



FISIOLOGIA DO SISTEMA REGULADOR

UNIDADE II

Fisiologia Neuromuscular

Lucimara Magalhães

CENTRO
UNIVERSITÁRIO
UNI  **GRANDE**

Introdução

A fisiologia neuromuscular é responsável por explicar boa parte das funções orgânicas humanas. Nesta unidade, veremos que o sistema muscular é regulado, na maior parte das vezes, pelo sistema nervoso, e age como centro de comando para seu funcionamento. Sendo assim, a integração entre esses dois sistemas é de extrema importância para a manutenção da maioria das funções fisiológicas orgânicas.

Objetivos da Aprendizagem

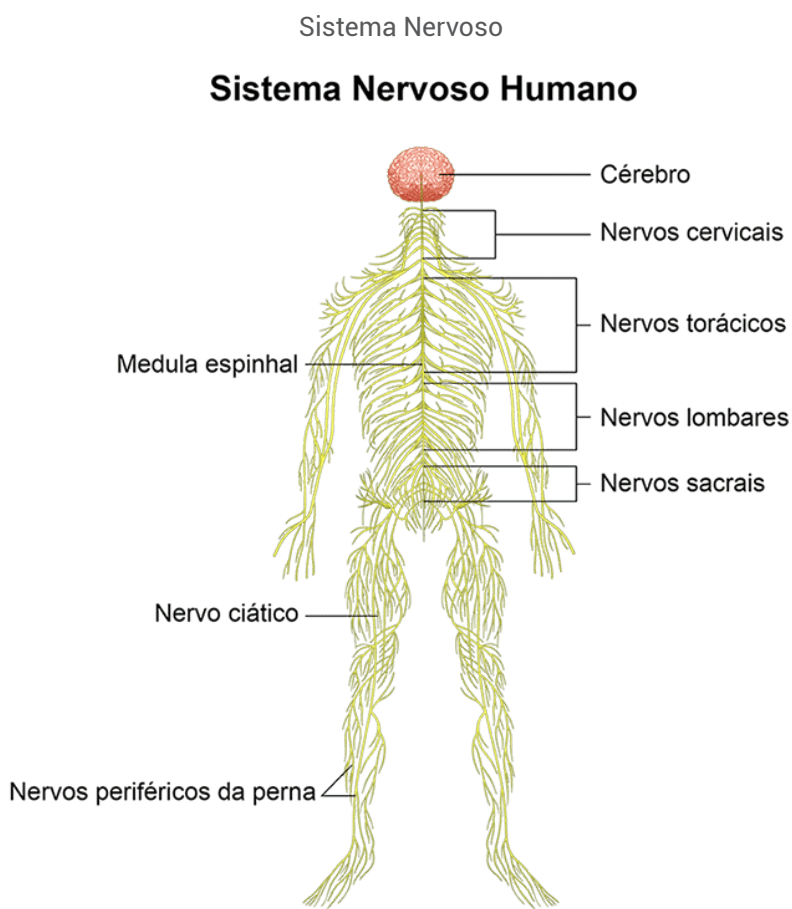
Ao final do conteúdo, esperamos que você seja capaz de:

- compreender a fisiologia dos órgãos, suas funções e as particularidades do sistema nervoso;
- refletir sobre os órgãos, as funções e particularidades do sistema muscular.

Sistema Nervoso

O sistema nervoso é considerado a máquina de comando dos sistemas orgânicos. No ser humano, ele é responsável por todas as funções desempenhadas pelo corpo, desde o pensamento, fala, movimentos e ações específicas orgânicas. Nesse contexto, é importante que o profissional compreenda bem seu funcionamento, para que seja mais fácil avaliar, diagnosticar e tratar os pacientes de acordo com a fisiopatologia indicada (GUYTON; HALL, 2017; MOURÃO JÚNIOR; ABRAMOV, 2011).

Assim, o sistema nervoso é dividido em central e periférico, em que a primeira parte consiste nos neurônios localizados na calota craniana e na medula espinhal. Esse sistema é responsável por receber e programar respostas para os órgãos efetores, são assim denominados como centros de controle. Já o sistema periférico é responsável por receber as informações do ambiente externo e dele mesmo e enviar ao centro de controle. Além disso, ele desempenha as funções motoras enviadas dos centros de controles. A figura a seguir mostra a conformação dos dois sistemas pelo corpo humano (GUYTON; HALL, 2017; MOURÃO JÚNIOR; ABRAMOV, 2011).



Fonte: Freepik (2023).

#pratodosverem: a imagem mostra as estruturas do sistema nervoso central: cérebro e cordão espinhal. E as estruturas do sistema nervoso periférico: nervos cervicais, torácicos, lombares, sacrais, ciático e periféricos da perna.

Órgãos e Funções do Sistema Nervoso

O sistema nervoso pode ser dividido também em parte motora e parte sensorial, isto é, a parte que realiza os movimentos e reflexos e a parte que recebe os estímulos externos. Os primeiros consistem nos músculos que realizam a contração ao longo do corpo durante uma resposta, as contrações dos músculos viscerais, isto é, músculos lisos, e a secreção de substâncias por glândulas endócrinas ou exócrinas. Assim, estes são os órgãos que compõem a parte motora (GUYTON; HALL, 2017; MOURÃO JÚNIOR; ABRAMOV, 2011).

O sistema nervoso pode ser dividido também em:

Parte motora

A parte que realiza os movimentos e reflexos. Consistem nos músculos que realizam a contração ao longo do corpo durante uma resposta, as contrações dos músculos viscerais, isto é, músculos lisos, e a secreção de substâncias por glândulas endócrinas ou exócrinas.

Parte sensorial

A parte que recebe os estímulos externos. Já na parte sensitiva, estão relacionados os receptores sensoriais que podem ser visuais, auditivos, táteis, entre outros.

Função Integrativa

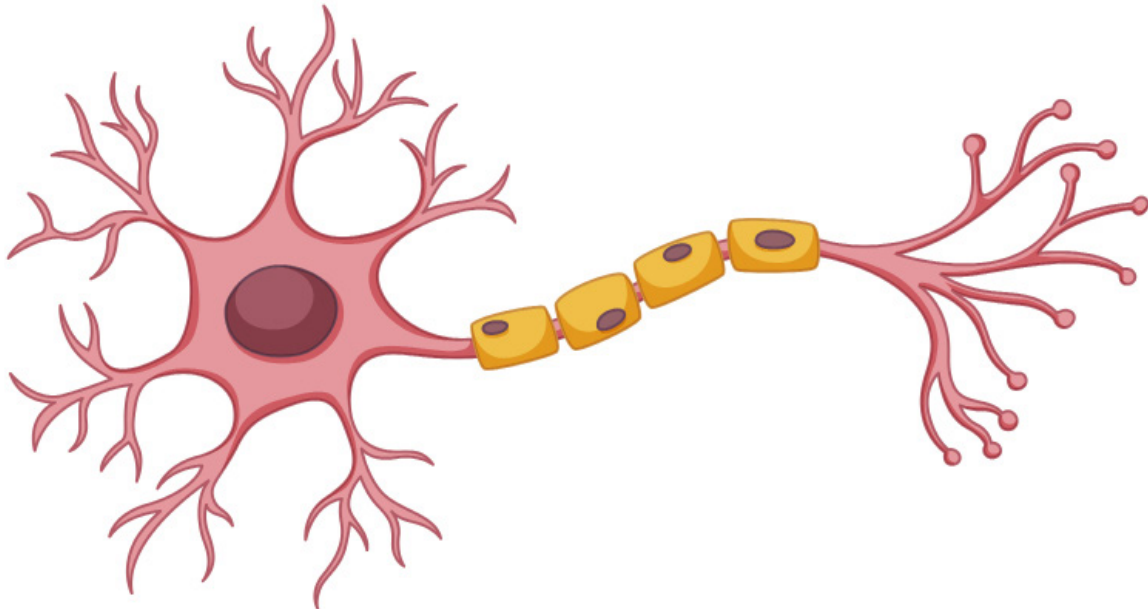
Permite a interpretação dos dados obtidos, análise e armazenamento, de forma a produzir decisões e respostas apropriadas aos estímulos.

Essa comunicação sensorial depende da experiência e provoca uma resposta imediata do sistema nervoso central. Ao longo da vida, as experiências com certos estímulos se tornam familiares e permanecem na memória sensitiva (GUYTON; HALL, 2017; MOURÃO JÚNIOR; ABRAMOV, 2011).

Os neurônios são as células do sistema nervoso e são responsáveis por transmitir as informações, para isso possuem uma característica que as diferem dos outros tipos de células, a excitabilidade elétrica. Essa capacidade permite que as células, através de um estímulo, sejam capazes de enviar sinais elétricos entre elas a partir de um potencial de ação gerado. A estrutura da célula é basicamente dividida em: axônio, dendrito e corpo celular (GUYTON; HALL, 2017; MOURÃO JÚNIOR; ABRAMOV, 2011).

Os dendritos e corpos celulares são receptores de informações e o axônio é responsável por conduzir os impulsos de uma extremidade da célula à outra. Assim, alguns neurônios se comunicam entre si pelos terminais axônicos e o nome denominado da passagem do impulso elétrico de um neurônio para a célula efetora se denomina como sinapse (GUYTON; HALL, 2017; MOURÃO JÚNIOR; ABRAMOV, 2011).

Estrutura básica de um neurônio



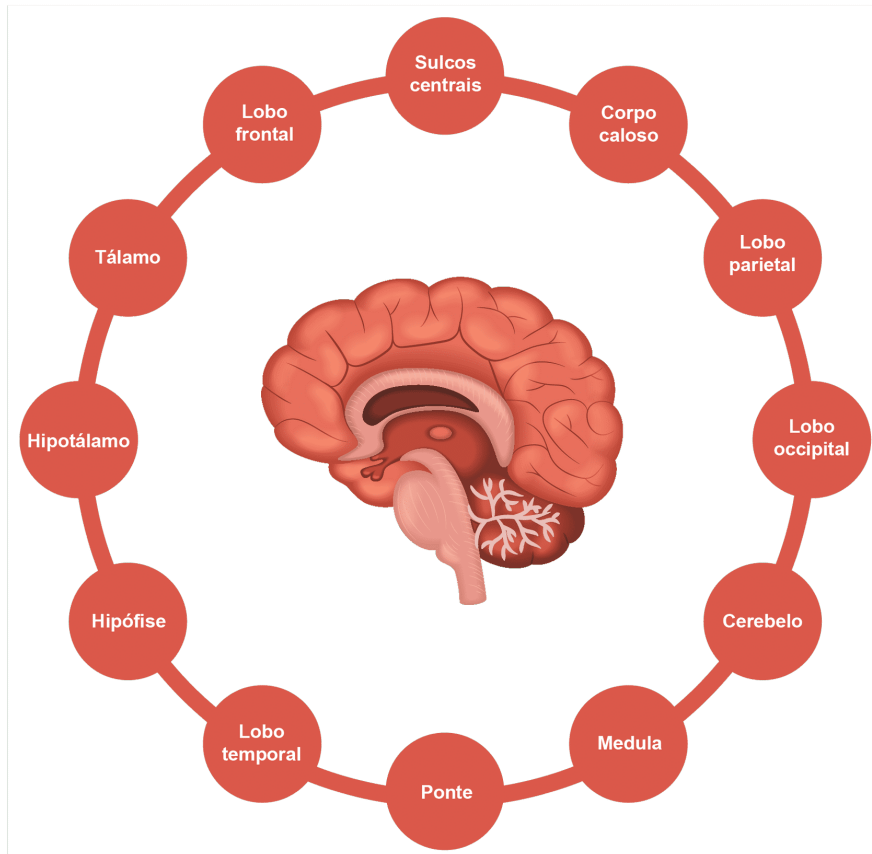
Fonte: Freepik (2023).

#pratodosverem: a imagem mostra a estrutura do neurônio, em que o corpo celular se encontra na parte inicial, já o prolongamento é o axônio com as bainhas de mielina e a parte terminal são os terminais axônicos.

Sistema Nervoso Central

O sistema nervoso central é a parte central do sistema, do qual faz parte o encéfalo e a medula espinhal. O encéfalo possui diversas conformações e centros de funções específicas. Assim, pode-se compreender que as informações recebidas do meio externo são encaminhadas a centros específicos, correspondentes àquelas funções no encéfalo. A medula espinhal é o canal de comunicação entre o sistema periférico e o núcleo do central. Dessa forma, ela possui terminais nervosos, conhecidos como nódulos terminais que já fazem parte do sistema nervoso periférico. O esquema a seguir aponta algumas das principais partes do sistema nervoso central, localizadas no encéfalo (TORTORA; DERRICKSON, 2017).

Estruturas do encéfalo



Fonte: adaptado de Freepik (2023).

#pratodosverem: o esquema mostra as subpartes do sistema nervoso central. Da esquerda para a direita, temos as seguintes partes: "sulcos centrais", "corpo caloso", "lobo parietal", "lobo occipital", "cerebelo", "medula", "ponte", "lobo temporal", "hipófise", "hipotálamo", "tálamo" e "lobo frontal".

No nível medular, o sistema nervoso central possui a medula que permite a condução dos sinais periféricos e centrais. No nível cerebral inferior estão a ponte, bulbo, mesencéfalo, hipotálamo, tálamo, cerebelo e gânglios basais, que têm controle sobre o sistema nervoso autônomo em geral, controle de equilíbrio, entre outras funções importantes para a vida e função física. Já no nível cerebral superior, ou nível cortical, está o córtex cerebral, que funciona em conjunto com os centros inferiores, mas exibe uma relação de hierarquia, visto que os comandos, em principal o de alerta, são enviados para as partes periféricas por ele. Sendo assim, o córtex também é responsável pelas funções mentais e processamento de informações, além das respostas de alerta (TORTORA; DERRICKSON, 2017).

Sistema Nervoso Periférico

Já o sistema nervoso periférico é constituído de nervos gânglios, plexos e receptores sensoriais. O nervo é a união de vários neurônios em forma de feixe que conecta o encéfalo às partes periféricas, efetoras. Os 31 pares de nervos cranianos saem da base do encéfalo e seguem para regiões específicas, para onde levarão as informações. Os gânglios são aglomerados de tecidos nervosos que ficam localizados nas partes primárias dos corpos neuronais. Os plexos consistem em redes de neurônios localizadas nos pares dos órgãos, e os receptores sensoriais são estruturas que monitoram as alterações sofridas pelo ambiente interno e externo (TORTORA; DERRICKSON, 2017).

Esse sistema autônomo ainda é subdividido em simpático e parassimpático, que são estimulados pelo córtex a se adaptar e enviar respostas aos órgãos efetores a partir dos estímulos recebidos (TORTORA; DERRICKSON, 2017).



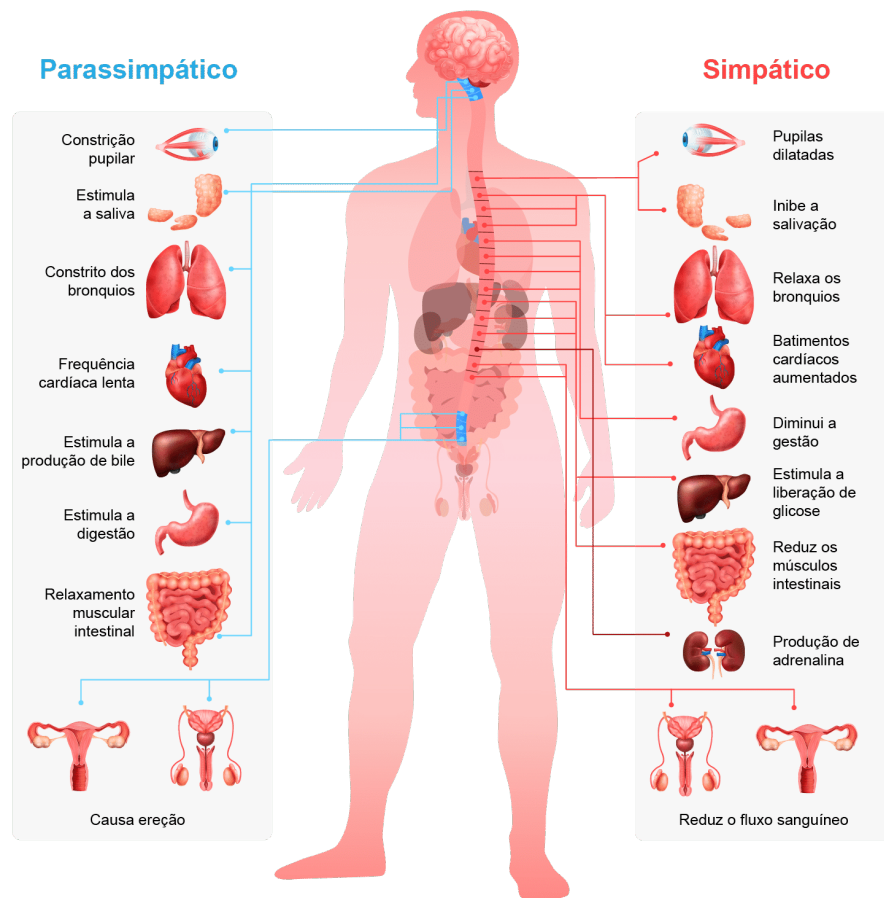
Atenção

Em geral, o sistema simpático promove aumento do estímulo ao corpo, como exemplo o aumento da frequência cardíaca, durante um exercício. Por outro lado, o sistema parassimpático promove o relaxamento, reduzindo a frequência ao fim do exercício.

O sistema nervoso periférico ainda é dividido em duas partes, a somática e a autônoma.

Sistemas simpático e parassimpático

Sistema Nervoso Humano



Fonte: Freepik (2023).

#pratodosverem: a imagem mostra a diferenciação das funções básicas entre os sistemas simpático e parassimpático no corpo humano.

A somática está relacionada à voluntariedade das ações, de forma que o indivíduo planeja uma ação e executa-a. Já a autônoma, implica no funcionamento de forma involuntária, isto é, o corpo se adapta ao clima, ambiente e outros estímulos de forma automática.

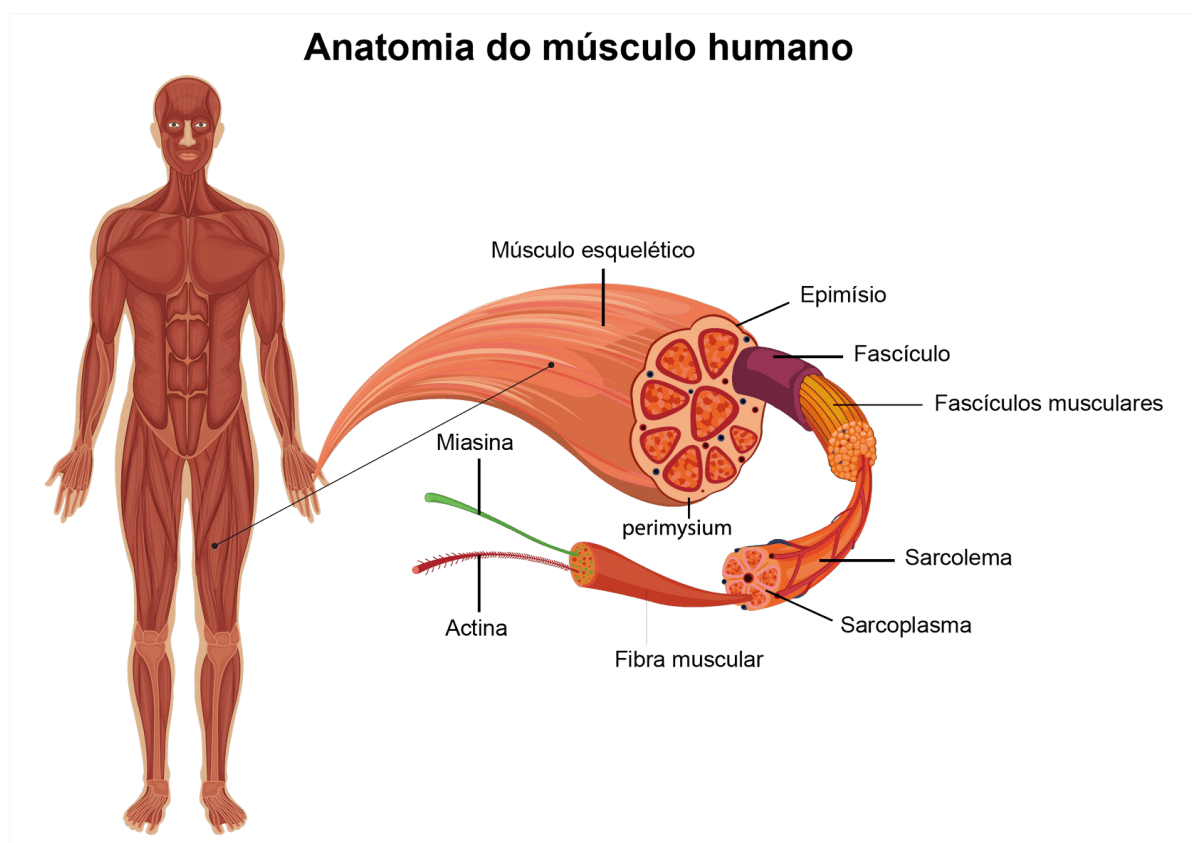
Sistema Muscular

O sistema muscular consiste no sistema efetor relacionado aos músculos, onde são produzidas diversas funções sistêmicas, assim como os movimentos. Assim, o sistema muscular é composto de fibras musculares que formam tipos de músculos com funções específicas em relação ao organismo, como é o caso do coração, por exemplo. O músculo do coração é específico e constituído por músculo liso, preparado para manter-se em contrações e relaxamentos de forma contínua, isto é, sem descansos. Este músculo é totalmente diferente dos músculos estriados

esqueléticos, que possuem também a função de contração e relaxamento, mas que podem fadigar de acordo com o tempo de uso (GUYTON; HALL, 2017).

Como já dito, o músculo é constituído de fibras musculares formando o comprimento dos músculos. O sarcolema é a membrana que envolve a fibra muscular. Essa membrana se funde com as fibras tendinosas que se unem em forma de feixe, dando origem ao tendão que se fixa nas estruturas ósseas. As miofibrilas consistem nas menores unidades do músculo, os filamentos de actina e miosina. Sendo assim, os músculos são formados por centenas desses filamentos que se diferenciam quanto ao calibre, os mais finos são de actina e os mais grossos de miosina (GUYTON; HALL, 2017). Na figura a seguir, é possível observar cada uma das estruturas e suas localizações em relação ao músculo e fibras musculares.

Estruturas do sistema muscular



Fonte: Freepik (2023).

#pratodosverem: a imagem mostra as estruturas do músculo: epimísio, fascículo, fascículos musculares, sarcolema, sarcoplasma, fibra muscular, filamentos finos de actina e miosina.

A contração muscular ocorre por mecanismos típicos de ação. Inicialmente, acontece um potencial de ação, que é a chegada da informação do sistema nervoso central ao músculo. Esse potencial atinge um nível acima daquele considerado basal, para que a célula muscular seja estimulada (GUYTON; HALL, 2017).



Atenção

Pacientes que têm alguma doença neurodegenerativa podem ter alteração nesse potencial de ação, isto é, a chegada de informação não atinge um nível acima do basal, devido a problemas com a transmissão da informação, como no caso da esclerose, em que a bainha de mielina, estrutura responsável por impulsionar a informação, está danificada estruturalmente.

Em seguida, a terminação nervosa, local onde se dá o repasse e recebimento das informações, há a liberação dos neurotransmissores, acetilcolina. Essa substância abre os canais proteicos relacionados diretamente a ela, permitindo que haja o fluxo de íons sódio para o interior da membrana da fibra muscular. Esse sódio será responsável por induzir o potencial de ação da fibra muscular, isto é, ele modifica as cargas elétricas, até atingir o nível acima do considerado de repouso ou basal (GUYTON; HALL, 2017).

Esse potencial de ação realizará a despolarização da membrana da fibra muscular. Os íons cálcio são liberados pelas miofibrilas e geram as forças de atração entre os filamentos de actina e miosina, fazendo com que elas se deslizem entre si, iniciando o processo contrátil de forma microscópica. O processo de retorno às condições normais acontece quando os íons cálcio retornam ao retículo sarcoplasmático para uma nova movimentação caso aconteça um novo potencial de ação (GUYTON; HALL, 2017).

Tipos de Músculos e suas Funções

Os músculos podem ser divididos em três tipos, os músculos cardíacos, os músculos esqueléticos e os músculos lisos. Cada um deles possui estruturas diferentes e funções de acordo com o órgão de origem.

Os músculos cardíacos são aqueles encontrados no tecido cardíaco, são resistentes à fadiga e são controlados pelo sistema nervoso autônomo, isto é, com ação involuntária. As fibras desse tipo de tecido se organizam de formas ramificadas, com fibras de menor comprimento e maior diâmetro em comparação com as fibras esqueléticas. Elas possuem um único núcleo e se conectam umas com as outras por espessamentos transversos irregulares do sarcolema, discos intercalados (TORTORA; DERRICKSON, 2017).

O tecido muscular liso pode ser encontrado nos demais órgãos e vasos sanguíneos. Eles também são controlados pelo sistema nervoso autônomo, isto é, não são controlados voluntariamente e respondem aos estímulos internos e externos do corpo. A característica dessas fibras é o menor comprimento e diâmetro quando comparadas às fibras esqueléticas. Elas são de estrutura afinadas em ambas as extremidades, com um núcleo oval no centro da célula. As estruturas das fibras musculares, os filamentos, se ligam aos corpos densos, similares às linhas Z do músculo estriado esquelético, sendo que alguns se ligam ao sarcolema e outros ficam dispersos pelo sarcoplasma (TORTORA; DERRICKSON, 2017).

O tecido esquelético é composto por fibras musculares que têm formato alongado. Os tecidos que conectam essas fibras e o restante do músculo, vasos sanguíneos e nervos são conhecidos como conjuntivos.

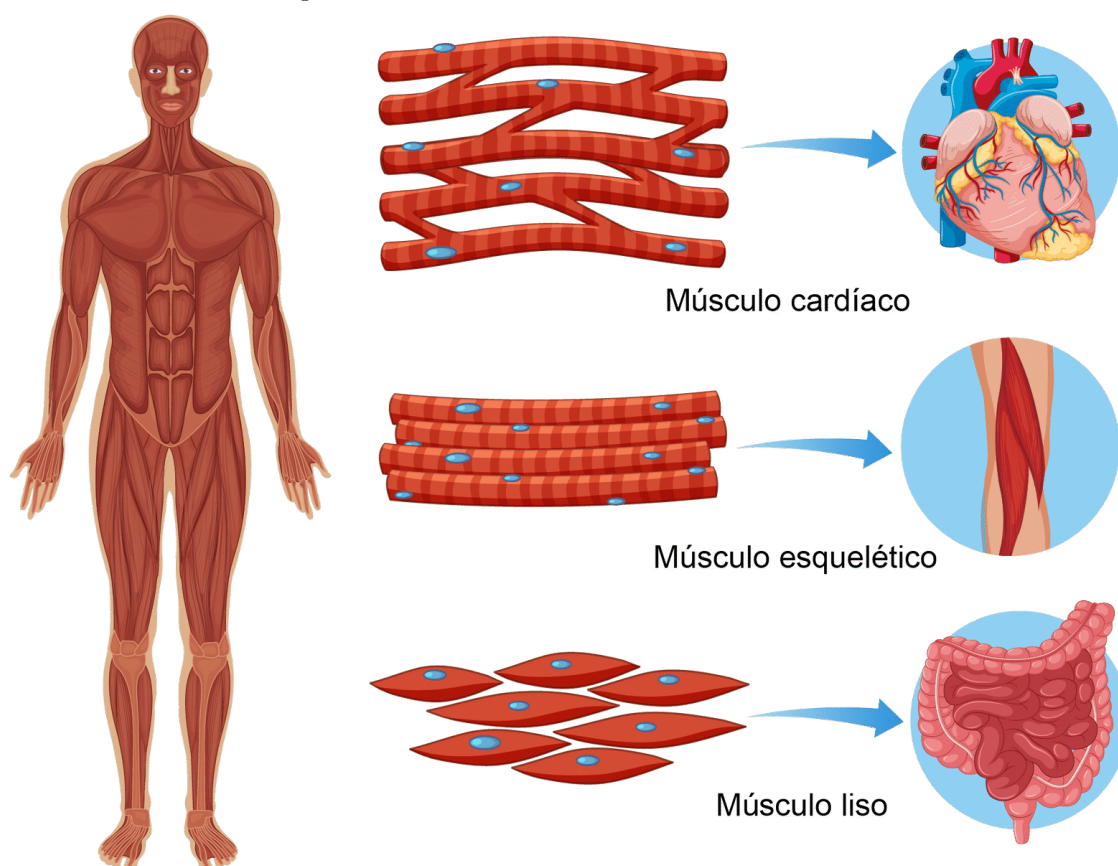


Atenção

A tensão gerada em excesso na fáscia pode levar à má distribuição de cargas entre os músculos, o que pode ser bem comum nos casos de lombalgia. Os pacientes com essa queixa podem ter a fáscia toracolombar em maior tensão, devido à reação de proteção do corpo, sendo que em maior nível pode provocar a limitação de movimentos do paciente.

Esse tecido protege o tecido muscular que também é envolvido por uma fáscia, que consiste em uma faixa densa e larga de tecido que une órgãos e músculos do corpo.

Tipos de células musculares



Fonte: Freepik (2023).

#pratodosverem: a imagem mostra as estruturas físicas dos músculos cardíaco, esquelético e liso.

Ela é responsável também por transportar nervos, vasos sanguíneos e linfáticos, preenchendo os espaços entre os músculos (TORTORA; DERRICKSON, 2017).

Metabolismo e Tensão Muscular

O metabolismo muscular esquelético acontece a partir da disponibilidade de energia. Essa energia é denominada como ATP, anteriormente citado. Essa energia é finita e fica armazenada no músculo em pequenas quantidades, isto é, a contração muscular gerada por elas atinge apenas alguns segundos. Neste caso, se a demanda de contração muscular for maior, o músculo deverá ter substrato de energia maior para manter a contração durante a demanda. Sendo assim, o ATP armazenado na própria fibra muscular é metabolizado pelo sistema fosfato de creatina. Esse sistema suporta a contração durante 15 segundos em média, tempo de atividades físicas de explosão, como a corrida de 100 metros rasos (TORTORA; DERRICKSON, 2017).

Outra fonte de energia para a contração muscular é a partir da glicólise, ou seja, a partir do metabolismo celular anaeróbio. Por meio desse metabolismo há a produção de 2 moléculas de ATP e o produto desse metabolismo é a glicose armazenada nas fibras musculares em forma de glicogênio. Assim, em baixos níveis de oxigênio, em atividades vigorosas, o ácido pirúvico é convertido em ácido lático, ocasionando a oferta de energia por aproximadamente 2 minutos de atividade do músculo. Assim, esse tipo de metabolismo é capaz de sustentar atividades um pouco mais duradouras, como uma corrida de 400 metros, por exemplo (TORTORA; DERRICKSON, 2017).

Enquanto isso, as atividades que demandam maior tempo de contração muscular, isto é, mais de meio minuto a horas de duração, demandam respiração celular aeróbia. Esse tipo de metabolismo consiste na reação em cadeia de forma que se utiliza o oxigênio e há a produção de ATP pelas mitocôndrias. Neste tipo de metabolismo, a fonte de oxigênio se dá por duas vias, do sangue e aquele liberado pela mioglobina, no sarcoplasma. Esse tipo de respiração celular rende mais ATP, aproximadamente 32 moléculas a partir de cada molécula de glicose. Assim, as atividades que exigem maiores tempos de duração demandam desse tipo de metabolismo (TORTORA; DERRICKSON, 2017).

As fibras musculares oxidativas lentas são vermelho-escuras, visto que apresentam grande quantidade de mioglobina, sendo responsáveis por gerar maior quantidade de ATP, devido à respiração aeróbia. Essas fibras também são conhecidas como oxidativas ou lentas, com características de resistência à fadiga, podendo realizar contrações duradouras e contínuas. As fibras oxidativo-glicolíticas são grandes e possuem grande quantidade de mioglobina, o que dá a cor vermelho-escuro. Essas fibras geram ATP através da respiração aeróbia, o que fornece também certa resistência à fadiga, mas recebem oxigênio a partir do glicogênio armazenado. Elas são rápidas em relação às oxidativas. As fibras glicolíticas têm baixo nível de mioglobina, o que confere um aspecto mais claro, chamadas de fibras brancas. Seu mecanismo de contração acontece pela glicólise anaeróbia e produzem movimentos intensos, mas de curta duração, sendo o tipo de fibra mais rápido e de contração menos duradoura, devido à pouca energia disponível para a contração (TORTORA; DERRICKSON, 2017).

A contração a partir de um único potencial de ação não pode ser comparada com a força máxima ou tensão que a fibra é capaz de produzir. Essa tensão total depende da frequência dos impulsos, isto é, da estimulação. Assim, a frequência da estimulação dependerá do número de impulsos recebidos pela junção a cada segundo. E, a contração do músculo por completo dependerá também da quantidade de fibras que se contraem ao mesmo tempo. A contração de abalo é de curta duração, em que

todas as fibras da unidade se contraem devido a um potencial de ação (TORTORA; DERRICKSON, 2017).

O recrutamento da unidade motora consiste na quantidade de unidades motoras em contração, isto é, a quantidade de neurônios motores que disparam assincronicamente. Essa forma de contração evita a fadiga muscular, isto é, as fibras não se contraem todas juntas ao mesmo tempo. Dessa forma, os movimentos uniformes são produzidos por esse mecanismo, em que há pequenas alterações no tecido durante a contração. Os músculos que realizam movimentos mais específicos estão localizados em unidades motoras menores, enquanto os músculos que produzem maiores tensões e movimentos de menor precisão estão nas unidades motoras maiores (TORTORA; DERRICKSON, 2017).

Alterações do Sistema Muscular: Exercício e Envelhecimento

O sistema muscular tem a capacidade de contração e é responsável por atuar nas mais diversas funções humanas. Em se tratando do tecido muscular esquelético, a diversidade de tipos de músculos e suas conformações permite a atuação de movimentos específicos, como já citado no tópico anterior. Sendo assim, os músculos podem produzir movimentos breves, médios e duradouros, assim como tensões leves, médias e intensas. Em especial, o músculo esquelético é responsável por realizar os movimentos entre os segmentos corporais, desde pentear o cabelo até o desenvolvimento da marcha. Para isso, é necessária a boa integração deste sistema com o sistema nervoso, para que os movimentos planejados nos centros de programação aconteçam da forma como desejada (TORTORA; DERRICKSON, 2017).

Durante um exercício, por exemplo, os músculos se contraem conforme a instrução do profissional para realizar determinado movimento. Há muitas atividades físicas e exercícios específicos que focam no momento de contração, para que os pacientes/alunos possam realizar as contrações, e conseqüentemente, os movimentos da forma adequada e condizentes com a atividade a ser realizada (TORTORA; DERRICKSON, 2017).



Atenção

É comum também observarmos que os tipos de metabolismos das fibras musculares podem diferenciar de proporção de acordo com o esporte praticado, isto é, um atleta maratonista tende a possuir maior quantidade de fibras oxidativas que um corredor de 100 metros rasos, por exemplo.

As características desse primeiro corredor são músculos mais definidos, porém sem tanta hipertrofia, o que confere uma maior resistência às corridas de longa distância, em que as fibras utilizam a respiração aeróbica celular durante a contração. Já no segundo caso, observam-se músculos definidos e mais torneados, maiores, porém menos resistentes à fadiga, isto é, eles são altamente potentes para atividade de explosão (TORTORA; DERRICKSON, 2017).

O tipo de exercício também recruta uma quantidade de fibras esqueléticas, de forma que os exercícios aeróbios, como corrida ou natação, podem estimular o aumento de fibras oxidativo-glicolíticas, em relação às fibras oxidativas. Assim, o tipo de exercício estimula o aumento de diâmetro, quantidade de fibras, número de mitocôndrias, suprimento sanguíneo local e também a resistência do músculo. Os exercícios de resistência aplicados aos pacientes promovem alterações cardiovasculares e respiratórias, para que os músculos recebam maior quantidade de oxigênio e nutrientes, no entanto nem sempre aumentam a massa muscular, hipertrofia. Enquanto isso, exercícios que exigem maior intensidade e são menos duradouros produzem aumento tanto no tamanho, força e na síntese de novos filamentos espessos e finos, o que leva à hipertrofia (TORTORA; DERRICKSON, 2017).

Já ao envelhecimento promove uma perda progressiva da massa muscular esquelética, o que transforma os grandes músculos com grandes capacidades, em músculos com tecido conectivo fibroso e adiposo. Esse processo se inicia ao longo dos 30 anos e tende a ser progressivo. No geral, a redução da prática de atividade física promove o aceleração deste fenômeno, sendo que também acompanha a perda de força máxima, levando a uma redução da rapidez dos reflexos e também à perda de flexibilidade. De acordo com as atividades diárias, a perda dos músculos pode ser mais de um tipo de fibras, isto é, aquelas que possuem menor quantidade de estímulos. Assim, um músculo pode perder maior quantidade de fibras oxidativas ou glicolíticas em função da atividade desenvolvida pelo paciente (TORTORA; DERRICKSON, 2017).



Saiba mais

A variabilidade da frequência cardíaca é comandada pelo sistema nervoso autônomo, isto é, controle involuntário. No entanto, em algumas patologias pode haver a desconfiguração desse automatismo, frente às alterações fisiológicas nos sistemas envolvidos. Para saber mais sobre este tema, [clique aqui](#) e saiba mais com a leitura do artigo “Variabilidade da frequência cardíaca e sistema nervoso autônomo”.

Conclusão

Nessa unidade, vimos como é importante a integração entre os sistemas nervoso e muscular, visto que a maior parte das funções desempenhadas pelo corpo humano depende em parte ou no todo de suas funções. Neste sentido, é fundamental que o profissional, ao avaliar o paciente e propor condutas, tenha em mente a importância de saber a funcionalidade de cada um desses sistemas e verifique os problemas de integração ou as condições alteradas devido às doenças de base do paciente. Somente assim será possível traçar objetivos e tratamentos mais condizentes com a real situação do paciente, de forma clara e específica para suas doenças.

Referências

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de fisiologia médica**. 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

MOURÃO JÚNIOR, C. A.; ABRAMOV, D. M. **Fisiologia essencial**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.

TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

**CENTRO
UNIVERSITÁRIO
UNI  GRANDE**