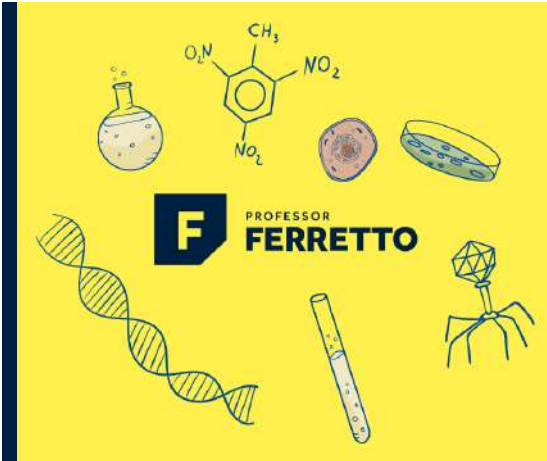


Biologia

PROFESSOR FLÁVIO LANDIM

TECIDO MUSCULAR



ASSUNTOS DA AULA.

Clique no assunto desejado e seja direcionado para o tema.

- [Fibra muscular ou miócito](#)
- [Tipos de tecido muscular](#)
- [Tecido muscular estriado esquelético](#)
- [Tecido muscular estriado cardíaco](#)
- [Tecido muscular liso](#)
- [Músculos](#)
- [Energia para a contração](#)

O **tecido muscular** é responsável pelos **movimentos corporais**, sendo constituído por células alongadas e altamente diferenciadas, caracterizadas pela presença de grande quantidade de filamentos citoplasmáticos proteicos responsáveis pela contração. Estas células são chamadas **fibras musculares** ou **miócitos**.

O tecido muscular não é responsável apenas pelo movimento de membros relacionados à locomoção ou apreensão de objetos. Ele vai movimentar vísceras, promover contração de ductos de glândulas, bem como promover qualquer outra forma de movimento no organismo animal.

Origem embrionária

Todos os tipos de tecido muscular são derivados da mesoderme.

FIBRA MUSCULAR OU MIÓCITO

A célula muscular é tão diferenciada que apresenta um conjunto de termos exclusivamente relativos a ela, sendo a mesma denominada **fibra muscular** ou **miócito**. Assim, a membrana plasmática da fibra muscular recebe a denominação de **sarcolema** (do grego *sarx*, 'carne' e *lemma*, 'membrana'), o citoplasma recebe a denominação de **sarcoplasma** e o retículo endoplasmático é chamado **retículo sarcoplasmático**.

A fibra muscular apresenta em sua estrutura proteínas dispostas a formar miofibrilas contráteis. Essas miofibrilas são conjuntos de **miofilamentos** de proteínas contráteis, **actina** e **miosina**, e preenchem praticamente todo o sarcoplasma.

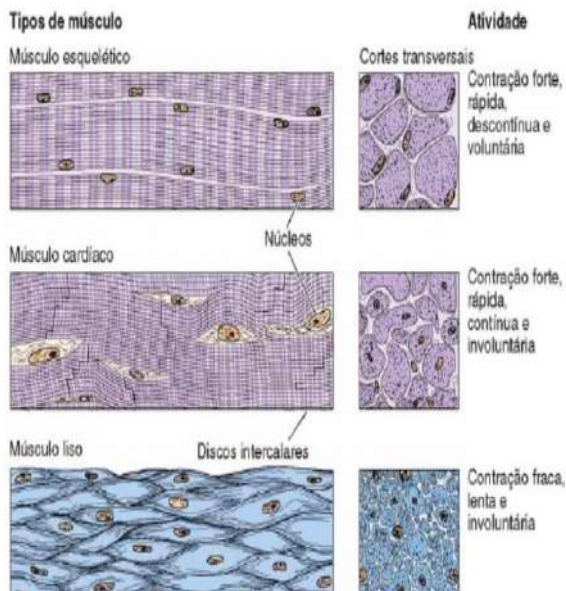
Um indivíduo nasce com todas as fibras musculares as quais ele irá dispor por toda a vida. Em outras palavras, como o tecido muscular é formado por célula bastante diferenciadas, ele é incapaz de ser formado pelo organismo adulto. Assim, um bebê e um adulto têm as mesmas quantidades de fibras musculares. A diferença é que, à medida que o indivíduo vai se desenvolvendo, novas miofibrilas são formadas nas fibras musculares, promovendo seu desenvolvimento.

O estímulo constante à musculatura pode levar a sua hipertrofia por formação de um maior número de miofibrilas ainda. É o que acontece em praticantes de musculação ou outra atividade física que leve à carga concentrada em algum músculo. Entretanto, esses estímulos não levam ao aumento do número de fibras musculares.

Como a atividade muscular requer muita energia, as fibras musculares apresentam um **condríoma** (conjunto de mitocôndrias) bem desenvolvido. Para fornecer combustível para o funcionamento das mitocôndrias, há acúmulo de substâncias de reserva energética, principalmente representando por **glicogênio**, um polímero de glicose.

TIPOS DE TECIDO MUSCULAR

Existem três tipos de tecido muscular, que são o **tecido muscular estriado esquelético**, associado ao movimento do esqueleto, o **tecido muscular estriado cardíaco**, presente somente no coração e associado ao movimento de batimentos cardíacos, e o **tecido muscular liso**, presente nas vísceras corporais, como vasos sanguíneos e intestino.



Desenho esquemático ilustrando os três tipos de músculo. À esquerda, o aspecto desses tecidos vistos em cortes longitudinais e, à direita, em cortes transversais.

TECIDO MUSCULAR ESTRIADO ESQUELÉTICO

O **músculo estriado esquelético** apresenta as proteínas contráteis das miofibrilas dispostas sempre numa mesma direção, o que faz com que sua contração se dê numa só direção sempre. Estas miofibrilas organizadas promovem o aparecimento de **estriações transversais** em sua estrutura. É ele que se encontra ligado aos ossos, sendo pois responsável pelo movimento dos membros, locomoção, apreensão de objetos, etc.

É uma musculatura de **contração rápida, forte e voluntária**. O controle da contração deste tipo de músculo é feito pelo córtex cerebral através do **sistema nervoso voluntário**.

A contração do músculo estriado esquelético é **descontínua**, exigindo períodos de repouso para a musculatura evitar o processo de fadiga muscular.

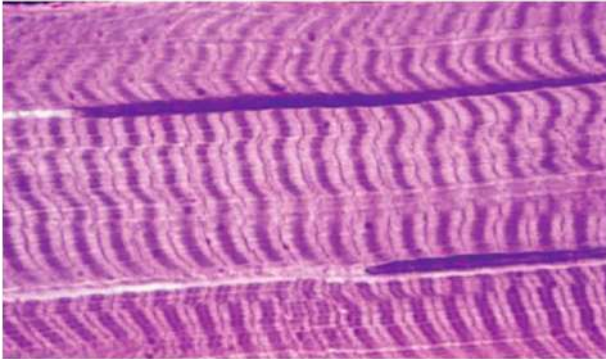
Este tipo de músculo é altamente diferenciado, sendo incapaz de realizar mitose. Entretanto, através de células satélites presentes nos músculos, pode haver mitose e fusão de células formando novas fibras estriadas. Esta capacidade de regeneração, entretanto, é bastante limitada.

A fibra muscular estriada esquelética é **cilíndrica** e bastante **longa**, podendo chegar a 30 cm de comprimento. Essa fibra muscular estriada é **multinucleada**, com **núcleos periféricos**.

Os vários núcleos que aparecem na fibra estriada correspondem a um **sincício**. Ou seja, no início da formação da fibra muscular, tem-se várias células dispostas em fileira. À medida que há a diferenciação, as membranas entre as células desaparecem, formando a fibra muscular multinucleada.

A necessidade de vários núcleos é explicada pela grande extensão da fibra muscular estriada esquelética.

A fibra muscular estriada esquelética apresenta **cor vermelha**, devido à presença da proteína **mioglobina**. A mioglobina contém ferro e serve para acumular oxigênio na fibra muscular enquanto há a atividade muscular, permitindo uma atividade prolongada. Se não houvesse essa proteína, a musculatura estriada esquelética não poderia manter a atividade respiratória aeróbica por muito tempo, faltando energia para a contração muscular.



Fotomicrografia óptica de músculo estriado esquelético. As estriações transversais ocorrem pela alternância de bandas A (escuras) e bandas I (claras) dos sarcômeros, unidades básicas da contração nessas fibras.

TECIDO MUSCULAR ESTRIADO CARDÍACO

O **músculo estriado cardíaco** também apresenta as proteínas contráteis das miofibrilas dispostas sempre numa mesma direção, havendo também contração numa só direção e a presença das **estriações transversais**. As fibras, porém, não são tão organizadas como na musculatura esquelética. Este tipo de tecido muscular se encontra presente apenas no **miocárdio**, o músculo formador do coração e responsável pelos batimentos cardíacos.

É uma musculatura de contração **rápida, forte, involuntária e rítmica**. O controle dos batimentos cardíacos é realizado pelas próprias fibras musculares cardíacas, ou seja, ele é autógeno. Isso ocorre porque as fibras cardíacas são modificadas de maneira que são capazes de gerar impulsos elétricos, como os impulsos nervosos, que permite este controle. Apesar de toda fibra cardíaca ter essa capacidade de gerar impulsos elétricos, esses são gerados numa região do coração denominada **marca-passo**, que controla o ritmo de batimentos cardíacos. O sistema nervoso autônomo pode influenciar estes batimentos, acelerando ou retardando o ritmo. Entretanto, o controle é feito pelas próprias fibras cardíacas do marca-passo.

Ao contrário do músculo esquelético, que exige períodos de repouso durante sua atividade, o músculo cardíaco possui uma **contração contínua e incessante**, mantida durante toda a vida do indivíduo, não estando sujeita à fadiga.

Este tipo de músculo também é bastante diferenciado, sendo incapaz de ser novamente formado no indivíduo adulto e de realizar mitose. As células danificadas são substituídas por tecido conjuntivo cicatricial.

A **fibra muscular estriada cardíaca** é **cilíndrica e curta**. Ela é **uni** ou **binucleada**, com **núcleo** ou **núcleos centrais**.

Uma característica particular da musculatura cardíaca é que ela apresenta suas **células anastomosadas** (isto é, ligadas) entre si através de estruturas denominadas **discos intercalares**. Estes discos intercalares permitem a troca de íons e outras substâncias e também uma rápida passagem do impulso elétrico gerado pelo marca-passo de uma célula para outra (sem a necessidade de uma sinapse como ocorre para a passagem de impulso nervoso de um neurônio a outro). Essa passagem rápida do impulso elétrico permite uma contração rápida e uniforme do miocárdio como um todo, aumentando a eficiência de contração e bombeamento do coração.

A fibra muscular estriada cardíaca também é dotada de mioglobina em grandes quantidades, o que confere a ela cor vermelha.

Tome nota:

TECIDO MUSCULAR LISO

O **músculo liso** apresenta miofibrilas dispostas em várias direções, o que faz com que este tipo de músculo se contraia em todas as direções. Pelo fato das miofibrilas não estarem organizadas numa mesma direção, **não aparecem as estriações transversais** e este músculo apresenta-se liso. Este tipo de tecido muscular é encontrado nas vísceras, sendo responsável pela motilidade do

tubo digestivo (movimentos peristálticos), ação de secreção de glândulas, e outros movimentos involuntários.

É uma musculatura de contração **fraca, lenta e involuntária**. O controle desta contração é **realizado pelo sistema nervoso autônomo**.

Este tipo de músculo não é tão diferenciado, sendo capaz de regenerar-se. Quando lesado, as

células remanescentes entram em mitose e formam novas fibras lisas.

A fibra muscular lisa é **fusiforme e curta** (cerca de 200 mm; comparada com células não musculares, ela até seria considerada uma célula longa), sendo **uninucleada** com **núcleo central**. Como não possui muita mioglobina, ela apresenta uma **cor esbranquiçada**.

CONTRAÇÃO MUSCULAR NA FIBRA ESTRIADA ESQUELÉTICA: TEORIA DA CATRACA DE HUXLEY

A unidade contrátil da fibra muscular estriada esquelética é o **sarcômeros** ou **miômeros**, que aparece devido à organização das miofibrilas, que também é responsável pela estriação deste tipo de tecido muscular. Estas miofibrilas (os sarcômeros são regiões das miofibrilas) são formadas por **miofilamentos**, isto é, filamentos de proteínas contráteis como a **miosina** e a **actina**.

Existem dois tipos de miofilamentos no sarcômeros, os **miofilamentos espessos** e os **miofilamentos finos** ou **delgados**.

- Os **miofilamentos espessos** são formados pela **miosina** e são fixos no sarcômero. A miosina possui em sua estrutura uma projeção lateral denominada **cabeça** ou **ponte cruzada**, dotada de **atividade ATPásica**, isto é, capaz de quebrar ATP para fornecer energia para a contração muscular.
- Os **miofilamentos delgados** podem mover-se no sarcômero e são formados por três proteínas diferentes, a **actina** (proteína globular, que forma a base da miofibrila leve, através de várias proteínas em fila, como um colar de contas), a **troponina** (proteína globular de natureza reguladora, que se dispõe em intervalos regulares ao lado das actinas e onde se liga o cálcio no processo de contração) e a **tropomiosina** (proteína fibrosa que se dispõe ao longo da cadeia de actinas, obstruindo o sítio de ligação entre actina e miosina na actina).

Tome nota:

A disposição dos miofilamentos espessos e delgados é mostrada a seguir.

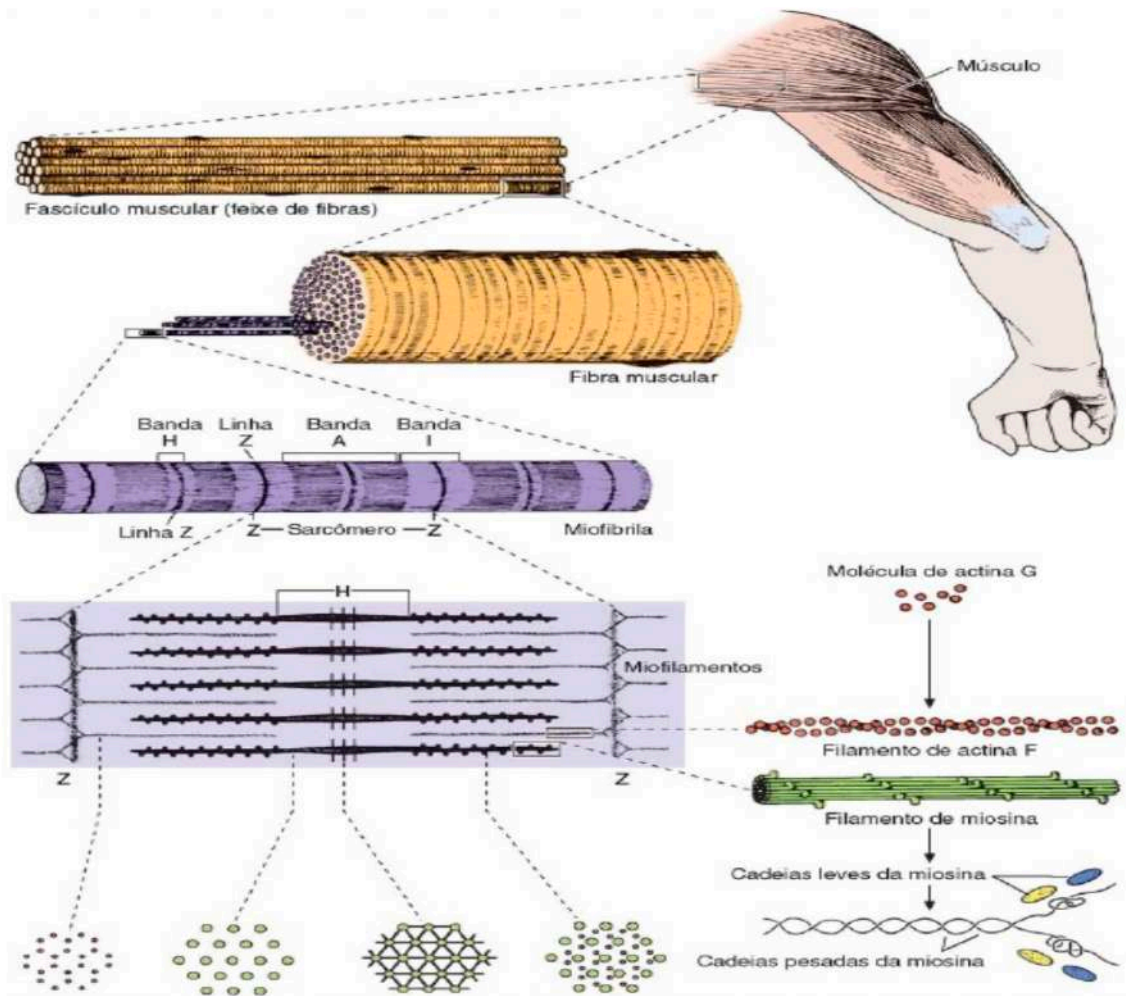
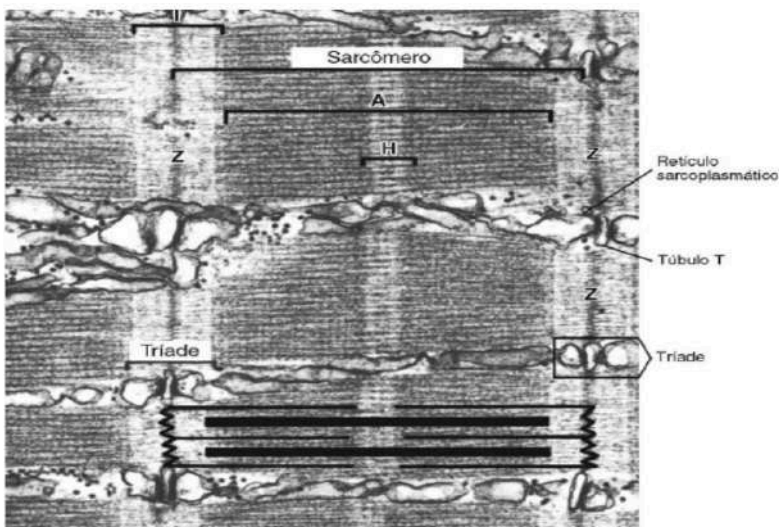


Diagrama ilustrando a estrutura e a posição dos filamentos finos e grossos do sarcômero, com sua estrutura molecular mostrada à direita.



Fotomicrografia eletrônica de músculo estriado, com sarcômero em detalhe.

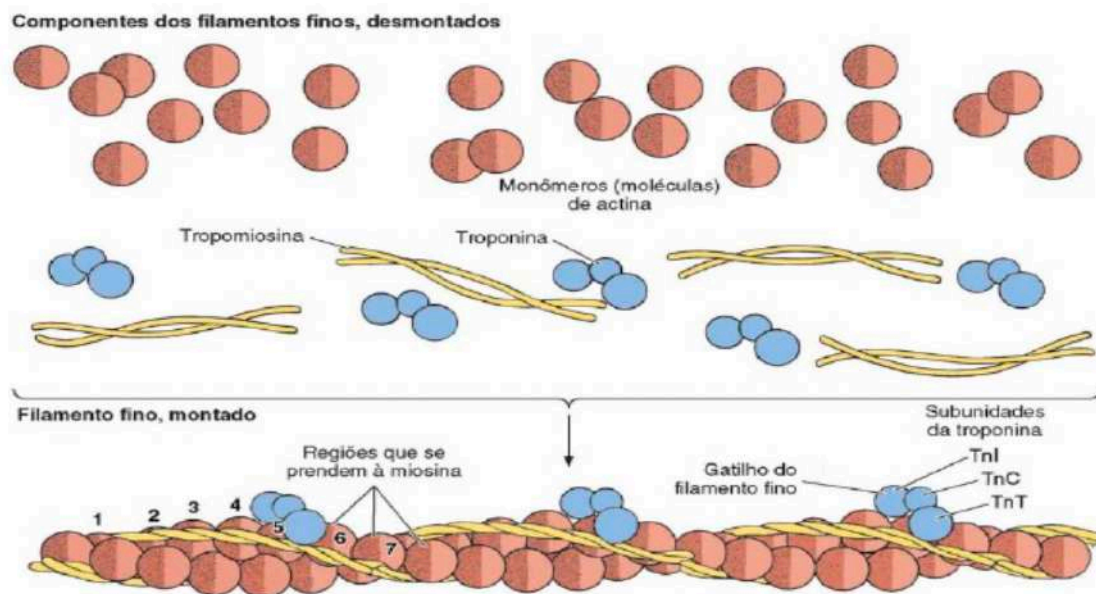
Tome nota:

O sarcômero está disposto de tal maneira que podem ser diferenciadas algumas regiões. A **faixa A**, ou **anisotrópica**, é formada por miofilamentos espessos e delgados intercalados. No meio da faixa A há uma região contendo apenas miofilamentos espessos, a **zona H**. No meio da zona H, ocorre uma **linha M (ou banda M)** com proteínas que ajudam a manter o posicionamento dos miofilamentos de miosina no sarcômero. A **faixa I**, ou **isotrópica**, é formada por miofilamentos delgados apenas. No meio da faixa I há uma estrutura proteica, denominada **linha Z**, que corresponde ao limite entre dois sarcômeros adjacentes.

A contração muscular é proporcionada pela contração dos sarcômeros, onde as duas linhas Z do sarcômero se aproximam devido à superposição de miofilamentos delgados e espessos, causada pelo deslizamento dos miofilamentos delgados sobre os espessos. Esta superposição de miofilamentos é a responsável pelo aumento no diâmetro da fibra durante sua contração longitudinal. O músculo contraído fica mais espesso.

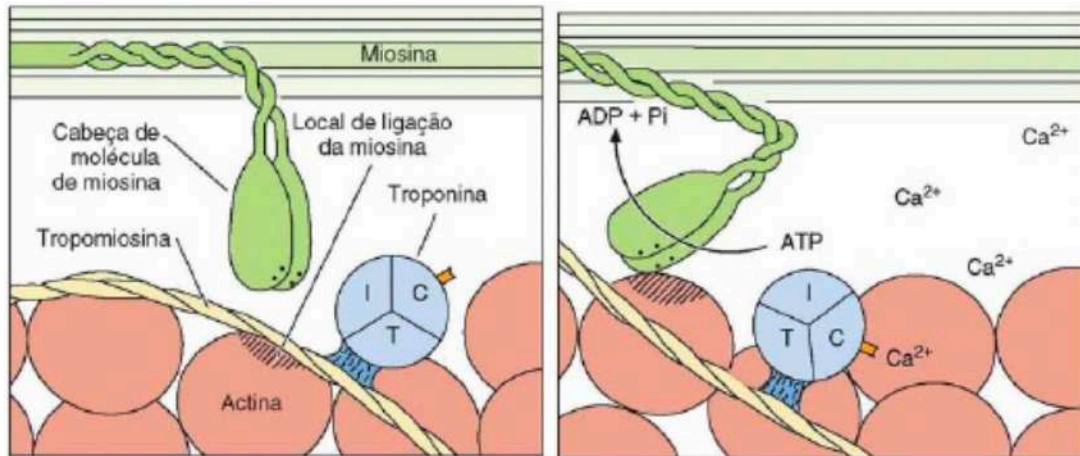
O processo de contração muscular inicia-se com a chegada do impulso nervoso numa região especial da fibra muscular, denominada **placa motora**. Este impulso nervoso provoca a abertura de canais de cálcio e o influxo destes íons para o sarcoplasma (citoplasma da fibra muscular). Estes íons são liberados a partir de vesículas do retículo sarcoplasmático (retículo endoplasmático da fibra muscular), denominadas **cisternas**. Os **íons de cálcio** vão se ligar a pontos especiais dos miofilamentos delgados, no nível da molécula de **troponina**, o que desloca a **tropomiosina**, que deixa de cobrir o sítio de ligação entre actina e miosina na actina, permitindo a interação das cabeças ou pontes cruzadas dos miofilamentos espessos com estes miofilamentos delgados.

Esta interação tem dois efeitos: a quebra de ATP para fornecimento de energia e o dobramento das pontes cruzadas devido a esta energia liberada. Quando as pontes cruzadas dobram, por elas estarem ligadas aos miofilamentos delgados, os miofilamentos delgados são arrastados para a região central do sarcômero, aproximando as duas linhas Z e promovendo a contração do sarcômero.



Desenho esquemático mostrando a estrutura do filamento fino do músculo. Em cima, seus componentes isolados e, embaixo, montados. Observe que cada molécula de tropomiosina ocupa o sulco que corresponde a sete moléculas de actina. Para cada molécula de tropomiosina existe uma de troponina composta de três polipeptídeos globosos. Quando o músculo é estimulado, a molécula de troponina altera a sua forma, afundando a tropomiosina e liberando na actina os centros de atividade que se combinam com a cabeça da miosina.

Por isso a troponina é chamada de gatilho da contração muscular.



A contração muscular se inicia pela contaminação de Ca^{2+} com a subunidade TnC de troponina, o que expõe o local da actina (área tracejada) que se combina com a miosina. Na etapa seguinte, a cabeça da miosina liga-se à actina e o ATP se decompõe em ADP e energia, produzindo o movimento da cabeça da miosina. Em consequência desta modificação da miosina, o filamento fino desliza sobre o filamento grosso. Este processo, que se repete muitas vezes durante um ciclo de contração, leva a uma sobreposição completa dos filamentos de actina e miosina e, concomitantemente, ao encurtamento da fibra muscular.

Várias pontes cruzadas ligam-se simultaneamente aos miofilamentos delgados, arrastando-os com um efeito semelhante a de uma catraca (dispositivo ligado à correia da bicicleta que promove o movimento do pneu da mesma). Esta teoria para explicar o mecanismo de contração muscular foi proposta por Hugh Huxley e é conhecida como **teoria da catraca**.

Para haver relaxamento, uma **bomba de cálcio** remove continuamente o cálcio do sarcoplasma, revertendo o processo todo. Perceba que o que ativa a contração é a liberação de cálcio do retículo sarcoplasmático por **difusão**, e o que ativa o relaxamento é a saída de cálcio do sarcoplasma para o retículo sarcoplasmático por **transporte ativo**.

Tanto a contração muscular com o dobramento das pontes cruzadas de miosina como o relaxamento com o desdobramento das mesmas, consomem energia do ATP. Na verdade, a hidrólise do ATP ocorre no momento da contração, quando a cabeça da miosina se contrai. Para o relaxamento, basta que se ligue ATP à cabeça da miosina, mas esse ATP não é hidrolisado (no próximo ciclo de contração, será essa ATP quem vai fornecer a energia da contração).

O relaxamento consome mais ATP porque, além do ATP a ser ligado na cabeça da miosina, há o aspecto do gasto de ATP com o bombeamento de cálcio.

A falta de ATP para relaxamento também explica o **rigor mortis** ou **rigidez cadavérica**, que ocorre quando o indivíduo morre: a musculatura permanece travada numa mesma posição e assim permanece até que os lisossomas das fibras se rompam e causem autólise, o que faz então com que os tecidos comecem a se desfazer.

Tome nota:

TÚBULOS T E TRIÁDE

Para melhorar a condução nervosa na fibra muscular e a liberação do cálcio a partir das cisternas, a membrana plasmática forma invaginações para o interior celular denominadas **túbulos T**. Estes túbulos T inserem-se entre duas cisternas do retículo sarcoplasmático, aumentando a eficiência da liberação do cálcio, proporcionando uma rápida e uniforme contração da fibra muscular. Cada conjunto formado por cisterna, túbulo T e cisterna é denominado **triáde**.

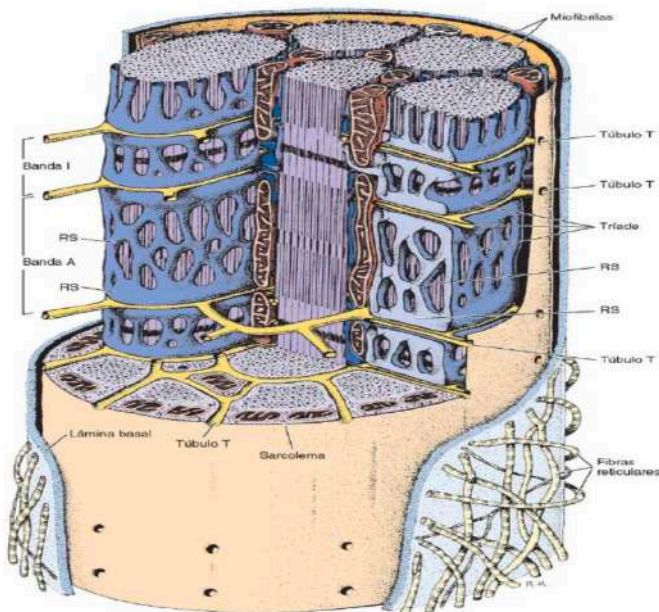
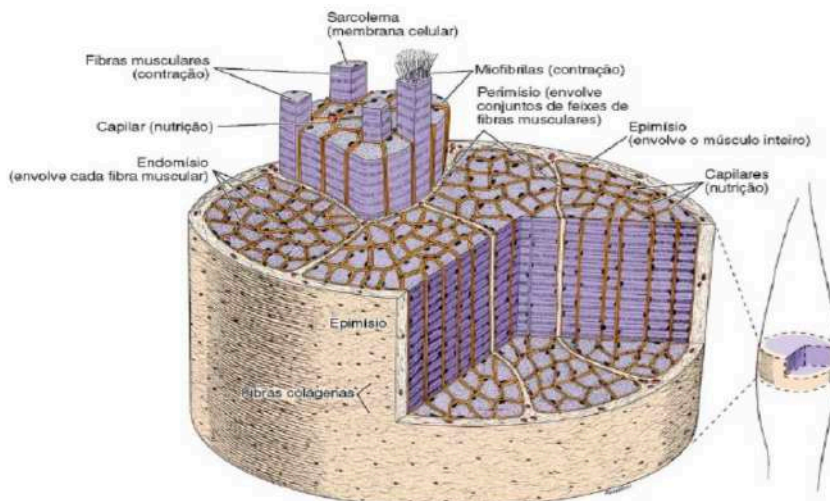


Diagrama da ultraestrutura de uma fibra muscular esquelética de mamífero. O sarcolema e as miofibrilas estão parcialmente cortados, para mostrar os seguintes componentes da fibra: invaginações do sistema T estão presentes ao nível de transição entre as bandas A e I, duas vezes em cada sarcômero. O sistema T associa-se a cisternas do retículo sarcoplasmático para formar triádes. Entre os feixes de miofibrilas aparecem numerosas mitocôndrias. A superfície de corte das miofibrilas mostra os filamentos finos e os grossos. O sarcolema é envolvido por uma lâmina basal e por fibrilas reticulares.

MÚSCULOS

Cada fibra muscular é envolvida por uma camada de tecido conjuntivo denominada **endomísio**. As fibras musculares organizam-se em feixes ou fascículos musculares. Cada feixe é envolvido por uma camada de tecido conjuntivo denominada **perimísio**. Por fim, todos os feixes musculares são envolvidos por uma membrana de tecido conjuntivo denso não modelado que, no caso dos músculos estriados esqueléticos, continua-se com o tecido conjuntivo dos tendões, formando uma só unidade. Esta membrana de tecido conjuntivo que envolve o músculo como um todo é o **epimísio**.



Músculo com suas divisões.

ENERGIA PARA A CONTRAÇÃO

O músculo dispõe de fontes de energia para alimentar suas mitocôndrias e garantir um suprimento de energia. Este é representado principalmente pelo acúmulo de **glicogênio**.

Inicialmente, o músculo consome a glicose aerobicamente através da respiração aeróbica. Para garantir o suprimento de oxigênio ao músculo, durante atividade muscular aumenta o fluxo sanguíneo para a área através da dilatação dos vasos. Isso explica porque após uma atividade física os músculos estão dilatados. A mioglobina na musculatura retém este oxigênio.

Entretanto, o suprimento de oxigênio pode se mostrar insuficiente. A partir daí a glicose vai ser consumida anaerobicamente por fermentação láctica. Neste processo, ácido láctico é produzido. O ácido láctico liberado se acumula no músculo e é irritante às terminações nervosas, promovendo dor nos músculos, a fadiga muscular. Dentro de cerca de 24 a 48 h, o ácido láctico é recolhido pela corrente sanguínea e enviado ao fígado, onde é reconvertido em glicose.

Se falta glicose, o músculo dispõe ainda de uma saída, a **fosfocreatina**. Esta acumula grupos fosfato para fornecer ao ADP transformando-o em ATP e liberando creatina. Isto mantém a atividade muscular por algum tempo ainda. Quando o organismo estiver em repouso, a fosfocreatina será regenerada.

UTILIZAÇÃO DE ENERGIA E PRODUÇÃO DE ATP NO MÚSCULO

Existem vários mecanismos de produção de energia para a atividade muscular. De maneira geral, na sequência em que são utilizados, pode-se citar:

- **Primeiro** utiliza-se o **ATP** já armazenado na musculatura. Este ATP está em quantidades muito pequenas, uma vez que o ATP é relativamente muito pesado para ser armazenado. Assim, este ATP manterá a atividade muscular por períodos muito curtos, de 3 a 4 segundos de duração.
- Em **segundo**, se utiliza o **sistema creatina-fosfato**. A creatina-fosfato armazena ligações fosfato de alta energia que serão transferidas para o ADP, regenerando o ATP muscular:



A creatina é tóxica e é eliminada pelo organismo na urina, como uma excreta nitrogenada. Em excesso, pode causar lesões hepáticas.

Este ATP produzido pelo sistema creatina-fosfato se esgota em cerca de 8 a 10 segundos de atividade muscular.

- Em **terceiro**, se utiliza **fermentação láctica**. Apesar de ser um processo de baixo rendimento energético quando comparada à respiração aeróbica, a fermentação é utilizada porque nos momentos iniciais da atividade, ainda não um suprimento adequado de oxigênio ao músculo para que mantenha sua atividade aeróbica. Nos cerca de 40 segundos iniciais de uma atividade, utiliza-se a fermentação láctica para o processo de fornecimento de energia.

- À medida que o **ritmo respiratório**, o **ritmo cardíaco** e o **fluxo sanguíneo** para a musculatura **umentam**, passa-se a **utilizar a respiração aeróbica**.

- Quando o suprimento de oxigênio volta a ser insuficiente (devido ao tempo e à intensidade da atividade, pode ser que o volume de oxigênio fornecido à musculatura não seja adequado), a atividade de fermentação láctica voltará a ser mantida, o que por sua vez levará ao acúmulo de ácido láctico e conseqüente fadiga muscular.

As primeiras três etapas de consumo de energia são **anaeróbicas**, e são utilizadas em **atividades musculares de força** e **explosão**, que demandam muita energia, mas por curtos períodos de tempo. Atividades esportivas como corridas de velocidade, salto e levantamento de peso, são atividades anaeróbicas.

A última etapa é **aeróbica**, e é utilizada em **atividades físicas de resistência**, em que se exige uma atividade não em intensidade máxima, mas por períodos prolongados de tempo. Atividades físicas como corridas de fundo (como maratonas) e natação são predominantemente aeróbicas.

A maioria dos esportes, no entanto, combina as duas formas de utilização de energia.

TIPOS DE FIBRA MUSCULAR ESTRIADA ESQUELÉTICA

- As **atividades musculares de resistência** são realizadas por músculos chamados de **fibras lentas, escuras** ou **tipo I**. Estas, por realizarem atividades **aeróbicas**, têm muitas mitocôndrias e muita mioglobina, o que justifica a cor escura.
- As **atividades musculares de explosão** são realizadas por músculos chamados de **fibras rápidas, claras** ou **tipo II**. Estas, por realizarem atividades **anaeróbicas**, têm poucas mitocôndrias e pouca mioglobina, o que justifica a cor clara.

EFEITO DA ATIVIDADE MUSCULAR SOBRE A FISIOLOGIA GERAL

De imediato, a atividade física leva a algumas modificações para aumentar a capacidade de fornecimento de O_2 à musculatura, para manter a atividade respiração aeróbica, o que garante um maior suprimento de energia, bem como evita a fadiga muscular. Essas modificações imediatas são:

- **taquipneia**, de modo que o aumento do ritmo respiratório aumenta a captação de oxigênio pelos pulmões e, conseqüentemente, pelo sangue; a rápida respiração também possibilita a eliminação de vapor d'água pela respiração, de modo a eliminar calor corporal;
- **taquicardia**, de modo que o aumento do ritmo cardíaco aumenta a velocidade de bombeamento de sangue e, conseqüentemente, de oxigênio à musculatura;
- **aumento da força de contração com conseqüente aumento do débito cardíaco**, quantidade de sangue bombeado a cada momento, de modo a aumentar o fluxo de sangue e oxigênio para os músculos.
- **vasodilatação da musculatura**, de modo a aumentar o fluxo de sangue e oxigênio para os músculos.

Tome nota:

Qualquer pessoa passa por essas alterações quando faz um determinado esforço físico. Entretanto, a questão fala de treinamento. Por que um atleta tem um rendimento maior em atividades físicas? Por que ele cansa menos? A resposta é bem simples: o treinamento leva a uma série de alterações na fisiologia do indivíduo de maneira que ele consegue maximizar o aproveitamento de oxigênio e reduzir a fermentação láctica (e por consequência a fadiga muscular).

Algumas dessas modificações adquiridas às custas de treinamento são:

- **aumento na quantidade de vasos sanguíneos nos músculos;**
- **aumento na quantidade de mitocôndrias nas fibras musculares;**
- **aumento na quantidade de mioglobina nas fibras musculares;**
- **aumento na capacidade respiratória**, de modo que ocorre aumento na elasticidade dos pulmões, bem como aumento na potência dos músculos respiratórios, de modo que se consegue inalar um maior volume de oxigênio com menor esforço e menor ritmo respiratório; para se ter uma noção, o consumo médio de oxigênio num homem jovem destreinado em repouso é de cerca de 250 ml/min, enquanto que este mesmo homem em atividade máxima consome cerca de 3600 ml/min e um maratonista em atividade máxima consome cerca de 5100 ml/min;
- **aumento na capacidade cardíaca**, de modo que ocorre aumento na potência do miocárdio, no qual o indivíduo bombeia um volume maior de sangue, mesmo com um ritmo menos acelerado dos batimentos cardíacos; para se ter uma noção, um homem jovem destreinado em repouso tem um ritmo cardíaco de cerca de 75 batimentos/min, bombeando cerca de 75 ml de sangue a cada sístole, enquanto um maratonista em repouso tem um ritmo cardíaco de cerca de 50 batimentos/min, bombeando cerca de 105 ml de sangue a cada sístole.