 40-50 s após início do esforço muscular intenso

A glicólise anaeróbica que tem baixo rendimento de ATP consome rapidamente o glicogênio muscular e é utilizada para exercícios intensos de duração 1-2 minutos

Corrida de 100 -1000 m rasos , natação de 100-200 m

A medida que os sistemas respiratórios e circulatórios são ativados a glicólise anaeróbica vai sendo substituída pela aeróbica



A ação da adrenalina no tecido adiposo libera ácidos graxos. A oxidação de ácidos graxos assume papel importante

Após 3 min de exercício vigoroso- metabolismo aeróbico

Ciclismo, maratona, esqui

<b>Sistema</b>	<b>Necessidade de O<sub>2</sub></b>	<b>Fonte de energia</b>	<b>Quantidade de ATP</b>	<b>Velocidade de síntese de ATP</b>
ATP-PC ou Fosfagênio	Não	Fosfocreatina	Muito limitada	Muito Alta
Anaeróbio Lático	Não	Glicogênio	Limitada	Alta
Aeróbio	Sim	Glicogênio Gordura Proteína	Ilimitada	Baixa / Lenta