Fisiologia Humana Aplicada à Biomedicina

Cruzeiro do Sul Virtual
Educação a Distância

Material Teórico

Fisiologia dos Sistemas Nervoso e Muscular

Responsável pelo Conteúdo:
Prof. Dr. Martina Navarro

Revisão Textual:
Prof. Ms. Luciene Santos

UNIDADE Fisiologia dos Sistemas Nervoso e Muscular

- Introdução ao Sistema Nervoso e Muscular
- Sistema muscular

OBJETIVO DE APRENDIZADO

- Este módulo tem o objetivo de possibilitar que o aluno compreenda o funcionamento fisiológico básico dos sistemas nervoso e muscular. Além disso, o aluno deverá entender as principais respostas do sistema neuromuscular diante das exigências físicas.

ORIENTAÇÕES

Olá, aluno (a)!

Nesta unidade, daremos início aos estudos dos sistemas nervoso e muscular, dois dos sistemas fisiológicos do corpo humano. A fisiologia humana é a ciência que estuda as funções de cada parte do corpo humano, sendo a neurofisiologia a ciência que explica o funcionamento do sistema nervoso (que inclui encéfalo, medula espinhal e nervos) e o sistema muscular que explica o funcionamento dos músculos (esquelético, cardíaco e liso).

Então, procure ler, com atenção, o conteúdo disponibilizado e o material complementar. Não esqueça! A leitura é um momento oportuno para registrar suas dúvidas. Dessa forma, não deixe de registrá-las e transmiti-las ao professor-tutor.

Além disso, para que a sua aprendizagem ocorra num ambiente mais interativo possível, na pasta de atividades, você também encontrará a avaliação, a atividade reflexiva e a videoaula. Cada material disponibilizado é mais um elemento para seu aprendizado, por favor, estude todos com atenção!

Contextualização

Uma das disciplinas mais relevantes dentro da Fisiologia e que se dedica a estudar como humanos processam informações ao seu redor e agem de acordo com a necessidade, a Fisiologia dos Sistemas Nervoso e Muscular, será o tópico abordado nesta unidade. Durante a prática de uma atividade física, uma corrida em um parque, por exemplo, nosso corpo precisa estar atento aos estímulos ao nosso redor e contrair os músculos apropriados para que seja possível desempenhar essa tarefa. Precisamos processar os estímulos visuais presentes (uma pedra no caminho que precisa ser desviada), assim como regular nossa temperatura a partir da sudorese e contrair os músculos da perna para que sejamos impulsionados a frente com velocidade adequada. O conhecimento da Fisiologia Neuromuscular bem como de suas diferentes estruturas serve de base para uma vasta gama de aplicações, tornando ainda mais importante o bom aproveitamento desta disciplina.

Nesta unidade, iremos aprender quais as funções dos sistemas nervoso e muscular, compreender seus processos, bem como os efeitos da atividade física nessas estruturas.

Introdução ao Sistema Nervoso e Muscular

O corpo humano foi fisiologicamente dividido em diferentes sistemas (nervoso, muscular, cardíaco, respiratório, renal, endócrino e digestório). Cada um desses sistemas tem uma função específica e essencial para a sobrevivência humana. A homeostasia é a propriedade que o corpo humano tem de regular/adaptar seu ambiente interno mediante as mudanças tanto internas quanto externas de modo a mantê-lo estável (Fig. 1).

Os sistemas nervoso (SN) e muscular têm como função o controle da homeostasia e emissão de comportamentos.

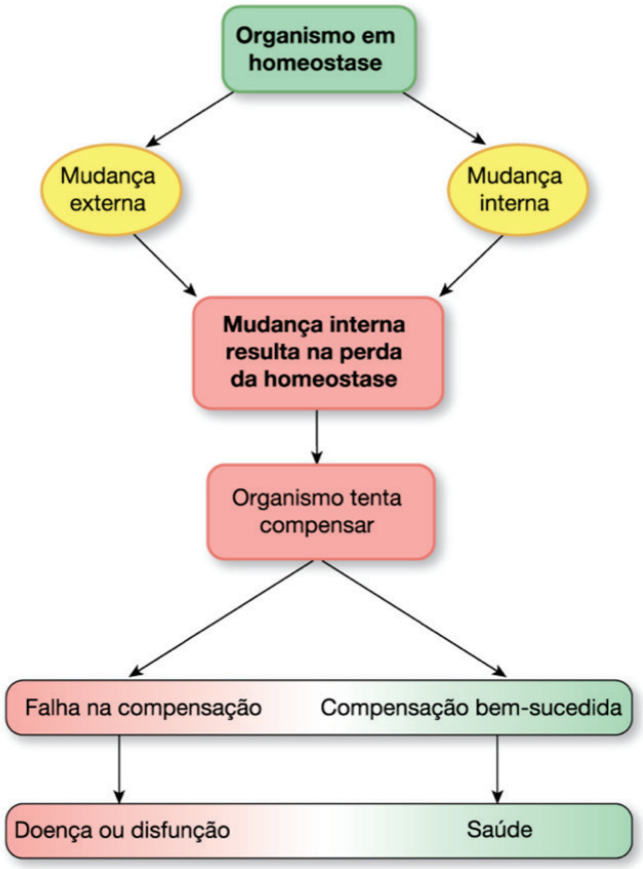


Figura 1 - Homeostase. Adaptado de Silverthorn (2010)

Fonte: Adaptado de Silverthorn, 2010

Por exemplo, no verão brasileiro, a temperatura do ambiente pode chegar a mais de 40oC, porém, nossa temperatura corporal deve ser mantida em torno de 37o C. Nosso organismo tem essa capacidade de regular de forma autônoma nossa temperatura corporal (ou seja, não precisamos voluntariamente executar essa ação).

Já a outra função do SN, a emissão de comportamento, é uma ação voluntária executada pelos seres humanos. Decidir atravessar uma rua, sorrir após uma piada, ou até mesmo a leitura deste texto é uma emissão de comportamento.

Comportamentos são ações realizadas por nós de forma voluntária, sejam eles executados de forma consciente, como, por exemplo, ler este texto, ou de forma automática, como rebater com uma raquete uma bola que vem com velocidade superior a 150 km/h durante uma partida de tênis.

O SN pode ser considerado um maestro de uma orquestra, enquanto que podemos considerar os outros sistemas os músicos dessa orquestra. Sabemos que todos os músicos são essenciais para o desempenho perfeito da apresentação, ou seja, um problema apresentado por um dos elementos pode afetar o grupo todo. Porém, para que todos trabalhem de forma harmônica, é primordial a presença de um elemento responsável pela tarefa de coordenação das ações de todos os outros (no caso do nosso exemplo, o maestro). O SN é esse maestro, uma rede de comunicação, que regula, excitando ou inibindo, as funções de todos os outros sistemas. Por exemplo, o sistema cardíaco é o responsável por bombear o sangue para todo corpo, no entanto, quando estamos nos exercitando, a frequência cardíaca deve aumentar para o organismo suportar a demanda dessa atividade física, e esse aumento depende de um comando do SN.

Células nervosas e gênese e transmissão das informações

Importante!

O comando, ou seja, o estímulo propagado pelo SN é executado por células nervosas chamadas de neurônios. Os neurônios, portanto, têm como função processar e transmitir todas as informações internas ou externas para o organismo todo com objetivo de manter a homeostase ou emitir comportamento.

Essa célula nervosa é constituída de 3 componentes principais: dendritos, corpo celular e axônio (Fig. 2), e a transmissão dos sinais ocorre de forma elétrica e (normalmente) dos dendritos para os axônio.

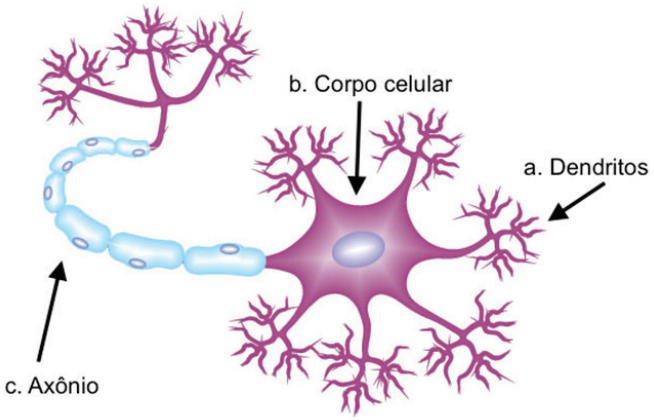


Figura 2 - Esquematização de um neurônio (célula nervosa) e suas partes: (a) dendritos, (b) corpo celular, e (c) axônio

Fonte: Adaptado de Pithon-Curi, 2013

Por que de forma elétrica? Todas as células do organismo precisam de íons para seu funcionamento.

Íons: são elementos químicos carregados eletricamente, como, por exemplo, Na^2 e K^+.

Devido à necessidade de se ter um equilíbrio entre os íons dentro e fora da célula, esses elementos eletricamente carregados entram ou saem das células por osmose (passagem direta quando a membrana é permeável, ou seja, permite essa movimentação) ou por canais e bombas (que transportam os íons quando a membrana celular não permite essa passagem direta). Essa movimentação de íons se dá principalmente de duas formas: bombas sódio-potássio bombeiam 3 íons Na^+ para fora e 2 K^+ para dentro da célula; e canais protéicos de K^+ são 100 x mais permeável que canais de o Na^+. Essas bombas e canais criam, portanto, um maior fluxo (saída) de íons positivos de dentro da célula, fazendo com que, sob situação de repouso, o interior celular permaneça eletricamente negativo, enquanto que o meio extracelular eletricamente positivo. Esse gradiente elétrico formado entre o meio intra e extracelular é conhecido como potencial de membrana de repouso.

Quando uma informação chega ao sistema nervoso (por exemplo, um odor é sentido), é porque ocorreram variações rápidas nesse potencial de membrana, que fluem rapidamente ao longo do axônio invertendo a carga elétrica dos meios intra e extracelular a partir de um fluxo intenso de Na^+ para o interior do axônio.

Importante!

Esse processo, chamado de despolarização da membrana celular (inversão de carga negativa para positiva) é chamado de Potencial de Ação (PA, Fig. 3) – é quando o estímulo (ou impulso nervoso) está sendo transmitido/propagado.

O PA segue a lei do tudo-ou-nada, ou seja, a despolarização precisa ultrapassar um limiar, causando uma inversão da polaridade dentro da célula, em que uma vez causada, não poderá ser interrompida ao longo do axônio. Passado o PA, a célula retorna ao seu estado de repouso, portanto, há uma repolarização da membrana, voltando a se tornar negativa.

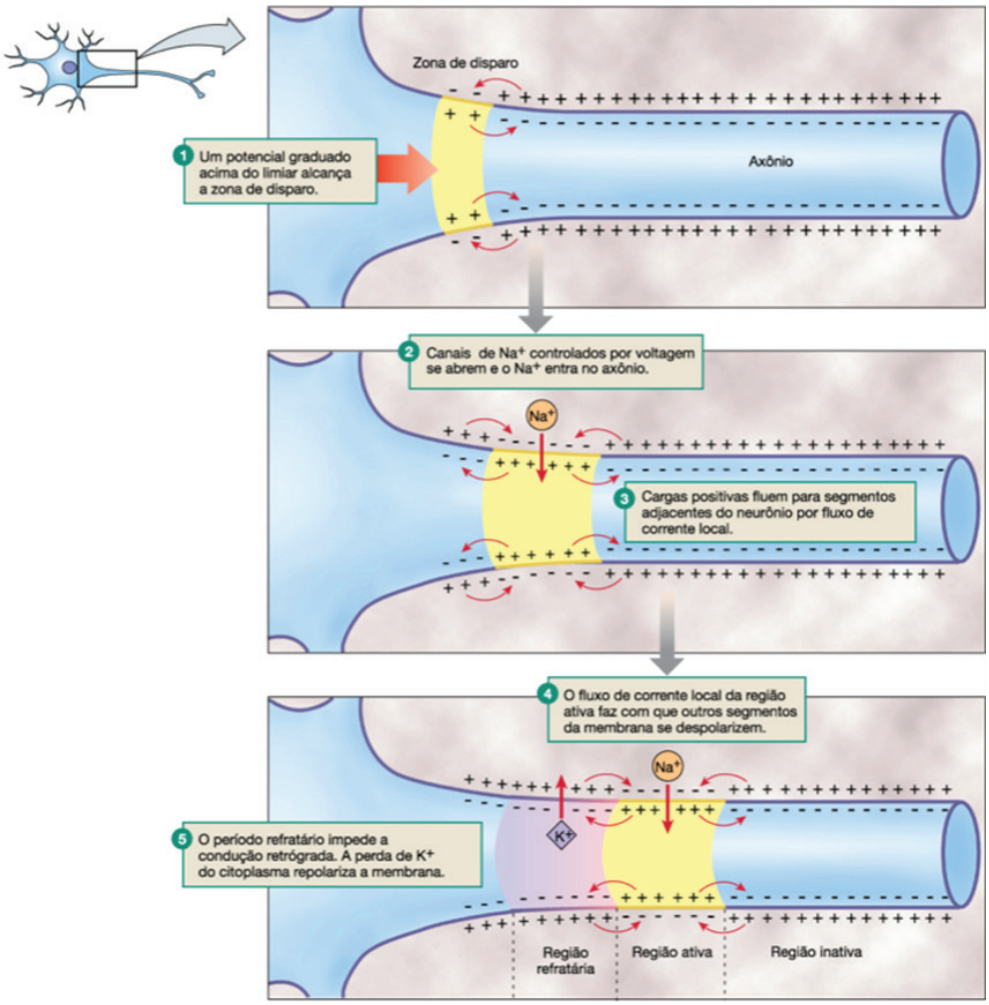


Figura 3 - Processo detalhado do Potencial de Ação

Fonte: Silverthorn, 2010

Os neurônios podem ou não ter uma estrutura chamada de bainha de mielina. Os neurônios que têm bainha de mielina são chamados de mielínicos e os que não a têm amielínicos. A bainha de mielina envolve o axônio (Fig. 4), e age como um isolante elétrico, permitindo que a transmissão de informações seja mais rápida.

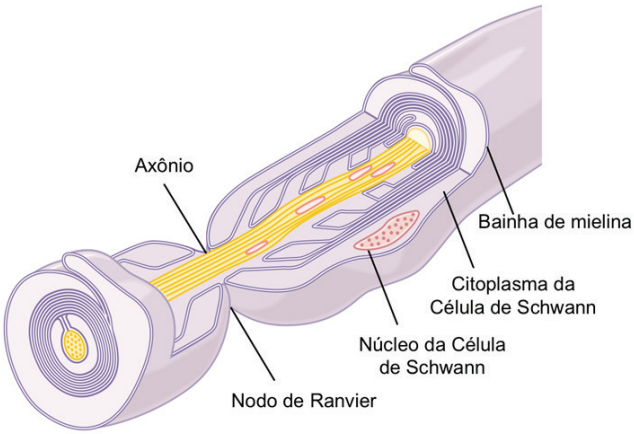


Figura 4 - Bainha de mielina envolvendo o axônio de um neurônio mielinizado

Fonte: Adaptado de Guyton & Hall, 2006

Constam também na imagem a célula da glia chamada Célula de Schwann, responsável pela produção de bainha de mielina, e a região chamada Nodo de Ranvier, local onde ocorre o Potencial de Ação, responsável pela transmissão da informação. Adaptado de Guyton & Hall (2006).

Esse aumento na velocidade de transmissão ocorre porque a bainha de mielina reduz a entrada e saída de íons, permitindo que esse processo ocorra somente nas regiões do axônio que não tem essa bainha. Essas áreas, chamadas de Nodos de Ranvier, são as únicas regiões do axônio em que a transmissão da informação (PA) pode ocorrer. Ou seja, o potencial de ação ocorre de forma saltatória, permitindo assim essa alta velocidade de transmissão de informação (100 m/s). Já, nos neurônios amielínicos, o potencial de ação ocorre de forma contínua e isso reduz a velocidade de transmissão da informação (0,25 m/s), pois o processo de entrada e saída de íons precisa ocorrer ao longo de todo o axônio.

Uma vez que um PA é gerado, os neurônios do SN se comunicam entre eles, propagando essa informação pelas sinapses.

Importante!

Sinapse (do grego synapsis, que significa "unir") é o termo utilizado para designar as estruturas que permitem neurônios estimularem outros neurônios por meio da união axônio – dendritos (outras uniões como axônio – axônio podem ocorrer, mas a primeira é a mais comum).

As sinapses podem ser elétricas ou químicas. As sinapses elétricas são feitas a partir de junções do tipo gap (espécie de canal que praticamente une um neurônio ao outro) em que um PA de um neurônio pode facilmente iniciar o processo de despolarização do próximo neurônio, dando continuidade à propagação da informação.

As sinapses químicas (mais comuns no nosso SN) são mais complexas que as elétricas, pois envolvem a liberação de substâncias chamadas neurotransmissores em uma região entre um neurônio e outro chamada de fenda sináptica. Diferentemente das elétricas, o PA não se propaga diretamente de um axônio para outro. Nas sinapses químicas, o PA ao despolarizar o terminal axônico (parte final do axônio de um neurônio) promove a liberação imediata ou a partir de vesículas de substâncias mediadoras chamadas de neurotransmissores na fenda sináptica (Fig. 5).

Trocando ideias...

Um exemplo de neurotransmissor é a serotonina, substância que dá sensação de prazer e bem-estar e que é liberada durante e após a prática de atividade física.

Uma vez esse neurotrasmissor na fenda sináptica, ele irá se ligar a uma estrutura do neurônio seguinte, chamada de receptor. Esse receptor pós-sináptico, que é específico, ou seja, somente reconhece um tipo neurotransmissor (como um sistema de chave e fechadura), ao fazer a ligação com o neurotransmissor, abre canais permitindo a passagem de íons que, por sua vez, iniciam o processo de despolarização da membrana desse neurônio, propagando o impulso nervoso (PA). Após a propagação, os neurotransmissores que restarem na fenda não podem ali ficar, devendo retornar ao neurônio que os liberou.

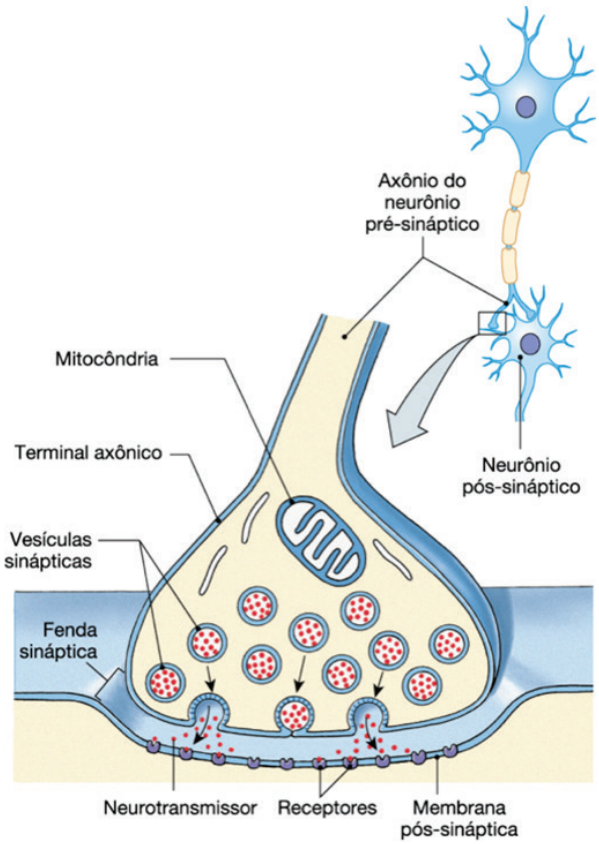


Figura 5 - Exemplo de sinapse química em que os neurotransmissores são os mensageiros da informação

Fonte: Adaptado de Silverthorn (2010)

Em termos funcionais, as sinapses químicas são mais dinâmicas, reguláveis, em comparação com as elétricas. As químicas podem produzir reações mais amplas e que podem perdurar por muito mais tempo que as elétricas.

Além de variações nas sinapses, os neurônios também podem apresentar variações decorrente de sua função. Eles podem ser classificados em:

- **Sensoriais:** neurônios que transportam sinais das extremidades do corpo para o Sistema Nervoso Central (tópico que será melhor detalhado a seguir). Eles "percebem" o ambiente e codificam as informações.
- **Motores (motoneurônios):** neurônios que transportam sinais do sistema nervoso central para as extremidades do corpo.
- **Interneurônios:** conectam vários neurônios dentro do encéfalo e da medula espinhal.

Além dos neurônios, o SN também é composto de outras células, as chamadas células da glia. Dois tipos celulares da glia são responsáveis pela produção da bainha de mielina dos neurônios mielinazados, são elas: oligodendrócitos e células de Schwann. Os oligodendrócitos são responsáveis pela mielinização dos neurônios do SN central, enquanto que as células de Schwann dos neurônios do SN periférico. Outro tipo de célula da glia são os astrócitos, responsáveis pela nutrição dos neurônios.

Muitos desses não tem acesso direto aos vasos sanguíneos, sendo portanto necessário um acesso indireto a partir dos astrócitos. Por último, mas não menos importante, as células chamadas de microglias são macrófagos especializados em atuar como defensores do sistema nervoso.

Divisão anatômica do Sistema Nervoso

O SN pode ser anatomicamente dividido em: Sistema Nervoso Central (SNC) e Sistema Nervoso Periférico (SNP; Fig. 6). Conforme visto na figura 6, o SNC é composto do encéfalo e da medula espinhal e o SNP é composto de nervos (espinhais e crianianos) e gânglios (grupamentos de corpos celulares).

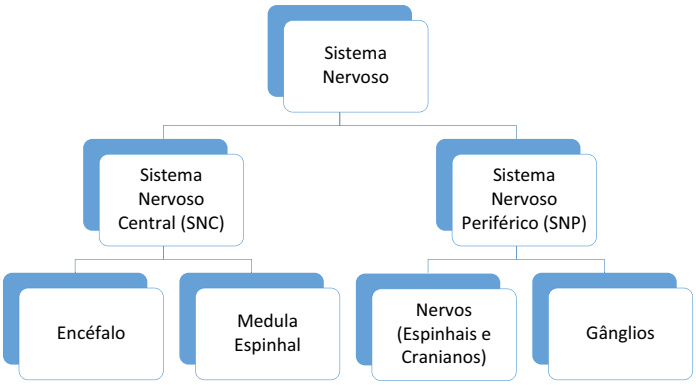


Figura 6 - Esquematização da divisão anatômica do Sistema Nervoso

Na medula espinhal, encontram-se neurônios sensórios e motores, isso significa que uma lesão medular pode, dependendo da altura, interromper a chegada de estímulos, assim como ações motoras. A medula pode ser dividida de acordo com a região (assim como as vértebras) em sacral, lombar, torácica e cervical. Uma lesão lombar pode levar a perda de sensibilidade nas pernas, assim como a movimentação das mesmas. Mas a medula não controla apenas nossa relação ao mundo exterior, ela também tem papel na manutenção do equilíbrio de nossos parâmetros interno (digestão, respiração e circulação). Ela pode ser considerada um centro integrador em que determinadas informações seguem para o encéfalo, enquanto que outras podem ser processadas sem necessariamente pela própria medula, como, por exemplo, quando pisamos em um prego (Fig 7.). Essa situação, chamada de arco reflexo, é rapidamente processada na medula e uma ação motora muito rápida (retirada do pé do prego) ocorre.

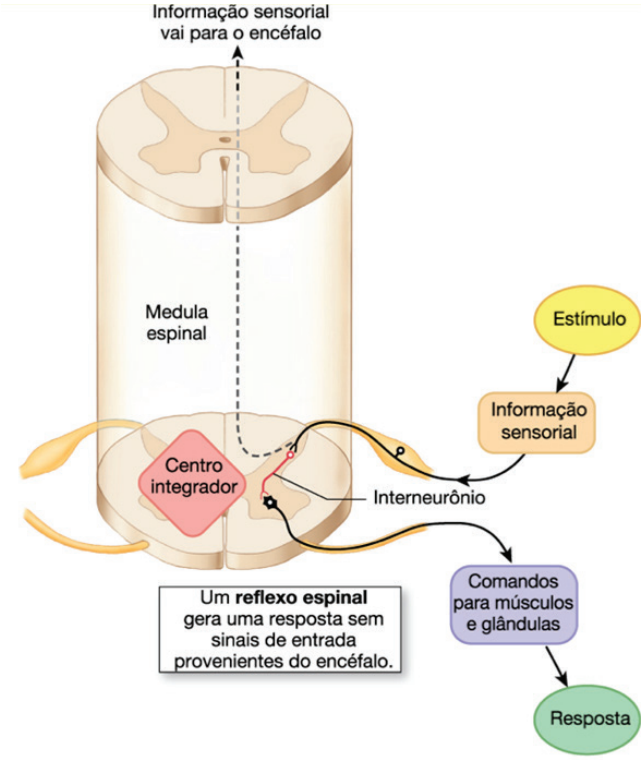


Figura 7 - A medula espinhal é um centro integrador. Em um reflexo espinhal, a informação sensorial entra namedula espinhal e tem efeito sem comandos do encéfalo

Fonte: Silverthorn, 2010

O encéfalo é dividido em cérebro, cerebelo e tronco cerebral (fig. 8).

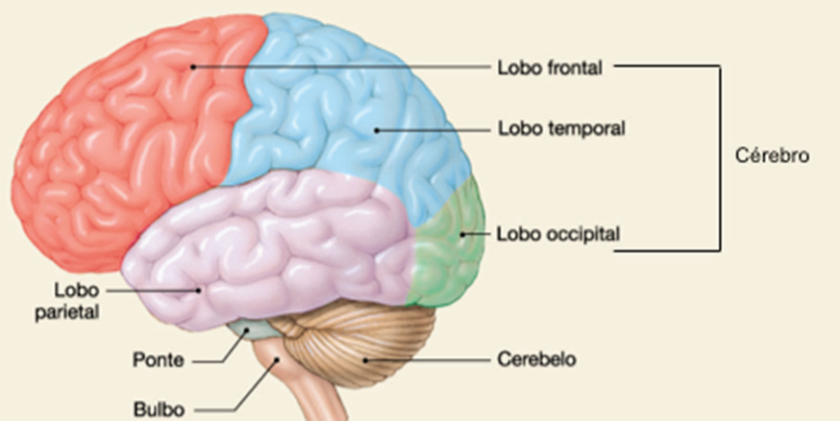


Figura 8 - Divisão anatômica do SNC

Fonte: Silverthorn, 2010

O tronco encefálico é a estrutura de transição entre o encéfalo e a medula. Ela é formada por três estruturas: bulbo, ponte e mesencéfalo (fig. 8), sendo essencial para a vida, pois atua em praticamente todas funções neurais, tais como sensação de dor, analgesia, memória, emoção, ingestão alimentar, motricidade, atenção, entre outros. É nesta região que há o controle inicial das funções sensórias e motoras da medula: controle do padrão respiratório e regulação da pressão arterial (duas funções primordiais para manutenção da vida), e controle motor primário (postura e organização dos padrões de marcha). Além disso, nervos cranianos tem sua origem exatamente no tronco encefálico. São 12 pares de nervos, que

originados no tronco encefálico, controlam desde funções primárias de sensibilidade e motricidade da cabeça e pescoço (nervo trigêmeo), passando por sensibilidade gustativa (nervos facial e glossofaríngeo) e movimentação da língua, visão (nervo óptico), movimentação dos olhos (nervo oculomotor), olfação (nervo olfatório), audição até, por fim, movimentação de ombros e pescoço.

Um exemplo interessante da atuação do tronco encefálico em funções primárias foi constatada após a realização de um experimento por Sherrigton, intitulado de gato descerebrado. Nesse experimento, realizado em 1906, pesquisadores descobriram que após extração do cérebro, um gato colocado em uma esteira ainda marchava sob a mesma quando estimulado.

Essa constatação reforça a importância dessa estrutura do encéfalo que, se lesionada leva a óbito, enquanto que outras estruturas como o cerebelo e cérebro não necessariamente.

O cerebelo (fig. 8) é uma estrutura pequena (10% do encéfalo), porém, com maior densidade de neurônios (50%). O cerebelo estabelece conexões diretas ou indiretas com todo o SNC e tem participação essencial nas funções motoras, sensórias, atencionais e cognitivas. No entanto, seu papel principal é na função motora, sendo essencial no controle postural, tônus muscular, execução de movimentos precisos e coordenados, aprendizagem motora e correção de erros. A porção cerebelar intermediária apresenta aferências de músculos, tendões, olhos e do aparelho vestibular (estrutura responsável pela manutenção do equilíbrio), emitindo comandos motores de ajustes (ou seja, correções para adequar o movimento a situação em que estamos no momento). Um bom exemplo da atuação da porção intermediária do cerebelo é quando tropeçamos e ajustes automáticos são rapidamente feitos para que não caímos. A outra porção cerebelar, a lateral, atua em funções cognitivas durante a aprendizagem de novas sequências motoras. Bebês, por exemplo, durante o processo de aprendizagem da marcha, aprendem que a melhor forma de cair é sentado.

O cérebro, última estrutura do encéfalo, é dividido em diencéfalo e telencéfalo (também conhecido como córtex). O diencéfalo é a estrutura correspondente ao hipotálamo e tálamo (fig. 9). O hipotálamo é o grande responsável pelo controle da homeostasia (principalmente por meio de hormônios). Nele, também encontram-se os chamados centros da fome, da saciedade, da sede e do ciclo sono-vigília. Além disso, o hipotálamo contém uma grande quantidade de neurônios que possuem um forte componente intrínseco. Esse forte componente lhes dá uma característica importante de marcapasso, portanto, esses são chamados neurônios marcapassos que controlam não só o ritmo cardíaco, mas também padrão respiratório, a temperatura corporal, e o ciclo menstrual na mulher. Como é nessa região do hipotálamo que a temperatura corporal é mantida, existe nessa área uma grande sensibilidade às infecções bacterianas ou virais, gerando, dessa forma, a chamada febre (aumento da temperatura corporal devido a algum tipo de infecção). O tálamo, outra área do diencéfalo, é uma região de passagem (quase) obrigatória de

informação do e para o córtex cerebral. O tálamo modula o nível de atividade no córtex e o nosso processamento consciente de informações. É uma região crítica para percepção sensória, para controle motor, e na regulação do nível de alerta e estado de sono-vigília. Agindo como um modulador, o tálamo serve como filtro, atenuando ou eliminando o acesso de informações sensórias ao córtex cerebral, como, por exemplo, quando conseguimos ignorar ruídos externos do trânsito para falar no celular ao andar em uma rua movimentada.

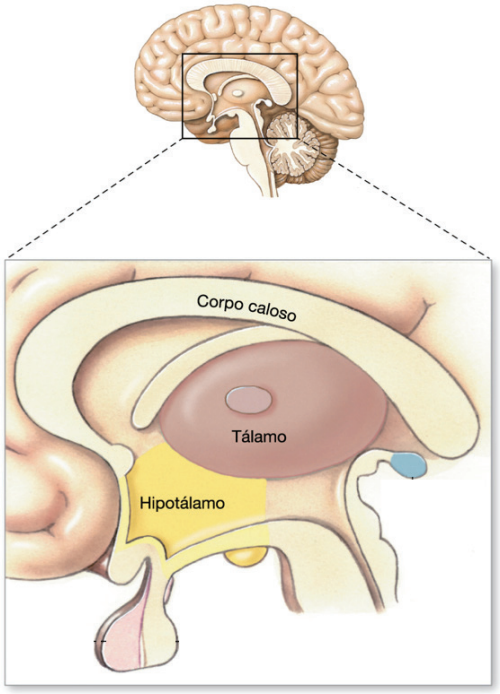


Figura 9 - O diencéfalo está localizado entre o telencéfalo e o tronco encefálico

Fonte: Adaptado de Silverthorn, 2010

Importante!

O telencéfalo (ou córtex, fig. 10) é a estrutura mais evidente do encéfalo, qual popularmente conhecemos como cérebro, pois é essa região a principal responsável pela unificação daquilo que nos define como indivíduos.

É no córtex que ocorre o processamento final da informação sensória, motora, cognitiva e emocional. Diferentes áreas desse córtex apresentam o processamento de diferentes informações, as quais iremos discutir mais à frente nos próximos parágrafos. O córtex pode ser dividido em lobos (frontal, temporal, parietal e occipital), além de conter o hipocampo, os núcleos da base e a amígdala. O hipocampo tem como função comparar a informação sensória atual com as anteriormente vivenciadas e "catalogar" essas informações novas. A amígdala é uma região ativada por meio de uma reação instintiva de medo. Sentir medo é importante, pois permite que aprendamos a temer novos estímulos potencialmente perigosos para o organismo.

Ao contrário de lesões ocorridas no tronco encefálico, uma lesão no telencéfalo não necessariamente resulta em morte. Dependendo da região que a lesão ocorrer, somente funções específicas serão eliminadas. Por exemplo, se o lobo occipital for lesionado, a pessoa ficará cega, pois essa região é a responsável pelo processamento de estímulos visuais.

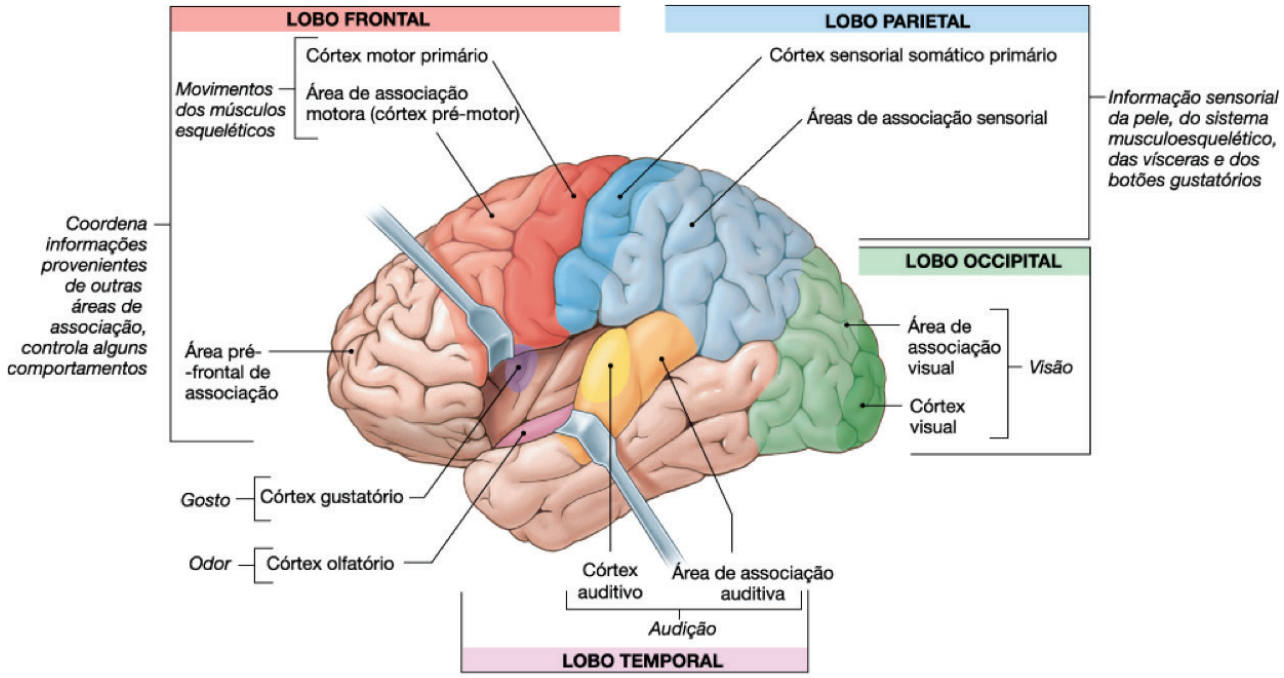


Figura 10 - O telencéfalo e as funções de acordo com cada região do córtex cerebral

Fonte: Adaptado de Silverthorn, 2010

Divisão funcional do sistema nervoso

Além da divisão anatômica, o SN também pode ser dividido funcionalmente em sistema sensorial, sistema motor e sistema neurovegetativo.

Importante!

O sistema sensorial tem como função a transmissão de informações sobre estímulos diversos como tato, som, luz, dor, frio, calor, entre outros, para o SN.

A direção dos eventos se dá do sistema nervoso periférico até o sistema nervoso central. A gênese (ou seja, início) dessa transmissão de informações ocorre a partir de neurônios especializados, chamados de receptores sensoriais. Basicamente, existem 5 tipos de receptores:

- Mecanorreceptores: detectam compressão mecânica, como som e tato;
- Termorreceptores: detectam alterações de temperatura;
- Nociceptores: receptores de dor;

- Receptores eletromagnéticos: detectam luz que incidem na retina do olho;
- Quimiorreceptores: detectam gosto, cheiros, nível de oxigênio no sangue, entre outros.

Independente do receptor, uma vez detectado o estímulo específico, um PA será gerado, portanto, será despolarizada a membrana do axônio desse primeiro neurônio sensorial, e a informação será transmitida adiante. Os receptores sensoriais, portanto, têm essa capacidade de transduzir ("transformar") estímulo externo em informação elétrica para o SN. Cada tipo de receptor apresenta sensibilidade seletiva, ou seja, ele somente transduz estímulos específicos. Por exemplo, receptores sensíveis para dor não são estimulados por estímulos habituais de tato ou pressão, eles são ativados apenas em estímulos táteis graves ou suficientes para lesar tecidos.

Mas como diferentes receptores transmitem diferentes sensações (dor, tato, visão, som, temperatura)? Cada nervo termina em uma área específica do SNC. Essa especificidade é determinante, pois cada região do encéfalo é responsável pelo processamento de estímulos específicos. Por exemplo, fibras táteis dirigem-se a áreas encefálicas específicas para o tato, enquanto que o mesmo ocorre para outros sentidos (Fig. 10).

Além dos chamados sentidos especiais, visão, audição, olfação, paladar e equilíbrio, o corpo humano também tem mecanismos neurais responsáveis pela aquisição de informações sensoriais do que se passa em todo o corpo. Existem em 3 tipos dessas informações: as sensações somáticas mecanorreceptivas, sensações à dor e sensações termorreceptivas.

As sensações somáticas mecanorreceptivas são divididas em táteis (pressão, vibração e cócegas) e de posição (sensações de posição estática e de velocidade dos movimentos). As sensações de tato, pressão e vibração são detectados pelos mesmos tipos de receptores. A diferença é que a sensibilidade tátil se dá na ativação de receptores na pele, enquanto que pressão precisava haver deformação de tecidos mais profundos e vibração é o resultado de sinais sensórios repetitivos e rápidos. As sessões de posição são também chamadas de proprioceptivas. Divididas em 2 grupos: posição estática e velocidade de movimento, ambos controles dependem do conhecimento dos graus de angulação das articulações e de suas velocidades de mudança. Dois receptores sensoriais importantes para detecção dessas informações proprioceptivas são o fuso neuromuscular e o órgão tendinoso de golgi. O fuso neuromuscular funciona como detector do comprimento muscular e sua função é auxiliar na regulação do movimento e na manutenção da postura. O órgão tendinoso de golgi monitora continuamente a tensão produzida pela contração muscular e sua função é servir como um dispositivo de segurança, ao impedir a força excessiva durante a contração muscular.

As sensações à dor são um mecanismo protetor do organismo, servindo para alertar quando um estímulo pode ser prejudicial à integridade dos tecidos e órgãos. A dor é classificada como: rápida ou lenta, sendo que a rápida pode ser sentida

dentro de 0,1 s (agulha espetando ou queimadura), enquanto que a lenta é percebida após 1 s ou mais (com aumento gradativo da sensação de dor, indicando lesão tecidual). Os receptores de dor podem ser excitados por 3 estímulos diferentes, estímulos mecânicos, térmicos e químicos. A dor rápida é decorrente de estímulos mecânicos e térmicos e a dor lenta de estímulos químicos. A transmissão da dor sentida no momento pode percorrer duas vias: a pontual-rápida ou a lenta-crônica. Na via pontual-rápida, a informação é transmitida por fibras mielinizadas, portanto, avisa rapidamente sobre o perigo, nós temos reação imediata a essa sensação com alta precisão na localização da área em que se sente a dor (por exemplo, pisar em um prego). Na via lenta-crônica, a informação é transmitida por fibras amielinizadas; dessa forma, a velocidade com que se sente a dor não é imediata, caracterizando uma lesão crônica, em que, normalmente, a localização é imprecisa (por exemplo, dor de estômago em que é difícil dizer com precisão qual ponto específico do estômago está doendo).

O ser humano pode sentir diferentes graduações de temperatura: frio congelante, gelado, frio, indiferente, morno, quente e muito quente. Essas sensações térmicas podem ocorrer pela presença de 3 tipos diferentes de receptores, o de frio, o de calor e o de dor. Cabe ressaltar que os receptores para dor serão ativados apenas em casos extremos de calor ou frio.

Importante!

O Sistema Motor tem como missão primordial gerar comportamentos, como sorrir, falar, correr, comer, olhar, pegar.

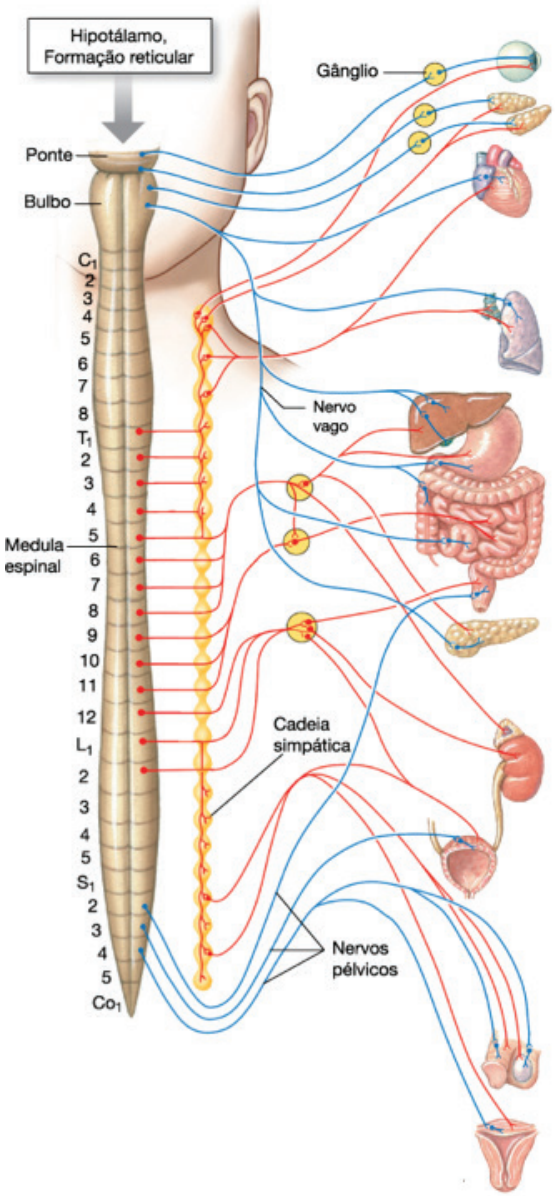
Apresenta organização hierárquica, ou seja, o encéfalo modula a atividade do tálamo e tronco cerebral, e estes dos motoneurônios medulares. Possui padrão de controle básico (os reflexos), já comentados anteriormente, que são controlados por circuitos medulares (ou pelo tronco encefálico em alguns casos como a marcha). Já o controle mais elaborado de atos motores voluntários requerem grandes conjuntos de neurônios e permitem uma ampliação do repertório motor (como por exemplo o ato de nadar). Essas novas sequências motoras são armazenadas e passam a fazer parte do repertório de gestos automáticos (ações que muitas vezes fazemos sem pensar).

Importante!

O sistema neurovegetativo é indispensável para o controle sensório e motor relacionado às funções internas do nosso organismo.

Esse sistema é o responsável por funções básicas de sobrevivência dos mais variados órgãos como pulmão, coração, intestino. Ele atua sobre músculos (cardíaco e liso) e também em glândulas e desencadeia percepções de emoções como "nó

na garganta", "nó no estômago" e "aperto no peito". Ele pode ser dividido em simpático, atuante em situações de estresse, preparando o organismo para luta-ou-fuga e parassimpático, atuante em situações de relaxamento, repouso e digestão. Apesar de atuarem de forma independentes, essas duas divisões trabalham de forma concordante. Veja figura 11 para entender as funções de cada uma dessas divisões do sistema neurovegetativo.



Órgão efetor	Resposta parassimpática*	Resposta simpática
Pupila do olho	Constrição	Dilatação
Glândulas salivares	Secreção aquosa	Muco, enzimas
Coração	Diminui a frequência	Aumenta a frequência e a força de contração
Arteríolas e vênulas	—	Constrição Dilatação
Pulmões	Constrição dos bronquíolos	Dilatação dos bronquíolos
Trato digestório	Aumenta a motilidade e a secreção	Diminui a motilidade e a secreção
Pâncreas exócrino	Aumenta a secreção enzimática	Diminui a secreção enzimática
Pâncreas endócrino	Estimula a secre-ção de insulina	Inibe a secreção de insulina
Medula da suprarrenal	—	Secreta catecolaminas
Rim	—	Aumenta a secreção de renina
Bexiga urinária	Liberação da urina	Retenção da urina
Tecido adiposo	—	Degradação da gordura
Gândulas sudoríferas	Sudorese	Sudorese localizada
Órgãos sexuais femininos e masculinos	Ereção	Ejaculação (homem)
Útero	Depende do estágio do ciclo	Depende do estágio do ciclo
Tecido linfático (não ilustrado na figura)	—	Geralmente inibitório

Figura 11 - Atuações dos sistemas simpático e parassimpático do sistema neurovegetativo.

Fonte: Adaptado de Silverthorn, 2010

A prática de atividade física é considerada uma situação de estresse para o nosso organismo. Durante o exercício físico, o sistema simpático atua provocando as ações detalhadas na figura 11, enquanto que, após uma refeição, quem entra em jogo é o sistema parassimpático.

Sistema muscular

O sistema muscular trabalha em conjunto com o SN, já que é o responsável por emitir as ações transmitidas pelo SN. Existem 3 tipos de tecido muscular: o músculo estriado cardíaco, o músculo liso visceral e o músculo estriado esquelético.

O músculo estriado cardíaco é encontrado somente no coração. Ele é formado por células alongadas e ramificadas, que se unem por intermédio de discos intercalares e apresentam estrias transversais. O músculo cardíaco apresenta contração involuntária, vigorosa e rítmica.

O músculo liso visceral, como o próprio nome já diz, é encontrado nas vísceras. Ele é formado por aglomerados de células fusiformes que não possuem estrias transversais. Seu processo de contração é lento e não está sujeito ao controle voluntário.

Trocando ideias...

O músculo estriado esquelético é encontrado nos mais de 400 músculos que temos no organismo, representando de 40-50% do peso corporal.

Formado por feixes de células cilíndricas muito longas e multinucleadas, apresentam estriações transversais e têm contração rápida, vigorosa e sujeito ao controle voluntário.

Importante!

As principais funções do músculo esquelético são: geração de força para locomoção, respiração, sustentação postural e produção de calor durante períodos de exposição ao frio.

O músculo esquelético é composto de fascículos musculares, os quais são compostos de fibras musculares (células) que contêm miofibrilas, constituídas por filamentos proteicos de actina e miosina (Fig. 12).

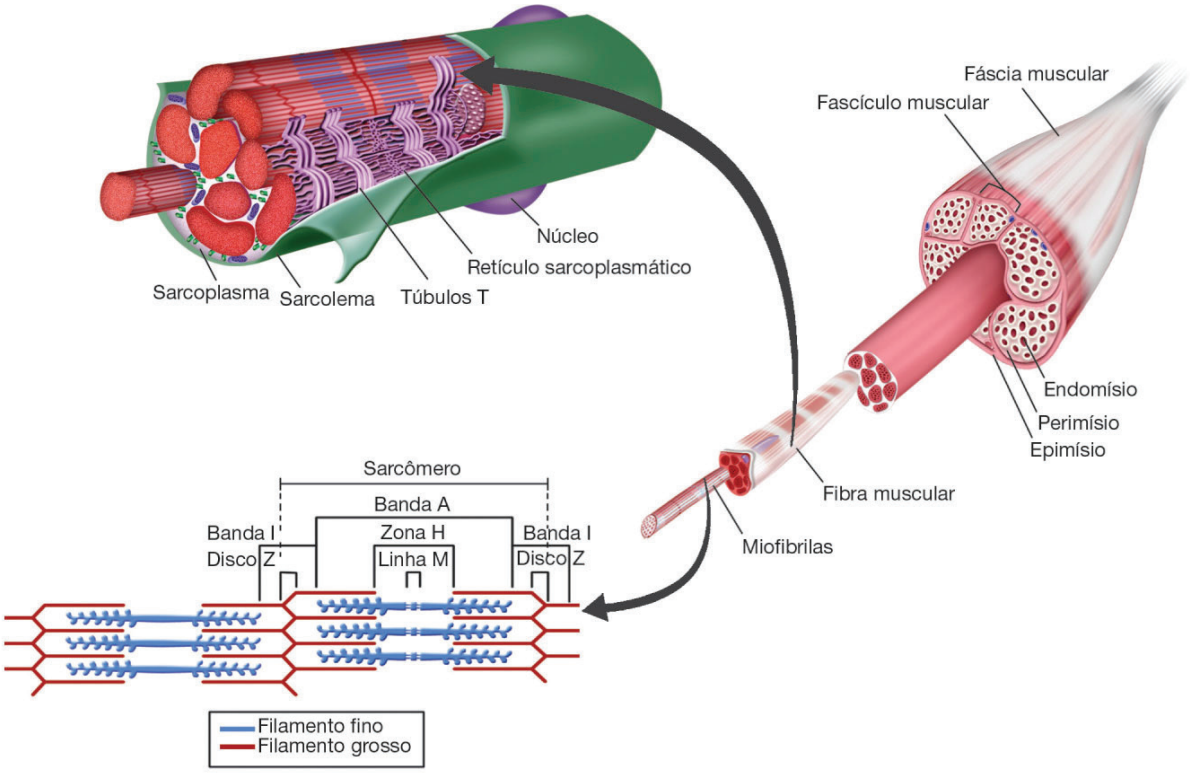


Figura 12 - Representação esquemática da estrutura do músculo, fascículo muscular, fibra muscular e miofibrilas

Fonte: Pithon-curi, 2013

Por serem células, as fibras musculares também possuem organelas que todas células humanas possuem, como mitrocôndrias e retículo sarcoplamástico, e estruturas específicas como os túbulos T (Fig 13a). Os túbulos T são estruturas que circundam transversalmente as miofibrilas, penetrando por toda espessura da fibra muscular. Isso possibilita que a propagação do potencial de ação desencadeado na membrana que irá resultar na contração muscular possa atingir todas as miofibrilas.

Além dos filamentos de actina e miosina, as miofibrilas também possuem (Fig. 13b e 13c)

- **Discos Z:** filamentos que passam transversalmente através de uma miofibrila para a outra;
- **Distrofina:** proteína que fixa a actina ao sarcolema e disco Z;
- **Titina:** proteína que fixa e estabiliza a miosina ao disco Z;
- **Sarcômero:** nome dado à região da miofibrila localizada entre dois discos Z.

A proteína contrátil miosina (também chamada de filamento grosso) possui 2 estruturas importantes, a cauda e a cabeça (Fig. 13d e 13e). Já a proteína contrátil actina (filamentos finos) possui regiões chamadas de sítios ativos (locais ativos), que

em situação de repouso são inibidas pelo complexo troponina-tropomiosina e, durante o processo de contração muscular (descrito detalhadamente a seguir), são expostas para interagirem com a cabeça da actina (Fig. 13d e 13e).

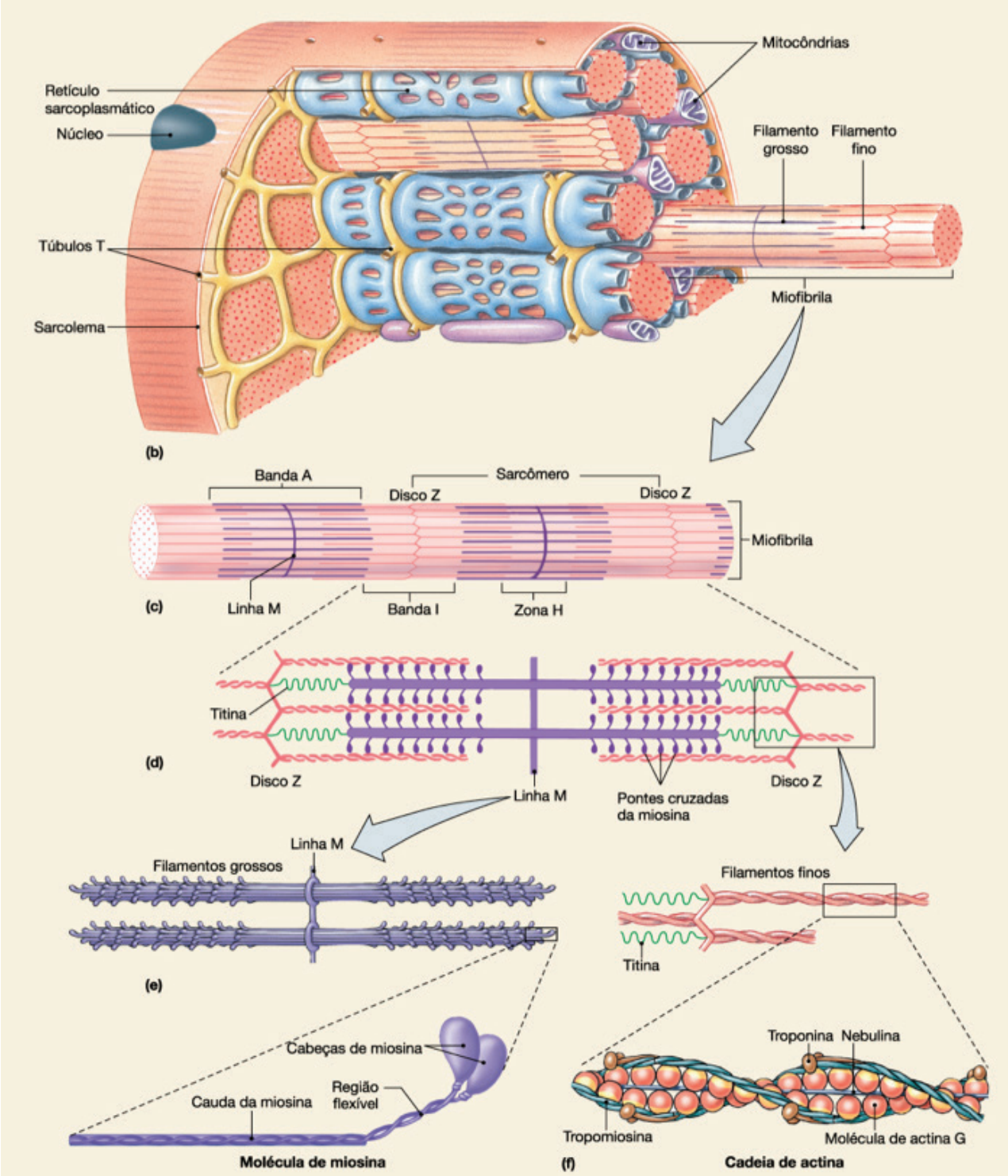


Figura 13 - Detalhes anatômicos das fibras musculares e miofibrilas

Fonte: Adaptado de Silverthorn, 2010

Processo de contração muscular

O processo de contração muscular se inicia a partir do axônio do neurônio pré-sináptico. Esse neurônio (motoneurônio) faz sua sinapse com o músculo, portanto a fenda sináptica nesse caso é chamada de junção neuromuscular. Quando um PA se propaga pelo neurônio que fará contato com o músculo, ocorre a abertura de canais de cálcio voltagem dependente e o cálcio entra na célula). A entrada de cálcio libera o neurotransmissor acetilcolina (armazenada nas vesículas sinápticas) para a junção neuromuscular. Receptores específicos de acetilcolina na membrana pós-sináptica (fibra muscular) reconhecem a chegada do neurotrasmissor abrindo canais para entrada de íons positivos. Essa entrada inicia a propagação do PA, enquanto que a acetilcolina é removida da fenda, impedindo a re-excitação. A transmissão do PA se dá por toda fibra através dos túbulos T, fazendo com que haja liberação de cálcio do retículo sarcoplasmático para o sarcoplasma. O cálcio se liga ao complexo troponina-tropomiosina e expondo os sítios ativos da actina. A cabeça da miosina tem forte atração por esses sítios ativos, que quando uma vez expostos são puxados pela miosina, fazendo com que os filamentos de actina deslizem sobre a miosina, finalizando no processo de contração muscular (Fig. 14).

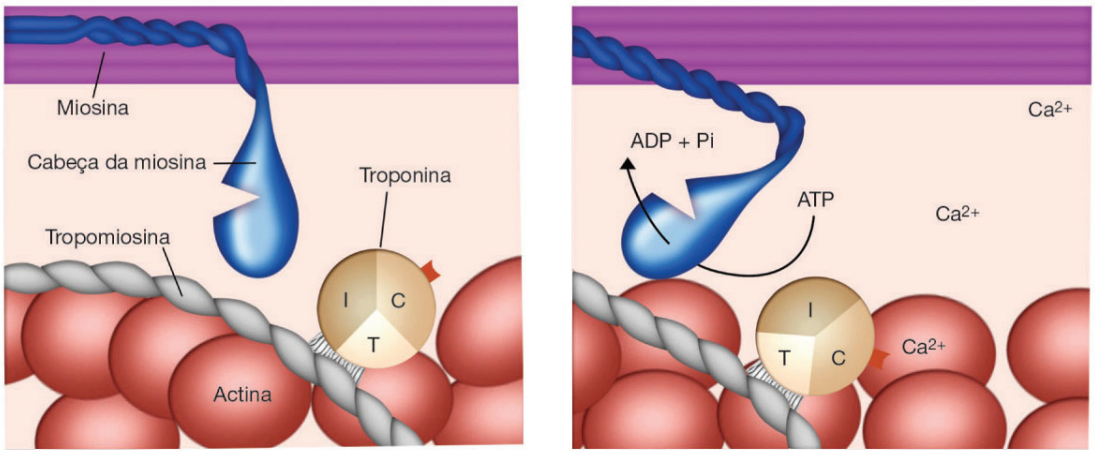


Figura 14 - Desencadeamento da contração muscular pelo mecanismo das pontes cruzadas

Fonte: Pithon-Curi, 2012

Portanto, a contração muscular nada mais é do que o encurtamento de sarcomeros causados pelo deslizamento dos filamentos de actina sob filamentos de miosina (Fig 15.).

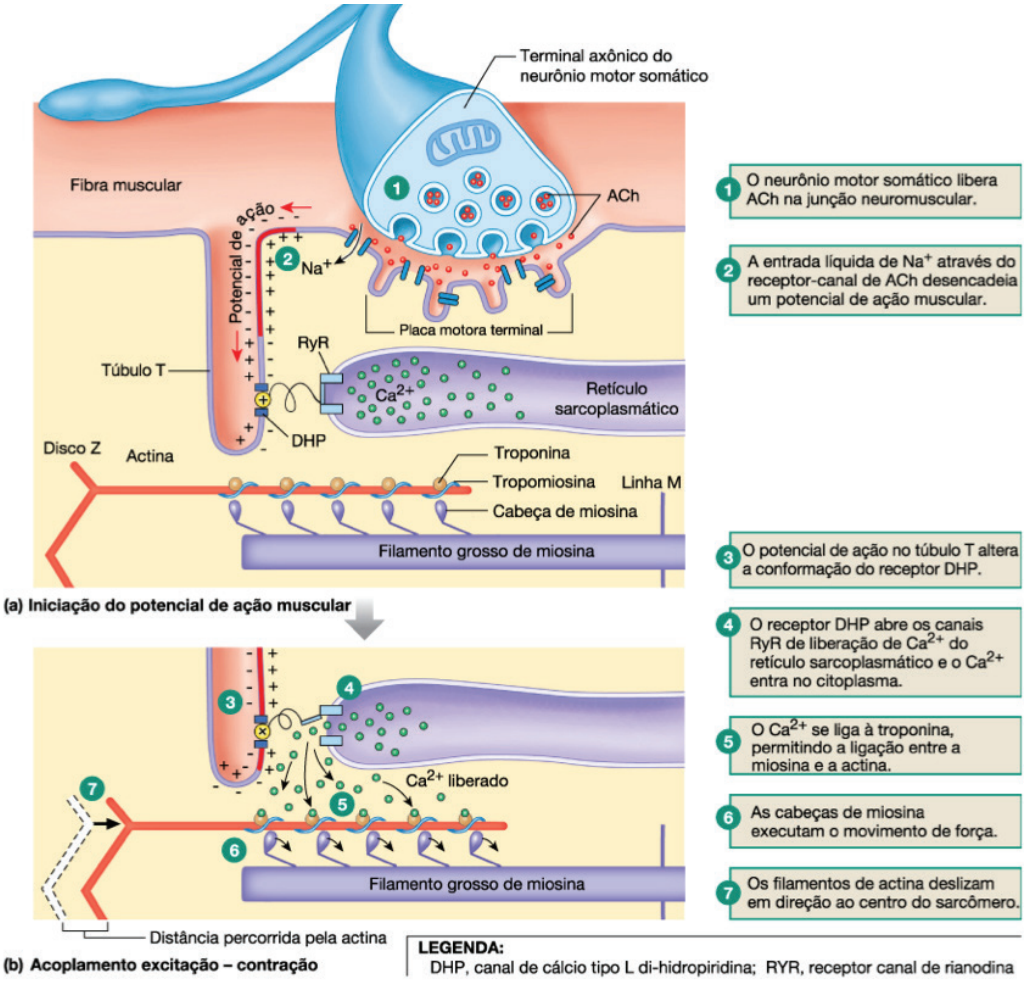


Figura 15 - Passo-a-passo do processo de contração muscular

Fonte: Adaptado de Silverthorn, 2010

Importantes características do Sistema Muscular

O processo de contração muscular demanda muita energia, pois necessita de muito ATP para o deslocamento da actina, para bombear o cálcio de volta para o interior do retículo sarcoplasmático após contração e estoque suficiente para 2 segundos de contração muscular.

Como visto, a contração muscular se dá pelo deslizamento de filamentos de actina sob miosina. Isso significa que existe uma relação entre o comprimento muscular e força de contração. Existe um grau de distensão ideal para a contração máxima da musculatura, sendo importante sempre haver um grau de sobreposição dos filamentos de actina e miosina. Um encurtamento da sobreposição, assim como uma hiperextensão, pode reduzir a força de contração, havendo portanto um ponto ótimo para geração de força.

As fibras musculares do músculo esquelético podem ser classificas em 3 tipos: tipo I (fibras vermelhas e contração lenta), tipo IIa (fibras intermediárias) e tipo IIb (fibras brancas e contração rápida).

As fibras do tipo I (vermelhas) tem alto número de mioglobinas, mitocôndrias e enzimas oxidativas, enquanto que apresentam baixa velocidade da enzima ATPase. Essas características fisiologicamente determinam que esse tipo de fibra é mais resistente a fadiga, e que portanto encontrado mais em atletas que praticam esportes de longa duração como por exemplo maratonistas.

As fibras do tipo IIb (brancas) apresentam menor número de mioglobinas, poucas mitocôndrias, muitas enzimas glicolíticas e alta velocidade enzima ATPase. Fisiologicamente, essas característica permitem que essa fibra tenha alta velocidade de contração, mas pouca resistência à fadiga. Nesse caso, esse tipo de fibra é muito encontrada em atletas praticantes de esportes de alta intensidade e curta duração como corridas curtas (100m rasos) no atletismo.

As fibras do tipo IIa são conhecidas como intermediárias por apresentarem quantidades de mioglobinas e mitocôndrias, número e velocidade de enzimas e resistência à fadiga entre a tipo I e a tipo IIb.

Efeitos do exercício no Sistema Nervoso e Muscular

A prática de atividade física tem como principal efeito no SN sensorial melhora nos processamentos atencionais, cognitivos e perceptuais a partir do aumento de conexões entre neurônios e melhora nos circuitos neuronais.

Ou seja, quanto mais treinadas em um determinado esporte, mais rapidamente o praticante irá processar as informações ambientais e produzir a ação motora apropriada para situação. Esse processamento se dá de forma praticamente automática, explicando porque jogadores de futebol, por exemplo, conseguem driblar seu adversário, antecipando as ações dele, de forma tão rápida e eficiente.

Importante!

O exercício físico também promove dois tipos de ganho de força: a neural e a por hipertrofia.

O ganho neural está relacionado ao aumento na coordenação e no número de fibras musculares excitadas durante o movimento. Quando não treinado, um atleta tende a recrutar menos fibras musculares e de forma não muito sincronizada. Após treinamento, esse recrutamento de fibras aumenta e é feito de forma muito coordenada. O ganho de força por hipertrofia ocorre a partir do aumento no número dos filamentos de actina e miosina. Quando os músculos são alongados a um comprimento superior ao normal, pode haver acréscimo de sarcômeros nas extremidades das fibras e portanto a força de contração aumenta.

Material Complementar

Indicações para saber mais sobre os assuntos abordados nesta Unidade:

Vídeos

What is so special about the human brain?
https://goo.gl/enklo1

The real reason for brains
https://goo.gl/yxht9B

A map of the brain
https://goo.gl/0rBcJN

Are athletes really getting faster, better, stronger?
https://goo.gl/8ymWnG

O Cérebro (Dublado) Documentário Completo [History Channel]
https://goo.gl/DKYiLE

Força Sobre-humana [HD] Documentário Dublado Discovery Science
https://goo.gl/3vcVI0

Referências

PITHON-CURI, T. C. **Fisiologia do Exercício**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2013.

CURI, R.; ARAUJO FILHO, J. P. **Fisiologia básica.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.

SHERRINGTON. **Integrative Actions of the Nervous System**. Yale University Press: New Haven, 1906.

Cruzeiro do Sul Virtual
Educação a Distância

www.cruzeirodosulvirtual.com.br
Campus Liberdade
Rua Galvão Bueno, 868
CEP 01506-000
São Paulo - SP - Brasil
Tel: (55 11) 3385-3000

Cruzeiro do Sul
Educacional