

# Fisiologia Humana

*Daniel Vicentini de Oliveira*

## INFORMAÇÕES SOBRE O AUTOR

### Daniel Vicentini de Oliveira

- Doutor em Gerontologia (UNICAMP).
- Mestre em Promoção da saúde (UNICESUMAR).
- Graduado em Educação Física e Fisioterapia (UNICESUMAR).

### Sobre o Autor

Daniel Vicentini de Oliveira possui graduação em Educação física (2008) e Fisioterapia (2011) pelo Centro Universitário de Maringá (Unicesumar), título de especialista em Gerontologia pela Sociedade Brasileira de Geriatria e Gerontologia (SBGG - 2017) e Especialização em Anatomia funcional (Unicesumar - 2010), em Gerontologia pela Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP - 2011) e em Saúde Pública pela Universidade Cândido Mendes (UCAM - 2017). Além do mais, é mestre em Promoção da saúde na linha de pesquisa de envelhecimento ativo (Unicesumar - 2014) e Doutor em Gerontologia pela Faculdade de Ciências Médicas (FCM) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Atualmente, é docente (T - 40) no Centro Universitário Metropolitano de Maringá (Unifamma), nos cursos de Educação física, Fisioterapia, Psicologia e Odontologia. É integrante do grupo de pesquisa de Envelhecimento ativo/CNPq e do Grupo de estudos e pesquisa sobre o envelhecimento humano e atividade física (GEPEHAF). Além do mais, possui experiência na área de Gerontologia, Ciências morfológicas, Educação Física e Fisioterapia, com ênfase em morfologia do aparelho locomotor, Educação Física e Fisioterapia em Gerontologia, Promoção da saúde no envelhecimento, Epidemiologia e saúde coletiva, Funcionalidade no envelhecimento. É membro da Sociedade Brasileira de Geriatria e Gerontologia (SBGG), da Sociedade Brasileira de Anatomia (SBA), da Associação Brasileira de Saúde coletiva (ABRASCO) e da Associação Brasileira de Fisioterapia em Gerontologia (ABRAFIGE).

## INTRODUÇÃO DO LIVRO

Caro(a) aluno(a), este material didático pretende levar, até você, de modo simples e esclarecedor, os conhecimentos relacionados à Fisiologia Humana, principalmente aqueles relacionados à área da Educação física. Os conteúdos das quatro unidades propostas permitirão que você desfrute, compreenda e aplique esses conhecimentos sobre os sistemas fisiológicos.

Na Unidade I, serão abordados conteúdos relacionados à introdução à fisiologia humana, organização funcional e o meio interno, bem como a composição química do corpo. Além disso, será descrita a fisiologia e estrutura celular, finalizando com bioenergética e metabolismo corporal.

No transcorrer da Unidade II, serão discutidos assuntos essenciais à fisiologia do sistema nervoso e endócrino, além da estrutura, função e controle do sistema neuromuscular.

Ao longo de toda a Unidade III, serão contemplados conteúdos relacionados à fisiologia cardiovascular, abordando a função do coração, sangue e circulação sanguínea. Evidencia-se, nesta Unidade, o sistema respiratório, em especial no que se refere às trocas gasosas que todos os seres humanos devem realizar, seja para a manutenção da vida ou para atividades esportivas. Ainda, você poderá conhecer doenças relacionadas a esses sistemas, como a hipertensão arterial sistêmica e a doença pulmonar obstrutiva crônica.

Por fim, na Unidade IV, serão abordados sistemas fisiológicos importantes para a manutenção da vida, desse modo, a fisiologia do sistema imunológico e a termorregulação humana.

Tenha uma boa experiência!!!

UNIDADE I

# **Introdução à fisiologia humana, fisiologia celular e bioenergética**

Daniel Vicentini de Oliveira

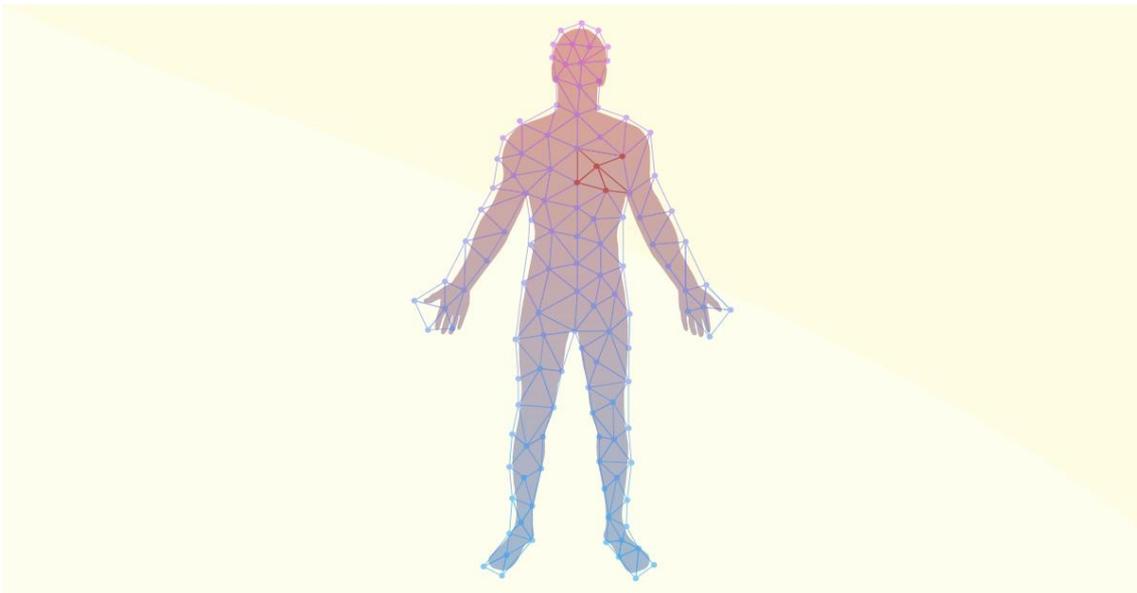
## Introdução

Caro(a) aluno(a), seja bem-vindo(a) à Unidade I da disciplina de Fisiologia humana, do curso de Educação física. Nesta primeira Unidade, faremos uma introdução à fisiologia humana, seguindo para a organização funcional e do meio interno. Em seguida, trataremos da composição química do corpo, a estrutura e fisiologia celular, finalizando com a bioenergética e o metabolismo humano.

Os objetivos propostos para esta unidade são: conhecer os principais fenômenos que envolvem fisiologia celular e geral; entender os mecanismos de transporte por meio da membrana, de potenciais de membrana, potenciais de ação e sinapse; e apresentar o funcionamento da transmissão de informações neurais dos sistemas orgânicos e metabólicos em situações de repouso e exercício.

Esses conteúdos são importantes para entender a fisiologia dos diversos sistemas corporais que serão abordados nas Unidades II, III e IV.

Tenha uma excelente leitura!



Fonte: Ciripasca / 123RF.

## **INTRODUÇÃO A FISIOLOGIA HUMANA - ORGANIZAÇÃO FUNCIONAL E DO MEIO INTERNO**

Caro(a) aluno(a), a fisiologia é a ciência que procura explicar os fatores físicos e químicos responsáveis pela origem, desenvolvimento e progressão da vida. Cada tipo de vida, como vírus, bactérias, plantas e o ser humano, possui suas próprias características funcionais. O grande campo da fisiologia pode ser dividido em fisiologia viral, fisiologia bacteriana, fisiologia celular, fisiologia vegetal e fisiologia humana. Esta última será abordada neste material.

Na fisiologia humana, busca-se explicar características, mecanismos e ações específicas do corpo humano. O fato de nos mantermos vivos está, praticamente, além de nosso controle. Sentimos fome, medo, frio e calor, o que nos leva a buscar soluções para tais sentimentos e sensações. Sendo assim, atributos especiais permitem que o ser humano exista sob condições variáveis.

### **As células**

A célula é a unidade básica do organismo humano. As células são mantidas juntas por estruturas de suporte intercelular. Cada tipo de célula possui uma ou mais funções específicas e determinadas. Em média, o corpo inteiro contém cerca de 100 trilhões de células (ALBERTS et al., 2017).

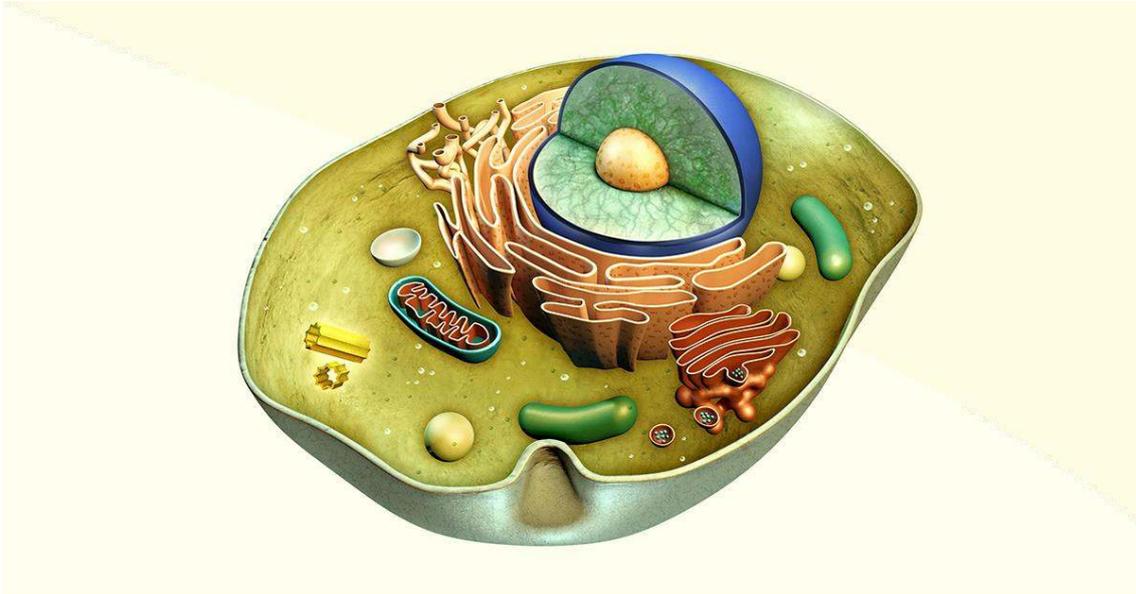


Figura 1.1 - Estrutura básica da célula

Fonte: Andrea Danti / 123RF.

As diversas células do corpo são diferentes umas das outras, porém todas possuem certas características básicas e comuns. Em todas as células, por exemplo, o oxigênio reage com carboidratos (CHO), gorduras (lipídios) e proteínas (aminoácidos) para liberar a energia necessária à função da célula. São mecanismos químicos gerais de transformação de nutrientes em energia. Todas as células liberam produtos finais de suas reações químicas nos fluidos circulantes (POWERS; HOWLEY, 2016).

Praticamente, todas as células têm a capacidade de reproduzir células adicionais de seu próprio tipo, com exceção dos neurônios e das fibras musculares esqueléticas. Quando células de um determinado tipo são destruídas por uma outra causa, as células restantes do mesmo tipo normalmente geram novas células para a reposição. Porém temos exceções, como as células nervosas (neurônios) e as fibras musculares esqueléticas (ALBERTS et al., 2017).

### **Fluido extracelular**

Do corpo humano adulto, cerca de 60% é fluido, principalmente de uma solução aquosa de íons e outras substâncias. A maior parte desse fluido está dentro das células e é

chamado de fluido intracelular. Porém cerca de 1/3 encontra-se nos espaços fora das células, que é chamado de fluido extracelular. Esse fluido está em constante movimento por todo o corpo, é rapidamente transportado no sangue circulante e trocas por difusão, por meio das paredes dos capilares, dão-se entre o sangue e os fluidos teciduais (KATCH; KATCH; MCARDLE, 2016).

Os íons e nutrientes necessários para a sobrevivência das células estão no fluido extracelular. Diante disso, todas as células vivem praticamente no mesmo ambiente (extracelular). O fluido extracelular é, também, chamado de meio interno do corpo (ALBERTS et al., 2017).

As células possuem a capacidade de crescer, viver e realizar funções especiais. Contudo, isso ocorre apenas enquanto as concentrações adequadas de oxigênio ( $O_2$ ), glicose, íons, aminoácidos, lipídios e outros constituintes estiverem disponíveis no ambiente interno.

No fluido extracelular, há grandes quantidades de sódio, cloreto e íons bicarbonato, além dos nutrientes essenciais para as células, como o oxigênio, a glicose, os ácidos graxos e os aminoácidos. Neste fluido, há, também, dióxido de carbono, que é transportado das células para os pulmões para ser excretado, além de outros produtos de excreção celulares, que são transportados aos rins para eliminação. O fluido intracelular contém grandes quantidades de potássio (K), magnésio (Mg) e íons fosfato. Para manter as diferenças de concentração iônicas entre os fluidos extracelulares e intracelulares, há mecanismos especiais para o transporte de íons por meio das membranas celulares (ALBERTS et al., 2017).

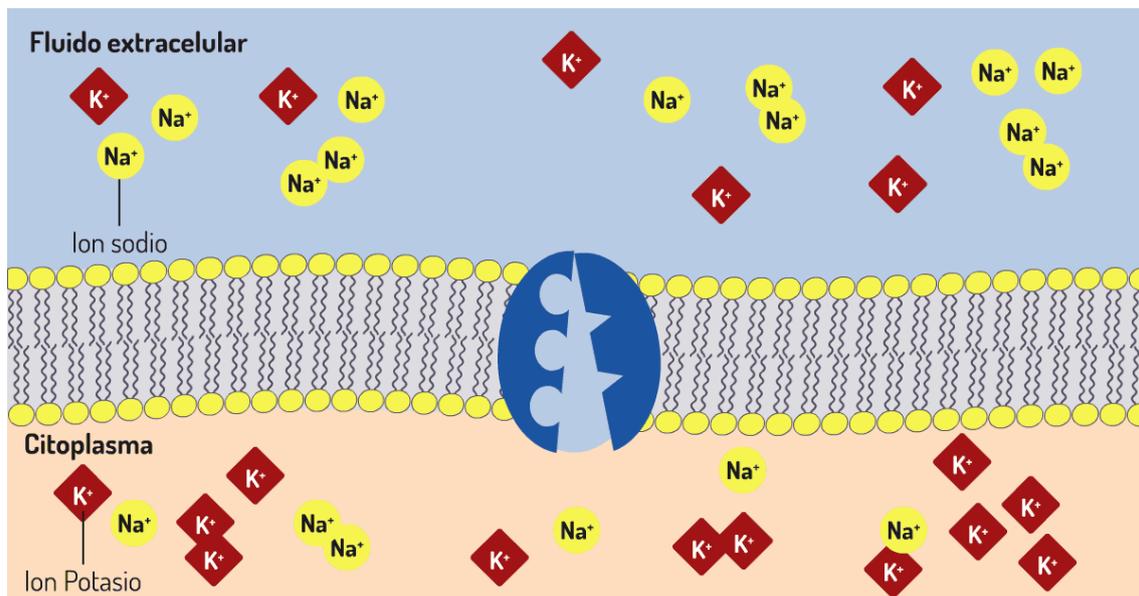


Figura 1.2 - Fluido intra e extracelular

Fonte: Elaborada pelo autor.

## FIQUE POR DENTRO

Indico a você, aluno(a), a vídeo aula de Citologia para saber mais sobre a temática. Esta aula é dividida em duas partes, então, fique atento. Acesse no link: <<https://www.youtube.com/watch?v=YB-zfUXDBHA>>. Acesso em: 9 jul. 2019.

Caro(a) aluno(a), você pode conhecer a diferença entre o meio interno e externo da célula humana, que é praticamente igual em todas as células. É importante lembrar, sempre, deste conteúdo para os próximos capítulos.

## ATIVIDADE

- 1) De acordo com a célula e seus fluidos, assinale a alternativa correta.
  - a) A maior parte do fluido celular está dentro das células, ou seja, o fluido extracelular.
  - b) No fluido extracelular, estão os íons e nutrientes necessários para que todas as células mantenham-se vivas. Dessa forma, o fluido extracelular é, também, chamado de meio interno do corpo.
  - c) A maior parte do fluido celular está fora das células, ou seja, o fluido intracelular.
  - d) No fluido intracelular, estão os íons e nutrientes necessários para que todas as células mantenham-se vivas. Dessa forma, o fluido extracelular é, também, chamado de meio interno do corpo.
  - e) No fluido extracelular, não estão os íons e nutrientes necessários para que todas as células mantenham-se vivas.

## COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CORPO HUMANO

No mínimo, 60 elementos químicos diferentes compõem o corpo humano, sendo 12 deles de maior abundância, os quais você conhecerá melhor nesta unidade. É fundamental conhecer a estes elementos químicos que compõem o corpo humano e a forma que suas estruturas interagem. Estima-se que 96% do corpo humano compõe-se por quatro elementos em particular: oxigênio, carbono, hidrogênio e nitrogênio, principalmente, em forma de água. Os 4% restantes compõe-se por outros poucos elementos. Desses 12 elementos mais abundantes, 99% do corpo é composto por seis deles: oxigênio, carbono, hidrogênio, nitrogênio, cálcio e fósforo (GUYTON; HALL, 2011).

O oxigênio compõe 65% do organismo humano. Já o carbono é um dos elementos mais importantes para a vida e, por meio das ligações de carbono, pode formar-se e romper-se com mínima quantidade de energia, o que possibilita o dinamismo da química em nível celular (GUYTON; HALL, 2011).

O hidrogênio é o elemento químico mais abundante no universo. No organismo humano, acontece algo muito similar e, ao lado do oxigênio em forma de água, ocupa o terceiro

lugar da lista dos elementos mais abundantes no corpo humano. O nitrogênio está presente em muitas moléculas orgânicas e constitui 3% do corpo humano, encontrando-se, por exemplo, nos aminoácidos que formam as proteínas e nos ácidos ribonucleicos do DNA.

O cálcio é o mais abundante mineral que compõe o organismo. Ele também é vital para o desenvolvimento do ser humano. Encontramos cálcio nos ossos e nos dentes, principalmente. Este possui função importante na regulação das proteínas. Já o fósforo é importante para as estruturas ósseas, porém este predomina-se nas moléculas de ATP, o que proporciona energia para as células (POWERS; HOWLEY, 2016).

O potássio ocupa apenas 0,25% do organismo humano, contudo é vital para o funcionamento do organismo humano, ajudando na regulação da frequência cardíaca e na transmissão de impulsos nervosos. O enxofre é um mineral essencial na química do organismo, sendo encontrado nos aminoácidos, dando forma às proteínas (GUYTON; HALL, 2011).

Um outro mineral, eletrólito, vital para o corpo humano é o sódio. Este está envolvido na sinalização elétrica dos nervos e na regulação da quantidade de água no corpo. Já o cloro é encontrado no corpo humano como íon negativo, sendo um eletrólito importante para equilibrar a quantidade de líquidos dos organismos. O magnésio é encontrado nos ossos e nos músculos e é utilizado em muitas reações metabólicas essenciais para a vida. Ademais, o ferro é fundamental no metabolismo dos organismos vivos, sendo encontrado na hemoglobina, que é o transportador de oxigênio nas células vermelhas do sangue, as hemácias.

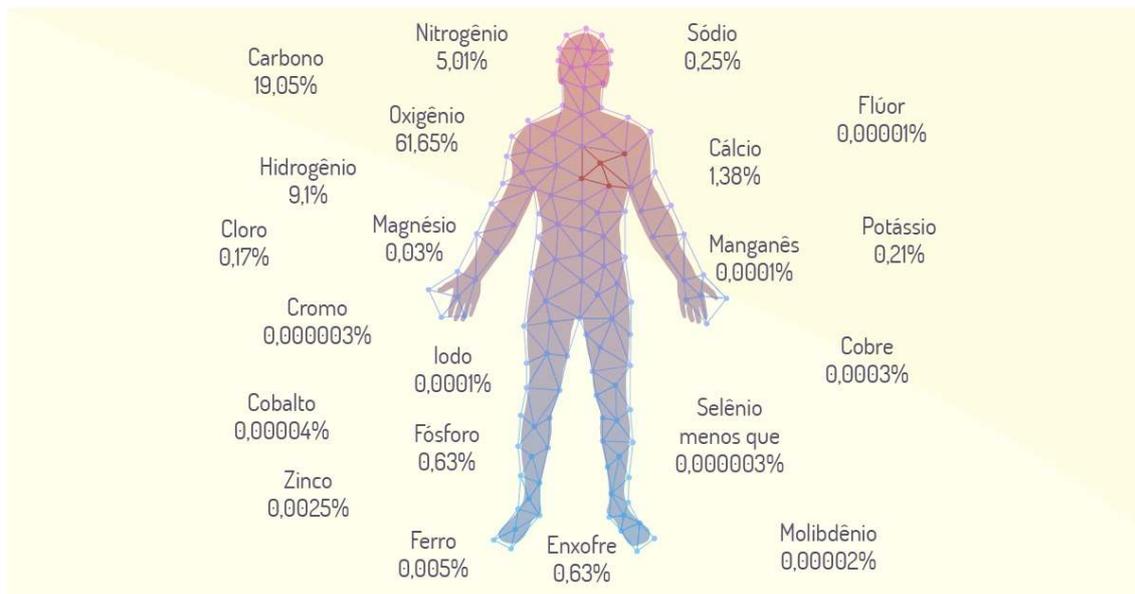


Figura 1.3 - Elementos químicos do corpo humano

Fonte: Química nas Taipas (*on-line*).

De forma geral, vemos que o corpo humano é composto por diferentes substâncias químicas. Cada um possui funções específicas e importantes para a sobrevivência de todas as células corporais. O cobre, o zinco, o selênio e outros minerais também compõem o organismo humano.

## ATIVIDADE

- 2) Estima-se que a maior parte do corpo humano compõe-se por quatro elementos em particular: oxigênio, carbono, hidrogênio e nitrogênio, principalmente, em forma de água. Porém, outros componentes são importantes à sobrevivência. Assinale a alternativa correta a respeito da composição química do corpo humano.
  - a) O oxigênio é o componente menos abundante do corpo humano, compondo apenas 5% do organismo humano.
  - b) O hidrogênio é o elemento químico que menos está presente no universo.
  - c) O nitrogênio está presente em muitas moléculas orgânicas e encontra-se nos aminoácidos que formam as proteínas e nos ácidos ribonucleicos do DNA, por exemplo.

- d) O sódio regula a quantidade de sal no corpo humano, sendo um elemento essencial para a vida.
- e) O magnésio encontra-se apenas nos músculos, mas é muito importante para as reações metabólicas essenciais à vida.

## ESTRUTURA E FISIOLOGIA CELULAR

Uma célula típica possui duas partes principais: o núcleo e o citoplasma. O núcleo da célula é separado do citoplasma pela membrana nuclear; já o citoplasma é separado dos fluidos circundantes pela membrana celular ou plasmática, como é mais conhecida (GUYTON; HALL, 2011). Diferentes substâncias formam a célula, sendo estas chamadas de protoplasma, compostas de água, eletrólitos, proteínas, lipídios e carboidratos.

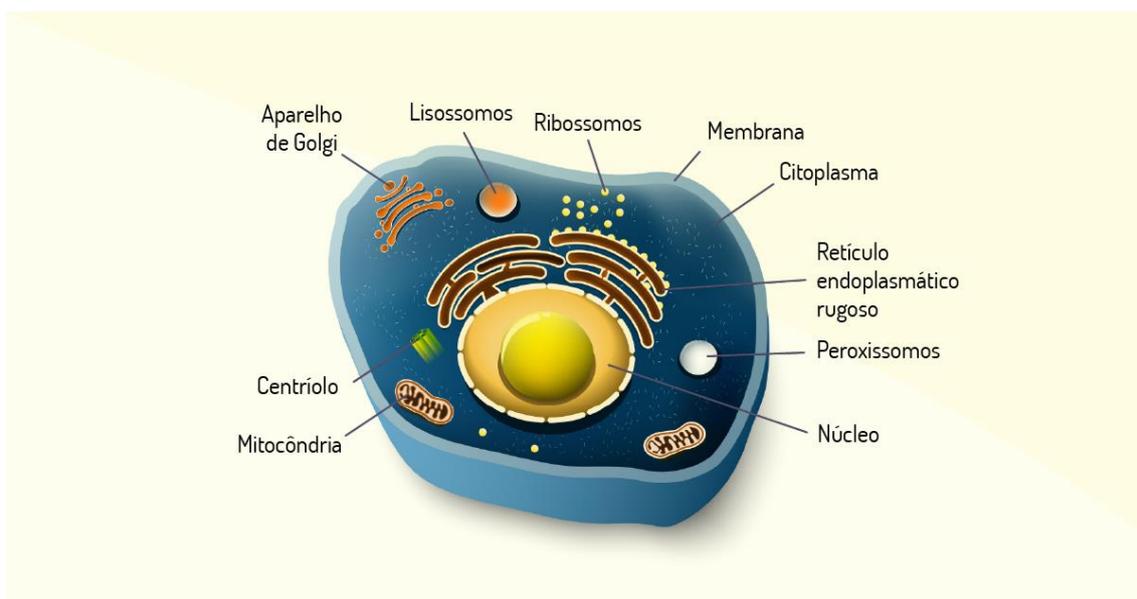


Figura 1.4 - Célula animal

Fonte: Designua / 123RF.

A água é o principal meio fluido da célula e está presente na maioria destas, exceto nas células de gordura, em uma concentração média de 70% a 85%. Nas superfícies das

partículas suspensas ou das membranas, ocorrem reações químicas essenciais para o funcionamento celular (GUYTON; HALL, 2011).

Dentre os íons mais importantes para a célula, destacam-se o potássio, o magnésio, o fosfato, o sulfato e o bicarbonato. Porém, em menores quantidades, encontramos o sódio, o cloreto e o cálcio, que também são essenciais e possuem funções diversas.

Caro(a) estudante, mas o que são íons? Os íons são componentes inorgânicos para as reações celulares, além de serem necessários para a operação de alguns dos mecanismos de controle celular. Os íons que agem na membrana celular, por exemplo, são necessários para a transmissão de impulsos eletroquímicos em nervos e fibras musculares. Depois da água, as proteínas são as substâncias mais abundantes na maioria das células. Normalmente, elas constituem de 10 a 20% da massa celular.

As proteínas podem ser estruturais e funcionais. As estruturais estão presentes na célula na forma de longos filamentos intracelulares que formam microtúbulos; estes formam os citoesqueletos de organelas celulares (cílios, axônios de neurônios, fusos mitóticos de células em mitose e uma rede de finos tubos filamentosos que mantêm as partes do citoplasma e do nucleoplasma em seus respectivos espaços) (KATCH; KATCH; MCARDLE, 2016).

Um bom exemplo de proteína estrutural é o colágeno e a elastina, presentes no cabelo, pele e unhas. Veja, na Figura 1.5 a seguir, a estrutura do colágeno.

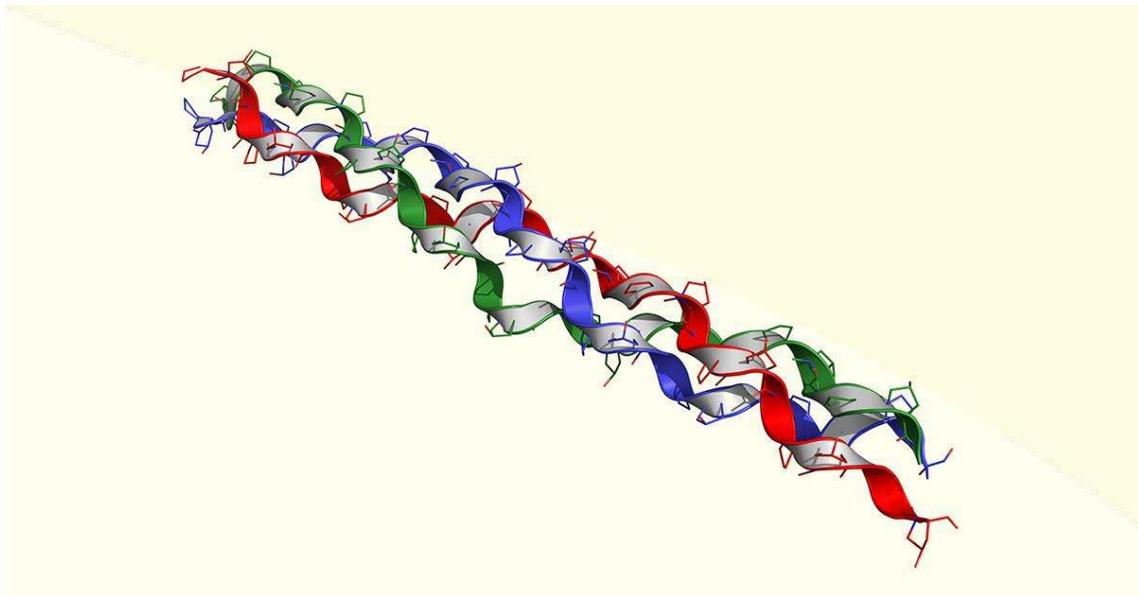


Figura 1.5 - Estrutura de uma proteína do tipo colágeno

Fonte: Molekuul / 123RF.

Um bom exemplo de proteína funcional é a metionina, que é um dos aminoácidos codificados pelo código genético. Já as proteínas fibrilares são encontradas nas fibras de colágeno e elastina do tecido conjuntivo (que também são funcionais), nas paredes dos vasos sanguíneos, nos tendões e nos ligamentos.

As proteínas funcionais normalmente são compostas por combinações de poucas moléculas na forma tubular-globular. Estas são, principalmente, as enzimas das células e, geralmente, são móveis no fluido celular. Muitas delas aderem-se às estruturas membranosas dentro da célula. As enzimas entram em contato direto com outras substâncias no fluido celular, catalisando reações químicas específicas intracelulares.

Vamos, agora, falar sobre os lipídios. Os lipídios são conceituados como vários tipos de substâncias agrupadas por suas propriedades comuns de solubilidade em solventes de gordura. Dentre os lipídios mais importantes, estão os fosfolipídios e o colesterol, que, juntos, constituem cerca de 2% do total da massa celular. Esses dois tipos são solúveis principalmente em água, além de usados para formar a membrana celular e as membranas intracelulares que separam os diferentes compartimentos da célula (TORTORA; DERRICKSON, 2016). Veja, na figura a seguir, a estrutura da membrana plasmática.

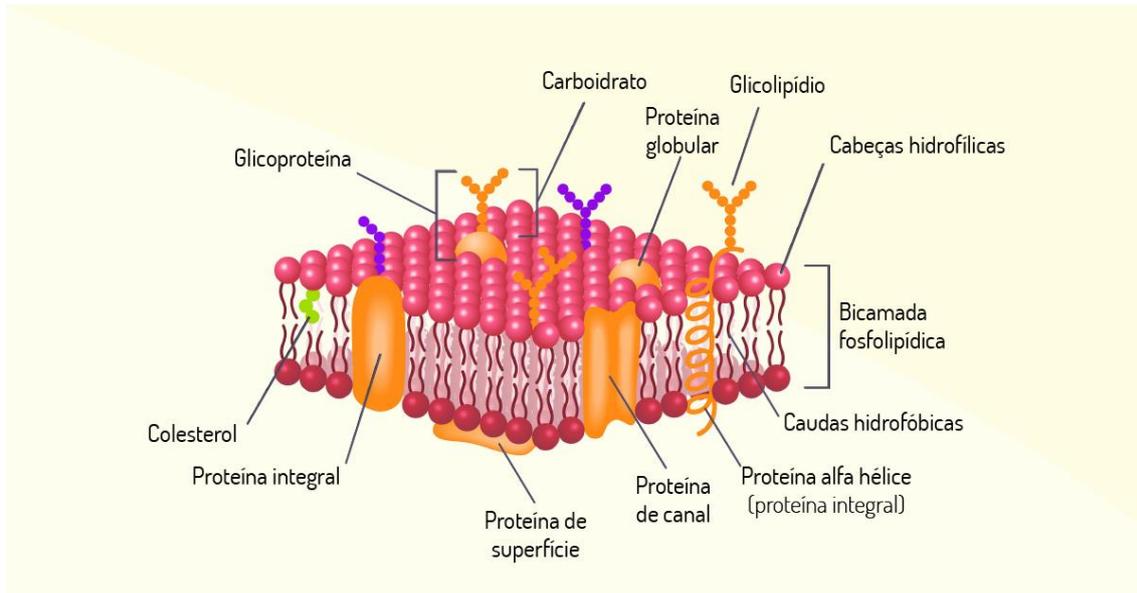


Figura 1.6 - Membrana celular

Fonte: Gritsalak Karalak / 123RF.

Na imagem anterior, veja, principalmente, a bicamada de fosfolípídio e a presença do colesterol.

Algumas células contêm grandes quantidades de triglicerídeos também chamados de gordura neutra. Nos adipócitos, os triglicerídeos geralmente são responsáveis por até 95% da massa celular, e a gordura armazenada nessas células representa a principal reserva de nutrientes energéticos do corpo, que pode ser usada para fornecer energia quando necessário.

Os carboidratos desempenham papel principal na nutrição da célula e possuem, principalmente, função estrutural, exceto como partes das moléculas de glicoproteínas. A quantidade de carboidrato geralmente fica em torno de 1% de sua massa total, porém aumenta para até 3% nas células musculares e até 6% nas células hepáticas (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

No fluido extracelular, é o carboidrato, na forma de glicose dissolvida, que sempre está presente, estando prontamente disponível às células. Uma pequena quantidade de carboidrato é sempre armazenada nas células na forma de glicogênio muscular ou hepático.

## Estrutura física da célula

As células contêm estruturas físicas altamente organizadas (organelas intracelulares). A natureza física de cada organela é tão importante quanto os constituintes químicos da célula para a função celular. Veja as organelas na figura a seguir.

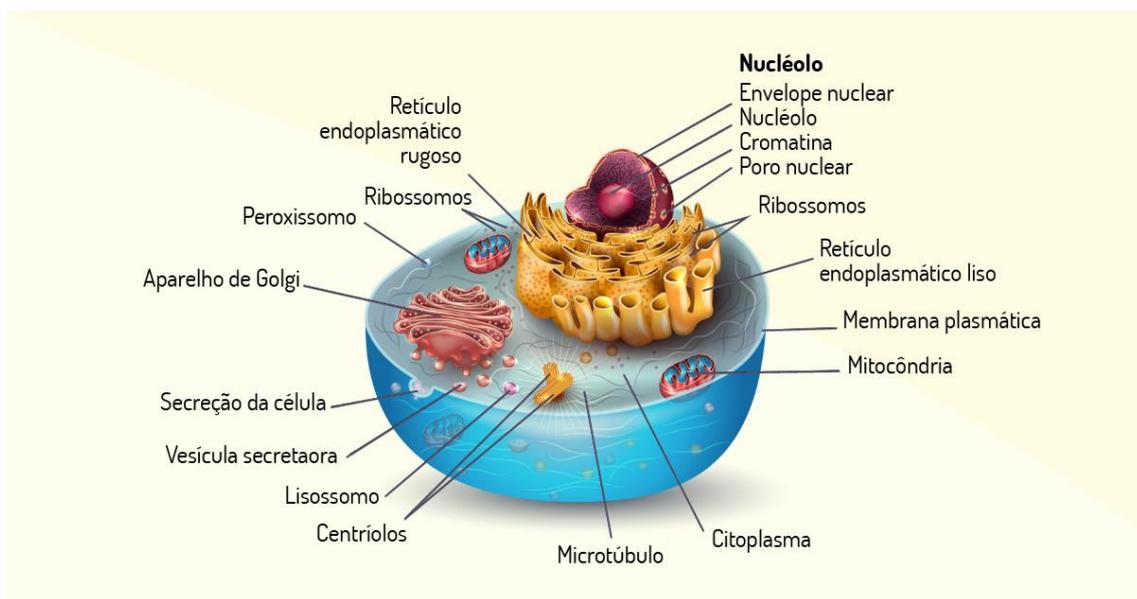


Figura 1.7 - A célula e suas organelas

Fonte: Guniita / 123RF.

As membranas, compostas por lipídios e proteínas, delimitam a maioria das organelas da célula. Essas membranas são a membrana celular, membrana nuclear, membrana do retículo endoplasmático, membranas da mitocôndria, dos lisossomos e do complexo de Golgi (ALBERTS et al., 2017).

Nessas membranas, os lipídios constituem a barreira que impede o movimento de água e substâncias hidrossolúveis de um compartimento da célula para outro. Lembre-se que a água não é solúvel em lipídios. Já as moléculas de proteína geralmente penetram completamente na membrana, o que forma vias especializadas, organizadas em poros, para a passagem de substâncias específicas por meio da membrana. Também, muitas outras proteínas de membrana são enzimas que catalisam uma série de diferentes reações químicas.

## Membrana celular

A membrana celular, também chamada membrana plasmática, envolve a célula e é uma estrutura fina, flexível e elástica de 7,5 a 10 nanômetros de espessura. Essa membrana é composta por proteínas e lipídios quase que em sua totalidade. A composição aproximada é de 55% de proteínas, 25% de fosfolipídios, 13% de colesterol, 4% de outros lipídios, e 3% de carboidratos (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2009).

Considere a estrutura da membrana celular e a barreira lipídica da membrana celular; ela impede a penetração de água. A bicamada lipídica é um filme fino, formado por uma dupla camada de lipídios – sendo cada camada com espessura de apenas uma molécula –, que é contínua sobre toda a superfície da célula. Grandes moléculas de proteínas globulares estão dispersas neste filme lipídico.

Moléculas de fosfolipídios compõem a dupla camada lipídica básica. Uma extremidade da molécula de fosfolipídio é solúvel em água (hidrofílica); a outra extremidade é solúvel apenas em lipídios (hidrofóbica). A extremidade do fosfolipídio com fosfato é hidrofílica e a extremidade com ácido graxo é hidrofóbica.

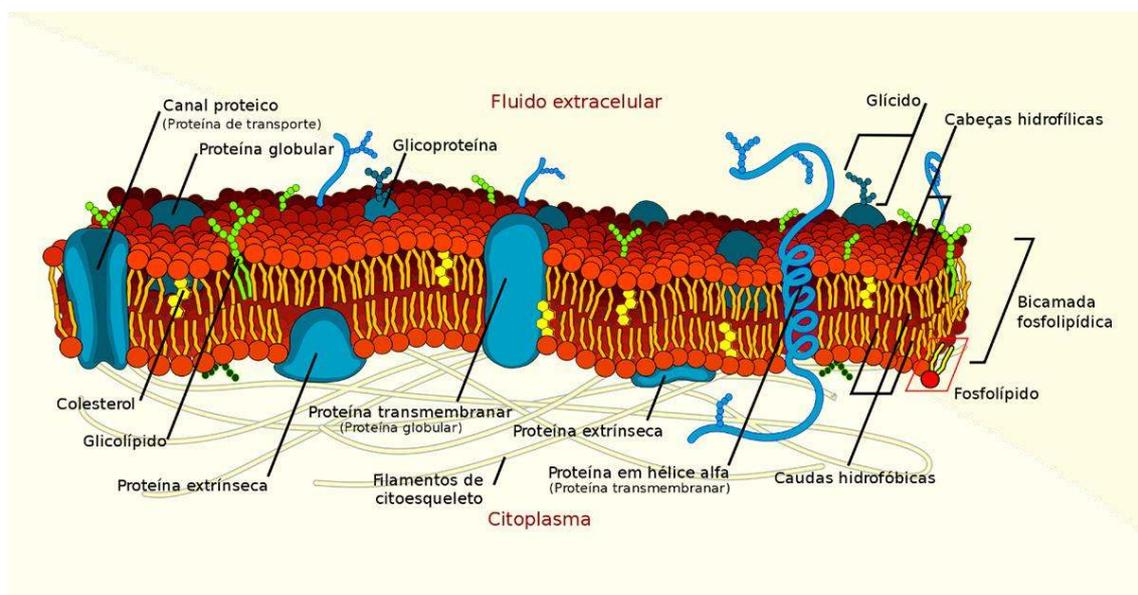


Figura 1.8 - Membrana plasmática

Fonte: LadyofHats / Wikimedia Commons.

Na membrana plasmática, existem massas globulares flutuando na bicamada lipídica. Estas são proteínas de membrana, que você conseguirá ver, também, na Figura 1.8. Ocorrem dois tipos de proteínas: as integrais, que se estendem por toda a membrana; e as periféricas, que estão ancoradas à superfície da membrana e não a penetram.

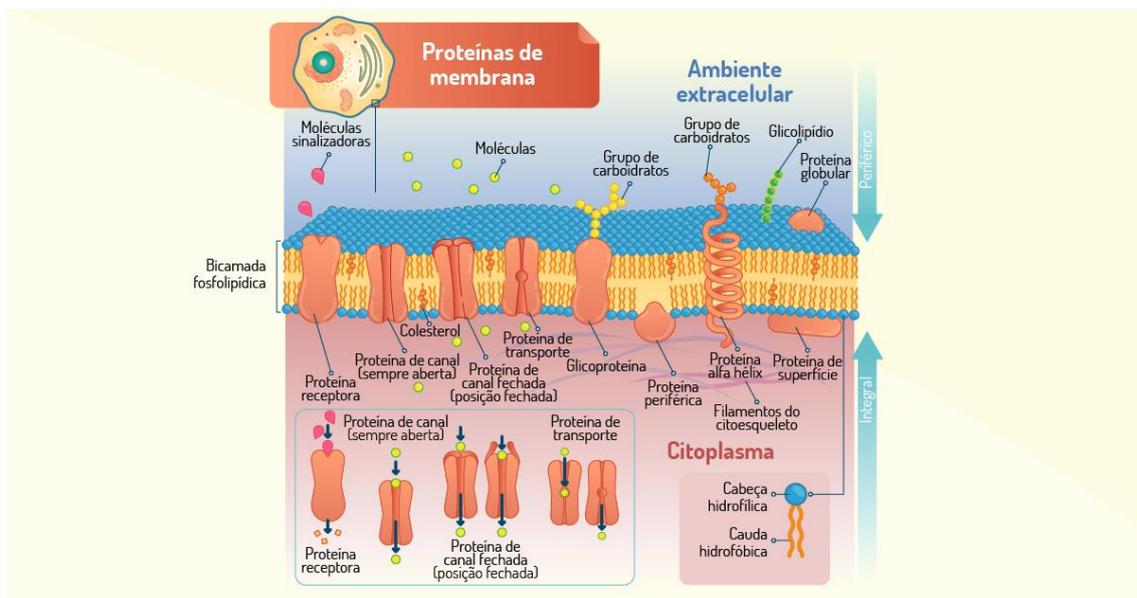


Figura 1.9 - Proteínas de membrana

Fonte: Normaaals / 123RF.

Algumas proteínas integrais formam canais ou poros. Por estes, as moléculas de água e substâncias hidrossolúveis, principalmente os íons, podem difundir-se entre os fluidos extracelular e intracelular. Esses canais são formados por proteínas e apresentam propriedades seletivas, o que permite a difusão preferencial de algumas substâncias com relação a outras (GUYTON; HALL, 2011).

Algumas proteínas integrais agem como proteínas carregadoras para o transporte de substâncias, do contrário, não poderiam penetrar à dupla camada lipídica. Em alguns momentos, essas proteínas podem até transportar substâncias na direção oposta à sua direção de difusão. Chamamos isso de “transporte ativo”. Outras ainda agem como enzimas. As integrais da membrana também podem servir como receptores para

substâncias químicas hidrossolúveis, tais como hormônios peptídicos, que não penetram facilmente a membrana celular.

Já os carboidratos na membrana ocorrem quase que invariavelmente, em combinação com proteínas ou lipídios na forma de glicoproteínas ou glicolipídeos. Muitos outros compostos de carboidrato chamados proteoglicanos são, principalmente, carboidratos ligados a cernes pequenos de proteínas e estão frouxamente ligados, também, à superfície externa da célula. Toda a superfície externa da célula geralmente possui um revestimento frouxo de carboidrato, o glicocálice.

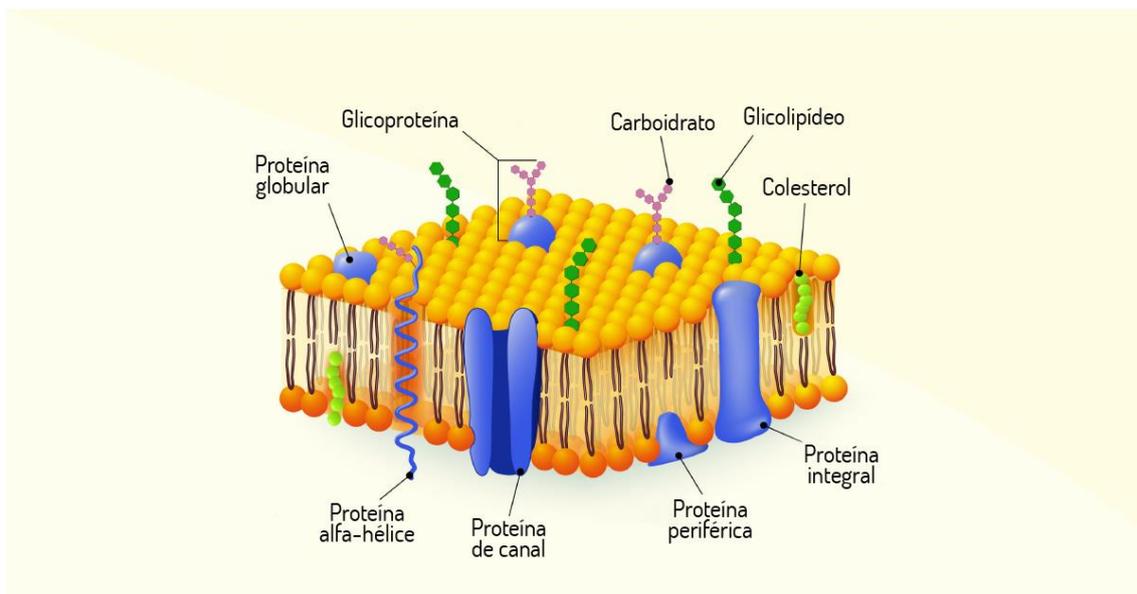


Figura 1.10 - Estrutura da membrana celular - Glicocálice

Fonte: Designua / 123RF.

A seguir, veremos as características e especificidades do citoplasma.

## Citoplasma

O citoplasma contém partículas dispersas, minúsculas e grandes, bem como organelas. A parte fluida e transparente do citoplasma, na qual as partículas são dispersas, é chamada

de citosol; este contém, principalmente, proteínas dissolvidas, eletrólitos e glicose (GUYTON; HALL, 2011).

Dispersos no citoplasma, encontram-se os glóbulos de gordura neutra, grânulos de glicogênio, ribossomos, vesículas secretórias e cinco organelas importantes: o retículo endoplasmático, o complexo de Golgi, a mitocôndria, os lisossomos e os peroxissomos.

### Retículo endoplasmático

As paredes do retículo endoplasmático são constituídas de membranas com dupla camada lipídica, com grandes quantidades de proteínas, similares às da membrana celular (POWERS; HOWLEY, 2016).

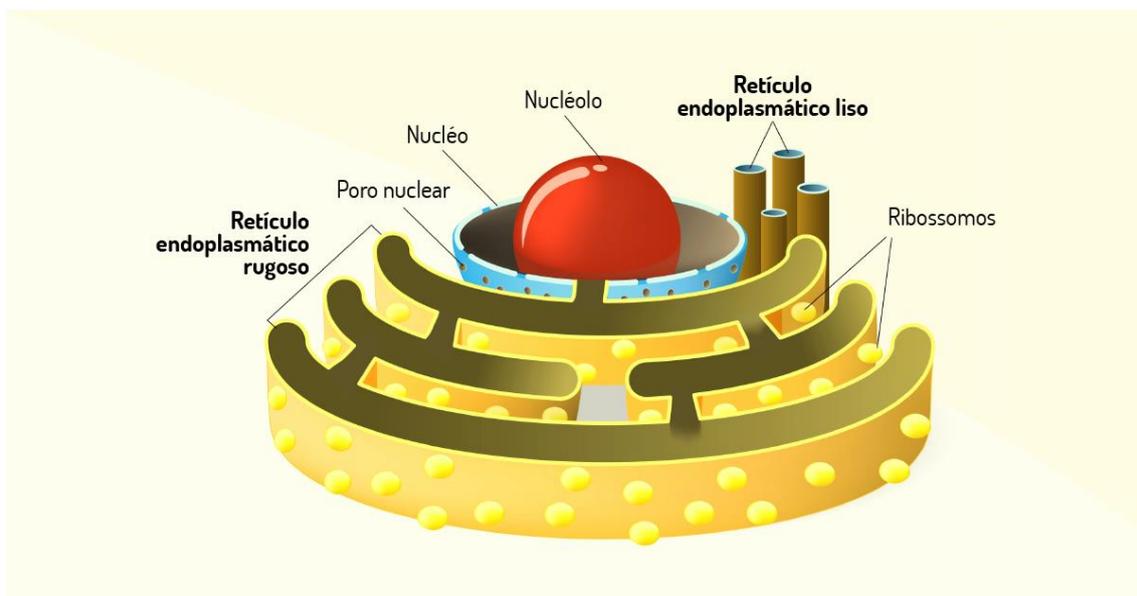


Figura 1.11 - Retículo endoplasmático

Fonte: Designua / 123RF.

Veja, na figura anterior, a estrutura detalhada do retículo endoplasmático. O espaço interno dos túbulos e vesículas do retículo endoplasmático é preenchido com um meio aquoso, que é diferente do fluido do citosol externo ao retículo endoplasmático, a

matriz endoplasmática. As substâncias formadas em algumas partes da célula entram no espaço do retículo endoplasmático e são, então, conduzidas a outras partes da célula. A vasta área de superfície desse retículo e os múltiplos sistemas de enzimas anexados às suas membranas fornecem a maquinaria para uma grande parte das funções metabólicas da célula.

Partículas granulares e minúsculas, chamadas de ribossomos, estão ancoradas à superfície externa de muitas partes do retículo endoplasmático. No local onde os ribossomos estão presentes, o retículo é chamado de retículo endoplasmático granular. Os ribossomos são compostos de uma mistura de RNA e de proteínas e funcionam na síntese de novas moléculas de proteínas na célula.

Retículo endoplasmático agranular ou liso é uma parte do retículo endoplasmático que não contém ribossomos. Esse tipo de retículo serve para a síntese de substâncias lipídicas e para outros processos das células promovidos pelas enzimas intrarreticulares (GUYTON; HALL, 2011).

### **Complexo de Golgi**

Esta organela está intimamente relacionada ao retículo endoplasmático. O Complexo de Golgi possui membranas semelhantes às do retículo endoplasmático agranular. Essas membranas são compostas por quatro ou mais camadas de vesículas fechadas, finas e achatadas, empilhadas e dispostas na vizinhança e em um dos lados do núcleo. O Complexo de Golgi ocorre destacadamente em células secretórias, localizado no polo da célula, por onde se dá a secreção (GUYTON; HALL, 2011).

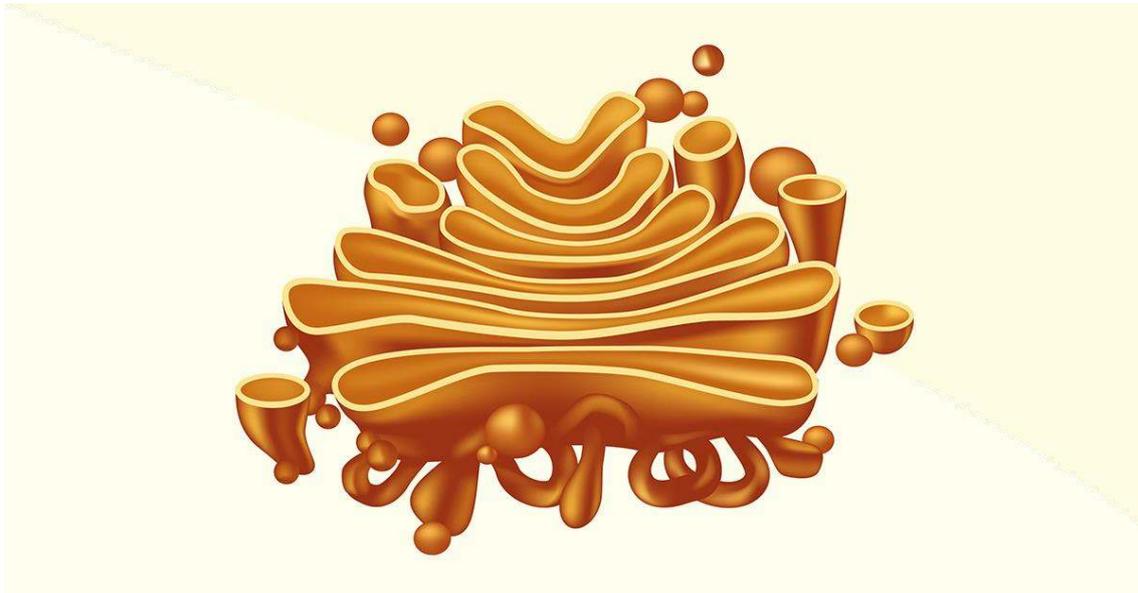


Figura 1.12 - Complexo de Golgi

Fonte: Lukaves / 123RF.

O Complexo de Golgi funciona em associação ao retículo endoplasmático. Destacam-se, do retículo endoplasmático, pequenas vesículas de transporte que, logo depois, fundem-se ao complexo de Golgi. As substâncias contidas nas vesículas do retículo endoplasmático são transportadas para o complexo de Golgi. As substâncias transportadas são, então, processadas no complexo de Golgi para formar lisossomos, vesículas secretórias e outros componentes citoplasmáticos.

Alguns desses processamentos são: fosforilação e glicosilação. A fosforilação participa no mecanismo de regulação das proteínas. Ela é extremamente importante nos mecanismos, os quais têm a participação do ATP. A respiração oriunda energia, que é utilizada para ser adicionada ao grupo fosfato ao difosfato de adenosina (ADP) e convertê-lo em ATP. Já na glicosilação há adição de carboidratos a locais específicos na superfície de proteínas e de lipídios.

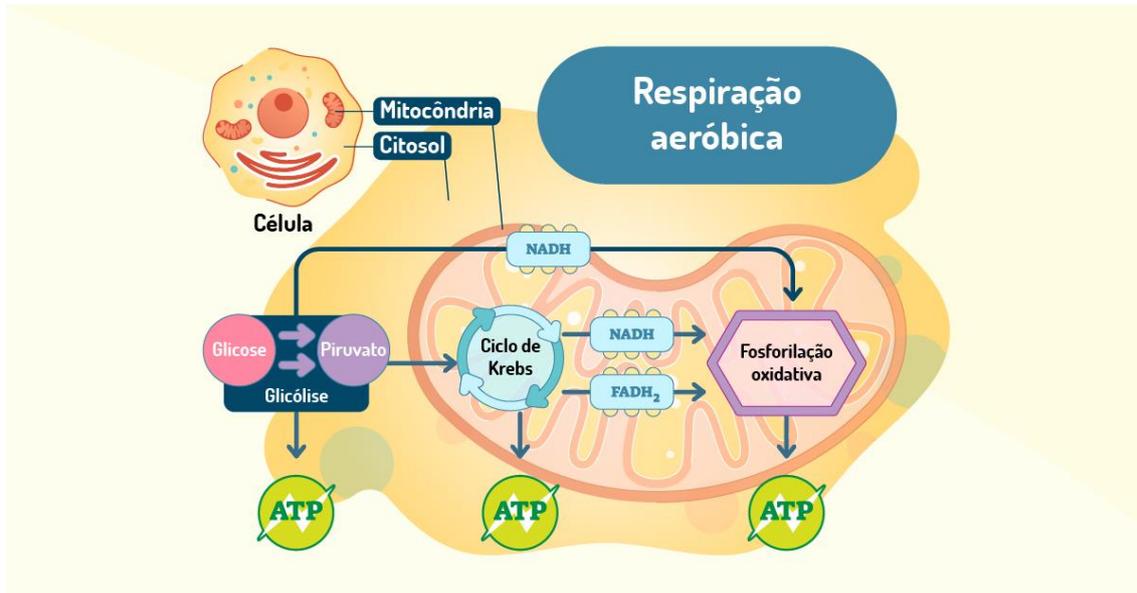


Figura 1.13 - Respiração aeróbica - Fosforilação e Glicosilação

Fonte: Normaaals / 123RF.

Conforme a especificidade da molécula orgânica, pode ocorrer tanto no retículo endoplasmático quanto no aparato de Golgi. Esse processo leva à formação de glicoproteínas (KATCH; KATCH; MCARDLE, 2016).

## Lisossomos

Os lisossomos são organelas vesiculares que se formam separando-se do complexo de Golgi e depois dispersando-se pelo citoplasma. Essas organelas são formadas no Complexo de Golgi. Dentre as funções dos lisossomos, destaca-se a de fazer a degradação e digestão de partículas originárias do meio exterior às células, outras organelas celulares que estão envelhecidas.

É possível encontrar, no interior dos lisossomos, uma grande quantidade de enzimas digestivas. Essas enzimas são produzidas no retículo endoplasmático rugoso. Mas como ocorre este processo de digestão? Primeiramente, os lisossomos irão atuar sobre os endossomos e fundir-se a eles. Formado este envoltório, serão liberadas diversas enzimas nas substâncias a serem digeridas. No pH ácido, presente no envoltório formado, terá ativação dessas enzimas. Este pH é diferente do pH do citoplasma, o que impede que as

enzimas atuam em outra parte da célula. Diante disso, os lisossomos e as enzimas processarão a digestão intracelular, reduzindo as macromoléculas em componentes básicos e nutritivos para a célula.

### **ATIVIDADE**

- 3) O retículo endoplasmático é uma organela classificada em granular e agranular. A porção granular ou rugosa possui relação com a produção de proteínas, portanto recebe esta denominação, em virtude da presença de:
- a) lisossomos aderidos.
  - b) ribossomos aderidos.
  - c) mitocôndrias aderidas.
  - d) peroxissomos aderidos.
  - e) vacúolos aderidos.

### **BIOENERGÉTICA E METABOLISMO CELULAR**

A bioenergética é o ramo da biologia próximo à bioquímica que estuda as transformações de energia nos seres vivos (GUYTON; HALL, 2011). Os nutrientes são as principais substâncias das quais a célula extrai energia. Esses nutrientes (carboidratos, gorduras e proteínas) reagem quimicamente com o oxigênio. No corpo humano, antes de alcançarem outras células corporais, todos os carboidratos são convertidos à glicose por meio do trato digestivo e pelo fígado. Igualmente, as proteínas são convertidas em aminoácidos e os lipídios, que são as gorduras, em ácidos graxos.

Por meio da influência de enzimas que controlam as reações e canalizam a energia liberada para a direção apropriada, na célula, os nutrientes reagem quimicamente com o oxigênio. Quase todas essas reações oxidativas ocorrem na mitocôndria, e a energia liberada é usada para formar a adenosina trifosfato (ATP), que é utilizada pela célula para energizar quase todas as reações metabólicas intracelulares subsequentes.

Mas, afinal, o que é ATP? ATP nada mais é do que uma molécula de adenosina ligada a três grupos fosfatos. A enzima ATPase liga-se à molécula de ATP, rompendo-se desta um fosfato inorgânico (Pi), formando um ADP + Pi (adenosina difosfato + fosfato inorgânico).

Essa reação relatada acima fornece cerca de 7,6 kcal. É a partir disso que o ciclo ATP-CP se inicia. Um mol de fosfocreatina (CP) liga-se à enzima creatina quinase (CK), ocorrendo o rompimento na ligação dos elementos, fornecendo energia ( $CP \Rightarrow C + Pi + \text{energia}$ ). Esta energia fornecida na quebra da fosfocreatina é utilizada para ligar o Pi com o ADP, “recriando” um ATP ( $ADP + \text{energia} + Pi \Rightarrow ATP$ ). Tal sistema tem como função apenas manter as concentrações de ATP (diminuindo a concentração de CP) e não necessita de O<sub>2</sub>, por isso se diz anaeróbio. Tal mecanismo pode fornecer energia de 3 a 15 segundos em uma atividade física intensa (WILMORE; COSTILL, 2013, p. 67).

O sistema anaeróbio alático ocorre, por exemplo, nos jogadores de futebol, quando estes realizam *sprint* máximo. Outro exemplo acontece com os atletas de 100 metros rasos do atletismo e atletas de 50 metros livres da natação. É o mecanismo mais simples que o organismo humano possui para a síntese de energia e ressíntese de ATP. Quando a CP depleta ou quando o tempo de duração da atividade exercida for mais prolongado, o músculo passa por outros sistemas de produção de energia mais complexos: a glicólise e a fosforilação oxidativa.

No sistema glicolítico, ocorre a glicólise no hialoplasma. Vale lembrar que o hialoplasma é o nome dado ao líquido que preenche o interior do citoplasma. O carboidrato passa por algumas reações, envolvendo enzimas glicolíticas, para depois ser degradado em duas moléculas de ácido pirúvico, tendo, como saldo, a produção de três ATPs, quando utilizado glicogênio, ou dois ATPs, quando utilizada a glicose. Pode ocorrer dois processos após a formação dos dois ácidos pirúvicos: o ácido cai no sistema oxidativo, se puder ser reagido com o oxigênio e houver tempo para isso; outro processo é a

combinação das duas moléculas de ácido pirúvico com os íons hidrogênio para a formação do ácido láctico, sendo este o primeiro processo de tamponamento do hidrogênio (WILMORE; COSTILL; 2013 p. 68). Quanto maior a quantidade de hidrogênio, menor o pH e mais ácido torna-se o meio, fazendo com que algumas enzimas percam suas atividades. Diante disso, o hidrogênio inibe a glicólise e suas reações, não havendo, portanto, produção de ATP. Vale lembrar que a acidez reduz a capacidade das fibras de ligarem-se ao cálcio, o que impede a contração muscular. A combinação do bicarbonato de sódio com o ácido láctico, formando lactato de sódio e ácido carbônico, que logo dissocia-se em água e dióxido de carbono, é o segundo processo de tamponamento do hidrogênio.

Você sabia que o excesso de ácido láctico não é o único responsável pela fadiga muscular e nem pela cãibra? Por exemplo, a cãibra pode ser causada por quatro diferentes fatores, segundo Polito (2008, *on-line*):

- 1) acúmulo de subprodutos metabólicos (hidrogênio);
- 2) falha nos mecanismos de contração muscular (sódio ou potássio, principalmente sódio, que aparece em maior quantidade no suor);
- 3) falta de substratos energéticos, que dizem respeito à falta de carboidrato ou gordura para a geração de energia (principalmente à falta de carboidrato);
- 4) fadiga do sistema nervoso central, em que o próprio sistema nervoso apresenta maior dificuldade em manter a eficiência dos movimentos ou dos gestos desportivos.

Nas modalidades de velocidade, como os 400 metros rasos do atletismo, o sistema glicolítico é mais utilizado, já que é um sistema de rápidas reações. Mesmo assim é um sistema limitado, pois provoca acidose metabólica, o que gera a fadiga muscular. O sistema glicolítico possui tempo de ação de, aproximadamente, um minuto; enquanto isso, o sistema energético mais prolongado que existe é o sistema oxidativo.

O sistema oxidativo é composto por várias reações químicas. O ácido pirúvico, produto final da glicólise (Figura 1.14), ingressa na mitocôndria. Cada molécula desse ácido possui três átomos de carbono. O ácido pirúvico perde uma molécula de CO<sub>2</sub>, que é eliminada para o ambiente pelos pulmões, convertendo-se, depois, em ácido acético, com

dois átomos de carbono. Este último une-se à Coenzima A, formando o acetil-CoA. No ciclo de Krebs, o acetil-CoA precisa formar citrato e, para isso, junta-se ao oxaloacetato.

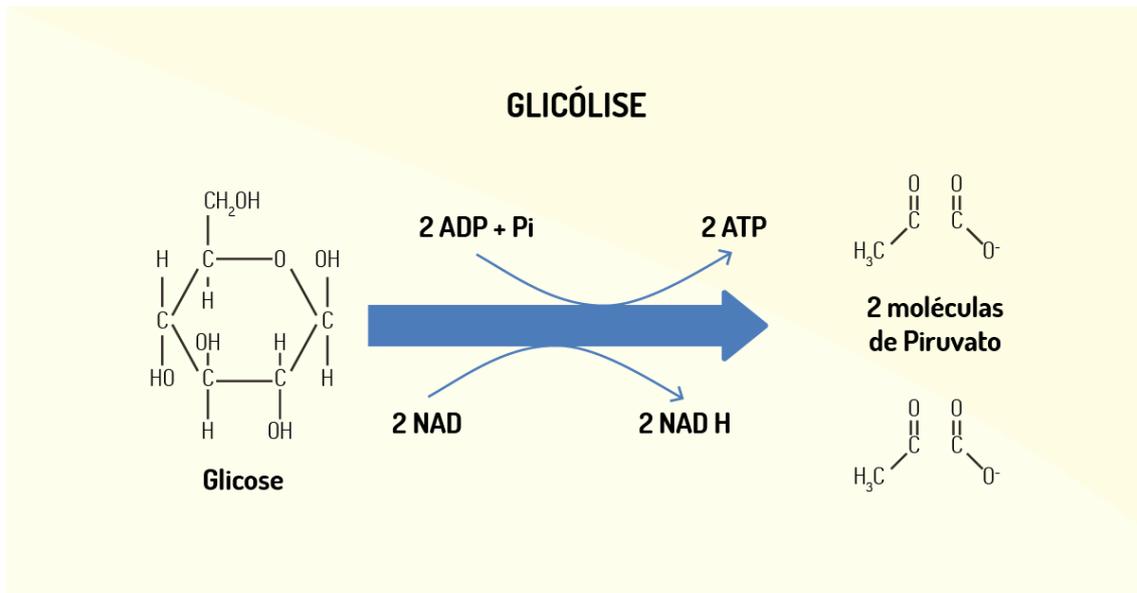


Figura 1.14 - Glicólise

Fonte: Respiração... (2018, *on-line*).

Veja, na Figura 1.15 a seguir, um pequeno esquema sobre a cadeia transportadora de elétrons, ou seja, a cadeia respiratória.

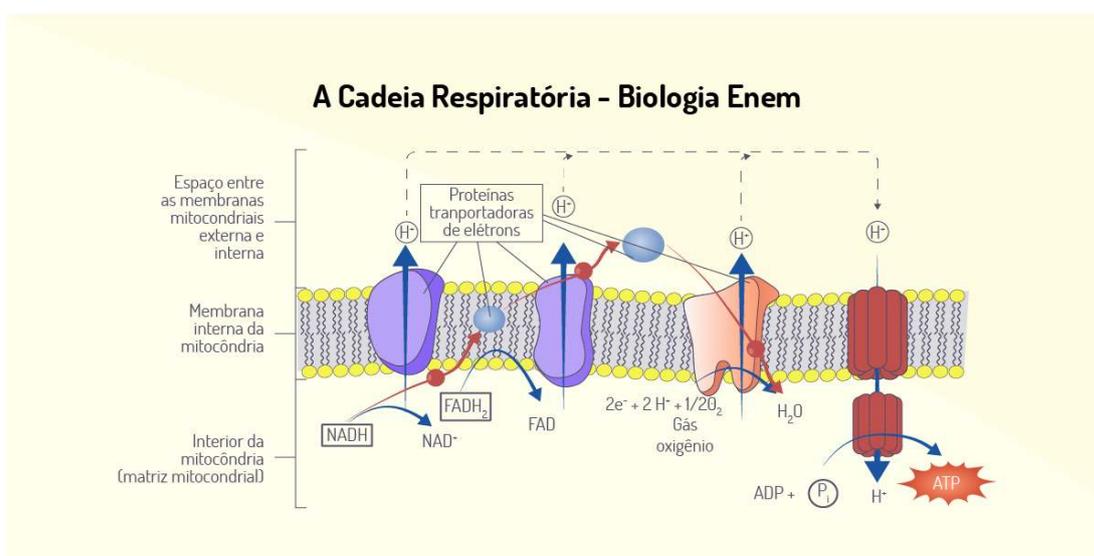


Figura 1.15 - Cadeia respiratória (Cadeia transportadora de elétrons)

Fonte: Santos (*on-line*).

Já na ilustração a seguir, analise o esquema do Ciclo de Krebs, também chamado ciclo do ácido cítrico.

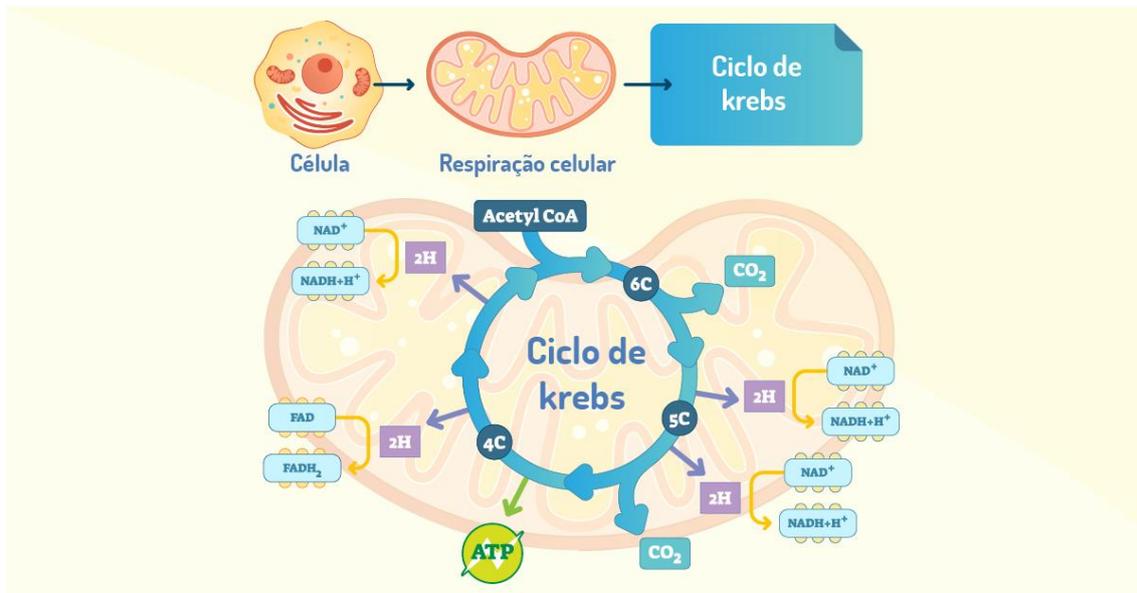


Figura 1.16 - Ciclo de Krebs

Fonte: Normaaals / 123RF.

O organismo necessita de qualquer forma de glicose para a utilização da gordura na síntese de energia. Isso desmistifica, por exemplo, a teoria de que uma pessoa possa emagrecer em jejum, pois, no estado de restrição alimentar, essa pessoa estaria com sua taxa de açúcar depletada no organismo (GUYTON; HALL, 2011).

Após esse ciclo, o NADH<sub>2</sub> e o FADH<sub>2</sub> (transportadores de elétrons), antes surgidos, entrarão em uma cadeia de transportes de elétrons, a chamada cadeia respiratória, em que várias reações promovem a liberação de energia dos elétrons. Essa energia é canalizada para a síntese de ATP ( $ADP + \text{energia} + P_i \Rightarrow ATP$ ) no processo chamado de fosforilação oxidativa. Neste momento, os prótons e elétrons transportados na cadeia respiratória unem-se ao O<sub>2</sub>, formando água e evitando, assim, qualquer acidificação no interior das células. São formados 38 ou 39 ATP, caso seja utilizada a glicose ou o glicogênio, respectivamente, sendo, por este motivo, que recebe o nome de oxidação de carboidrato (POWER; HOWLEY, 2016).

Contudo, sabe-se que a gordura e o carboidrato também contribuem para as necessidades energéticas dos músculos. As reservas do glicogênio muscular e hepático são capazes de fornecer, em média, de 1.200 a 2.000 kcal de energia. Porém, as gorduras armazenadas no interior das fibras musculares podem fornecer, pelo menos, de 70.000 a 75.000 kcal, mesmo em um adulto magro.

Dos triglicerídeos, os ácidos graxos passam pela  $\beta$ -oxidação, em que há catabolismo enzimático, feito pelas mitocôndrias, o que gera o ácido acético. Cada um desses transforma-se em acetil-CoA, passando, a partir de então, pelo mesmo ciclo antes explicado (ciclo de Krebs). Certa quantidade de gordura fornece mais energia que uma mesma quantidade de carboidrato, devido à maior formação de acetil-CoA.

Você sabia que a proteína, muitas vezes, é utilizada para síntese de energia? Sim, alguns aminoácidos podem ser convertidos em glicose por meio da gliconeogênese e, a partir disso, entram no processo oxidativo como acetil-CoA. Porém, o uso da proteína, muitas vezes, pode diminuir a massa muscular de um atleta ou praticante de exercício físico mal alimentado, pois, na falta de carboidrato ou gordura para oxidar, a proteína formadora da massa magra (músculos) também é oxidada, deixando o atleta mais fraco fisicamente.

### **O transporte de substâncias através da membrana celular**

Caro(a) aluno(a), para que seja possível desempenhar um bom trabalho, frente ao campo interventivo da Educação Física, é necessário conhecer sobre as maneiras pelas quais nosso corpo recebe e envia informações. Para isso, é fundamental lembrarmos sobre a célula. São, aproximadamente, 100 trilhões de células em todo o corpo humano. Essas estruturas vivas podem sobreviver por meses ou anos, desde que os fluidos que as circundam tenham os nutrientes adequados (GUYTON; HALL, 2011; TORTORA; DERRICKSON, 2016).

Lembre-se que cada célula corporal apresenta uma barreira que separa o meio intracelular do meio extracelular, estrutura esta denominada bicamada lipídica. Imagine que esse componente celular seja a parede de seu quarto, a qual apresenta a função de separar o que fica do lado de dentro do que fica do lado fora. No contexto celular, é exatamente

igual, pois a bicamada de lipídios tem a função de separar os íons que devem ficar no meio extracelular daqueles que devem ficar no meio intracelular.

Agora que compreendemos, seguimos adiante. As células existentes buscarão, sempre, o equilíbrio, seja ele de nutrientes, de íons ou de água. Para que seja possível pensarmos em comunicação neuronal mais adiante, gostaria que se atentasse, nesse momento, apenas a dois íons: íons de sódio ( $\text{Na}^{++}$ ) e íons de potássio ( $\text{K}^+$ ).

Para manter a polaridade adequada, a célula necessita de altas concentrações de  $\text{K}^+$  no meio intracelular e de elevadas concentrações de  $\text{Na}^{++}$  no meio extracelular. Tal separação ocorre pela membrana, que denominamos bicamada de lipídios. Quando essa condição é alcançada, a célula se apresentará em condições de repouso ou polarizada e, para isso, estará, aproximadamente, com  $-90$  milivolts (mV) de tensão, o que significa dizer que ela está pronta para ser estimulada (GUYTON; HALL, 2011).

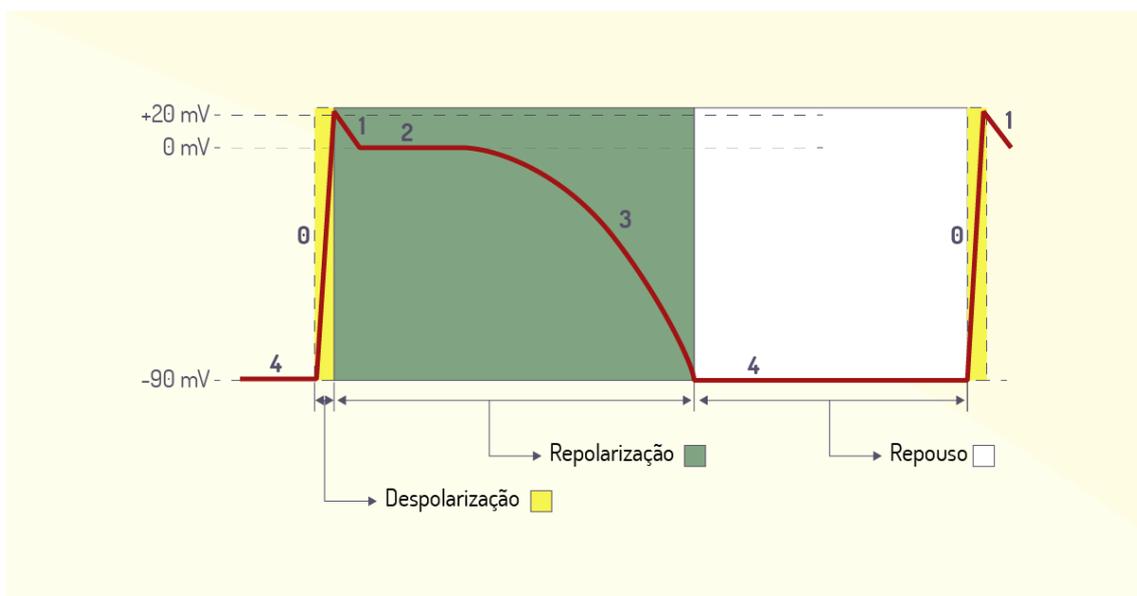


Figura 1.17 - Polarização e Repolarização celular

Fonte: Elaborada pelo autor.

Agora, faça uma rápida reflexão: por qual razão a célula é negativa, em seu interior, se o  $\text{K}^+$  é positivo? É que dentro da célula existem outros compostos que carregam cargas

negativas, estando estes em maior concentração, quando comparados às cargas positivas do potássio.

Agora, podemos conversar sobre os mecanismos de transporte por meio da membrana. Existem dois tipos de transportes; um passivo, sem gasto de energia, visto que, quando falamos em energia, referimo-nos à quebra ou utilização da Adenosina Trifosfato (ATP); e um segundo, que utiliza energia, denominado transporte ativo.

O mecanismo de transporte passivo é subdividido em três: difusão simples, difusão facilitada por proteínas de canal e difusão facilitada mediada por proteínas transportadoras ou carreadoras. Já o transporte ativo ocorre mediado somente por proteínas transportadoras ou carreadoras (GUYTON; HALL, 2011).

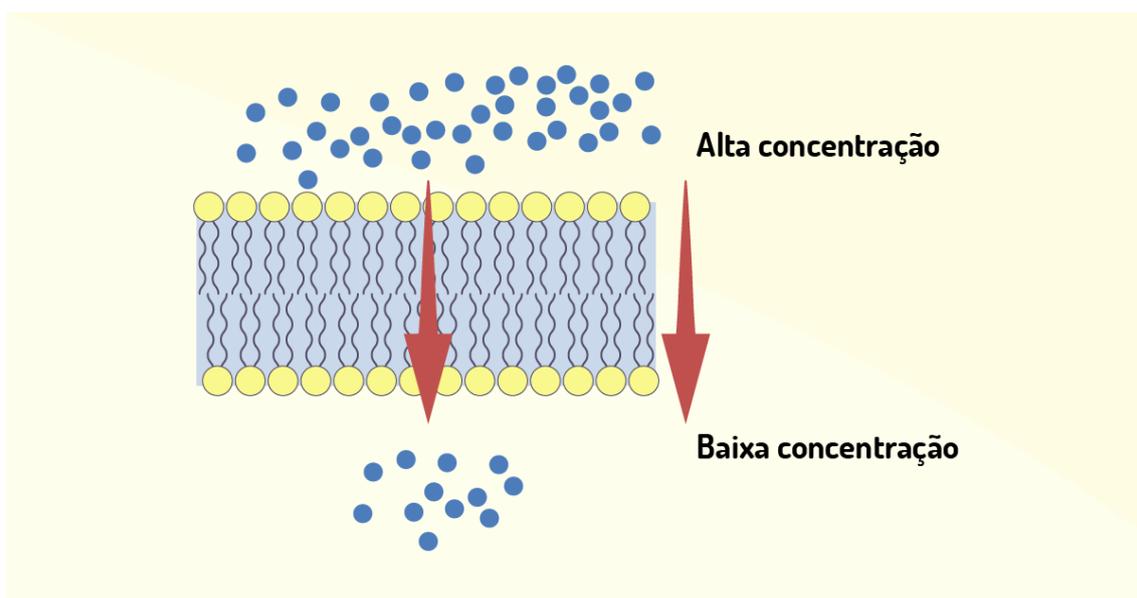


Figura 1.18 - Difusão simples

Fonte: Elaborada pelo autor.

Segundo Guyton e Hall (2011), a difusão simples é um movimento cinético molecular, sem a necessidade de fixação às proteínas carreadoras da membrana e sem a presença de ATP. Ademais, pode ocorrer pelos interstícios da Bicamada Lipídica ou pelos canais aquosos de algumas proteínas de transporte. Isso ocorre, em especial, com o oxigênio e dióxido de carbono.

Vamos simplificar! Os gases atravessam a membrana celular como se não existissem barreiras, como uma espécie de fantasma. Volte ao exemplo de seu quarto. A parede separa o lado de dentro do lado de fora, mas, mesmo com tudo fechado, bloqueado, nos dias frios, ainda é possível que entre um ventinho gelado por baixo da fresta da porta ou da janela. Essa analogia explica o que acontece com os gases, pois eles atravessam a membrana sem nenhuma dificuldade, como se a bicamada de lipídios não existisse.

É importante saber que metade da bicamada lipídica é formada por “lipídios polares”, cargas positivas, voltadas à superfície da membrana. Por esse motivo, quando um íon dotado de carga elétrica tenta passar a barreira Positiva ou Negativa, este é repelido, ou seja, a membrana celular funciona como uma espécie de imã.

Outro mecanismo de transporte por meio da membrana de modo passivo, ou seja, sem gasto de energia, é a difusão mediada por proteínas de canal, em que invaginações na membrana são formadas como uma espécie de porta e, para entender melhor, volte, novamente, ao exemplo de seu quarto. Temos as paredes que separam os ambientes no qual somente os gases passam. Agora, se você quer entrar ou sair desse ambiente, deve utilizar uma porta que permitirá a você atravessar esta parede. Na célula, chamamos tal porta de proteínas de canal, que são estruturas seletivamente permeáveis a determinadas substâncias (características do próprio canal, diâmetro, natureza de cargas elétricas, etc.) (ALBERTS et al., 2017).

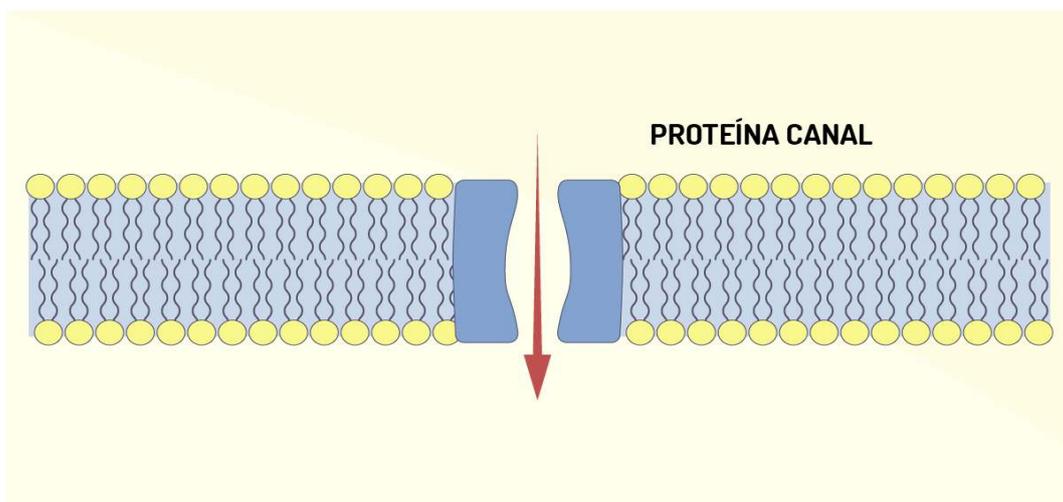


Figura 1.19 - Transporte por proteínas de canal

Fonte: Elaborada pelo autor.

Exemplo: canal de sódio: leva-se em consideração o diâmetro do sódio, e a superfície interna do canal é mais negativa, o que atrai íons de sódio. Canal de potássio: leva-se em consideração o diâmetro do potássio, pois, como não tem carga negativa, não é atraído para o interior dos canais.

Esses canais também recebem o nome de Comportas Voltagens-Dependentes, pois precisam de eletricidade para abrir ou para fechar, ou seja, depende do potencial elétrico da membrana celular. Se houver equilíbrio intra e extracelular, as comportas ficarão fechadas. Se o interior da membrana celular perde carga negativa, isso quer dizer que está entrando sódio. Tal aumento das cargas positivas no interior da membrana celular gerará a liberação de potássio (GUYTON; HALL, 2011).

O último elemento de transporte sem gasto de ATP é a difusão facilitada mediada por um carreador. Isso ocorre quando uma substância não consegue atravessar de um lado para o outro sem o auxílio de uma proteína carreadora específica. Nesse tipo de transporte, existe uma proteína que ajuda substâncias que não conseguem atravessar sozinhas a transpassarem a membrana celular para o meio intra ou extracelular. Vale ressaltar que substâncias atravessadas desse modo estão deslocando-se para onde a célula gostaria que se movimentassem, ou seja, a célula necessita desse composto em questão em um determinado local e, por esta razão, auxiliará o processo de transporte.

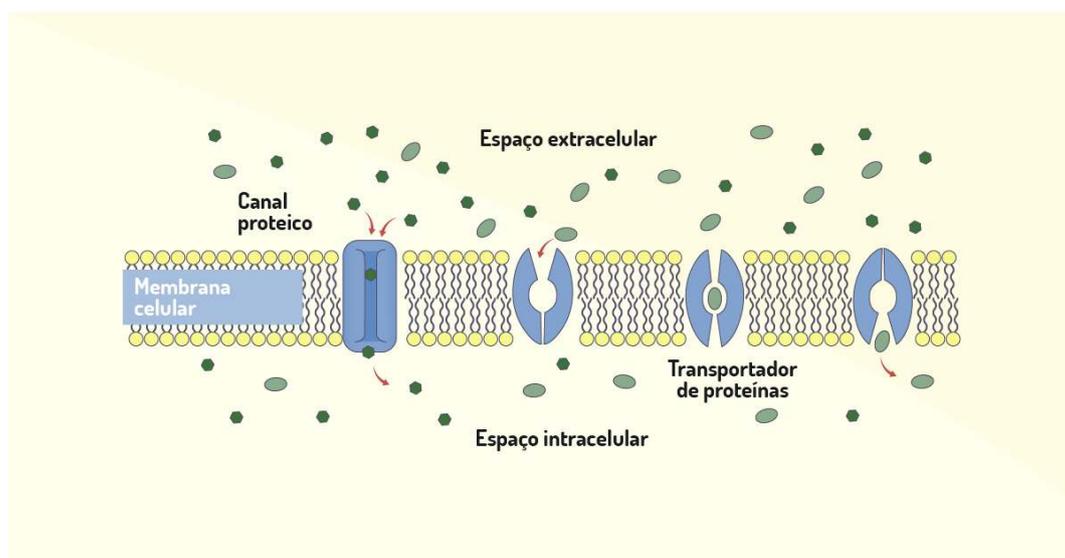


Figura 1.20 - Difusão facilitada

Fonte: Moreira (2014, *on-line*).

A Difusão Facilitada difere da Difusão Simples, pois, quando é aumentada a quantidade desta substância transportada, a velocidade da Difusão Facilitada diminui, uma vez que existe um limite máximo, o que não ocorre na Difusão Simples. Existe um “receptor” de fixação na proteína carreadora, fazendo com que o canal fique aberto para o lado oposto da membrana. Como o poder de fixação é baixo, o movimento térmico da molécula transportada provoca sua liberação e, conseqüentemente, sua difusão para o lado oposto da membrana (GUYTON; HALL, 2011). Exemplo de substâncias transportadas: glicose, galactose, aminoácidos, etc. A insulina aumenta a velocidade da Difusão Facilitada em até 10-20 vezes, com a finalidade de controlar a glicose no corpo.

Os fatores que influenciam na velocidade da difusão: permeabilidade da membrana, diferença de concentração, diferença de pressão e diferença do potencial elétrico entre as duas faces da membrana.

Apresentado o transporte sem gasto de energia, devemos esclarecer o que ocorre em transportes ativos que utilizam a quebra do ATP para que o mecanismo aconteça. Imagine a seguinte situação: um professor de Ensino Médio, em uma sala de aula, ministra o conteúdo previsto, quando, de repente, um aluno tenta sair sem autorização prévia do docente. Na tentativa de impedir a saída desse aluno, ao parar em frente à porta e tentar contê-lo, é possível que essa atitude necessite de um dado esforço, ou seja, demanda gasto de energia.

O mesmo mecanismo acontece na membrana celular, no entanto, isso ocorre mediado por uma proteína transportadora ou carreadora. Quando falamos de transporte passivo, essas proteínas facilitam a passagem dos íons para onde a célula deseja ou necessita e, somado a isso, as substâncias também gostariam de ir para esses ambientes. Por outro lado, o transporte ativo é o oposto, pois a célula deseja colocar íons onde eles não querem ficar (muitas vezes, colocando-os em um local altamente concentrado) e isso gerará gasto energético para que essa movimentação seja possível (KATCH; KATCH; MCARDLE, 2016).

Suponha que o  $Na^{++}$ , que está no meio extracelular, lugar superlotado e quente, deseja entrar na célula (local do  $K^+$ ), um ambiente climatizado e vazio. Por alguma razão, o  $Na^{++}$

conseguiu chegar ao interior celular, mas ele pode permanecer nesse ambiente, assim a célula tem de tirá-lo de lá contra a vontade deste íon e, para isso, dispenderá energia.

O mecanismo mais importante de transporte ativo primário é a Bomba de  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ , processo de transporte que bombeia íons de sódio para fora, por meio da membrana celular, enquanto, ao mesmo tempo, bombeia íons de potássio de fora para dentro.

A proteína carreadora tem três características: contém três sítios de fixação para os íons de sódio (voltado para a face interna da célula); contém dois sítios de fixação para os íons de potássio (voltado para a face externa da célula); próximos aos íons de fixação de sódio, existe atividade ATPase.

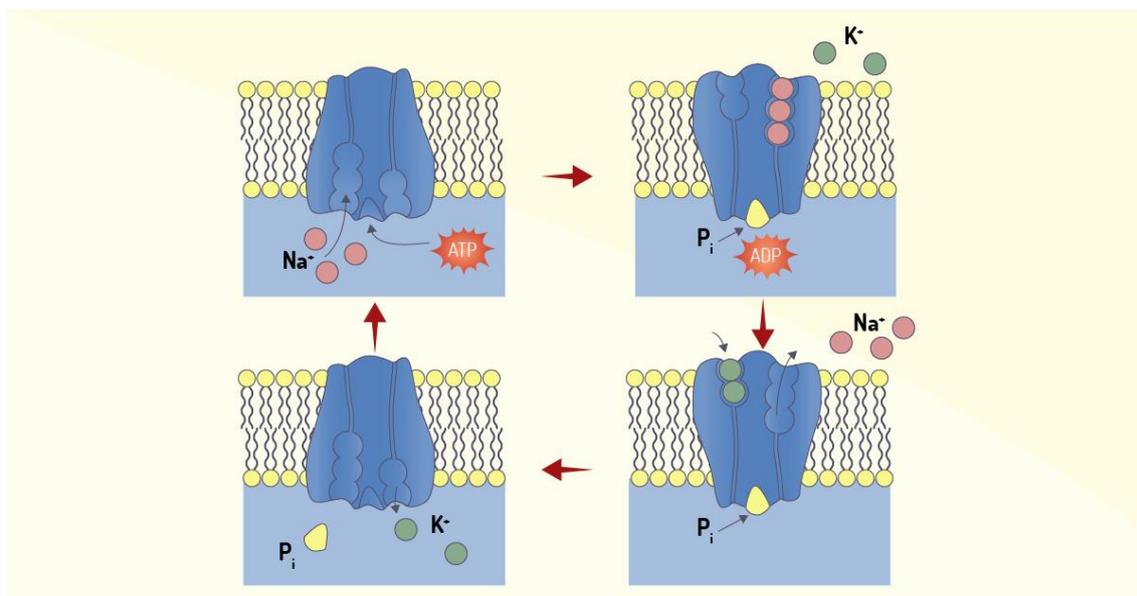


Figura 1.21 - Transporte ativo

Fonte: Elaborada pelo autor.

Veja, na imagem a seguir, a bomba de sódio-potássio. A bomba de sódio-potássio impede que a célula inche até estourar, por isso transfere o sódio do interior para o exterior da célula, que levará, juntamente a ele, uma quantidade de água e, conseqüentemente, criará um potencial negativo no interior celular e positivo em seu exterior.

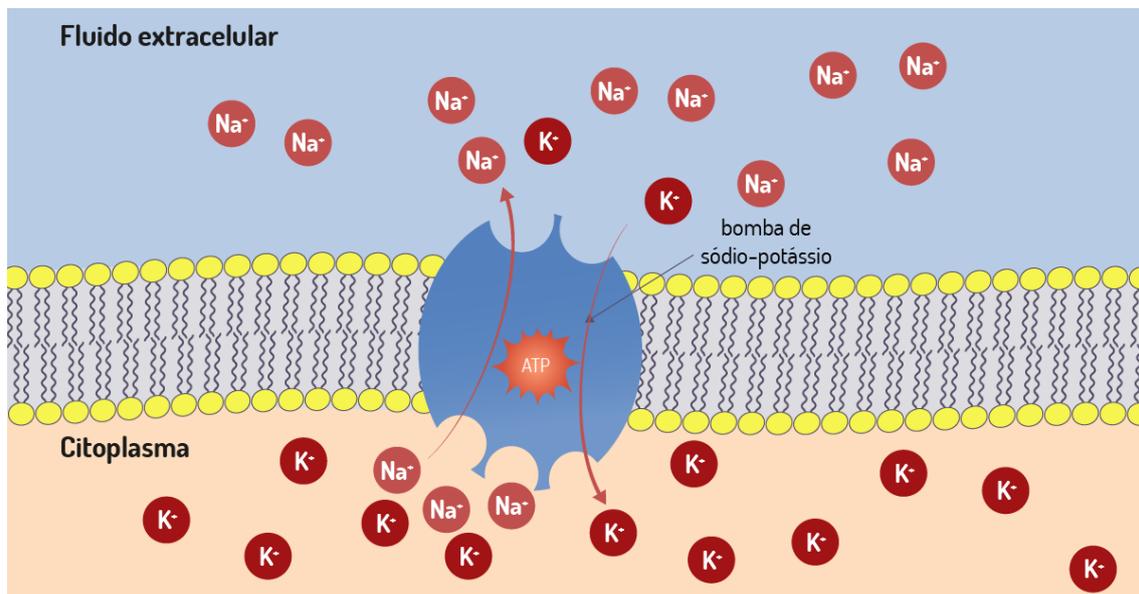


Figura 1.22 - Transporte ativo - Bomba de sódio e potássio

Fonte: Grando (*on-line*).

## REFLITA

A bomba de sódio e potássio está presente em todas as células do corpo, e é responsável pela manutenção das diferenças de concentração de sódio potássio através da membrana celular. Além de estabelecer um potencial elétrico negativo no interior da célula (GUYTON; HALL, 2011, p. 43).

Outro exemplo de transporte ativo primário é a Bomba de Cálcio ( $Ca^{++}$ ). O Cálcio é mantido em níveis baixíssimos no interior celular. Isso é realizado por duas bombas, uma situada na membrana celular, que bombeia o cálcio para “fora”, e outra bombeia o cálcio para o interior de uma ou mais organelas vesiculares do interior celular, como as mitocôndrias e retículo sarcoplasmático.

Por fim, existe, também, o transporte ativo secundário, um mecanismo em que duas substâncias são transportadas ao mesmo tempo. Por exemplo, como a grande quantidade de sódio no exterior da célula tende a atravessar a membrana em direção ao interior, sob condições adequadas, o sódio puxará, com ele, outras substâncias, por meio de uma

proteína carreadora, que possui sítios ativos para a fixação de determinadas substâncias (glicose, aminoácidos, cálcio, hidrogênio, etc.). Esse mecanismo é chamado de co-transporte (para o interior celular) e contratransporte (para o exterior celular) (Figura 1.23).

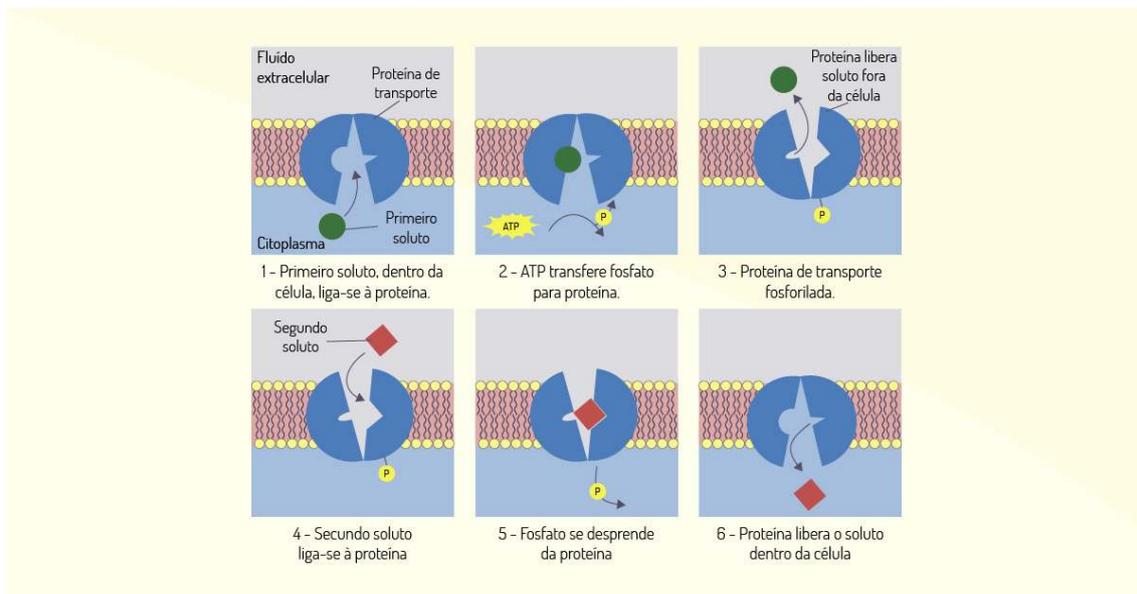


Figura 1.23 - Esquema de cotransporte e contratransporte

Fonte: Henriques (2011, *on-line*).

Veja, portanto, que diferentes tipos de transportes podem ocorrer dentro das nossas células e estes são possíveis, geralmente, pela presença de proteínas transportadoras, que gastam ou não energia para transportar elementos importantes à sobrevivência celular.

### FIQUE POR DENTRO

Para saber mais sobre a Fisiologia celular e sobre os conteúdos desta primeira Unidade, indico a vídeo aula do professor André Menezes. Os vídeos possuem várias partes, assista a todas para um melhor aprendizado no link: <<https://www.youtube.com/watch?v=1eWQJiW1QS0>>. Acesso em: 9 jul. 2019.

## ATIVIDADE

4) Cada uma das 100 trilhões de células existentes no corpo humano é uma estrutura viva, que pode sobreviver por meses ou anos, desde que os fluidos que as circundam tenham os nutrientes adequados. A célula não é apenas um saco de fluidos, enzimas e substâncias químicas; esta também contém estruturas altamente organizadas, chamadas *organelas intracelulares*. Os lipídios das membranas formam uma barreira hidrossolúvel, a qual impede a passagem de água de um lado para o outro, já que a água não é solúvel em gordura. No entanto, as proteínas geralmente penetram completamente a membrana, formando poros para a passagem de substâncias específicas por meio da membrana. Sobre difusão e transporte por meio das membranas celulares, **avali**e as afirmativas a seguir.

I - Difusão simples é caracterizada pela passagem de substâncias pelos interstícios da bicamada lipídica ou pelos canais aquosos de algumas proteínas de transporte;

II - A difusão facilitada ocorre quando uma substância que não consegue atravessar de um lado para o outro necessita do auxílio de uma proteína carreadora/transportadora específica;

III - O transporte ativo ocorre sem gasto de energia (adenosina trifosfato, ATP) e pode ser caracterizado como transporte ativo primário ou secundário;

IV - Proteínas de canal são seletivamente permeáveis a determinadas substâncias.

É correto o que se afirma apenas em:

- a) I, II e IV.
- b) I, III e IV.
- c) II, III e IV.
- d) I, II e III.
- e) I, II, III e IV.

## **INDICAÇÕES DE LEITURA**

Nome do livro: Fisiologia Médica de Ganong

Editora: AMGH

Autor: Kim E. Barrett; Susan M. Barman; Scott Boitano; Heddwen L. Brooks.

ISBN: 8580552923

Comentário: conforme discutido neste módulo, a Educação Física e o Esporte necessitam de profissionais que compreendam melhor o funcionamento corporal a nível celular. Posto isso, indica-se esta obra como uma leitura complementar. As células são altamente especializadas, as quais apresentam inúmeras funções no organismo humano. Desse modo, para iniciar uma viagem sobre o funcionamento corporal, torna-se fundamental compreender as funções celulares e estrutura, bem como, sobretudo, definir as proteínas que contribuem para a permeabilidade e para o transporte por meio da membrana celular.

UNIDADE II

**Fisiologia do sistema nervoso, endócrino e  
muscular**

*Daniel Vicentini de Oliveira*

## Introdução

Olá, caro(a) aluno(a). Nesta unidade, você irá estudar a respeito de três sistemas fisiológicos: nervoso, endócrino e neuromuscular. Assim como os demais sistemas são importantes para a vida em homeostasia, ou seja, em perfeito equilíbrio interno, para a prática de exercício físico, eles interagem entre si, proporcionando efeitos significativos no praticante.

O sistema nervoso é dividido, anatomicamente, em sistema nervoso central (SNC) e sistema nervoso periférico (SNP). O SNC é composto pelo encéfalo e medula espinal; já o SNP é composto pelos nervos espinais e cranianos. Funcionalmente, o sistema nervoso é dividido em sistema nervoso autônomo e visceral. Estes últimos controlam, em partes, o sistema endócrino e neuromuscular, que veremos nesta unidade.



Fonte: Shubhangi Kene / 123RF.

## FISIOLOGIA DO SISTEMA NERVOSO

Caro(a) aluno(a), antes de abordarmos o sistema nervoso como um todo, precisamos falar sobre as sinapses. As sinapses são fundamentais para que qualquer atividade corporal aconteça, pois é a maneira pela qual se levam informações ao sistema nervoso central ou do sistema nervoso central aos tecidos. Também podemos representar sinapses como conhecimento, aprendizagem ou formação de memórias (LENT, 2013).

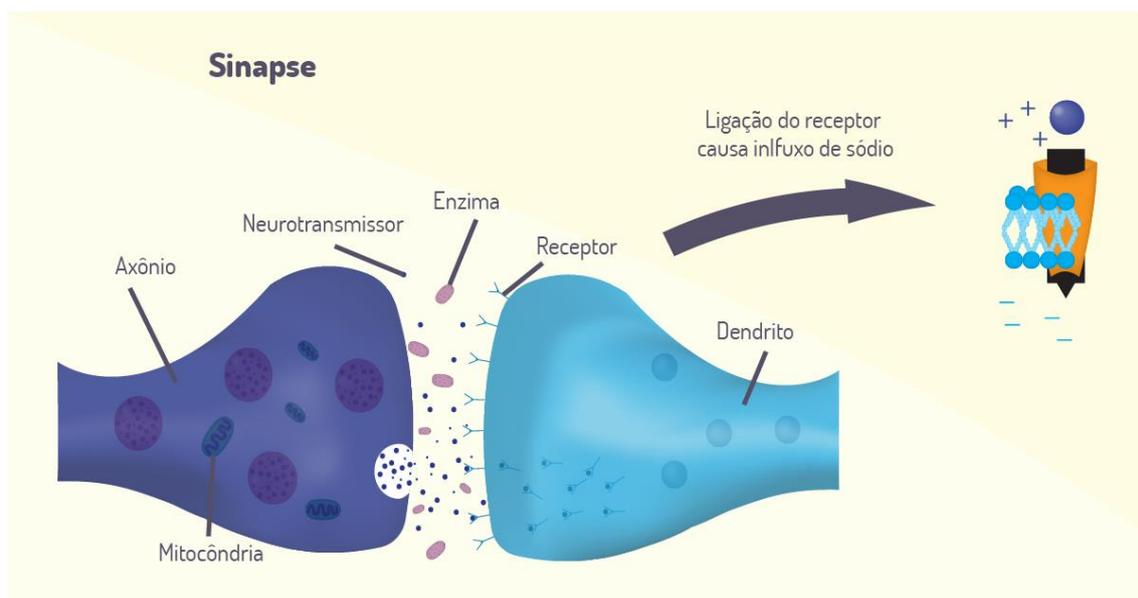


Figura 2.1 - Sinapse

Fonte: Joshua Abbas / 123RF.

Posto isso, vamos ao mecanismo sináptico. Os potenciais de ação propagam-se por uma fibra nervosa até o seu término e deverá ser levada a uma próxima fibra nervosa, ou seja, passada de um neurônio para outro. O que vem a ser potencial de ação? É uma inversão do que chamamos de potencial de membrana, que percorre toda a membrana de uma célula. Estes são essenciais para a vida, já que transportam informações rapidamente dentro e entre os tecidos corporais (POWERS; HOWLEY, 2016).

Isso mesmo, é similar à brincadeira infantil de “telefone sem fio”, que deveríamos “cochichar” uma informação para um colega e este deveria transmitir a outra pessoa e,

assim, sucessivamente, por várias pessoas. Ao final da brincadeira, fazíamos a comparação da informação inicial com aquela que chegou à última pessoa.

Parece simplista demais, não é mesmo!? Mas é o que ocorre em nosso corpo, já que uma informação surge de uma estrutura neurológica, sendo comunicada por vários neurônios até chegar ao tecido-alvo. A única diferença com a brincadeira é que os códigos da informação inicial chegam da mesma maneira ao destino final.

A abordagem técnica requer um pouco mais de informações. Para isso, imagine dois neurônios, um ao lado do outro. O final do primeiro neurônio chamaremos de botão pré-sináptico e o início do segundo neurônio de pós-sináptico. No botão pré-sináptico, existem pequenas bolsas, chamadas vesículas sinápticas, que armazenam neurotransmissores, estruturas de comunicação, ou seja, os transmissores de informação. No botão pós-sináptico, existem receptores que receberão os neurotransmissores. Por fim, no meio intracelular, existem muitos íons de potássio e, no meio extracelular, existem sódio e cálcio. O impulso nervoso chega à terminação da célula nervosa (botão pré-sináptico), seja de neurônio para neurônio ou na junção neuromuscular (comunicação entre neurônio e fibras musculares). Conforme a eletricidade percorre a fibra nervosa e aproxima-se de seu final, os canais voltagem-dependentes de cálcio abrem-se no final do neurônio, assim o cálcio disponível fora da célula entra no botão pré-sináptico. Por alguma razão, esse evento permite que as vesículas sinápticas se movimentem em direção à membrana, liguem-se a ela e, por exocitose, liberem os neurotransmissores no espaço sináptico (meio extracelular entre os dois neurônios), conforme indicam os autores Guyton e Hall (2011).

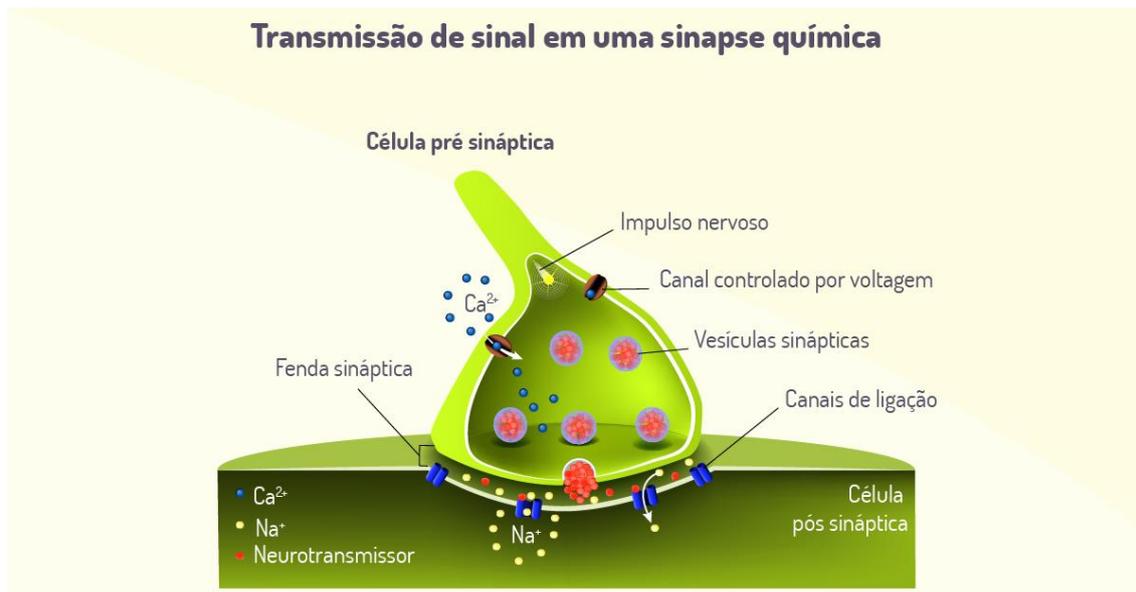


Figura 2.2 - Transmissão de sinal nervoso

Fonte: Designua / 123RF.

Com os neurotransmissores disponíveis entre as células nervosas ou tecidos-alvo, como o músculo, a sequência do mecanismo sináptico depende da ligação desses neurotransmissores (sejam excitatórios ou inibitórios) com os receptores presentes no botão pós-sináptico. Essa ligação, mediada por uma ação enzimática, permitirá a abertura dos canais voltagem-dependentes de sódio (também presentes no meio extracelular). Desse modo, a rápida difusão do sódio para o interior do próximo neurônio irá despolarizar a célula nervosa, levando a informação adiante. Para concluir o mecanismo sináptico, os neurotransmissores utilizados devem ser recaptados pelo botão pré-sináptico para ressintetizá-los para um próximo comando (GUYTON, HALL, 2011).

Resumindo, a despolarização é a primeira fase do potencial de ação, a qual ocorre aumento na permeabilidade aos íons sódio na membrana celular, o que propicia um fluxo grande de íons sódio para dentro da célula (KATCH; KATCH; MCARDLE, 2016).

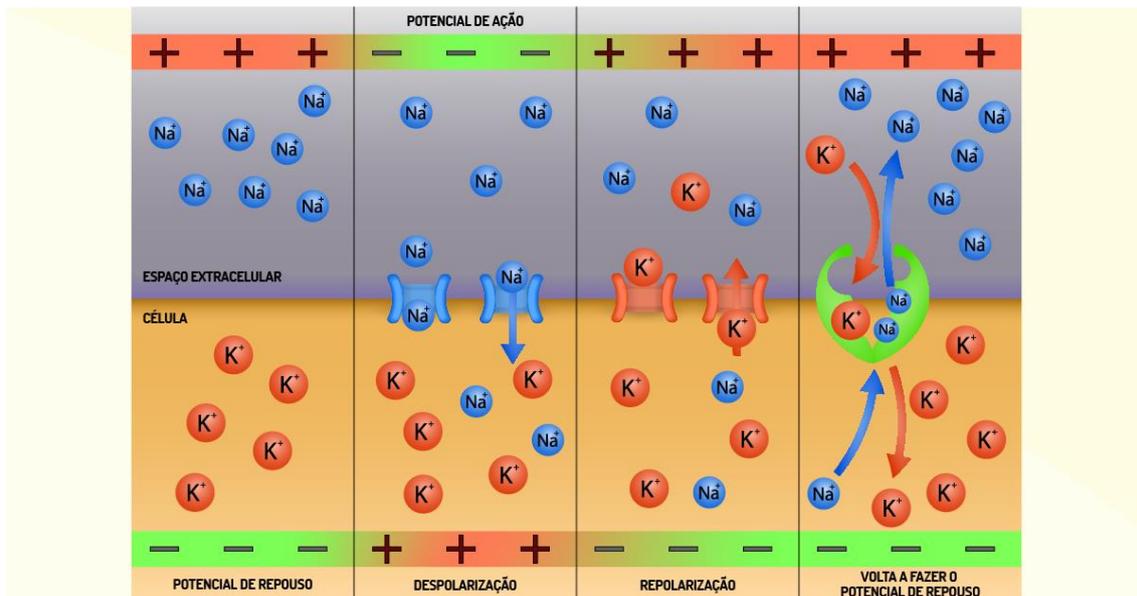


Figura 2.3 - Despolarização e Polarização da membrana durante a sinapse

Fonte: Vit Krajicek / 123RF.

Caro(a) aluno(a), os neurônios apresentam características específicas, quanto à transmissão neural, mas, antes de discutirmos esses aspectos, proponho a você uma reflexão: ao brincar com uma criança que, recentemente, começou a andar, no caso de jogar uma bola para ela segurar ou pegar, provavelmente, a criança irá ver a bola indo em sua direção, irá correr de encontro ao objeto com os bracinhos para cima e, ao realizar o movimento de abaixar para segurar a bola, possivelmente esse brinquedo passará por entre suas pernas. Agora, pergunto a você: se a criança viu a bola, criou uma estratégia para segurar a bola, por qual razão o movimento foi tardio?

Falta de coordenação? Falta de experiência? Muitas poderiam ser as respostas, certo!? Mas, a partir dessa leitura, sua resposta será direcionada ao processo maturacional; em outras palavras, pela formação de bainha de mielina. Se os neurônios são condutores de eletricidade, proponho a seguinte analogia: se, porventura, algum eletrodoméstico de sua casa estiver com o fio desencapado, você jogará todo o equipamento no lixo? Certamente não! Acredito que passaria uma fita isolante para não tomar choques ao encostar nesse fio, estou certo!?

Guyton e Hall (2011) apontam que, nos neurônios, a bainha de mielina é a fita isolante colocada sobre o axônio do neurônio em intervalos de cerca de 1 a 3 mm, ao longo de toda a extensão do axônio, que é interrompida pelos nodos de Ranvier, os quais podem ser facilmente despolarizados pela entrada do sódio. A bainha de mielina é formada por uma célula de Schwann, a qual produz uma camada de gordura, que irá diminuir a permeabilidade do íon de sódio por esta região.

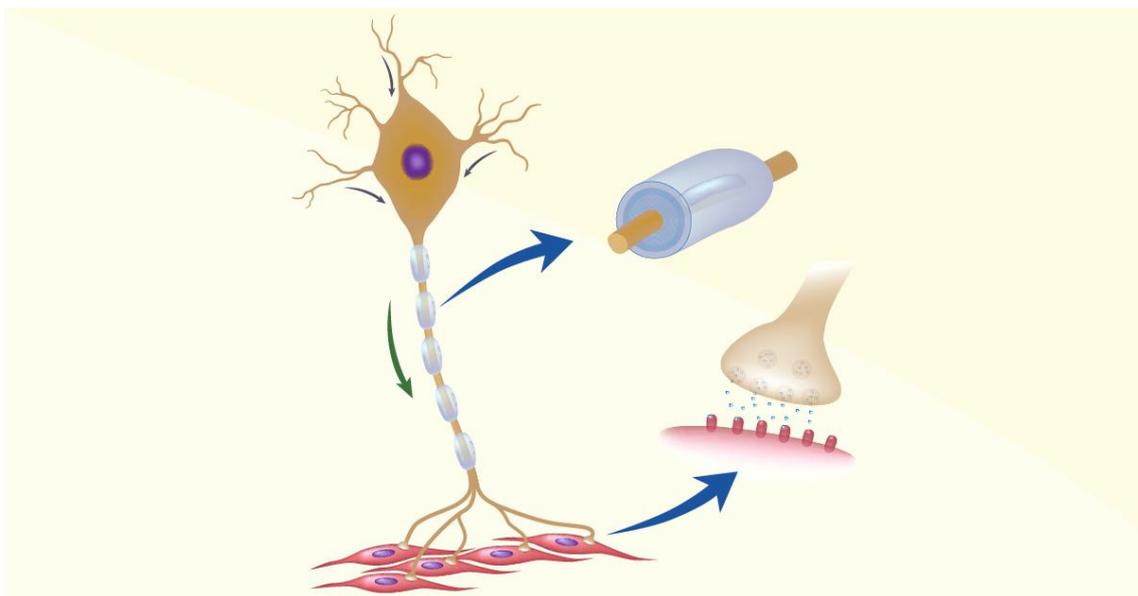


Figura 2.4 - Bainha de Mielina

Fonte: Alila / 123RF.

Para continuarmos a discutir o exemplo anteriormente apresentado, a criança não consegue, na maioria das vezes, segurar a bola, pois ainda está passando por um processo de maturação neuronal (formação da bainha de mielina em regiões específicas do cérebro). Um neurônio amielínico desprovido de bainha de mielina conduz o sinal elétrico neural a uma velocidade aproximada de 0,5 m/s, ou seja, a criança viu a bola, tomou uma decisão, mas até essa informação chegar ao músculo, a bola já passou.

Com o passar dos meses ou anos, somando a contínua formação de bainha de mielina, as células mais calibrosas chegam a conduzir eletricidade a, aproximadamente, 100 m/s (o comprimento de um campo de futebol em um segundo). A velocidade de condução da

eletricidade aumenta em proporção direta com o diâmetro nas fibras mielínicas e com a raiz quadrada do diâmetro da fibra nas amielínicas (POWER; HOWLEY, 2016).

Os íons não possuem a capacidade de fluir com intensidade significativa por meio da bainha de mielina dos nervos mielinizados, porém fluem com facilidade pelos nodos de Ranvier. Nos nodos é que ocorrem os potenciais de ação, que são conduzidos de um nodo para outro, o que chamamos de condução saltatória (LENT, 2013). A condução saltatória é importante por fazer com que a despolarização salte por sobre longos trechos, ao longo do eixo da fibra nervosa. Este mecanismo aumenta a velocidade da transmissão neural nas fibras mielinizadas. A condução saltatória pode conservar energia para o axônio, já que apenas os nodos despolarizam, o que permite perda de íons cerca de 100 vezes menor do que a necessária, caso não ocorresse a condução saltatória. Isso resulta na exigência de pouca atividade metabólica para o restabelecimento das diferenças de concentração de sódio e potássio, por meio da membrana celular, após uma série de impulsos nervosos (GUYTON; HALL, 2011).

Devido à formação desta camada isolante, aumenta-se a velocidade de condução elétrica, fazendo com que as informações sejam rapidamente comunicadas. Neste momento, é possível perceber a facilidade de segurar a bola ou em quaisquer ações motoras e cognitivas.

## **O sistema nervoso**

Iniciamos esta sessão com a seguinte indagação: o que ou quem controla o funcionamento corporal? Isso mesmo, o Sistema Nervoso, que opera juntamente com o Sistema Endócrino, controlando a maior parte das funções corporais, desde o controle muscular até a funções metabólicas do corpo humano (GUYTON; HALL, 2011); (LENT, 2013); (CURI, 2017).

A figura a seguir apresenta a organização do Sistema Nervoso e, apoiando-se nela, ficará mais fácil o entendimento dos conhecimentos de comando e controle das funções corporais.

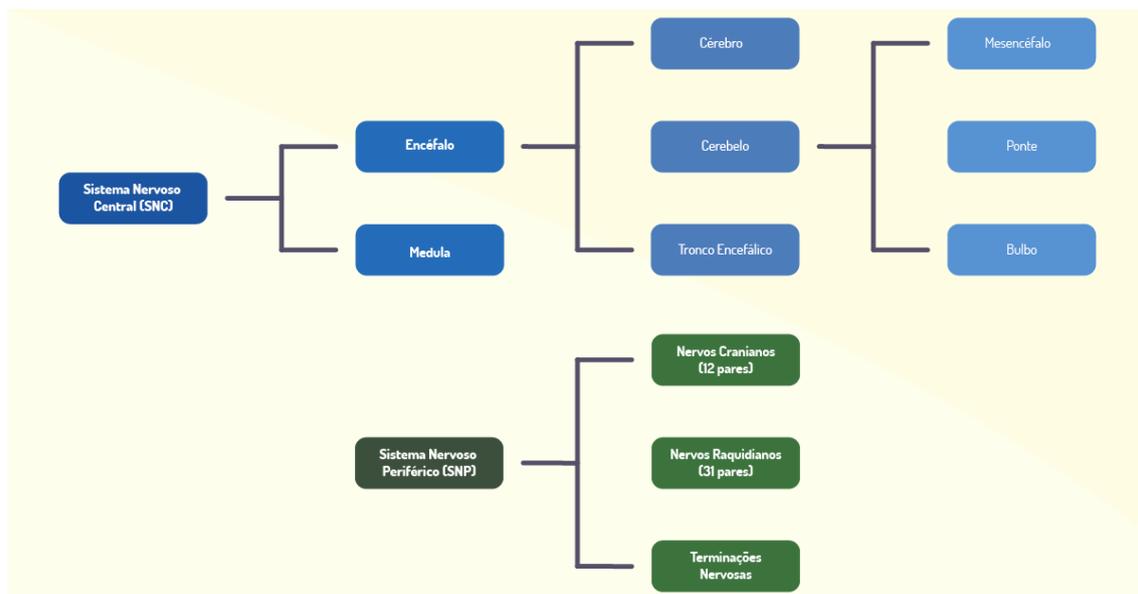


Figura 2.5 - Organização do Sistema Nervoso

Fonte: Adaptada de Guyton e Hall (2011).

Para que seja possível esse controle, são necessárias redes neuronais complexas, que somam, aproximadamente, 90 bilhões de neurônios, e não 100 bilhões, como é difundido na sociedade (PIVETTA, 2008).

Em grande parte, essas células nervosas compõem o Sistema Nervoso Central (SNC), o qual envia informações (vias eferentes) ou recebe informações da periferia corporal a serem analisadas (vias aferentes). Evidentemente, essas informações deixam o SNC em direção aos tecidos-alvo ou vice-versa por meio de potenciais elétricos e sinapses (KATCH; KATCH; MCARDLE, 2016).

Na região encefálica, existem áreas de processamento específico, ou seja, cada ponto do nosso encéfalo apresenta funções de armazenamento e processamento específicos. Sabendo disso, analise a seguinte questão: em qual ponto do SNC estão armazenadas as memórias motoras? Pois bem, para nunca mais esquecer: sabe aquela região acima da cabeça de uma criança que, no início da vida, é toda mole, a moleirinha? Isso mesmo, abaixo dela está o córtex motor, responsável pelo processamento e armazenamento das informações motoras, as quais, em momentos oportunos, serão levadas de modo eferente

ao tecido muscular, para a realização de uma tarefa. Desse mesmo modo ocorre com outras informações, como as que sobem ao SNC a serem analisadas, como as percepções táteis, visuais, auditivas, etc.

Conforme a estrutura ou organização do Sistema Nervoso apresentada na figura anterior, Guyton e Hall (2011) subdividem o SNC em três níveis de funcionalidade específicos: (1) nível medular, (2) nível cerebral inferior e (3) nível cerebral superior ou nível cortical.

Estimado(a) aluno(a), imagine a seguinte situação: em um lance esportivo, mais especificamente uma bola chutada ou cabeçada praticamente à queima-roupa no futebol de campo, o goleiro enxerga a bola e salta para tentar uma defesa milagrosa, evitando o gol da equipe adversária. Neste momento, o narrador esportivo irá elogiar a ação do goleiro e seu puro reflexo. Agora, pergunto-lhe, para esse exemplo, a defesa do goleiro foi mesmo um reflexo?

Errado! Concorda comigo que, se o goleiro viu a bola, uma informação sensorial saiu de seus olhos com o intuito de processar a informação no córtex visual? Pois bem, se isso realmente ocorrer, será uma ação de base voluntária, com análise superior ou cortical; esse é o nível que nos apoiamos em nossas memórias conscientes ou declarativas para tomarmos decisões diversas.

Lent (2013) indica que as memórias podem ser subdivididas em memórias declarativas e procedimentais. As memórias conscientes (declarativas) também podem ser classificadas como semânticas e episódicas. Por outro lado, as memórias de acesso inconsciente (procedimentais) estão diretamente relacionadas à aprendizagem motora, ficando evidenciadas em movimentos automatizados, já não sendo necessário um alto nível de atenção para a execução das ações corporais.

Sobre o exemplo antes mencionado, acredito que deva estar indagando-se: mas, se isso não é reflexo, o que será, então? Todas as informações pré-analisadas a nível medular, ou seja, informações que chegam de maneira aferente até a medula corporal e dela voltam como informação eferente? Para esclarecer melhor, imagine outro exemplo: no caso de colocar a sua mão sobre uma superfície muito quente, os termorreceptores em sua pele irão perceber que está muito quente e, assim, enviará a informação para uma estrutura chamada interneurônio, presente na medula, a qual irá analisar a informação e decidir se

envia a informação para a base encefálica ou não. Agora, suponha que foi decidido direcionar a informação para a base voluntária do SNC, que, por sua vez, analisará e decidirá se deve retirar a mão dessa superfície quente. Então, uma informação será enviada aos músculos para a contração muscular (FOSS; KETEVIAN, 2010).

Mesmo que sejam rápidas essas análises, possivelmente, a mão já estará queimada. Para que isso não ocorra, a informação não sobe ao nível cortical superior, pois o interneurônio decide enviar um arco reflexo, ou seja, a informação volta da própria “coluna”, e não das memórias armazenadas no cérebro. O narrador acabou com todo o treinamento e esforço de anos para desenvolver sua velocidade de reação frente a situações esportivas adversas.

Os reflexos controlam muitas funções corporais, como movimentos gastrointestinais, movimentos de marcha, controle dos vasos sanguíneos, dentre muitos outros. Contudo, ainda nos falta um nível, o cerebral inferior que, se preferir, pode interpretá-lo como nível subconsciente ou primitivo, localizado na base do encéfalo (GUYTON; HALL, 2011).

No tronco encefálico, o bulbo e a ponte são responsáveis, principalmente, pelo controle da pressão arterial e da respiração. O controle do equilíbrio é função combinada de partes do cerebelo e do tálamo. A salivação, em resposta ao sabor dos alimentos e o lambrar dos lábios, que são reflexos da alimentação, é controlada por centros localizados no bulbo, ponte, mesencéfalo, amígdala e hipotálamo. Muitas respostas emocionais, tais como a raiva, a excitação, as atividades sexuais, a reação à dor ou ao prazer, podem ocorrer em animais sem córtex cerebral (LENT, 2013); (KATCH; KATCH; MCARDLE, 2016).

Assim, cada parte do sistema nervoso executa funções específicas. Muitas funções integrativas são bem desenvolvidas na medula espinhal e muitas das funções subconscientes originam-se e são inteiramente executadas nas regiões cerebrais inferiores. No entanto, é o nível cortical superior que abre o mundo para o nosso pensamento.

Existe outra porção neuronal que auxilia no controle e alterações das funções vitais do corpo humano. É só relacionar esta informação às possibilidades de dobrar a frequência cardíaca em menos de cinco segundos. Também pode-se elevar a pressão arterial a níveis

alarmantes ou reduzi-la em segundos, a ponto de levar o indivíduo ao desmaio; é assim, também, para a sudorese, esvaziamento da bexiga, etc.

O Sistema Nervoso Autônomo (SNA) é ativado pela medula espinhal, tronco cerebral e hipotálamo e também pode operar por reflexos viscerais (subconsciente), além do córtex, que pode influenciar diretamente em seu controle (GUYTON; HALL, 2011).

Os sinais eferentes são transmitidos pelo Sistema Nervoso Simpático e Sistema Nervoso Parassimpático. Essas duas porções do SNA atuam de maneiras antagônicas no corpo humano, ou seja, nunca deixam de atuar, a diferença é que, em alguns momentos, para algumas situações, existe maior ativação Simpática e, para outros momentos, maior atuação Parassimpática.

Vamos ao exemplo! Quando estava prestes a realizar a apresentação de um seminário acadêmico, o que acontecia com seu corpo, conforme a hora da apresentação aproximava-se? Sentia frio na barriga, a mão começava a suar mais do que o normal, o coração acelerava e, muitas vezes, a perna ficava trêmula, certo? Pois bem, seu organismo estava preparando-se fisiologicamente para o estresse.

Caro(a) aluno(a), isto que ocorreu em seu organismo só foi possível devido à maior ativação do Sistema Nervoso Simpático, que prepara o organismo para o estresse, gerando um instinto de fuga ou de luta.

Mas vamos voltar ao exemplo anterior. Se você estava preparando-se para o estresse, existia, naquele momento, a necessidade de realizar, de modo amplo, a digestão? Isso mesmo! Não! Quando você acaba de fazer uma refeição satisfatória, é possível que fique sonolento. Por qual razão isso ocorre? É devido à reorganização neural, mediada pelo Sistema Nervoso Parassimpático, que estimula atividades relaxantes (repouso).

Neste momento, seu corpo não precisará organizar-se para o estresse, para correr ou fugir, tampouco necessitará de sangue, nutrientes e oxigênio em níveis altos para membros inferiores ou superiores. Agora, precisa realizar a digestão, ou seja, o fluxo de sangue e demanda energética de seu corpo será direcionado para a área visceral (SILVERTHORN, 2017).

Para facilitar o entendimento, apresento, agora, algumas alterações fisiológicas que ocorrem em virtude da atuação do SNA.

Quando o Sistema Nervoso Simpático é mais atuante, ocorrem as seguintes alterações: aumento da frequência cardíaca, taquipneia, vasodilatação musculoesquelética, vasoconstrição visceral, ativação das glândulas sudoríparas, dilatação da pupila (midríase), dentre outros.

Mas o que ocorre quando o Sistema Nervoso Parassimpático é mais atuante? Acontece o oposto, pois a frequência cardíaca diminui, ocorre bradipneia, fechamento da pupila, etc.

Vale ressaltar que o Sistema Nervoso Simpático e o Sistema Nervoso Parassimpático são atuantes sobre os mesmos órgãos corporais, pois ambos atuam sobre os olhos, estimulam ou inibem a salivação, influenciam nos batimentos cardíacos, dificultam ou facilitam o aporte de oxigênio para os pulmões, estimulam ou inibem a atividade gastrointestinal, atuam sobre os órgãos sexuais, etc. (DARIO et al., 2016; FERREIRA et al., 2017).

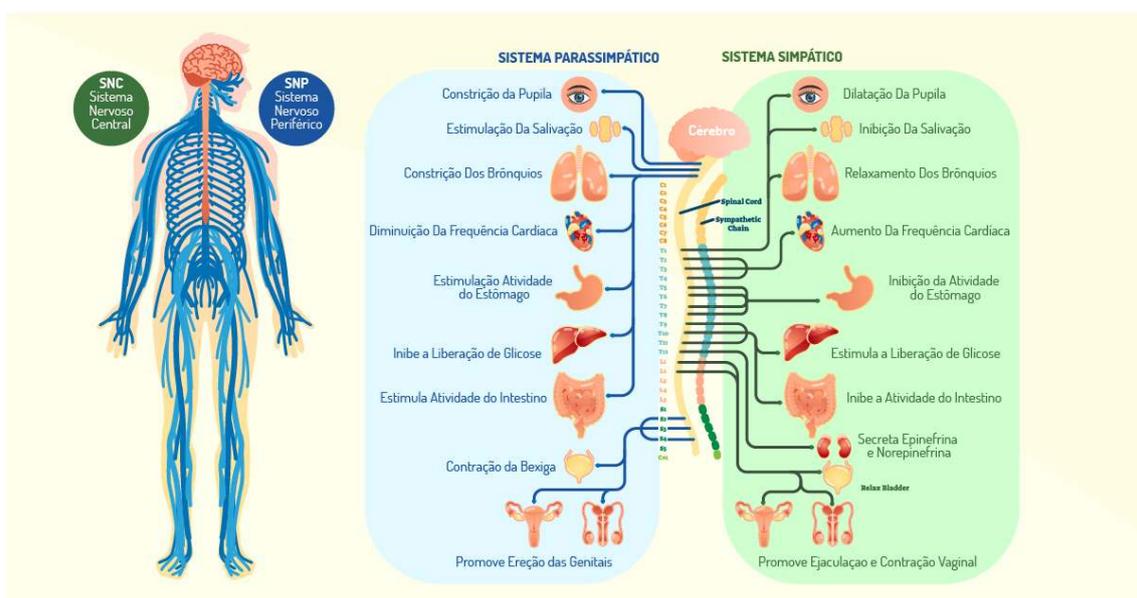


Figura 2.6 - Sistema nervoso simpático e parassimpático

Fonte: Normaaals / 123RF.

Evidentemente, por tratar-se de um mecanismo neuronal que estimula os órgãos corporais para que estes atuem, é fundamental a liberação de neurotransmissores entre neurônios ou tecidos-alvo. Desse modo, devemos pensar em acetilcolina, o qual é liberado em fibras colinérgicas e, por outro lado, elencar norepinefrina e epinefrina (adrenalina) para as fibras adrenérgicas (GUYTON; HALL, 2011).

Para entendermos melhor, imagine neurônios deixando o SNC e chegando a um gânglio (um emaranhado de células neuronais). Estes são chamados de neurônios pré-ganglionares. Existem, também, aqueles neurônios que deixam os gânglios e conectam-se aos tecidos corporais, como o coração. Estes são denominados neurônios pós-ganglionares (SILVERTHORN, 2017); (CURI, 2017).

Agora, é possível utilizar os exemplos desta seção e compará-los a situações de conhecimentos prévios. A adrenalina, com base em seu conhecimento, excita ou relaxa? Podemos perceber que esta excita, ou seja, é estimulante. Desse modo, se liberarmos norepinefrina e epinefrina, estamos falando de neurônios pós-ganglionares simpáticos, pois precisamos do estresse fisiológico para algum momento específico. Por outro lado, neurônios pré-ganglionares parassimpáticos e simpáticos, bem como os pós-ganglionares parassimpáticos, liberam o neurotransmissor acetilcolina. Por esta razão, são denominadas fibras colinérgicas.

Aluno(a), o conhecimento sobre o Sistema Nervoso é fascinante e muito amplo, pois existem muitos aspectos que ainda podem ser buscados, analisados e reorganizados. Posto isso, sugiro que amplifique seus conhecimentos sobre os aspectos neuronais. Certamente, isto o ajudará muito profissionalmente.

## **ATIVIDADE**

1) Um ser humano tem, aproximadamente, 90 bilhões de neurônios em seu corpo, os quais comunicam-se entre si. Essa comunicação deve acontecer entre os neurônios do cérebro e entre as células nervosas do Sistema Nervoso Central, com aquelas situadas nas extremidades do corpo humano, podendo ser transmitida de maneira eferente (do cérebro para as extremidades) ou aferente (das extremidades para o cérebro). Assinale a alternativa que apresenta corretamente a maneira pela qual as informações são passadas do cérebro para os órgãos mais distantes, como a pele ou da pele para o cérebro.

- a) Por eletricidade ou denominada potenciais de ação.
- b) Por eletricidade ou denominadas sinapses.
- c) Por receptores ou mediadores.
- d) Por ligação direta de sensações (telepatia).
- e) Por mecanismos químicos sustentados por neurotransmissores.

## **FISIOLOGIA DO SISTEMA ENDÓCRINO**

Agora, você estudará sobre a fisiologia do sistema endócrino (regulação endócrina e hormonal). A importância da organização no corpo está implícita no conceito do corpo como um organismo. Para estarem organizadas, as partes do corpo devem ser reguladas para trabalhar em sintonia umas com as outras e harmonicamente. Esta regulação é desempenhada pelo sistema nervoso, que você já leu anteriormente, e pelo sistema endócrino. O sistema nervoso, por meio da remessa de sinais nervosos pelos nervos periféricos, funciona muito rapidamente, ajustando as atividades dos órgãos internos em segundos. Embora rápidos, esses efeitos são de duração relativamente curta. Um exemplo desses efeitos são as mudanças na pressão sanguínea, respiração e temperatura.

Os hormônios do sistema endócrino exercem efeitos lentos, mas de longa duração e muito importantes à vida. Diferentemente do sistema nervoso, os hormônios do sistema endócrino secretados no sangue agem lentamente e seus efeitos levam minutos, horas ou até dias para desenvolverem-se. Entretanto, esses efeitos são de duração mais longa quando comparados àqueles produzidos pelos nervos. Vale lembrar que os hormônios são

substâncias químicas secretadas em quantidades pequenas na corrente sanguínea, por meio das células das glândulas endócrinas. Trafegando na circulação, os hormônios ligam-se com receptores apropriados, os quais estão seletivamente presentes nas células dos seus órgãos-alvo, induzindo os efeitos desejados no crescimento, metabolismo ou função daqueles órgãos (PARKER, 2014).

Os sistemas nervoso e endócrino são capazes de regular as atividades um do outro, bem como agir em concerto ou em consonância para obter as alterações desejadas nas funções do corpo. A vantagem especial desse sistema neuroendócrino de comunicação hormonal é que este permite a mediação dos efeitos de ambos, o ambiente e sistemas cerebrais e o endócrino.

Agora, vamos falar sobre as glândulas endócrinas. Estas são agrupamentos de células endócrinas, com funções hormonais secretoras distintas. As principais glândulas endócrinas incluem: a pineal (que produz melatonina), pituitária anterior (produz o hormônio do crescimento – GH – e as trofinas), pituitária posterior (produz o ADH e ocitocina), tireoide (produz a tiroxina e T3), paratireoide (produz o paratormônio), adrenal ou suprarrenal - (produz os corticosteroides - cortisol), medula adrenal (produz as catecolaminas), ilhotas pancreáticas (produz a insulina e o glucagon), testículos (produz os esteroides masculinos - testosterona e inibina) e ovários (produzem esteroides femininos - estrogênio e progesterona e a inibina).

O GH, produzido pela glândula pituitária anterior, é chamado hormônio do crescimento ou somatotrofina. Esse hormônio é responsável pelo estímulo ao crescimento e reprodução celular. Ele é considerado um hormônio anabólico e auxilia no aumento da estatura na infância e na adolescência, bem como no ganho de massa muscular e na produção de cartilagem das articulações (TORTORA; DERRICKSON, 2016). Já a testosterona, que é produzida pelos testículos, é o principal hormônio sexual masculino, também considerado um esteroide anabolizante. Este é um hormônio extremamente importante ao desenvolvimento dos testículos e da próstata, assim como para definir as características sexuais, como o aumento da massa muscular, desenvolvimento e maturação dos ossos, bem como o crescimento de pelos corporais (KACH; KACH; MCARDLE, 2016).

A insulina, que é produzida pelo pâncreas, possui importante função na metabolização da glicose, utilizando esta para a produção de energia. A insulina controla a entrada da glicose dentro das células musculares, por exemplo (TORTORA; DERRICKSON, 2016). O cortisol, produzido pela glândula adrenal (suprarrenal), é um esteroide envolvido na resposta ao estresse. Este atua, também, quebrando proteínas e gorduras e auxilia na metabolização de glicose no fígado. As catecolaminas, que são produzidas pela medula adrenal, podem ser exemplificadas pela epinefrina, norepinefrina e a dopamina. As duas primeiras também são chamadas de adrenalina e noradrenalina, respectivamente. Estas são liberadas em diversos momentos no dia, principalmente durante o exercício físico. A adrenalina é o hormônio da “luta e da fuga”, pois é liberada para preparar o organismo para o exercício físico (KACH; KACH; MCARDLE, 2013).

Aluno(a), veja, a seguir, algumas destas glândulas e órgãos endócrinos, que serão abordados a seguir.

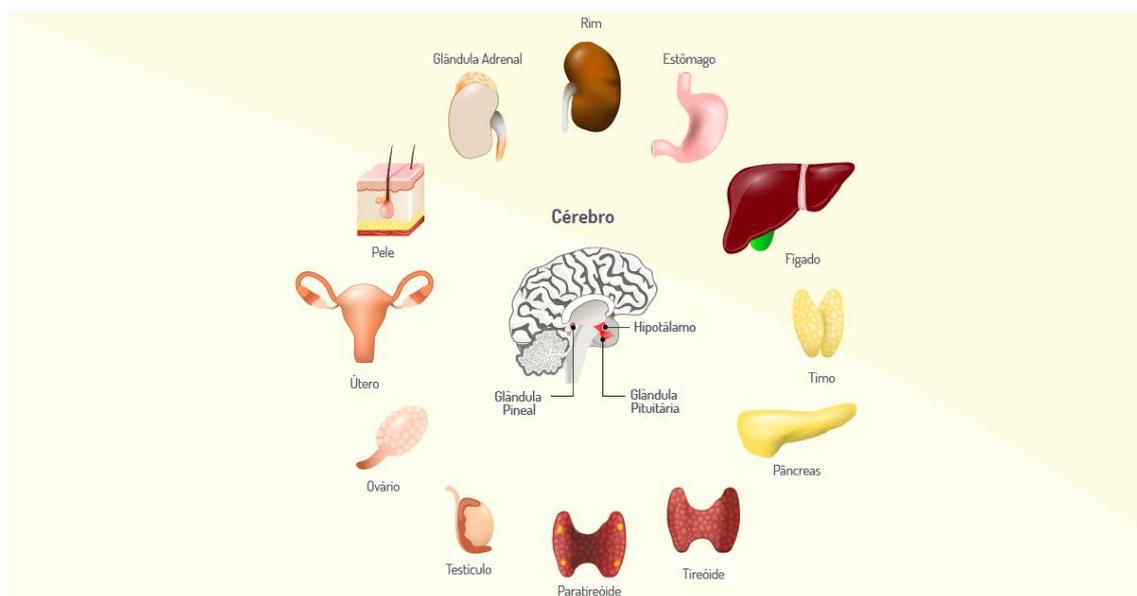


Figura 2.7 - Órgãos e glândulas endócrinas

Fonte: Designua / 123RF.

Outra categoria de células com funções endócrinas é constituída por aquelas encontradas esparsas, individualmente ou em pequenos agregados, dentro de outros órgãos com

funções distintamente não endócrinas. Esses órgãos são o rim (que produz a renina, eritropoetina e o calcitriol), fígado (produz somatomedina), timo (produz timosina), hipotálamo (produz hormônios hipotalâmicos), coração (produz peptídeo natriurético), estômago (produz gastrina) e duodeno (produz secretina, CCK e GIP). Os testículos e ovários podem, também, ser considerados nesta categoria, porque produzem gametas masculino e feminino, como abordado no parágrafo anterior. A presença e a localização das células endócrinas dentro de outro órgão são frequentemente ditadas por uma relação funcional/especial entre o órgão e as células endócrinas nele hospedadas. Quer um exemplo? O rim percebe a pressão sanguínea diminuída e secreta renina para compensar esta deficiência. Você deve estar perguntando-se: como ocorre a interação entre o sistema endócrino, glândula e o alvo?

Os hormônios foram inicialmente concebidos como substâncias secretadas por qualquer glândula endócrina para o sangue, a fim de alcançar um órgão-alvo, com a finalidade de regular ou alterar a atividade daquele órgão. Essa forma puramente hormonal de comunicação ainda se aplica a muitas glândulas endócrinas e seus hormônios – por exemplo, as ilhotas pancreáticas (insulina e glucagon). A comunicação hormonal pode, também, ocorrer entre duas glândulas endócrinas. Por exemplo, a pituitária anterior secreta muitos hormônios tróficos, que estimulam outras glândulas endócrinas (glândulas-alvo) para secretar os próprios hormônios (hormônios de glândulas-alvo).

Porém, muitos tipos de comunicação neuroendócrinas medeiam influências do cérebro sobre funções do corpo: controle neurosecretor direto; interação do tipo cérebro-pituitária anterior-glândula; sistema nervoso autônomo; e o controle dos hormônios endócrinos (PARKER, 2014).

## ATIVIDADE

2) O corpo humano possui diversos sistemas anátomo-fisiológicos que atuam em perfeita harmonia para manter a vida em homeostasia. Dentre estes, existe o sistema endócrino, que possui glândulas endócrinas responsáveis por produzir secreções que serão liberadas na corrente sanguínea. Portanto, assinale a alternativa que indique apenas glândulas do sistema endócrino.

- a) Testículos, tireoide e glândulas sebáceas.
- b) Hipófise, tireoide e glândulas sudoríparas.
- c) Glândulas sudoríparas e sebáceas.
- d) Hipófise, tireoide e testículos.
- e) Testículos, ovários e glândulas salivar.

## FISIOLOGIA MUSCULAR

Que os músculos corporais são importantes para a sobrevivência, você sabe, mas eu pergunto: quais são suas principais funções? Locomoção e movimento corporal! Tais funções são realizadas pelas fibras musculares, que são células especializadas, as quais contraem-se sob estimulação apropriada. O sistema muscular transforma energia química em mecânica, por meio da quebra enzimática da Adenosina Trifosfato (ATP) e, para que tudo isso seja possível, aproximadamente 640 músculos compõem o corpo humano (PARKER, 2014).

Agora, outro questionamento: quais tipos de músculos existem no corpo dos seres humanos? Existem três tipos de músculos, cuja classificação é baseada no aspecto e localização de seus constituintes celulares: liso, esquelético e cardíaco.

De acordo com Guyton e Hall (2011) e Silverthorn (2017), o músculo estriado esquelético apresenta células alongadas e com muitos núcleos periféricos. Essa célula muscular tem contração forte, rápida e voluntária. A musculatura estriada cardíaca apresenta células que se ramificam, apresentam núcleos centralizados e sua contração é forte, rápida e evidentemente involuntária. Por fim, sobre os músculos lisos, não temos controle

voluntário, pois estes apresentam células fusiformes, com um núcleo centralizado e seu poder de contração é lento.

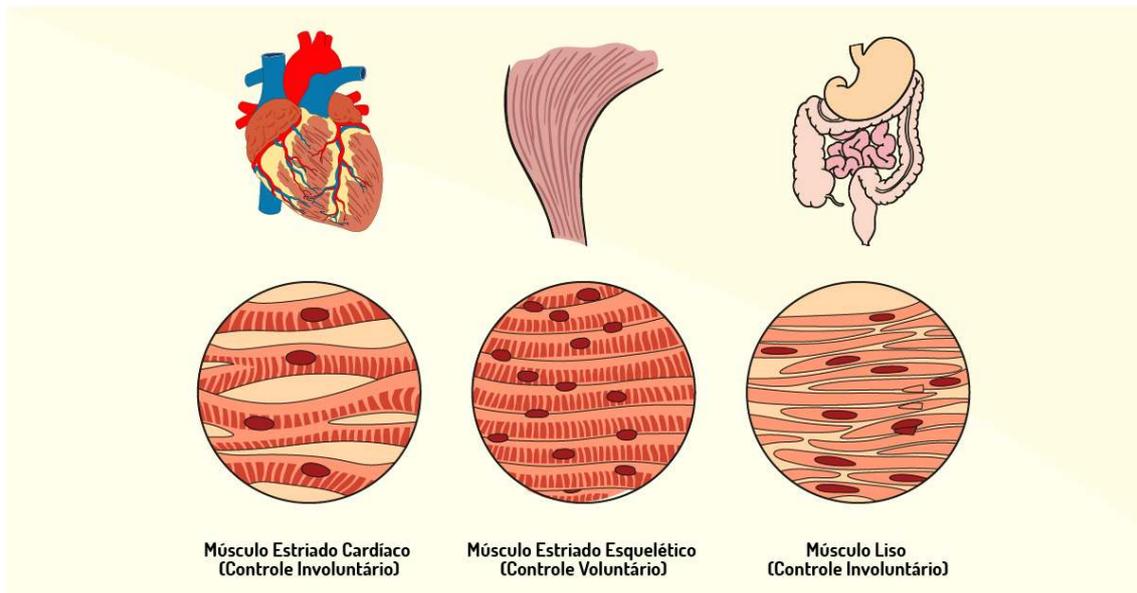


Figura 2.8 - Tipos de músculo

Fonte: Udaix / 123RF.

Após esta introdução sobre o sistema muscular, começamos a melhor apresentar as características dessas células musculares. Os músculos lisos ajudam a impulsionar o alimento ao longo do esôfago, estômago e intestino; regulam a entrada de ar nos brônquios; controlam o fluxo do sangue pelas artérias; e auxiliam a esvaziar a bexiga urinária.

Existem dois tipos de músculos lisos, o de uma só unidade (unitário) e o multiunitário (Figura 2.9). No músculo liso de uma só unidade, centenas de milhares de fibras musculares contraem-se juntas, em que as células (fibras) são aderentes entre si, ou seja, contraem como um grande bloco, em que, pela estimulação de uma célula, todas as outras ao seu entorno receberão a informação (GUYTON; HALL, 2011); (CURI, 2017).

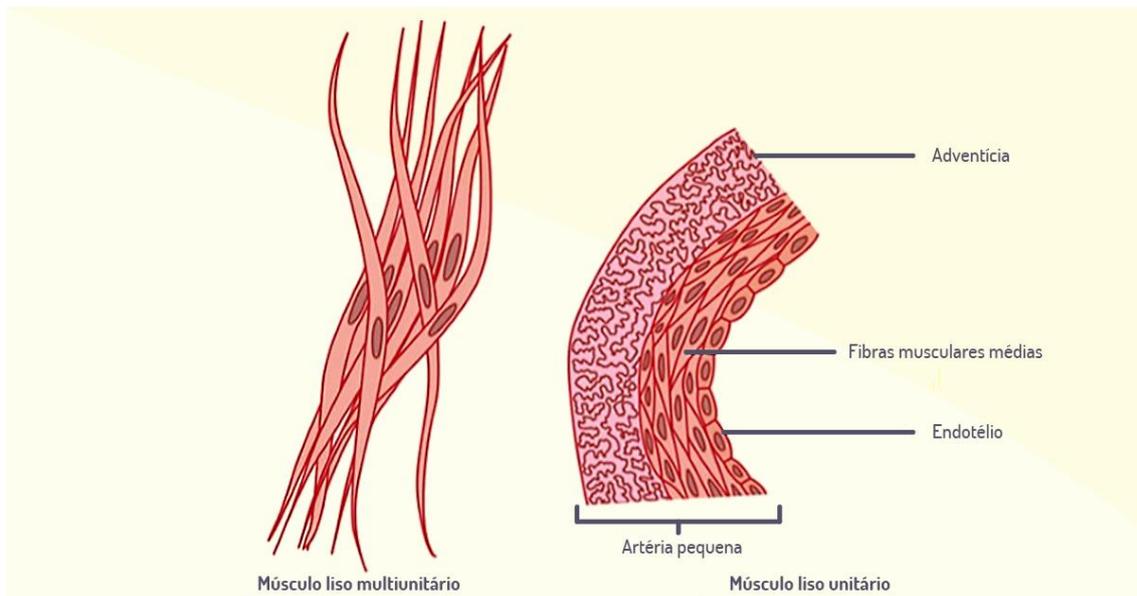


Figura 2.9 - Músculo liso unitário e multiunitário

Fonte: De La Cruz (2019, *on-line*).

Por outro lado, no músculo liso multiunitário, as fibras são independentes de músculo liso e cada célula é revestida por uma membrana isolante, ou seja, os estímulos são individualizados, não sendo propagados para células adjacentes, gerando uma contração independente, por exemplo, músculo ciliar e íris dos olhos (GUYTON; HALL, 2011).

O músculo estriado cardíaco necessita de rápida propagação dos estímulos elétricos e, por esse motivo, existe baixa permeabilidade dos íons de potássio, canais rápidos de sódio e canais lentos de cálcio. Na estrutura cardíaca, ainda existe uma espécie de atalho para acelerar a informação elétrica para todas as células musculares, denominados discos intercalares, que possuem junções comunicantes, com difusão livre de íons que favorecem o potencial de ação. Esse evento auxilia no processo de formação dos sincícios no miocárdio, em que muitas células contraem-se ao mesmo tempo.

Os músculos estriados esqueléticos estão presentes na maior parte do corpo humano, distribuídos em músculos longos, planos, orbiculares, em leque e nos esfíncteres.

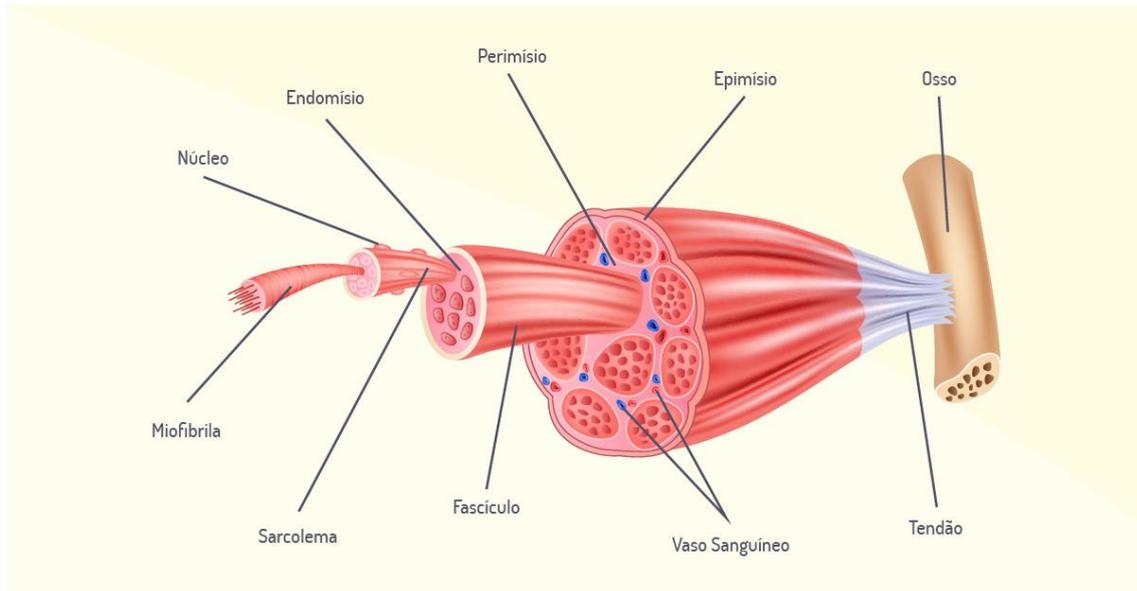


Figura 2.10 - Músculo estriado esquelético

Fonte: Teguh Mujiono / 123RF.

Agora, passamos a imaginar a organização de uma fibra muscular. Inicialmente, a estrutura de um músculo estriado esquelético é composta por diversas unidades motoras (Figura 2.11) e cada unidade motora contém dezenas ou centenas de fibras musculares. É no interior dessas fibras musculares que o processo contrátil irá ocorrer.

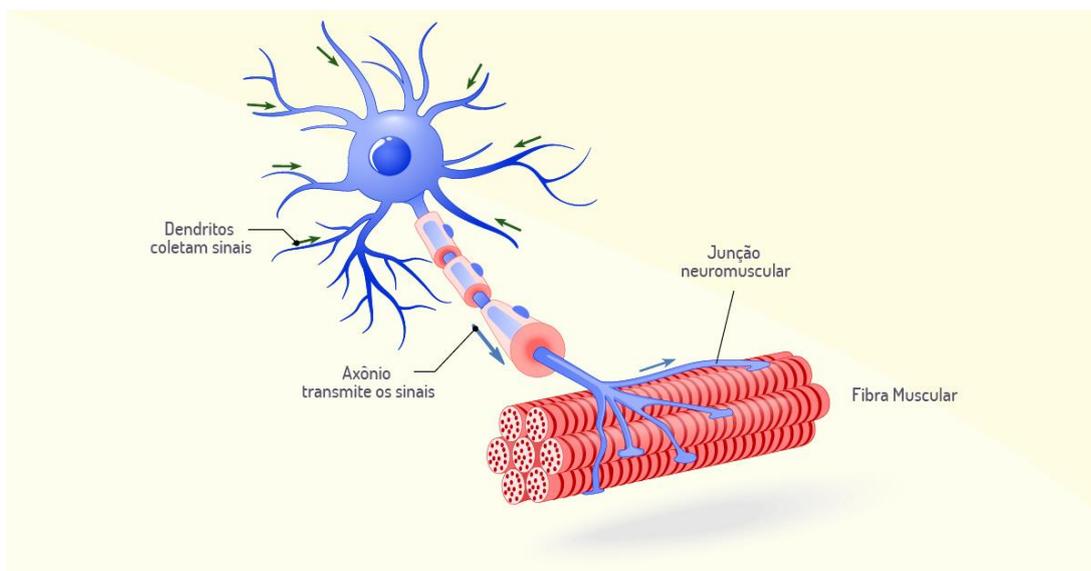


Figura 2.11 - Unidades motoras

Fonte: Designua / 123RF.

Veja, na ilustração a seguir, a junção neuromuscular em tamanho maior.

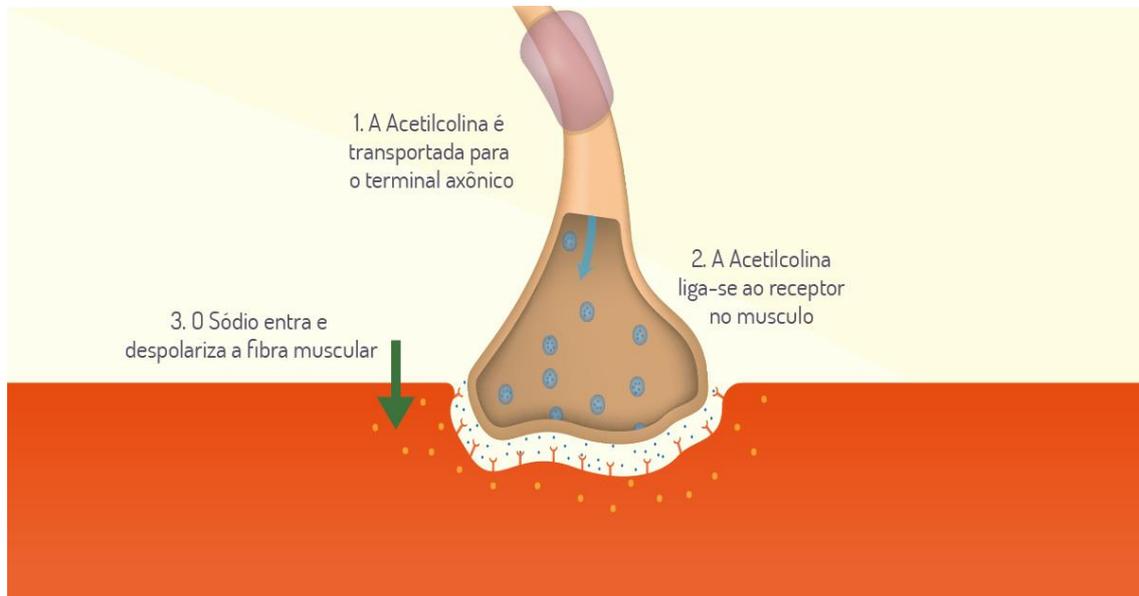


Figura 2.12 - Junção neuromuscular em tamanho maior

Fonte: Joshua Abbas / 123RF.

Para facilitar seu entendimento, observe a Figura 2.13, sobre a organização da fibra muscular e o processo de utilização do ATP pela contração muscular.

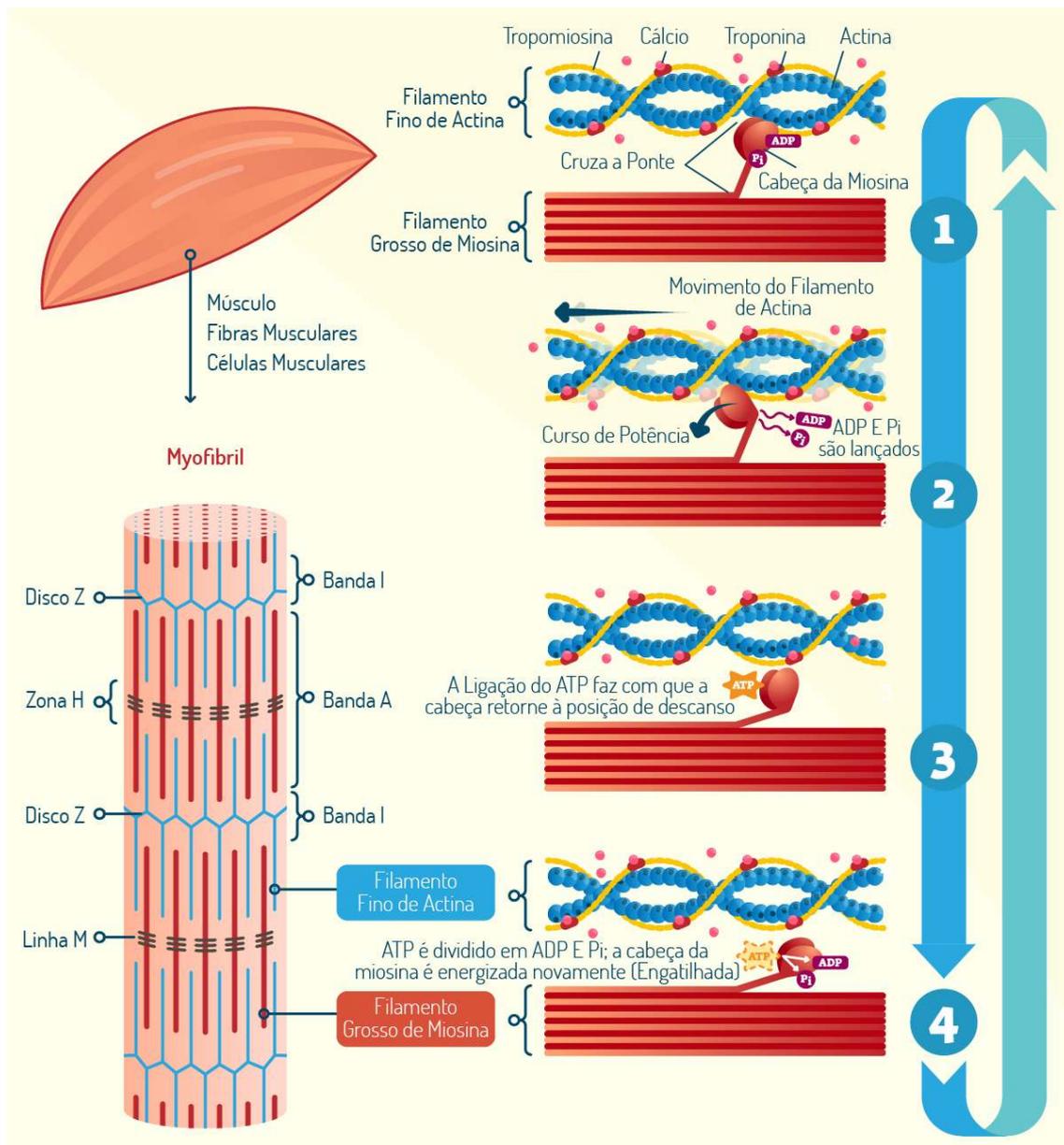


Figura 2.13 - Organização da fibra muscular e contração muscular

Fonte: Normaaals / 123RF.

As fibras musculares contêm, no seu interior, as miofibrilas e, ainda mais profundamente, encontraremos os miofilamentos de actina e miosina. Estes, com estimulação apropriada, gerarão o mecanismo da contração.

A organização da fibra muscular ainda contém sarcolema (membrana que envolve a fibra); túbulos transversos ou túbulo t; retículo sarcoplasmático (contém íons de cálcio

em seu interior); epimísio; e perimísio (tecidos conectivos) (GUYTON; HALL, 2011); (PARKER, 2014). O intervalo entre duas linhas Z forma um sarcômero (Figura 2.14), uma unidade básica da contração. Essas linhas Z, quando afastadas, indicam que a musculatura está relaxada ou alongada. Por outro lado, quando essas linhas aproximam-se, a musculatura estará contraída (CURI, 2017).

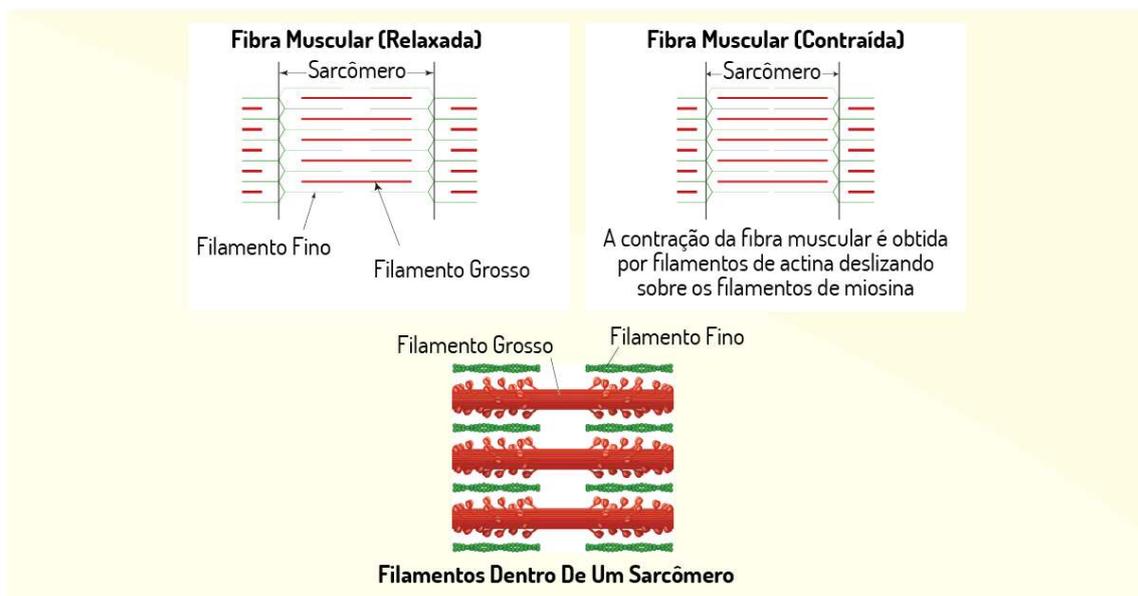


Figura 2.14 - Sarcômero na fibra muscular contraída e relaxada

Fonte: Peter Lamb / 123RF.

Veja, a seguir, uma ilustração microscópica (histológica) do sarcômero.



Figura 2.15 - Histologia do sarcômero

Fonte: Reytan / Wikimedia Commons.

Conectadas às linhas Z estão os miofilamentos finos de actina (semelhante a um colar de pérolas). Cada miofibrila contém, aproximadamente, 3.000 actinas e 1.500 miosinas (filamentos grossos que se assemelham a um taco de golfe) (GUYTON; HALL, 2011).

Nas actinas, estão presentes a tropomiosina (que inibe a contração muscular) e o complexo de troponina (que contém três sítios de fixação: troponina i (afinidade à actina); troponina t (afinidade à tropomiosina); e troponina c (afinidade ao cálcio)) (PARKER, 2014).

### **Contração muscular**

Os músculos podem se contrair e alongar. Desse modo, a movimentação corporal é possível. Todas as células musculares podem promover contração, mas isso ocorre de modo diferente nos tipos de músculos corporais. Por exemplo, a musculatura lisa, que apresenta capacidade de contração tônica prolongada, com duração de horas ou dias, não possui troponina, como nos músculos esqueléticos, e sim calmodulina. Será a calmodulina que se ligará ao cálcio, promovendo a fosforilação da cabeça da miosina e, conseqüentemente, a contração muscular (GUYTON; HALL, 2011).

O músculo esquelético cardíaco apresenta estimulação específica, gerada pelo nodo sinoatrial, uma espécie de bateria. Isso faz o coração funcionar sem comando do Sistema Nervoso Central (SNC), mesmo sofrendo influências via sistema nervoso autônomo (PARKER, 2014).

Acredito que o que gostaria de saber de verdade é como os músculos voluntários contraem-se? Como podemos gerar movimento para superar as cargas impostas nos programas de musculação ou mesmo de treinamentos esportivos diversos?

A contração muscular ocorre pela junção de inúmeros sistemas fisiológicos. Inicialmente, necessitamos de comandos neuronais advindos do SNC. Tal informação eferente percorre as vias neuronais, levando os códigos para a realização da contração muscular, por meio de potenciais de ação, até chegarem às terminações dos axônios motores nas fibras musculares. Esse local pode ser chamado de junção neuromuscular ou placa mioneural (GUYTON; HALL, 2011; PARKER, 2014; SILVERTHORN, 2017; CURI, 2017).

Agora, volte aos conhecimentos de sinapses. Se existe uma separação entre neurônio e músculo (espaço ou fenda sináptica), como uma eletricidade contendo informações consegue atravessar esta lacuna existente nas junções neuromusculares? Tal fato é possível por meio de uma sinapse que, mediada por neurotransmissores excitatórios, transmitirá a informação para a fibra muscular.

Conseguiu acompanhar até aqui? Acredito que sim. Evidentemente, após a informação passar para a fibra, o potencial de ação percorrerá a estrutura muscular. No entanto, de acordo com a velocidade de condução elétrica, o estímulo passaria pela fibra muscular tão rápido e de modo superficial que não seria possível levar a informação para o interior da fibra, mais especificamente para os miofilamentos de actina e miosina. Isso geraria, por exemplo, um espasmo muscular (FOSS; KETEYIAN, 2010). Posto isso, pergunto, a você: como a informação elétrica adentraria à fibra muscular?

Começamos com algumas analogias. Imagine que você esteja lavando o banheiro de sua casa. Ao jogar um balde de água sobre o chão, por onde a água escoar, caso não haja uma saída na superfície plana? Comumente, nos ambientes residenciais, há a existência de um ralo, que dá vazão à água acumulada. Agora, voltemos ao mecanismo da contração muscular. Considere que a água mencionada no exemplo anterior será o potencial de ação

que percorrerá a fibra muscular e adentrará o interior do músculo estriado esquelético, mais especificamente chegando a miofibrilas por meio de um “ralo” chamado de Túbulos T.

Junto à miofibrila, internamente à fibra muscular, existe uma rede que envolve e abraça a miofibrilas, denominada retículo sarcoplasmático, que contém íons de cálcio (GUYTON; HALL, 2011). Agora, é só ligar os pontos. Se uma eletricidade percorre a fibra muscular, despolariza os túbulos T, que estão conectados à miofibrila e ao retículo sarcoplasmático, desse modo, se induzir um impulso nervoso (eletricidade) nos túbulos T, também induzirá o estímulo elétrico na miofibrila e no retículo sarcoplasmático. Posto isso, como o retículo sarcoplasmático armazena íons de cálcio em seu interior, após ser despolarizado, irá, conseqüentemente, liberar esses íons para a região dos miofilamentos de actina e miosina.

Agora, guarde essas informações que já retornaremos a elas.

Se pensarmos na organização da fibra muscular, os miofilamentos finos e grossos, actina e miosina, respectivamente, são responsáveis pelo encurtamento dos sarcômeros (contração). A actina apresenta tropomiosina (que inibe a contração muscular) e o complexo de troponina contém três sítios de fixação: troponina i (afinidade à actina); troponina t (afinidade à tropomiosina); e troponina c (afinidade ao cálcio) (GUYTON; HALL, 2011).

## **FIQUE POR DENTRO**

Assista a videoaula disponível no Youtube sobre o Sistema endócrino - hormônios. Nesta vídeo aula, o professor e biólogo Paulo Jubilut aborda, de forma dinâmica e divertida, conta sobre o sistema endócrino no link: <<https://www.youtube.com/watch?v=hReaL4UYU6c>>. Acesso em: 11 jul. 2019.

Retome a informação de três parágrafos anteriores. Após a despolarização do retículo sarcoplasmático e o cálcio ser bombeado para o interior dos miofilamentos, pense nas

primeiras letras. Qual sítio da troponina você acredita que se liga ao cálcio? Isso mesmo, troponina C. Assim que o cálcio conecta-se à troponina C, uma mudança conformacional ocorre no complexo, movimentando a troponina T e, por consequência, a troponina I. Toda esta movimentação deixará à mostra os sítios de fixação para a cabeça da miosina conectar-se e, com gasto de energia (ATP), os miofilamentos de miosina puxam os de actina, gerando o encurtamento do sarcômero, ou seja, contração muscular. Quando o cálcio desprende-se da troponina C e retorna ao retículo sarcoplasmático, ocorre o relaxamento da musculatura.

Achou confuso? Deixo a você, a seguir, um resumo do passo a passo da contração muscular.

- a) Potencial de ação percorre um axônio motor até suas terminações na fibra muscular.
- b) Libera neurotransmissor (acetilcolina).
- c) Abertura de canais proteicos – influxo de sódio.
- d) Induz um potencial de ação na fibra muscular.
- e) Despolariza a membrana – retículo sarcoplasmático libera íons de cálcio dentro das miofibrilas.
- f) O cálcio gera forças atrativas entre actina e miosina = contração muscular (deslizamento).
- g) O cálcio é bombeado para o retículo sarcoplasmático.
- h) Fim da contração muscular.

Veja, na Figura 2.16, um esquema geral sobre a contração muscular, tanto na contração quanto no relaxamento muscular.

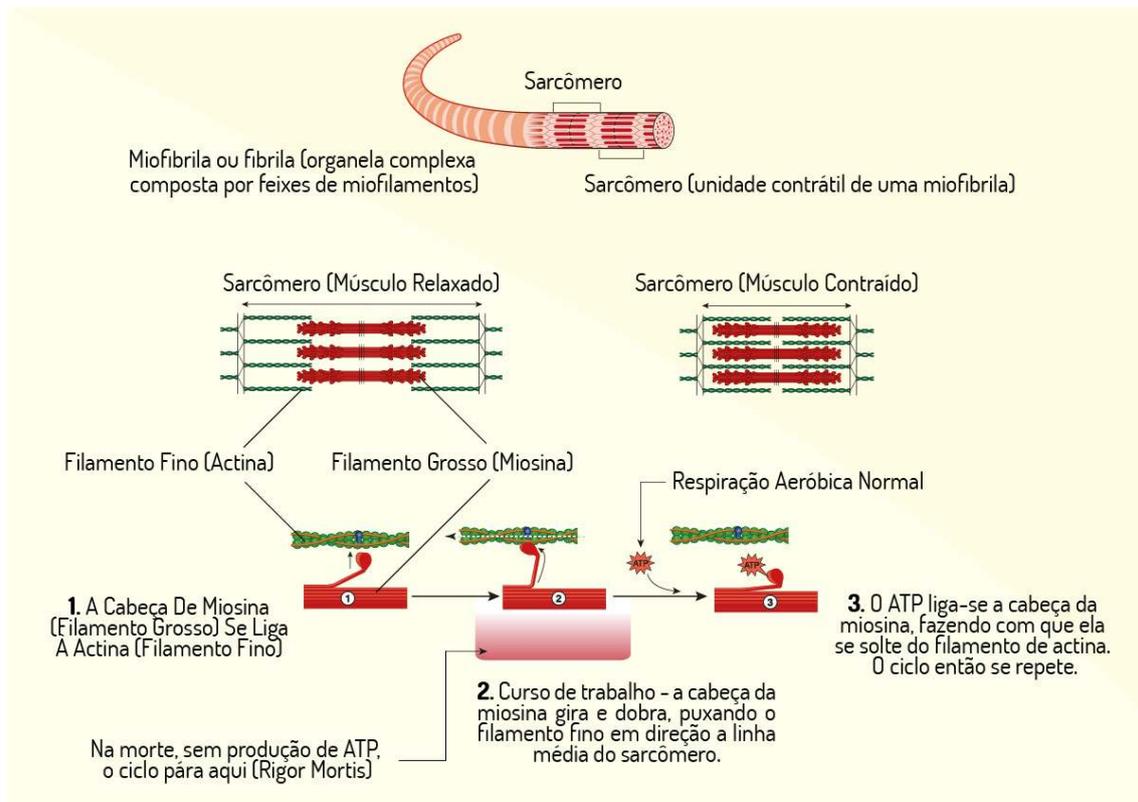


Figura 2.16 - Contração muscular

Fonte: Peter Lamb / 123RF.

Caro(a) aluno(a), como vimos, a fisiologia neuromuscular é complexa e dinâmica, necessitando do ATP para a realização da contração muscular. É notório que é preciso entender o processo de contração muscular para que se possa compreender, também, o movimento humano.

### FIQUE POR DENTRO

Alunos(as), deixo, para vocês, a indicação de um artigo que comenta sobre os princípios fisiológicos do aquecimento e alongamento muscular na atividade esportiva. Para ler na íntegra, acesse o link: <[https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as\\_sdt=0%2C5&q=fisiologia+muscular&btnG=>](https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=fisiologia+muscular&btnG=>)>. Acesso em: 11 jul. 2019.

## REFLITA

A prática de **aquecer** antes de fazer uma **atividade física** é um **hábito** consagrado e consensual tanto para os especialistas quanto para os praticantes de **exercícios**. A percepção de seus **benefícios** pode ser considerada até intuitiva, porém é importante entender um pouco melhor sobre como o **aquecimento** funciona para valorizarmos ainda mais a sua importância.

Quando iniciamos uma atividade física, a partir do estado de repouso, nosso corpo vai fazer uma transição para um estado de maior atividade metabólica, que demanda uma série de ajustes em vários órgãos e sistemas. O objetivo maior desta transição é proporcionar, ao efator do movimento, ou seja, o músculo, condições para produzir mais energia e adequar esta energia produzida à exigência do exercício.

## ATIVIDADE

3) O sistema muscular do corpo humano possui diversas características, tais como locomoção, sustentação e movimento corporal. Essas funções são realizadas pelas fibras musculares, células especializadas, que se contraem sob estimulação apropriada. Esse sistema tem a capacidade de transformar energia química em mecânica por meio da quebra enzimática de adenosina trifosfato (ATP). Tendo em vista que o conhecimento acerca do mecanismo da contração muscular esquelética é fundamental para os direcionamentos técnicos transmitidos por um profissional de Educação Física, assinale a alternativa correta.

- a) A contração muscular depende especialmente do mecanismo de conexão entre fibras nervosas (neurônios) e a estrutura muscular. Tal ligação é denominada junção neuromuscular e permite a troca de informações entre o cérebro e o músculo, deflagrando um potencial de ação na fibra muscular que, mesmo com a ausência dos túbulos “T”, a contração ocorreria com total eficiência, uma vez que existe grande concentração de cálcio no meio intracelular.
- b) A contração muscular depende, inicialmente, de estímulos neurais, que são transmitidos e retransmitidos por potenciais de ação e sinapses até a fibra

- muscular, que recebe a informação e, por meio de estrutura especializada, denominada túbulos “T”, deflagra um potencial de ação sobre o retículo sarcoplasmático, o qual libera íons cálcio para dentro dos miofilamentos.
- c) O complexo troponina/tropomiosina não é responsável por impedir a atração entre actina e miosina, possibilitando, assim, que os músculos fiquem relaxados.
  - d) Ao ocorrer a contração muscular, quatro linhas “Z” que compreendem um sarcômero, situadas nas miofibrilas, estarão aproximando-se.
  - e) A contração muscular não depende de estímulos elétricos que chegam à fibra muscular.

## **INDICAÇÕES DE LEITURA**

Nome do livro: Fisiologia Médica de Ganong

Editora: AMGH

Autor: Kim Barrett E.; Susan M. Barman; Scott Boitano.

ISBN: 9788580552928

Comentário: Conforme discutido nesta unidade, os estímulos neuronais dependem diretamente de sinapses, para que inúmeros tecidos corporais sejam acionados. Além disso, as aprendizagens humanas, memórias ou a inteligência de um indivíduo depende de um mecanismo sináptico eficiente. Posto isso, indica-se esta obra como uma leitura complementar, onde você poderá, também, estudar sobre a fisiologia endócrina e muscular.

UNIDADE III

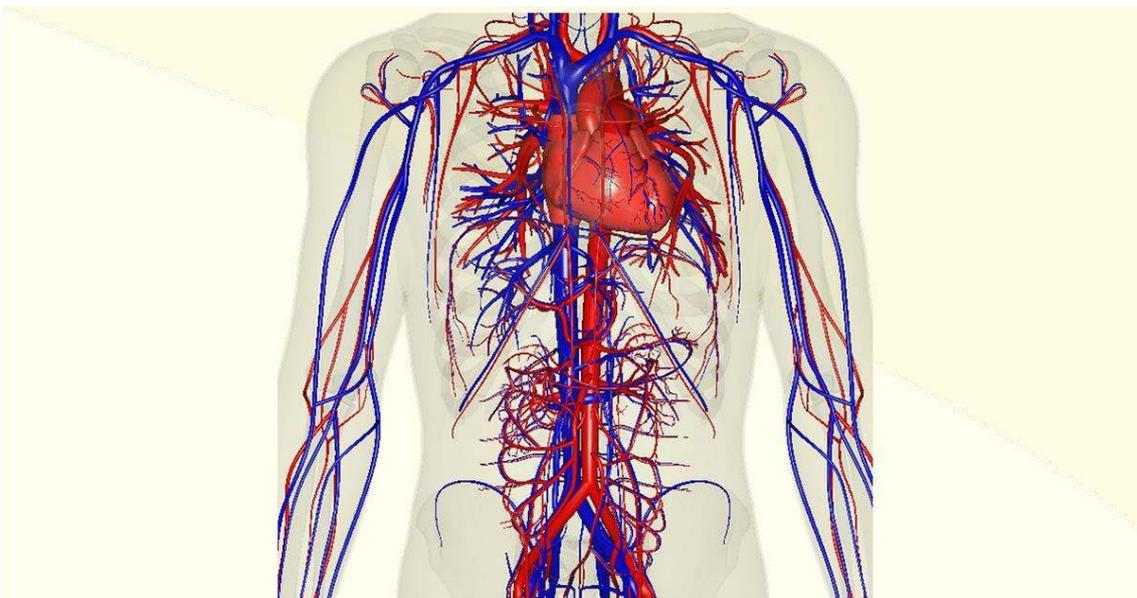
# Fisiologia cardiovascular e respiratória

*Daniel Vicentini de Oliveira*

## Introdução

Caro(a) aluno(a), ao longo da Unidade III, serão contemplados conteúdos relacionados à fisiologia cardiovascular, elucidando a circulação plasmática no coração, pulmão e rede vascular. Desse modo, é possível indicar alterações da distribuição sanguínea de acordo com a necessidade tecidual. Nesta unidade, também iremos abordar o sistema respiratório, em especial, no que se refere às trocas gasosas que todos os seres humanos devem realizar, seja para a manutenção da vida ou para as atividades esportivas.

Durante a prática de exercício físico, por exemplo, os sistemas cardiovascular e respiratório atuam intensamente e de forma conjunta para suprir as demandas fisiológicas do indivíduo, como respiração, troca gasosa, circulação sanguínea, controle da pressão arterial e frequência cardíaca, dentre outros, de forma mais intensa do que em repouso.



Fonte: Pós-doutorado... (2017, on-line).

## FISIOLOGIA CARDÍACA

Caro(a) aluno(a), o coração humano será alvo de análises ou monitoramento durante os treinamentos que um profissional de Educação Física irá propor, um exemplo é pensar que em repouso uma pessoa bombeia de quatro a seis litros de sangue por minuto, podendo em exercício intenso, elevar de quatro a sete vezes esse valor. Por essas e diversas outras razões, é imprescindível entender como esse órgão funciona.

É possível considerar o coração a partir de duas partes similares, em que o lado direito movimenta sangue venoso, rico em dióxido de carbono e o esquerdo que transporta sangue arterial, rico em oxigênio.

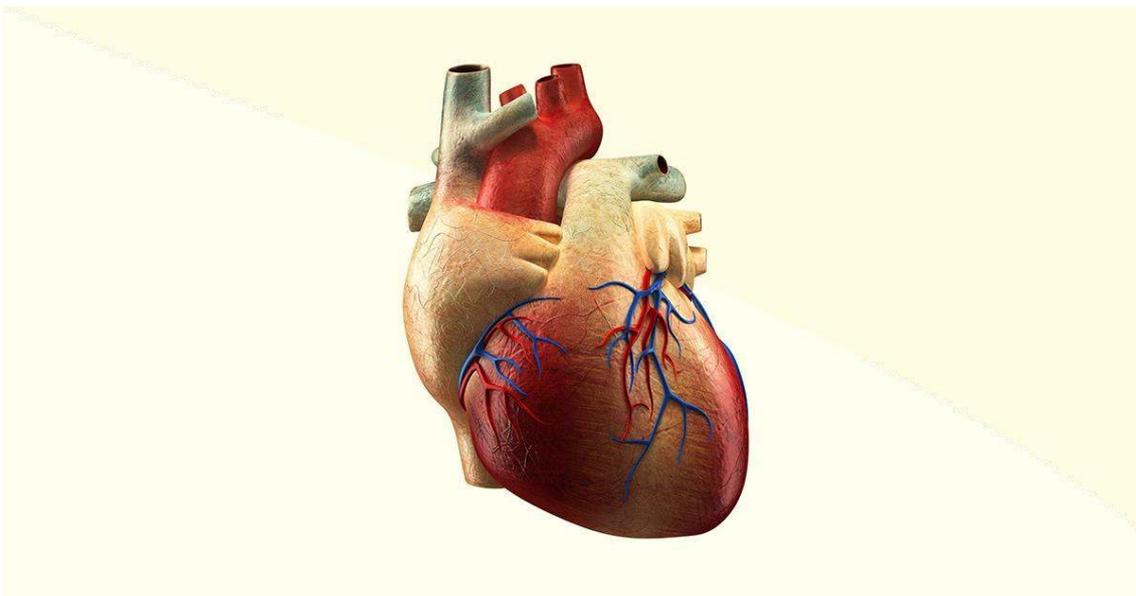


Figura 3.1 - O coração humano (vista externa)

Fonte: Decade3d / 123RF.

Busque, em sua memória, conhecimentos de anatomia humana, e responda: o sangue que chega ao coração o faz por meio de veias ou artérias? E o sangue que sai do coração, deixa-o por meio de veias ou artérias? As confusões começam aqui, pois sempre aprendemos que veias transportam sangue desoxigenado e artérias sangue oxigenado, no entanto, deve-se evitar esse equívoco, pelo menos no que se refere ao coração. Para isso,

memorize o seguinte: se chega ao coração, faz-o pelas veias; se deixa o coração, deixa-o pelas artérias.

Começamos, neste momento, a compreender como o fluxo sanguíneo percorre as estruturas cardíacas, vasculares e pulmonares.

O sangue chega por meio da veia cava (inferior e superior) rico em dióxido de carbono no átrio direito; este, por sua vez, deverá passar para o ventrículo direito, no entanto, para que isso ocorra, um mecanismo importantíssimo deve acontecer, você sabe qual é? A resposta é a diferença de pressão. Isso porque o corpo humano funciona, basicamente, mediado por esse procedimento e quase todo transporte corporal ocorre por meio de diferenças de pressão.

Veja, a seguir, as estruturas anatômicas do coração.

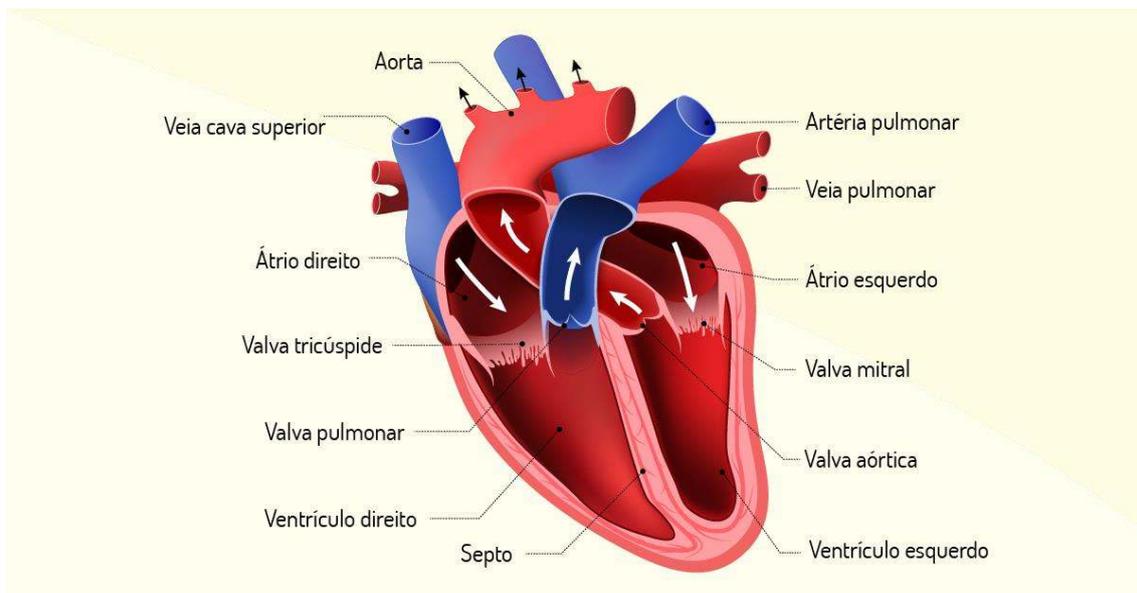


Figura 3.2 - O coração humano (vista interna)

Fonte: Designua / 123RF.

É necessário ocorrer diferença de pressão entre o átrio direito e o ventrículo direito, somente assim as válvulas atrioventriculares se abrirão, para que o sangue flua para a região ventricular. Para promover a elevação de pressão no átrio, ocorre uma contração

isovolumétrica, que corresponde a uma contração muscular, sem alterar o volume da câmara cardíaca (GUYTON; HALL, 2011). Para facilitar o seu entendimento desse mecanismo, proponho a você a seguinte reflexão: imagine uma garrafa cheia de água, feche a tampa da garrafa e aperte-a com suas mãos. A pressão interna ficará maior ou menor? A resposta é muito maior. Com isso, você acaba de promover diferença de pressão entre átrios e ventrículos. Agora, a válvula atrioventricular irá abrir-se e o sangue fluirá para o ventrículo direito. Aproximadamente 80% de todo o sangue passará rapidamente e cerca de 20% deverá ser propulsionado para os ventrículos por meio de um mecanismo denominado bomba de escorva (GUYTON; HALL, 2011).

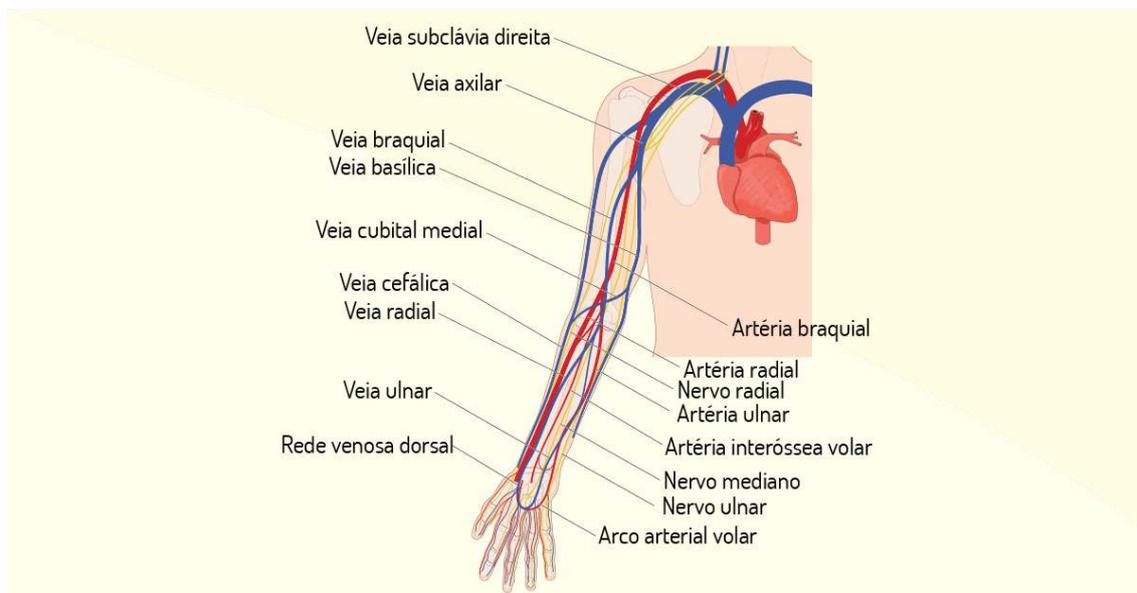


Figura 3.3 - Veias e artérias do membro superior

Fonte: Peter Lamb / 123RF.

Agora, com o sangue na câmara ventricular, devemos, novamente, promover diferença de pressão para que o sangue passe para a próxima estrutura, agora, artéria pulmonar (sai do coração). Talvez você esteja questionando-se: se uma contração isovolumétrica é necessária para a criação das diferenças de pressão, o sangue não voltará ao átrio, pois a válvula atrioventricular está aberta! Isso mesmo, no entanto, quando ocorre, no ventrículo, a contração isovolumétrica e, no átrio, relaxamento isovolumétrico (para receber da veia cava mais sangue), esse mecanismo irá fechar as válvulas atrioventriculares. Desse modo, só resta, ao sangue, abrir a válvula semilunar pulmonar,

ganhar a artéria e chegar aos pulmões (MOHRMAN; HELLER, 2008); (GUYTON; HALL, 2011).

Quando o sangue está junto aos pulmões, um mecanismo famoso para a troca de gases ocorre, isto é, a hematose. Após a troca de gases (dióxido de carbono por oxigênio), o sangue voltará ao coração por meio de uma veia pulmonar e desaguará no átrio esquerdo, agora, rico em oxigênio.

Agora, faço-lhe um novo questionamento: como o sangue sairá do átrio esquerdo e passará ao ventrículo esquerdo? Da mesma maneira que ocorreu do lado direito, primeiro, promove-se a contração isovolumétrica, que permitirá a criação de uma diferença de pressão, como consequência, a abertura da valva atrioventricular esquerda (bicúspide ou mitral), e o sangue fluirá ao ventrículo esquerdo. Nesse momento, um relaxamento isovolumétrico ocorre na câmara atrial e uma contração isovolumétrica na câmara ventricular. Esse evento promove diferença de pressão entre as câmaras cardíacas, fechando a valva atrioventricular direita (tricúspide) e abrindo a valva semilunar aórtica e, como consequência, ocorre o volume de ejeção sanguínea para a circulação sistêmica, mecanismo conhecido como sístole (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

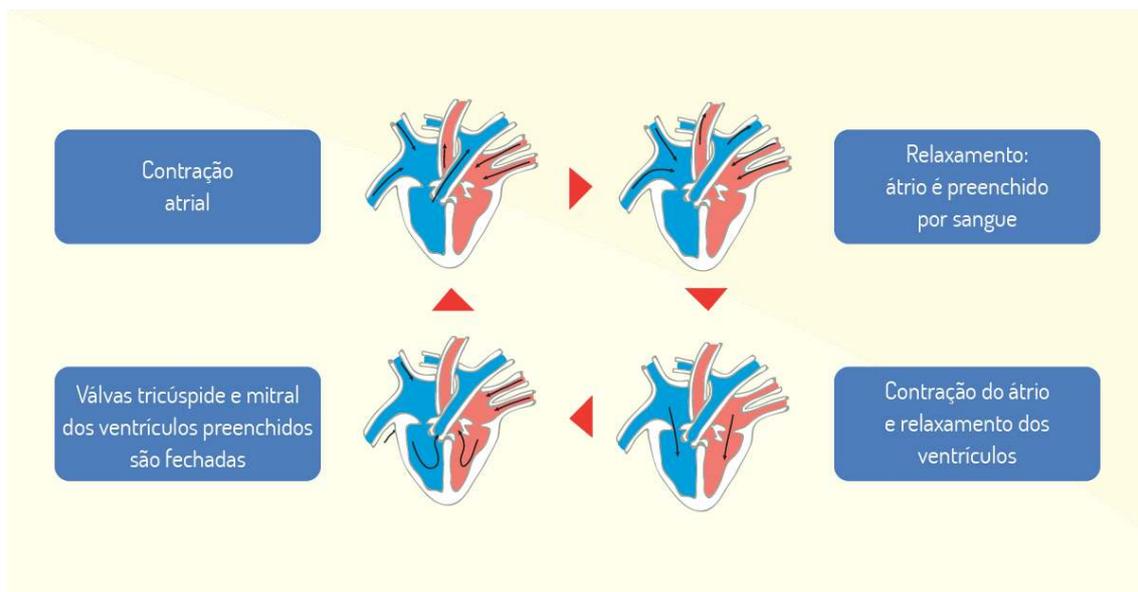


Figura 3.4 - O Ciclo Cardíaco

Fonte: Vitalii Zhurakovskiy / 123RF.

Vale lembrar que a valva atrioventricular esquerda é chamada tricúspide, pois esta é formada por um conjunto de três válvulas, assim como a valva atrioventricular direita é chamada de bicúspide (ou mitral), pois é formada por um conjunto de duas válvulas (TORTORA; DERRICKSON, 2016). Essas valvas controlam a descida do sangue do átrio para o ventrículo. Veja estas e as demais valvas na Figura 3.5 a seguir.

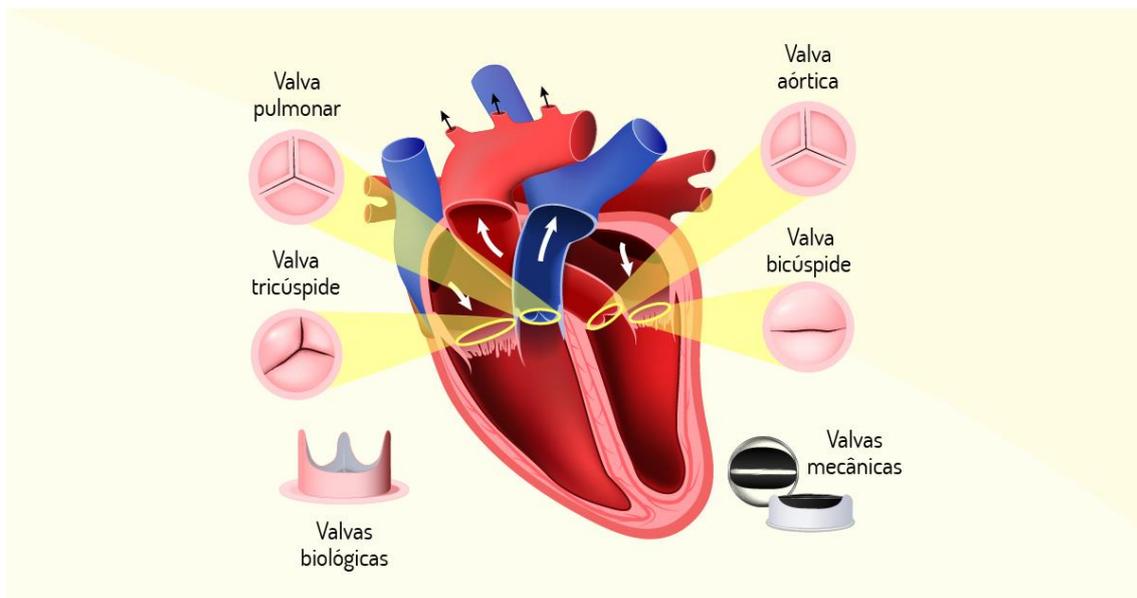


Figura 3.5 - Valvas cardíacas

Fonte: Designua / 123RF.

O ciclo cardíaco é composto por diástole, que é o relaxamento da câmara cardíaca, a qual se enche de sangue, e a sístole, o momento contrátil, em que ocorre o esvaziamento da câmara ventricular. A diástole é iniciada a partir do fechamento das válvulas semilunares (a bicúspide e a tricúspide) e finaliza com a contração do átrio. Aqui, o sangue fluirá do átrio para o ventrículo. A pressão cairá a níveis menores, a 5 mmHg, sendo que, ao final da fase, a pressão terá uma ligeira elevação, devido ao sangue proveniente da contração do átrio. A fase da diástole é dividida em: 1) relaxamento ventricular isovolumétrico; 2) enchimento ventricular rápido; 3) enchimento ventricular lento; e 4) contração do átrio. A sístole é iniciada com a contração do ventrículo e finaliza com o final da ejeção do ventrículo, o qual é um período que se situa logo após o fechamento das válvulas

semilunares. Há um aumento significativo na pressão ventricular, em cerca de 5 mmHg, no estado de repouso para cerca de 120 mm Hg. Após a ejeção da maioria do sangue, a pressão nivela-se e começa a cair. Esta fase é dividida em: 1) contração isovolumétrica; 2) ejeção ventricular rápida; e 3) ejeção ventricular lenta (GUYTON; HALL, 2011).

Caro(a) aluno(a), o coração bombeia todo sangue que a ele chega pelo retorno venoso (Mecanismo de *Frank-Starling*). Para tanto, um mecanismo de estimulação elétrica é necessário, desse modo, a contração do músculo cardíaco ocorre por meio de impulsos elétricos iniciados pelo Nódulo Sinotrial, uma espécie de bateria própria, o que possibilita, a esse órgão, funcionar sem os comandos do sistema nervoso central. Porém, o coração pode e deve ser influenciado por um mecanismo extrínseco, gerenciado pelo sistema nervoso autônomo simpático e parassimpático, regulando, para cima ou para baixo, os batimentos cardíacos e a força de contração (GUYTON; HALL, 2011; MOHRMAN; HELLER, 2008).

Os estímulos gerados pelo nodo sinoatrial serão passados para o Nódulo Atrioventricular, seguido os feixes de His com uma velocidade de condução um pouco mais lenta, o que possibilitará a criação de dois sincícios (muitas células que se contraem ao mesmo tempo). Vamos considerar o seguinte exemplo: se uma bexiga cheia de água for apertada em sua totalidade, certamente, irá estourar. No entanto, se apenas metade dessa mesma bexiga for pressionada, a água será deslocada para o outro lado, sem danificar o balão. No coração, não é diferente. Contraem-se, primeiro, os átrios e, depois de um microintervalo de tempo, os ventrículos, uma primeira metade e depois a outra metade do coração.

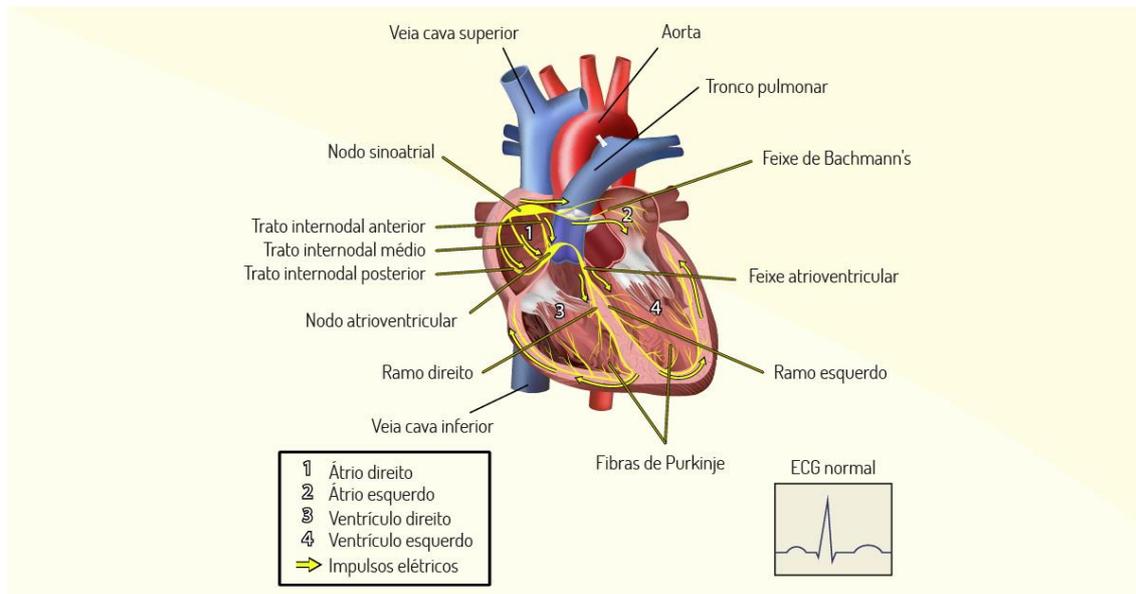


Figura 3.6 - Sistema elétrico do coração humano

Fonte: Peter Junaidy / 123RF.

Os feixes de His compõem um conjunto de células musculares cardíacas, que possuem especialização em condução elétrica, que transmitem impulsos elétricos vindos do nodo atrioventricular. Já as fibras de Purkinje compõem um sistema de condução do estímulo elétrico no coração. Isso permite que o coração contraia-se coordenadamente. São fibras largas que intervêm na condução do nódulo atrioventricular para os ventrículos (GUYTON; HALL, 2011).

Foi apresentado, a você, que o coração pode ser influenciado por um mecanismo extrínseco. No entanto, este também pode ser regulado por um mecanismo intrínseco para o bombeamento cardíaco, denominado Mecanismo *Frank-Starling* (MOHRMAN; HELLER, 2008; CURI, 2017).

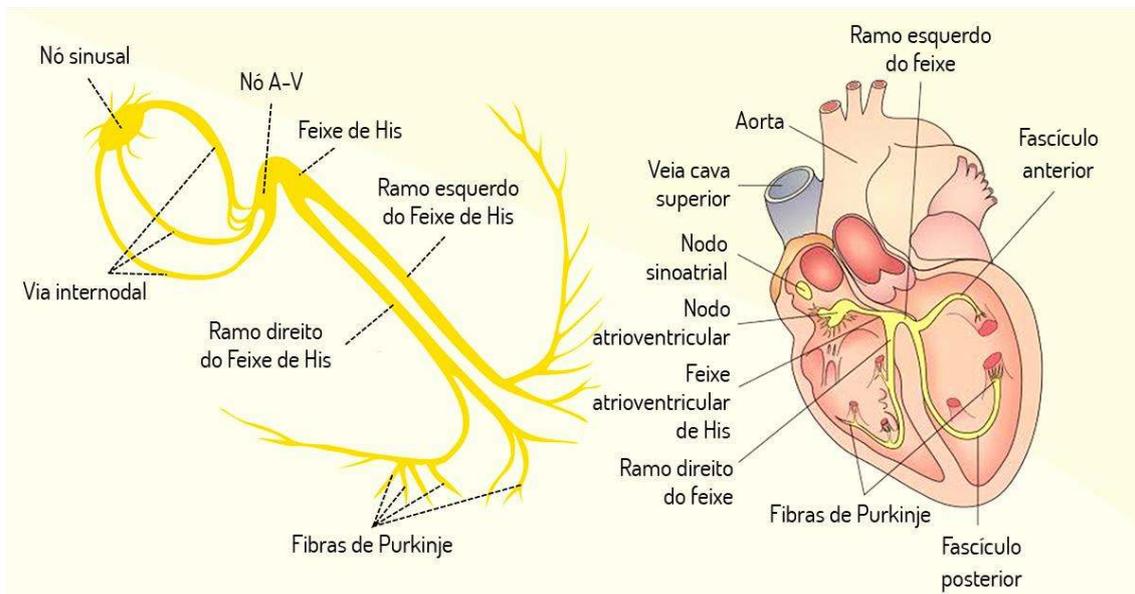


Figura 3.7 - Sistema eletrofisiológico do coração

Fonte: Jfarod (2016, *on-line*).

As fibras musculares cardíacas, ao receberem maior volume de sangue proveniente do retorno venoso, tornam-se mais distendidas, devido ao maior enchimento de suas câmaras, o que promoverá uma estimulação contrátil, que irá impedir o represamento de sangue. Esse mecanismo intrínseco pode funcionar sem qualquer influência nervosa.

### **Fisiologia cardiovascular: circulação**

Como verificamos no módulo anterior, o sangue venoso deve desaguar no átrio direito. Assim, considera-se que uma pressão atrial direita é próxima a zero, ou seja, a pressão no sistema venoso é determinada, em sua maior parte, pela pressão existente no átrio direito.

Existe pressão também fora da área central do coração, denominada Pressão Venosa Periférica, ou seja, pressão nas veias periféricas; esta é determinada por cinco fatores principais:

- 1) a pressão atrial direita.
- 2) desde a veia até o átrio direito há resistência ao fluxo de sangue.
- 3) ao longo dessa veia há intensidade do fluxo sanguíneo.

4) o próprio peso coluna de sangue gera pressão.

5) além da bomba venosa (GUYTON; HALL, 2011).

Agora, vamos falar de pressão sanguínea, que é a força que o sangue exerce contra as paredes do vaso (distensão do vaso). Essa pressão é importante para o movimento sanguíneo, bem como é possível sentir a pressão arterial pulsátil ( $PA = \text{débito cardíaco} \times \text{resistência periférica total}$ ). Essa pressão de pulsação pode ser sentida no pescoço ou no punho, onde percebe-se a movimentação da rede vascular. O bombeamento de sangue ocorre em pequena quantidade por batimento cardíaco e a pressão aumenta durante a sístole e diminui na diástole (MOHRMAN; HELLER, 2008; GUYTON; HALL, 2011).

Comumente, ao aferir a pressão arterial (em repouso), o maior valor verificado é referente à fase sistólica, aproximadamente, 120 mmHg, e o valor mínimo ou pressão mínima representa a fase diastólica, 80 mmHg. São desses valores que, normalmente, lê-se 12x8 (MOHRMAN; HELLER, 2008).

Evidentemente, a pressão arterial pode variar com o aumento da idade, apresentando anormalidades na pressão de pulso. Isso pode ocorrer pela arteriosclerose, que diminui a distensibilidade da artéria. Ao longo do processo de envelhecimento, pode ocorrer, também, insuficiência aórtica, em que a válvula não se fecha e, como consequência, apresentará alta pressão de pulso.

A circulação sanguínea depende dos seguintes componentes do sistema tubular:

- a) artérias (proteína elastina nas artérias superiores).
- b) arteríolas (musculatura lisa) – resistência periférica.
- c) capilares (somente endotélio) = sem fluxo contínuo.
- d) vênulas.
- e) veias.

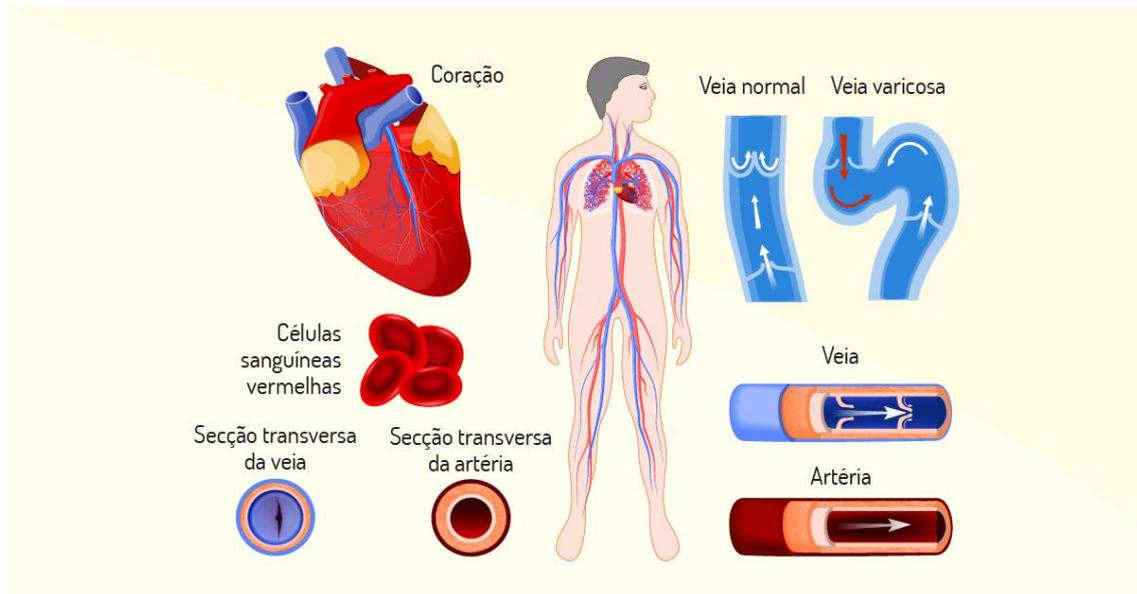


Figura 3.8 - Diferenças entre veias e artérias

Fonte: Designua / 123RF.

O sangue que será bombeado pelo coração deixará o músculo cardíaco de modo muito rápido, assim, as artérias devem ser muito fortes, grossas e calibrosas. Se a rede arterial não apresentasse esta característica, certamente, iria romper com a alta pressão de sangue, que seria ejetado do coração, mas apenas um cuidado: mesmo sendo fortes, as artérias apresentam pequena distensibilidade, pois não são rígidas, como muitos pensam. As artérias transportam sangue sob alta pressão em fluxo constante até atingir as arteríolas. As artérias distribuem sangue em alta velocidade, conduzindo o volume plasmático dos ventrículos às respectivas redes microcirculatórias. Veja, a seguir, a estrutura da parede de uma artéria.

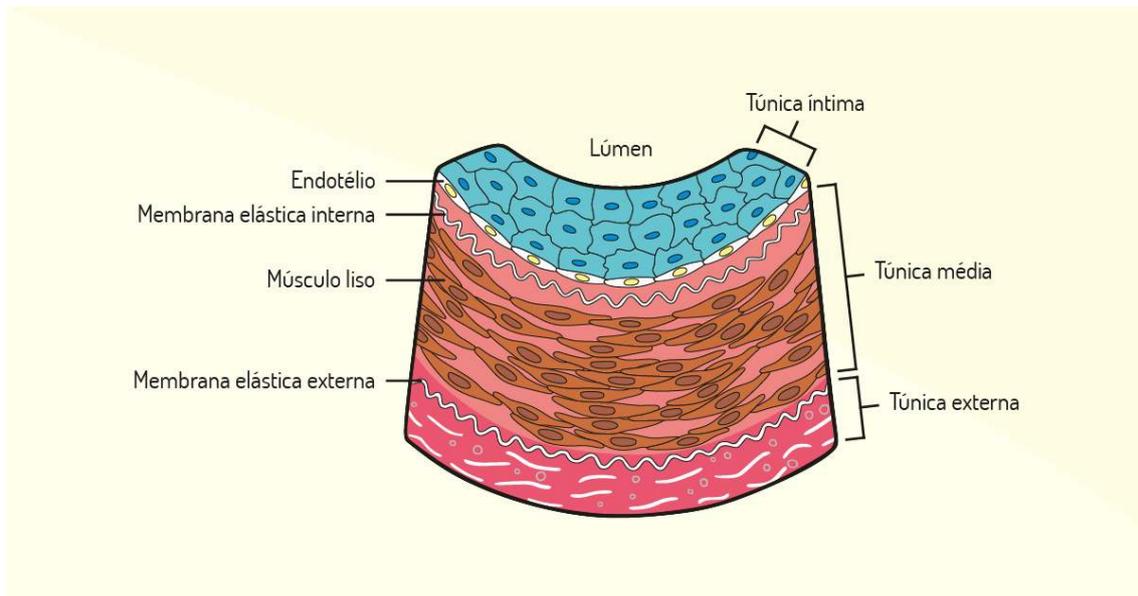


Figura 3.9 - Estrutura da parede de uma artéria

Fonte: Udaix / 123RF.

Existem poucas, mas algumas diferenças entre as paredes que revestem a artéria e a veia. Veja-as a seguir.

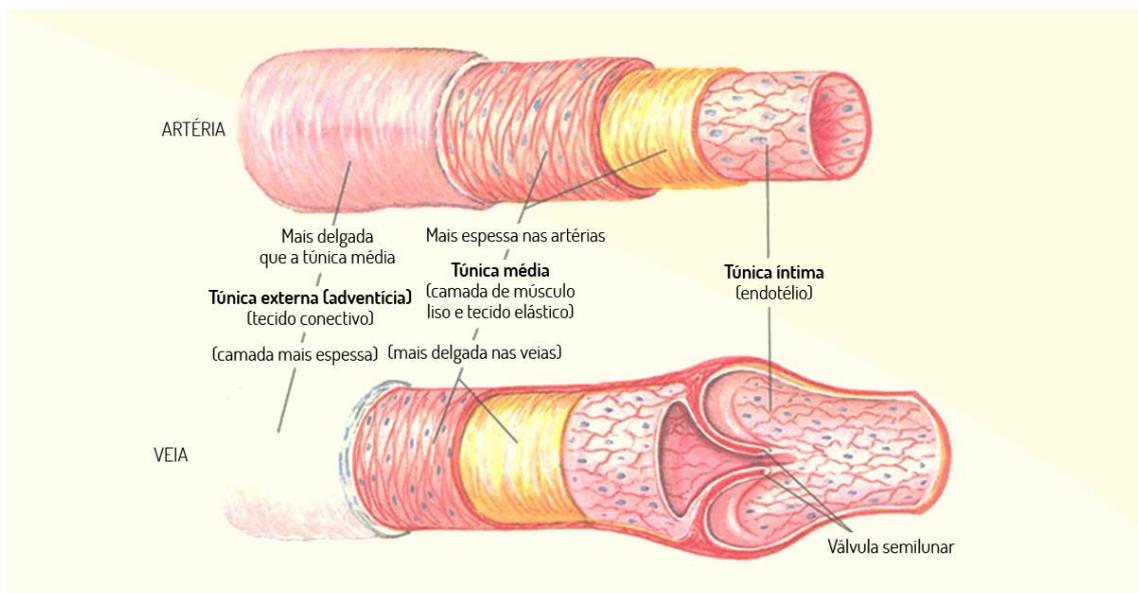


Figura 3.10 - Paredes que revestem a artéria e a veia

Fonte: Tortora e Derrickson (2016, p. 65).

Diferenças nas paredes das artérias e veias. Após o sangue atingir as arteríolas, que são pequenos ramos finais do sistema arterial, este será liberado para os capilares. As arteríolas agem como condutos de controle, apresentam fortes paredes musculares e, evidentemente, não são tão fortes como uma artéria, mas, ainda assim, são muito resistentes. Além do mais, apresentam a capacidade de fechamento e dilatação do vaso (por ação do músculo liso em suas paredes), o que permite a alteração do fluxo sanguíneo, devido à necessidade tecidual.

Os capilares sanguíneos são os responsáveis por efetuar trocas de líquidos, nutrientes, eletrólitos, hormônios e outras substâncias do sangue com o líquido intersticial. Para isso, as paredes desse componente devem ser finas e permeáveis a pequenas substâncias moleculares.

Existem, também, as vênulas, que irão coletar o sangue dos capilares e ficarão cada vez maiores, formando progressivamente as veias. Agora, responda: onde está armazenada a maior parte do sangue existente em nosso corpo? A resposta é: nas veias. Cerca de 60% de todo o sangue corporal estará guardado nesta rede tubular, funcionando como um reservatório de sangue extra, em função de sua alta distensibilidade. Nas veias, existe circulação de sangue sob baixa pressão, pois suas paredes são finas. As veias são um conduto para o transporte do sangue das vênulas (dos tecidos) ao coração.

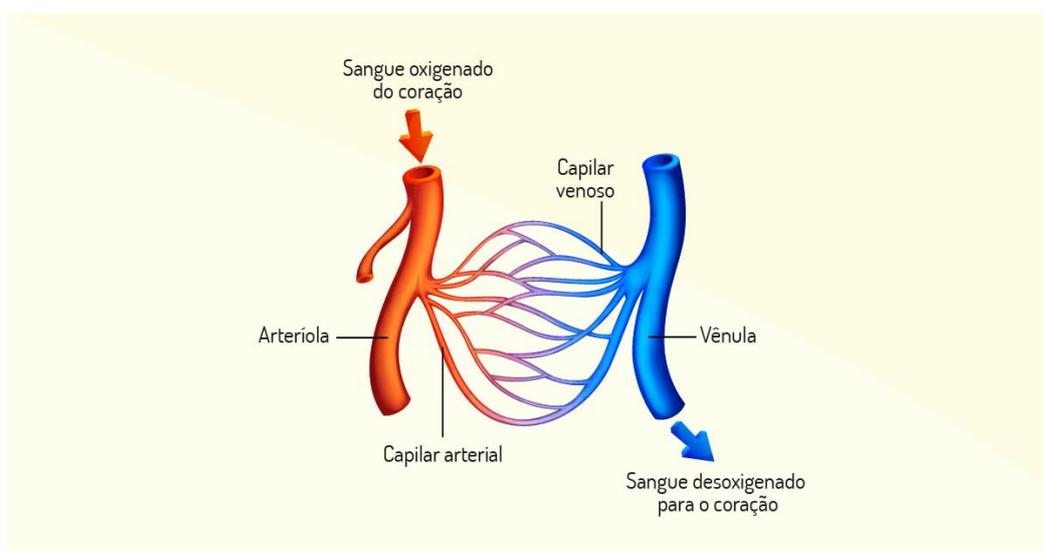


Figura 3.11 - Vênulas e arteríolas

Fonte: Blueringmedia / 123RF.

Em síntese, o sangue é bombeado por meio de uma sístole do músculo cardíaco e ganha a circulação periférica por meio das artérias. Esta levará o sangue sob altíssima pressão até as arteríolas e, conseqüentemente, aos capilares. Os capilares irão realizar as trocas necessárias entre o sangue arterial e os tecidos corporais. Após a atividade tecidual, as vênulas receberão o sangue a ser limpo, chegando às veias e, por consequência, o sangue venoso será levado até o coração. Desse modo, todo o processo de ciclo cardíaco irá recomeçar.

### **Volumes cardíacos**

O débito cardíaco é a medida de desempenho do coração. Em outras palavras, é, em um minuto, volume de sangue sendo bombeado pelo coração. Para encontrá-lo, multiplica-se a frequência cardíaca pelo volume sistólico. Por exemplo, se o coração de um atleta está batendo 60 vezes por minuto e, a cada batimento, 70 mililitros de sangue são ejetados, o débito cardíaco é de 42.000 ml/minuto. Já o volume sistólico representa o volume de sangue que é bombeado pelo ventrículo esquerdo por batimento. Este é calculado usando medidas volumétricas de ecocardiograma e tomando o volume de sangue no ventrículo ao fim da contração (denominado volume sistólico final) e subtraindo o volume logo antes do início (chamado de volume diastólico final) (GUTYON; HALL, 2011).

Outro termo importante sobre volume cardíaco é o volume de ejeção. O volume de ejeção é o volume (quantidade) de sangue lançado em cada contração do ventrículo (KACH; KACH; MCARDLE, 2016).

### **FIQUE POR DENTRO**

Vimos, anteriormente, que o sangue passa pelas artérias com uma certa pressão. Em níveis patológicos, temos o diagnóstico de Hipertensão arterial, mais comum com o avançar da idade. Deixo, para você, um artigo que irá lhe ajudar a compreender melhor esta doença tão comum na população brasileira no link:

<[http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?pid=S1679-49742006000100003&script=sci\\_arttex](http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?pid=S1679-49742006000100003&script=sci_arttex)>. Acesso em: 12 jul. 2019.

## **REFLITA**

Dentre as doenças crônicas não transmissíveis mais prevalentes na população mundial, tem-se a hipertensão arterial sistêmica, que é, geralmente, causada por aterosclerose, exteriorizando-se, predominantemente, por acometimento cardíaco, cerebral, renal e vascular periférico. A hipertensão arterial sistêmica é responsável, em média, por 25 e 40% das causas multifatoriais da cardiopatia isquêmica e dos acidentes vasculares cerebrais, respectivamente. Como uma das formas de tratamento não medicamentosas da doença, destaca-se a prática de exercício físico (GUYTON; HALL, 2011).

## **ATIVIDADE**

- 1) O coração é um órgão muscular oco, que funciona como uma bomba contrátil. Desse modo, para que o sangue seja direcionado a todos os tecidos corporais, depende das estruturas tubulares que compõem a rede vascular. Posto isso, sobre veias e artérias, assinale a alternativa correta.
  - a) Artérias participam diretamente da circulação sanguínea, mas nem todas participam direta ou indiretamente da circulação sistêmica.
  - b) Veias são vasos que aumentam gradativamente seu calibre, conforme aproximam-se do coração.
  - c) Coronárias, carótida e femoral são algumas das principais veias existentes no corpo humano.
  - d) Cava superior, cava inferior e porta são algumas das principais artérias existentes no corpo humano.
  - e) Artérias transportam o sangue que recebem dos órgãos e veias e levam o sangue para irrigar os mesmos órgãos.

## FISIOLOGIA RESPIRATÓRIA

Estimado(a) aluno(a), dando continuidade a esta unidade, serão abordados assuntos referentes ao sistema respiratório dos seres humanos. Neste momento, faz-se a seguinte pergunta: qual(is) a(s) função(ões) principal(is) da respiração? A resposta correta é captar o oxigênio. Contudo, o sistema respiratório realiza a troca de gases (hematose) de maneira simultânea, ou seja, absorve oxigênio ( $O_2$ ) e elimina dióxido de carbono ( $CO_2$ ). No entanto, se pudéssemos escolher um ou outro, a maior preocupação seria eliminar  $CO_2$ , uma vez que esse gás, em grande quantidade, aumenta a toxicidade de nosso organismo.

A ventilação pulmonar destaca-se dentre os principais fatores da respiração. Esta ventilação resulta do influxo (inspiração) e efluxo (expiração) de ar entre a atmosfera (meio ambiente) e os alvéolos pulmonares, além da difusão de oxigênio ( $O_2$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ) entre os alvéolos e o sangue; do transporte no sangue e líquidos corporais, bem como suas trocas com as células de todos os tecidos corporais. Por fim, podemos incluir, também, na ventilação pulmonar, a regulação da própria ventilação e de outros aspectos da respiração (WARD; WARD; LEACH, 2012).

A troca de  $O_2$  e  $CO_2$ , a nível alvéolo-capilar (hematose) ocorre de maneira muito rápida. Além disso, praticamente tudo em nosso organismo depende das diferenças de pressão em que os gases migram do meio mais concentrado para o meio menos concentrado. Por exemplo, se, no alvéolo, existe o produto da inspiração, nessa estrutura existirá muito  $O_2$  (104 mmHg) e pouco  $CO_2$  (40 mmHg). Por outro lado, no capilar, ocorre o inverso, pouco  $O_2$  (40 mmHg) e muito  $CO_2$  (45 mmHg). Desse modo, o  $O_2$  presente no alvéolo passará para o capilar sanguíneo e o  $CO_2$  irá ao alvéolo para ser expelido na expiração (GUYTON; HALL, 2011).

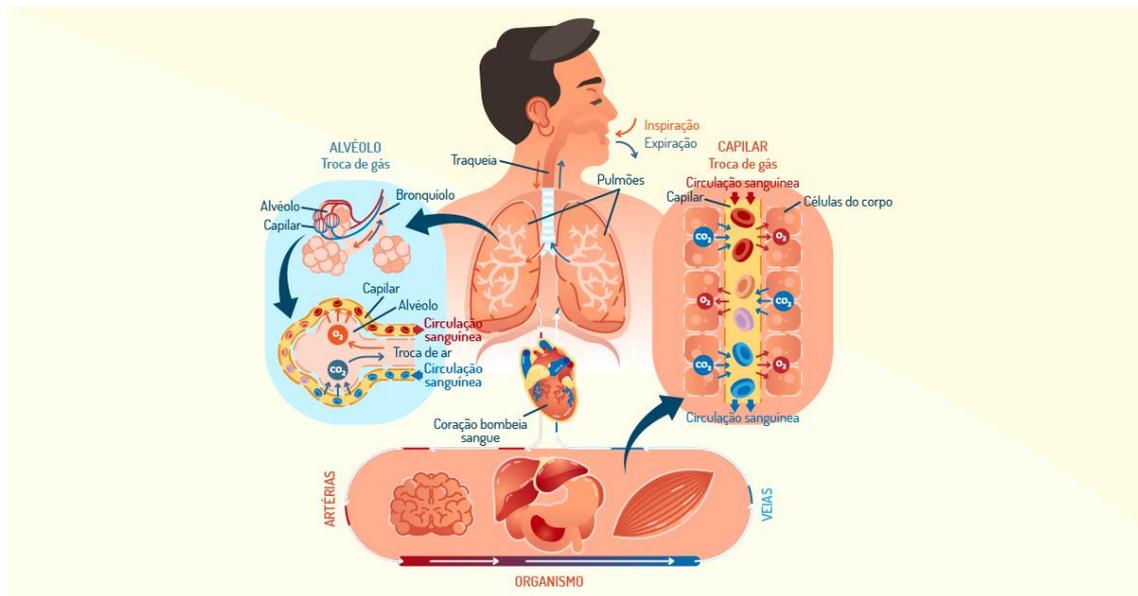


Figura 3.12 - Hematose (troca gasosa)

Fonte: Normaaals / 123RF.

Evidentemente, para que a respiração aconteça, faz-se necessário alguns comandos neurais ou, em outras palavras, ativação dos centros respiratórios. Essas estruturas responsáveis pelo controle da respiração estão subdivididas em: grupo respiratório dorsal, situado na porção dorsal do bulbo, responsável, principalmente, pela inspiração; grupo respiratório ventral, localizado na parte ventrolateral do bulbo, encarregado pela expiração; centro pneumotáxico, porção dorsal superior da ponte, controle da frequência e profundidade respiratórias (GUYTON; HALL, 2011).

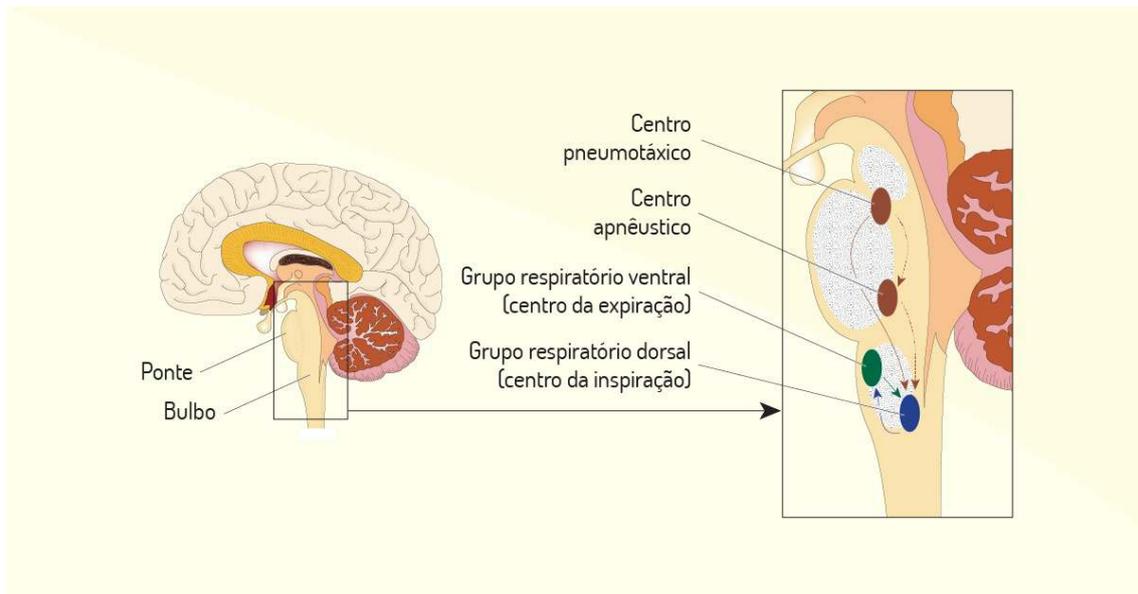


Figura 3.13 - Centros do controle respiratório

Fonte: Peter Lamb / 123RF.

Veja, também, na Figura 3.14, o processo de respiração e hematose.

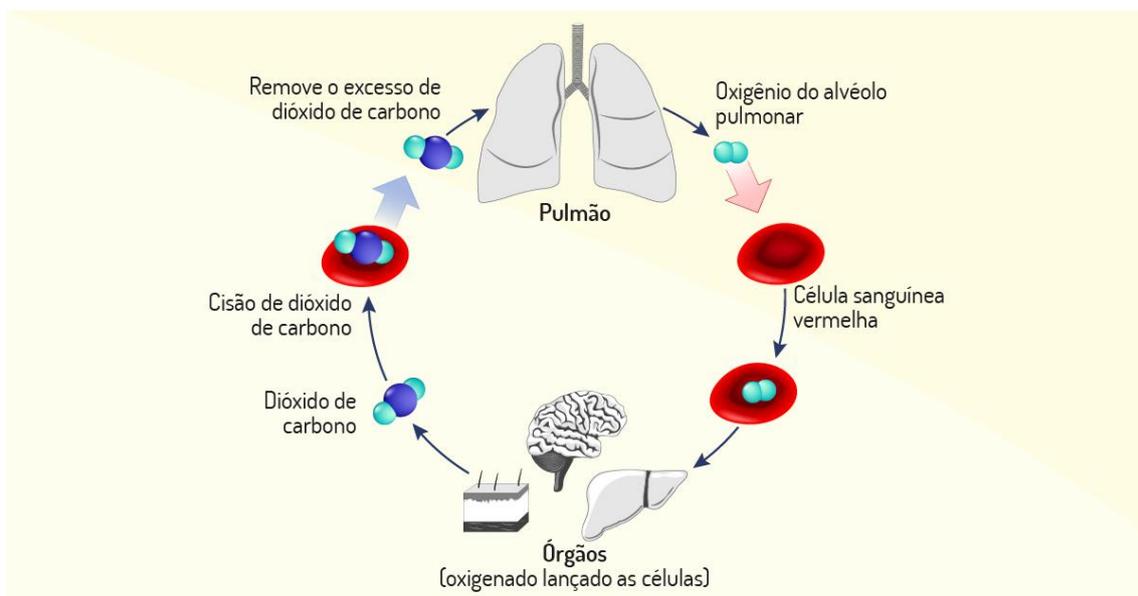


Figura 3.14 - Processo respiratório

Fonte: Designua / 123RF.

Considerando a pressão atmosférica constante sobre nossas cabeças e, se a diferença de pressão é importante para a troca dos gases em nível pulmonar, como promovemos essas diferenças? Uma dica, realizamos esses mecanismos de modo inconsciente, ou seja, por meio da inspiração e expiração; primeira associada à captação de  $O_2$  e a segunda à eliminação de  $CO_2$ . Vale, aqui, mais uma ressalva: o ar atmosférico é composto por oxigênio (21%) e nitrogênio (78%), que está em maior concentração, no entanto, não o absorvemos, bem como dióxido de carbono (0,03%) em quantidades desprezíveis.

Os movimentos inspiratórios e expiratórios dependem da expansão ou contração dos pulmões, ou seja, subida ou descida do diafragma, o que aumenta ou diminui a cavidade torácica, além da elevação ou depressão das costelas (aumenta ou diminui o diâmetro anteroposterior da cavidade torácica).

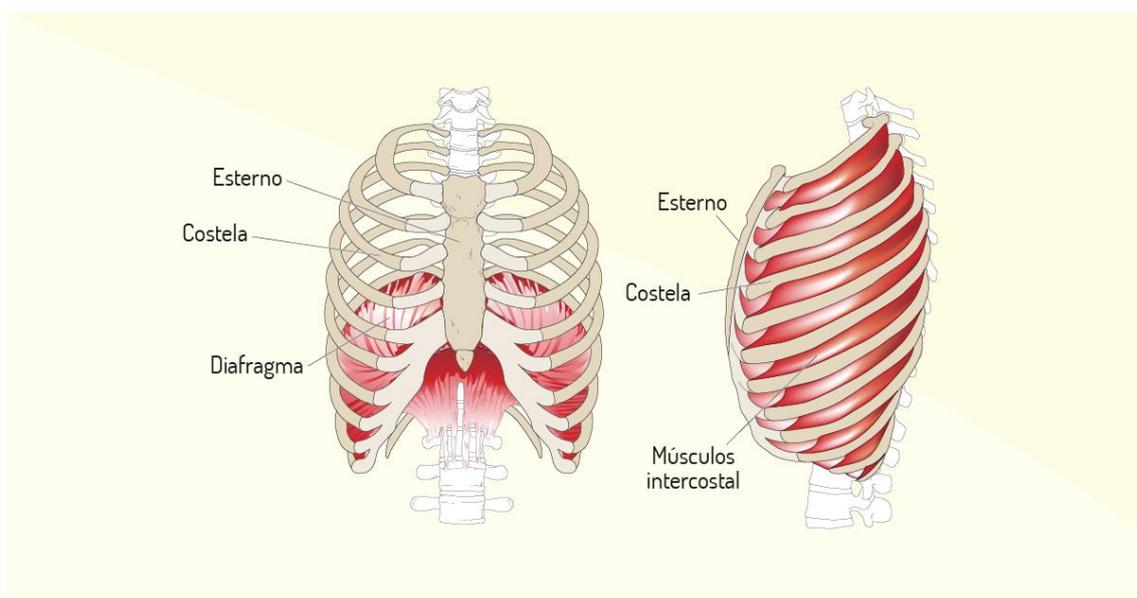


Figura 3.15 - Anatomia da caixa torácica – respiração

Fonte: Peter Lamb / 123RF.

Realize a inspiração (puxe o ar) e perceba o que ocorre com o seu tórax. Agora, execute a expiração (solte o ar) e verifique o movimento da cavidade torácica. Verificou que, quando se puxa o ar para captar  $O_2$ , o peito expande-se, aumentando o espaço

anteroposterior para os pulmões e, ao mesmo tempo, um dos principais, se não o principal músculo da mecânica respiratória, o diafragma, contrai-se (desce)? Assim, os pulmões têm espaço para ficar mais volumosos. Desse modo, a pressão interna (pressão alveolar) ficará menor que a externa (pressão atmosférica), favorecendo a entrada do ar, realizando a inspiração. Outros músculos assessoram a inspiração, por exemplo, esternocleidomastoideo, escalenos, serráteis e intercostais (GUYTON; HALL, 2011).

O oposto ocorre na expiração. O peito contrai-se e o diafragma relaxa (sobe). Imagine uma garrafa de água vazia, com a tampa bem fechada. Subentende-se que existe uma pressão interna. Agora, aperte a garrafa com muita força. Percebeu como a pressão interna ficou bastante elevada? Isso é o que ocorre em nossos pulmões no momento da expiração. Com a contração do peito e músculos abdominais, mais a subida do diafragma e a participação dos músculos intercostais, ocorrerá uma compressão, a qual eleva a pressão interna, deixando-a maior que a pressão externa, favorecendo a saída do ar, em especial, a eliminação do CO<sub>2</sub>.

Em síntese, em uma respiração normal, na inspiração, ocorre a contração do diafragma, os músculos intercostais externos + esternocleidomastoideos elevam o esterno, os serráteis anteriores elevam as costelas e os escalenos elevam as 2 primeiras costelas. Na inspiração máxima, pode existir aumento da caixa torácica em até 20%. Já na expiração, ocorre relaxamento do diafragma, o reto abdominal puxa para baixo as costelas inferiores, ao mesmo tempo que outros músculos abdominais comprimem-se, empurrando o diafragma para cima, tudo isso auxiliado pela atividade dos intercostais internos. A parede torácica e as estruturas abdominais comprimem os pulmões (diminuem a pressão em relação à atmosfera) e expelem o ar (WARD; WARD; LEACH, 2012).

Para avançarmos no que se refere ao entendimento do sistema respiratório, observe a figura a seguir.

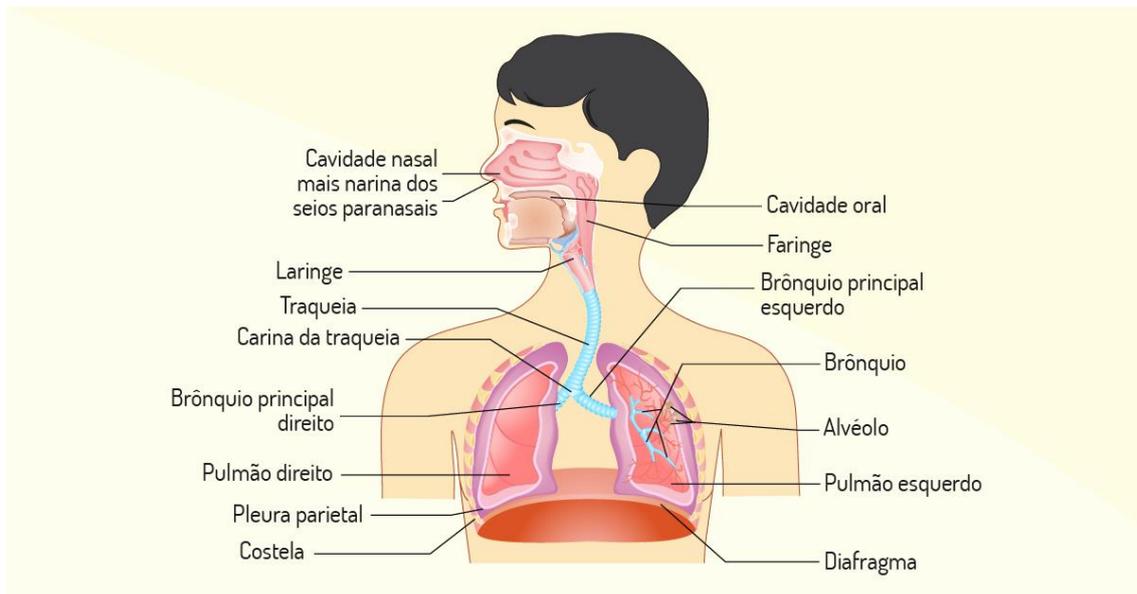


Figura 3.16 - Anatomia das vias respiratórias

Fonte: Snapgalleria / 123RF.

Quais são as funções do nariz para o processo respiratório? É possível perceber que o nariz apresenta três funções principais: aquecer o ar ao longo do septo nasal, umedecer o ar e filtrá-lo parcialmente.

A faringe faz parte tanto do sistema respiratório quanto do gastrointestinal. Sentimos a garganta ressecada quando respiramos pela boca, pois ocorre um ressecamento do muco nesta região. Da faringe, o ar chega à laringe, local onde encontram-se as cordas/pregas vocais que, no momento expiratório, possibilitará a fonação, que auxiliará no mecanismo de fala. Evidentemente, outras estruturas da boca participarão da articulação para que a fala seja possível. No processo, estão os lábios, língua e palato mole, e os ressonadores são boca, nariz, paranasais, faringe e, até mesmo, a cavidade torácica.

Voltando à entrada do ar e seu direcionamento até os pulmões, depois de passar pela laringe, este alcançará a traqueia. Realize o seguinte exercício: coloque seu indicador no meio do pescoço. Agora, desça seu dedo até aproximar-se da clavícula. Você sentirá uma estrutura que parece aparentar vários anéis. Essa característica existe para que a traqueia fique aberta. Assim, existem múltiplos anéis cartilagosos, os quais impedem o seu colamento, permitindo o livre fluxo de ar para os alvéolos.

Após a traqueia, o tubo respiratório ficará cada vez mais fino. Primeiro, os brônquios e, depois, os bronquíolos. Substâncias indesejadas que, por ventura, passaram pelos primeiros filtros serão presas no muco desses canais bastantes pequenos e, por consequência, serão empurrados por cílios para cima.

Após os bronquíolos, o ar chega aos alvéolos, para a realização das trocas gasosas.

## ATIVIDADE

2) O sistema respiratório apresenta, em especial, dois pulmões, as vias aéreas e um espaço morto, composto pelas estruturas anatômicas que não realizam trocas gasosas. Sobre funções do aparelho respiratório, analise as afirmativas seguintes.

- I. O sistema respiratório tem, por função, a troca de gases, fala e filtração;
- II. Nas vias aéreas, ao longo da traqueia, dos brônquios e bronquíolos, ocorre a hematose;
- III. O sistema respiratório deve filtrar, aquecer e umidificar o ar inspirado.

É(são) correta(s) a(s) afirmativa(s):

- a) I, apenas.
- b) II, apenas.
- c) III, apenas.
- d) d) I e III.
- e) I, II e III.

## DISTRIBUIÇÃO SANGUÍNEA

Caro(a) aluno(a), os seres humanos captam o ar atmosférico do meio ambiente e este chegará até os pulmões, ganhará a corrente sanguínea e, por fim, chegará aos músculos. Quando o O<sub>2</sub> está presente nas células musculares, em especial nas mitocôndrias, é possível produzir energia (Adenosina Trifosfato - ATP). Com esse composto químico, o trabalho muscular será possível.

Sobre essa temática, o transporte de O<sub>2</sub> envolve os sistemas respiratório e circulatório. O sistema respiratório processa o movimento do ar para dentro e para fora dos pulmões, juntamente com a troca de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> entre os pulmões e o sangue. Já o sistema circulatório realiza o transporte de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> pelo sangue, assim como propicia a permuta gasosa entre o sangue e o músculo.

A distribuição e o fluxo sanguíneo dependem de inúmeras variáveis, sobretudo a necessidade de algum tecido corporal específico de receber sangue oxigenado e rico em nutrientes ou, por outro lado, eliminar catabólitos. Por exemplo, quando em repouso, aproximadamente 20% do fluxo sanguíneo é direcionado para os músculos esqueléticos e o restante para os órgãos viscerais. Agora, imagine-se correndo. Em qual dessas estruturas corporais necessita-se de mais energia, nas pernas ou no aparelho gastrointestinal? Claramente, nos membros inferiores. Desse modo, em exercício, há uma inversão neste quadro, ou seja, a maior parte do sangue será distribuída para os músculos esqueléticos dos membros inferiores envolvidos na corrida e pouco sangue será levado à área visceral. Em exercícios máximos, os músculos esqueléticos recebem cerca de 80 a 90% do fluxo sanguíneo total (GUYTON; HALL, 2006; MARIEB; HOEHN, 2009).

Como esse redirecionamento de sangue acontece? Por mecanismos de vasoconstrição e vasodilatação. Vamos fazer uma analogia. Uma bebida que apresenta consistência espessa é mais fácil de ser ingerida com um canudo mais calibroso. Agora, se no lugar fosse utilizado um canudo fino, propício para ingestão de bebidas mais fluidas, como água, seria mais difícil tomar a bebida em referência. Assim também acontece com os casos de vasoconstrição e vasodilatação.

Voltamos, agora, às características técnicas desses mecanismos. Vasoconstrição é quando existe redução na luz do vaso; quando, por exemplo, uma arteríola fica contraída e com pouco espaço para a fluidez sanguínea. Isso assemelha-se ao exemplo anterior de tomar a bebida por um canudo normal de água ou suco. Agora, ficou fácil de definir o que é vasodilatação, pois é o mecanismo completamente oposto, que faz com que as arteríolas fiquem maiores, facilitando a movimentação sanguínea.

Para que a vasodilatação ocorra, um simples efeito local é necessário para desencadear o processo, como o aumento da temperatura, elevação da concentração de CO<sub>2</sub>, alterações

nos íons de potássio e hidrogênio, bem como nos níveis de adenosina e lactato ou, simplesmente, na redução do  $O_2$  (GUYTON; HALL, 2011).

Concorda que, se uma alteração no equilíbrio interno ocorrer, necessitará de um evento controlador? Por exemplo, se sobram substâncias tóxicas ou falta algum composto importante, a rede vascular deve facilitar ou dificultar o movimento sanguíneo? Pois bem, é exatamente o que ocorre em todos os momentos em nosso organismo. Algumas redes vasculares geram vasoconstrição, o que diminuiu o fluxo de sangue em dada região. Já outras redes tubulares promovem vasodilatação, acelerando a chegada e saída de sangue rico em  $O_2$  e nutrientes ou remoção de substâncias indesejadas, respectivamente.

Mas como ocorre o transporte dos gases na corrente sanguínea? Esse transporte é essencial para a via, pois atua na manutenção do metabolismo das células (respiração celular). As células corporais necessitam, constantemente, de receber oxigênio e liberar metabólitos, por exemplo, o dióxido de carbono. É pela corrente sanguínea que ocorre o transporte dos gases, promovendo o fluxo entre os pulmões e o organismo. Mesmo sendo transportados pelo sangue, o oxigênio e o dióxido de carbono utilizam diferentes vias de transporte.

O oxigênio inspirado é difundido para dentro dos capilares pulmonares, para a corrente sanguínea, e depois será transportado até às células do corpo, dissolvido no plasma ou ligado à hemoglobina no interior dos glóbulos vermelhos. O oxigênio é praticamente insolúvel na água e apenas 3 ml (2%) serão transportados no plasma por cada litro de sangue. Nos capilares sanguíneos, o oxigênio irá desligar-se da hemoglobina e será liberado no plasma. Após isso, irá difundir-se para as células dos tecidos e órgãos.

Já o dióxido de carbono pode ser transportado e dissolvido no plasma, ligado à hemoglobina, e a forma de íon hidrogenocarbonato ( $HCO_3^-$ ). O dióxido de carbono irá difundir-se das células para o sangue, reagir com a água no interior das hemácias, formando-se o íon hidrogenocarbonato e  $H^+$ . Este  $HCO_3^-$  passará para o plasma, onde será transportado, e o  $H^+$  irá ligar-se à hemoglobina, o que acelera a liberação do oxigênio.

A saturação de oxigênio é utilizada para indicar a quantidade deste gás em percentagem no sangue. Em outras palavras, refere-se ao nível de oxigenação do sangue.

A oxigenação é produzida quando o oxigênio entra nos tecidos corporais. O sangue oxigena-se nos pulmões, local onde as moléculas de oxigênio viajam do ar para o sangue para combinação com a hemoglobina. A saturação de oxigênio no sangue é utilizada como parâmetro para avaliar a função respiratória (KACH; KACH; MCARDLE, 2013).

## **FIQUE POR DENTRO**

Assista à videoaula do professor Rogério Grozzi sobre o Sistema circulatório – circulação pulmonar e sistêmica (esquema didático). Rogério, que é fisioterapeuta ensina, de forma didática e esquemática, fala da circulação sistêmica e pulmonar, como visto neste material. Acesse o link: <<https://www.youtube.com/watch?v=hyTgIMU7Igc>>. Acesso em: 12 jul. 2019.

Com um efeito local sendo desencadeado, por exemplo, durante a atividade muscular voltada à prática de exercícios físicos, uma área localizada acumulará muito CO<sub>2</sub>, em virtude da produção metabólica de energia. Possivelmente, serão acumulados íons de hidrogênio e isso resultará na elevação de temperatura. Desse modo, para facilitar a troca de sangue “sujo” por um sangue “limpo”, o movimento sanguíneo deve ser intensificado, ou seja, vasodilatação periférica para a musculatura em questão. Assim, substâncias relaxantes de derivação endotelial, como óxido nítrico, serão liberadas e reguladas pelo sistema nervoso central, em resposta metabólica a uma modificação bioquímica local, que também estão associadas ao aumento nos níveis de noradrenalina ou queda nos níveis de O<sub>2</sub>.

Caro(a) aluno(a), esses mecanismos de vasoconstrição e vasodilatação antes mencionados ocorrem o tempo todo em nosso organismo e de maneira antagônica. Sempre que ocorrer vasoconstrição de pequenas arteríolas de órgãos viscerais, uma vasodilatação ocorrerá para os músculos esqueléticos; o inverso também é verdadeiro.

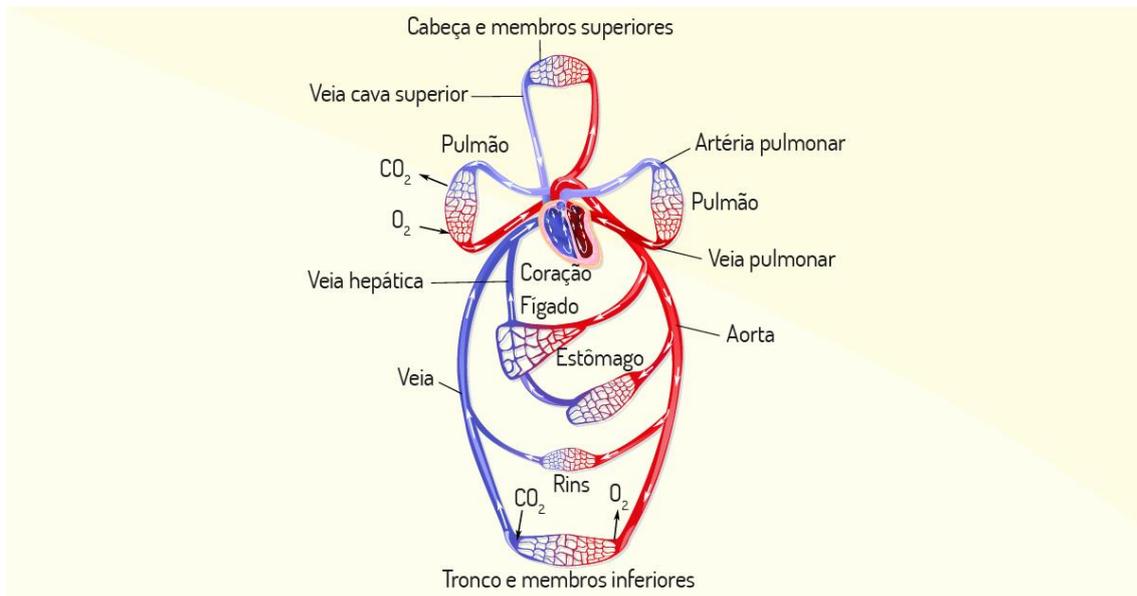


Figura 3.17 - Circulação e distribuição sanguínea

Fonte: Designua / 123RF.

Caro(a) aluno(a), resumindo, veja que todo nosso sangue é distribuído pelo processo de circulação sanguínea. Parte desta circulação é voltada aos membros inferiores, parte para o tronco e parte para os membros superiores e tronco.

### ATIVIDADE

3) A distribuição do fluxo sanguíneo pelos tecidos corporais ou perfusão tecidual está diretamente relacionada à necessidade de momento, ou seja, depende de quanto sangue o indivíduo necessita para determinada região tecidual, para que as atividades do organismo ocorram da melhor maneira possível. Sobre a distribuição de sangue aos tecidos, assinale a alternativa correta.

- Músculos esqueléticos recebem pouco sangue em momentos esportivos e muito sangue em momentos de repouso.
- A necessidade de resfriamento sanguíneo em um momento esportivo fará com que muito sangue seja represado abaixo da pele.
- Músculos esqueléticos recebem pouco sangue em momentos de repouso e uma inversão ocorre em momentos esportivos.

- d) A região visceral recebe grande quantidade de sangue em momentos de prática esportiva.
- e) O cérebro recebe sangue em grandes quantidades apenas em repouso, praticamente zerando o volume sanguíneo em momentos esportivos.

## **DOENÇAS RELACIONADOS AO SISTEMA CARDIOVASCULAR E RESPIRATÓRIO**

Caro(a) aluno(a), assim como qualquer sistema fisiológico corporal, o cardiovascular e o respiratório podem sofrer com doenças muito comuns, como a hipertensão arterial e a doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC). Leia sobre elas na sequência.

### **Hipertensão arterial**

A hipertensão arterial sistêmica (HAS), comumente conhecida como “pressão alta”, é uma condição clínica decorrente de vários fatores, sendo caracterizada por níveis elevados e sustentados da pressão arterial (PA), com valores iguais ou maiores que 140 x 90mmHg e frequentemente associada a alterações funcionais ou estruturais dos órgãos alvo, como coração, encéfalo, rins e vasos sanguíneos. Na HAS, há alterações metabólicas, com conseqüente aumento do risco de eventos cardiovasculares fatais e não fatais (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

A HAS também está associada a um aumento da incidência de todas as causas de mortalidade por doenças cardiovasculares (DC), derrame, doenças coronárias, insuficiência cardíaca, doença arterial periférica e insuficiência renal. É uma doença silenciosa, em que o paciente não sente nenhum tipo de sinal (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

## **Fisiopatologia**

A pressão arterial é determinada pelo produto do débito cardíaco (DC) e da resistência vascular periférica (RVP). A contração e o relaxamento do miocárdio, o volume de sangue circulante, o retorno venoso e a frequência cardíaca influenciam o DC.

De acordo com Sanjuliani (2002, p. 1),

assim como a RVP é determinada por mecanismos vasoconstritores e vasodilatadores como o sistema nervoso simpático (SNS), o sistema renina angiotensina e a modulação endotelial. A RVP depende também da espessura da parede das artérias, existindo uma potencialização ao estímulo vasoconstritor nos vasos nos quais há espessamento de suas paredes. Em muitos indivíduos com HA a elevação da PA é decorrente do aumento da RVP enquanto em alguns, a elevação do DC é o responsável pela HA.

A seguir, veremos os sintomas.

## **Sintomas**

Muitas vezes, as pessoas não são diagnosticadas por conta de a HAS ser assintomática (não apresenta sintomas). Entretanto, algumas pessoas podem ter um ou mais dos seguintes sintomas de hipertensão: cefaleia, tontura, batimento cardíaco irregular ou rápido, bem como hemorragias nasais, fadiga e visão turva. Porém, mesmo sem sintomas, a HAS, quando não tratada, pode gerar consequências graves. Veja, na figura a seguir, algumas das consequências da HAS.

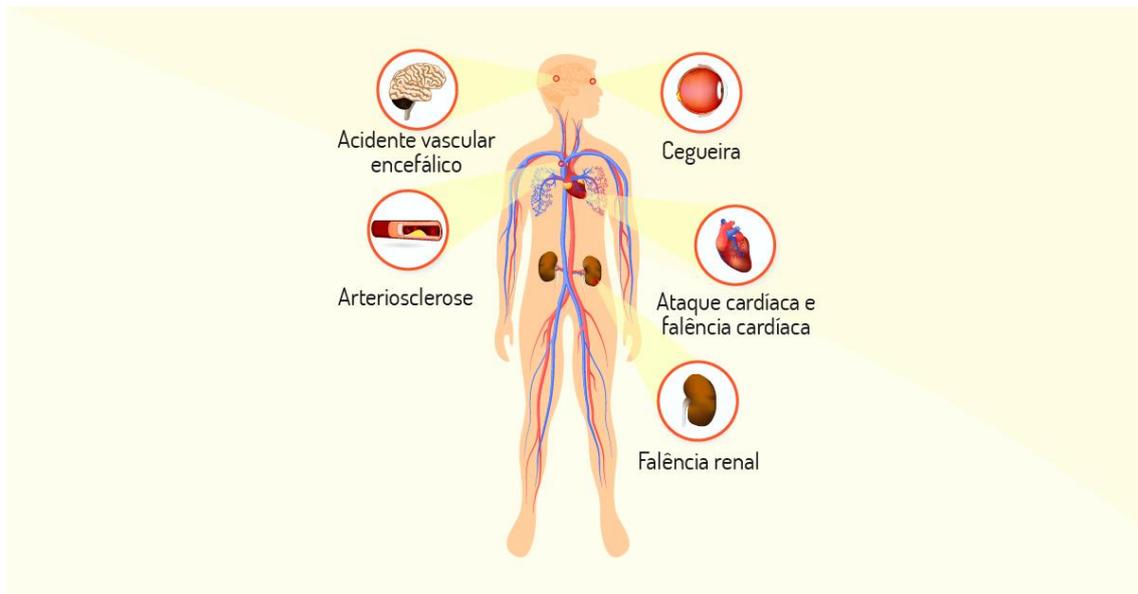


Figura 3.18 - Possíveis consequências da hipertensão arterial não tratada

Fonte: Designua / 123RF.

Como consequência da HAS, tem-se algumas comorbidades associadas: acidente vascular encefálico, arteriosclerose, falência renal, ataque cardíaco e falência cardíaca, além de cegueira.

### **Impacto social**

Foram registradas cerca de 7,6 milhões de mortes em todo o mundo por ano, sendo estas atribuídas à elevação da PA. Do total de mortes, 54% está relacionada ao acidente vascular encefálico (AVE) e 47% à doença isquêmica do coração (DIC), a maioria ocorrendo em países de baixo e médio nível de desenvolvimento econômico e mais da metade em indivíduos entre 45 e 69 anos de idade (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

No Brasil, as DC têm sido a principal causa de mortes. Em 2007, ocorreram 308.466 óbitos por doenças relacionadas ao aparelho circulatório. Foi observado, entre os anos de 1990 a 2006, uma tendência lenta e constante de redução das taxas de mortalidade cardiovascular. Em 2011, as DC foram responsáveis por 42% das mortes no Brasil. Em 2015, ocorreram 424.058 mortes por DC.

As DC são responsáveis por alta frequência de internações, tendo um impacto econômico elevado para a sociedade. Somente no mês de novembro de 2009 foram contabilizadas 91.970 internações por DC, resultando em um custo de R\$165.461.644,33 para o SUS e, conseqüentemente, para a sociedade brasileira (DATASUS).

A doença renal terminal, que é uma condição frequente observada na HAS, levou a inclusão de 94.282 indivíduos para programas de diálise no SUS, sendo registrados 9.486 óbitos em 2007 (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

### Prevalência

O diagnóstico de HAS torna-se mais comum com a idade para ambos os sexos, alcançando cerca de 8% dos indivíduos entre os 18 e os 24 anos (BRASIL, 2018, *on-line*). A proporção de brasileiros, segundo o Ministério da Saúde, diagnosticados com hipertensão arterial vem aumentando. Em 2006, os casos passavam de 21,6%, elevando-se para 23,3% em 2010. Em 2018, 30 milhões de pessoas possuíam hipertensão arterial.

Considerando os valores de PA  $\geq$  140/90 mmHg para hipertensão estágio 1 (vide valores de referência no quadro a seguir), foi encontrada prevalência de 50% entre indivíduos de 60 a 69 anos e 75% acima de 70 anos. Foi identificado que, entre os sexos, a prevalência de HAS foi de 35,8% nos homens e de 30% em mulheres, semelhante a de outros países. No mundo, há uma prevalência de 37,8% em homens e 32,1% em mulheres (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

Classificação	Pressão simbólica (mmHg)	Pressão diastólica (mmHg)
Ótima	<120	<80
Normal	<130	<85
Limítrofe	130-139	85-89

Hipertensão estágio 1	140-159	90-99
Hipertensão estágio 2	160-179	100-109
Hipertensão estágio 3	$\geq 180$	$\geq 110$
Hipertensão sistólica isolada	$\geq 140$	$< 90$
Quando as pressões sistólica e diastólica de um paciente situam-se em categorias diferentes, a maior deve ser utilizada para classificação da pressão arterial		

Tabela 3.1 - Classificação da pressão arterial de acordo com a medida casual no consultório (> 18 anos)

Fonte: SBC (2007, *on-line*).

Dada a classificação da pressão arterial referente às medidas na Tabela 3.1, veremos, a seguir, os tipos de hipertensão.

### **Tipos de hipertensão**

A HAS é classificada como Primária ou Secundária. A HA Primária, também conhecida por hipertensão “essencial”, não possui uma causa conhecida. Entretanto, fatores genéticos e estilo de vida, bem como o peso corporal e a ingestão de sal estão diretamente envolvidos. 95% das pessoas diagnosticadas com hipertensão encontram-se nesta categoria. Já na HA Secundária, é possível identificar a causa da hipertensão, por exemplo, doenças renais, problemas na artéria aorta e algumas doenças endocrinológicas, bem como gravidez, o uso de contraceptivos orais e abuso de ingestão de álcool. A HA Secundária é menos prevalente, sendo em torno de 3% a 5%.

Medida inadequada da pressão arterial; tratamento inadequado; a não adesão ao tratamento; casos de hipertensão do avental branco; progressão das lesões nos órgãos-alvos da hipertensão; interação medicamentosa e presença de comorbidades são casos que devem ser levados em conta antes de investigarem causas secundárias de HAS. Leia sobre HA Secundária nas VI Diretrizes Brasileira de Hipertensão.

## Hipertensão pulmonar

A hipertensão arterial pulmonar (HAP) é caracterizada pela presença de vasoconstrição pulmonar, por trombose *in situ* e pelo remodelamento vascular, podendo levar à insuficiência ventricular direita progressiva e ao óbito. A hipertensão pulmonar (HP) é definida pela presença de pressão média da artéria pulmonar maior que 25mmHg em repouso ou maior que 30 mmHg em exercício, com pressão de oclusão da artéria pulmonar menor que 15mmHg. A HP pode ser desenvolvida por meio da insuficiência ventricular esquerda, doenças do tecido conectivo, embolia pulmonar crônica, dentre outras causas. Ademais, é classificada por hipertensão arterial pulmonar idiopática (HAPI), pois não há nenhum fator causal identificado.

Observando dados norte-americanos e europeus, notamos uma incidência de HAPI de um a dois casos por milhão por ano e uma prevalência de 15 casos por milhão de habitantes. Há predominância de HAPI para o sexo feminino, na razão aproximada de 2:1 e início dos sintomas predominantemente após os 20 ou 30 anos. No Brasil, não há dados sobre HP, dificultando, assim, o desenvolvimento de protocolos de investigação e tratamento para a população brasileira.

## Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica

A doença pulmonar obstrutiva crônica, também conhecida como DPOC, é uma doença inflamatória das vias aéreas, parênquima pulmonar e vasos pulmonares com repercussões sistêmicas. Atualmente, não se considera a doença pulmonar obstrutiva crônica apenas como doença pulmonar, e sim como sistêmica, que inicia no sistema respiratório.

As células inflamatórias ativadas liberam uma diversidade de mediadores inflamatórios, como a interleucina, fator de necrose tumoral, leucotrieno B4, dentre outros. Esses mediadores químicos agredem as estruturas pulmonares e mantêm a inflamação de origem neutrofílica. Outras alterações fisiopatológicas presentes são o desequilíbrio entre proteinases e antiproteinases e o estresse oxidativo. A exposição a partículas e gases inalados que, na maioria das vezes, são provenientes da fumaça do

cigarro é a grande causa da agressão pulmonar e do desenvolvimento do processo inflamatório.

As características das alterações da doença pulmonar obstrutiva crônica acontecem tanto nas vias aéreas periféricas quanto centrais, no parênquima pulmonar e nos vasos pulmonares. Nos brônquios pequenos e bronquíolos menores, ocorrem inflamações cíclicas, que cessam por levar a distorção com remodelação estrutural da parede das vias aéreas, acrescentando o tecido cicatricial com conteúdo abundante em colágeno, diminuindo a luz e ocorrendo obstrução fixa e irreversível.

Na traqueia, brônquios e bronquíolos menores, que são vias aéreas maiores, existe a tendência à infiltração de células inflamatórias, principalmente na superfície epitelial, o que expande as células glandulares muco-secretoras e as células inflamatórias na superfície epitelial, além do aumento das células caliciformes, carregando a hipersecreção mucosa.

Quando ocorre o desequilíbrio da proteinase e antiproteinase associado ao estresse oxidativo, leva-se à destruição do parênquima pulmonar. Este desequilíbrio, quanto a maior parte da destruição, é nos bronquíolos respiratórios, ou seja, no centro do ácino, levando ao enfisema centroacinar ou centrolobular, com predominância inicialmente nos ápices pulmonares e, nas formas mais avançadas, atinge difusamente os pulmões.

A forma de enfisema panlobular ou panacinar é caracterizada por uma lesão difusa de todo o ácino e de todo o pulmão, do bronquíolo respiratório aos alvéolos, sendo frequentemente observada a deficiência de alfa 1 antitripsina, ainda que possa apresentar-se, de forma associada ao centro lobular, em uma grande parte de pacientes.

Nos pulmões, as alterações patológicas acabam por levar a alterações funcionais, que caracterizam a doença com disfunção ciliar, hipersecreção mucosa, limitação do fluxo aéreo, alterações nas trocas gasosas, hipersuflação pulmonar, hipertensão pulmonar e cor pulmonale.

A expectoração e tosse crônica são decorrentes da hipersecreção mucosa e da disfunção ciliar, que acontece por muitos anos, antes que apareçam outros sintomas. A restrição ao fluxo aéreo consequente do aumento da resistência nas vias aéreas é a

alteração fisiopatológica comum na doença pulmonar obstrutiva crônica e item fundamental para seu diagnóstico.

Quando ocorre a destruição do parênquima pulmonar, existe uma redução da força de retração elástica pulmonar, fazendo com que a expiração ative, levando ao fechamento e aumento de resistência das vias aéreas, com redução dos fluxos expiratórios.

Evolutivamente, na doença pulmonar obstrutiva crônica avançada, com destruição parenquimatosa associada à obstrução das vias aéreas e alterações vasculares pulmonares, fica comprometida a troca gasosa, levando à hipoxemia e, ocasionalmente, à hipercapnia, principalmente quando existe comprometimento dos músculos respiratórios, levando à fadiga muscular (MOORE; MOORE; AGUR, 2014).

Paralela a essas alterações pulmonares, não se pode esquecer que a hipoxemia, associada a alterações da arquitetura vascular pulmonar, permite que ocorra o aumento da resistência vascular pulmonar, cor pulmonale e hipertensão pulmonar com mau prognóstico (MOORE; MOORE; AGUR, 2014).

### **Divisão da doença pulmonar obstrutiva crônica**

Na bronquite crônica, a lesão pulmonar ocorre nos brônquios e bronquíolos, fazendo com que estes fiquem cronicamente inflamados, espessos e com constantes produção de muco. O indivíduo com bronquite crônica, além da falta de ar e cansaço, apresenta um quadro de tosse crônica com expectoração. Já no indivíduo com enfisema pulmonar ocorre a destruição e alargamento dos bronquíolos terminais e alvéolos, que perdem sua elasticidade, favorecendo o aprisionamento de ar nos pulmões.

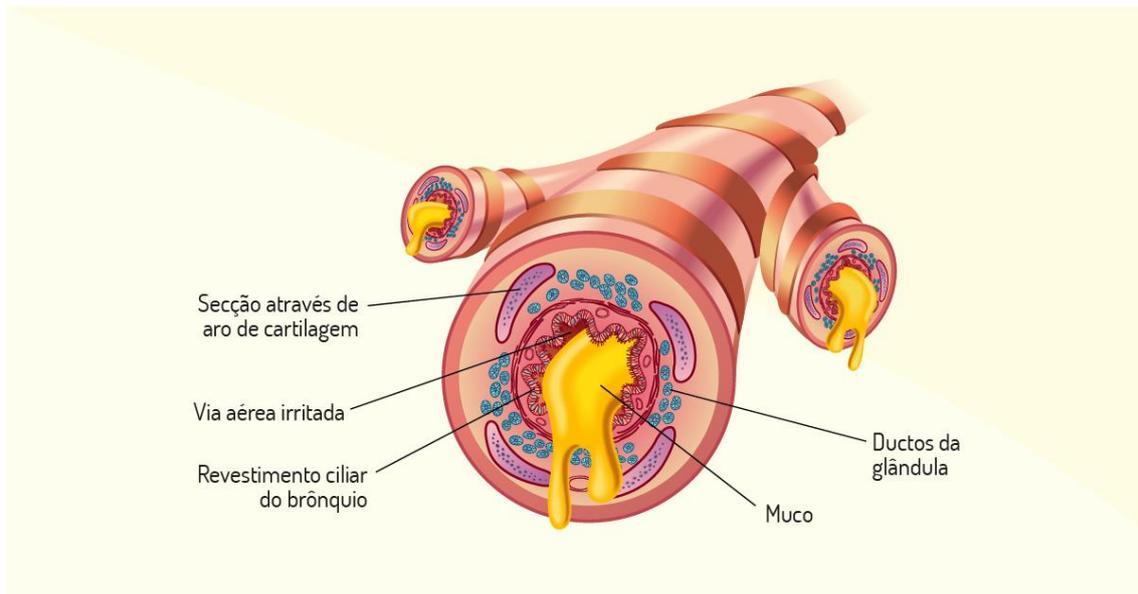


Figura 3.19 - Bronquite crônica

Fonte: Roberto Biasini / 123RF.

\_\_\_\_\_Veja, na figura a seguir, as características anatômicas do enfisema pulmonar.

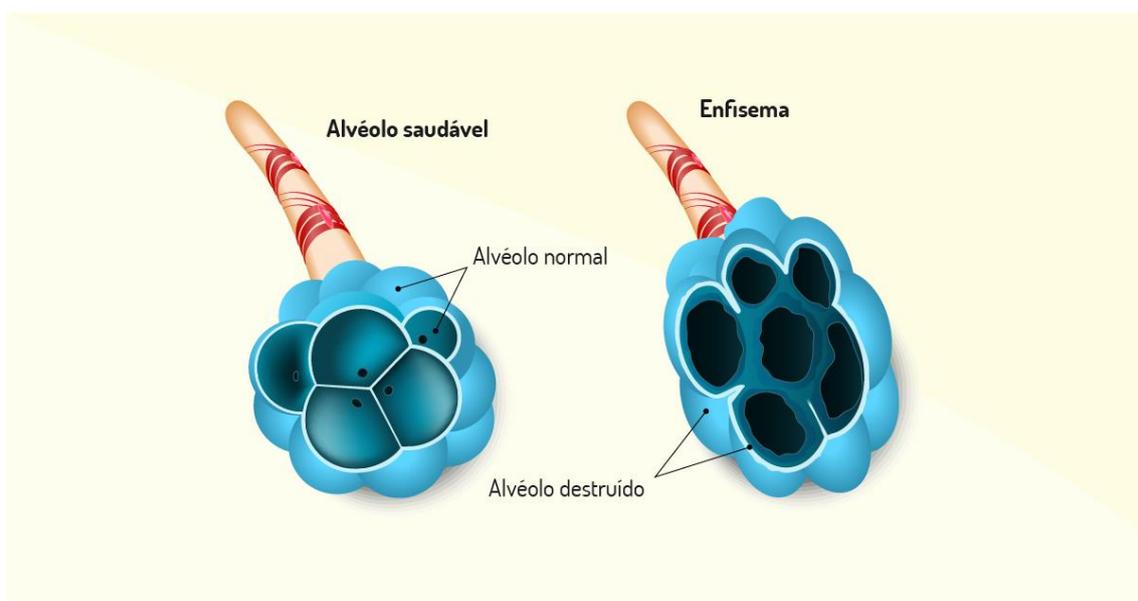


Figura 3.20 - Enfisema pulmonar

Fonte: Designua / 123RF.

Você pode perceber, na figura anterior, que, no enfisema pulmonar, há, literalmente, destruição do alvéolo.

### **Fatores de risco para a doença pulmonar obstrutiva crônica**

Antigamente, o sexo masculino era tido como o de maior risco para desenvolver doença pulmonar obstrutiva crônica. Atualmente, já está bem fundamentado que os níveis de prevalência e mortalidade são bastantes próximos entre ambos os sexos, principalmente pelo fato de que aumentou o consumo de tabaco entre as mulheres nos últimos anos.

Em relação aos fatores de risco do hospedeiro, destacamos o fator genético como a deficiência hereditária da alfa 1 antitripsina. O desenvolvimento precoce de enfisema panlobular acontece tanto em fumantes, mas precocemente e mais acentuadamente, quanto em não fumantes. A asma brônquica e a hiper-responsividade das vias aéreas são fatores de risco, os quais podem contribuir para o desenvolvimento da doença pulmonar obstrutiva crônica.

O hábito tabágico é uma exposição ambiental mais responsável por uma maior prevalência de anomalias relacionadas a sintomas respiratórios e função pulmonar, bem como pela maior taxa de mortalidade sobre a doença pulmonar obstrutiva crônica. Nem todos os indivíduos que fumam desenvolvem a doença pulmonar obstrutiva crônica clinicamente, sendo que cerca de 20% acabam por evoluir para as formas clínicas da doença.

A exposição passiva à fumaça de cigarro pode, também, contribuir para os sintomas respiratórios e aparecimento da doença pulmonar obstrutiva crônica. Um pouco menos importante que o cigarro, as exposições suficientemente prolongadas e intensas à poeira e produtos químicos ocupacionais, como fumaça, gases e irritantes e a poluição extra e extradomiciliar, têm sido consideradas fatores de riscos para o desenvolvimento desta doença.

## ATIVIDADE

4) Dentre as doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), destaca-se a hipertensão arterial sistêmica (HAS), por sua alta prevalência e por ser um problema grave de saúde pública no Brasil e no mundo. Sobre a hipertensão arterial, analise as afirmações a seguir.

I. Como consequência da hipertensão arterial não tratada, destaca-se a cegueira e a falência renal;

II. A hipertensão arterial primária não possui uma causa conhecida;

III. A presença ou não de sintomas não deve ser considerada como fator decisivo para a adoção de condutas, ou seja, o indivíduo assintomático e com inúmeros fatores de riscos presentes deve ter seu risco definido e, a partir do grau, ter seu acompanhamento estabelecido;

IV. O seguimento do hipertenso não deve estar apenas vinculado à medida da pressão, devendo-se, sempre, avaliar os fatores de risco. O mais importante é que o diagnóstico de hipertensão é a somatória dos fatores de risco e sua interação, ou seja, a avaliação global do risco cardiovascular.

Estão corretas as afirmativas:

- a) I e III, apenas.
- b) I, II, III e IV.
- c) III e IV, apenas.
- d) II e IV, apenas.
- e) I e IV, apenas.

## **INDICAÇÕES DE LEITURA**

Nome do livro: Anatomia & Fisiologia

Editora: Artmed

Autor: Eliane N. Marieb; Hatja Hoehn.

ISBN: B018KHU54A

Comentário: conforme discutido neste módulo, a eficiência da atividade corporal depende do aporte de sangue rico em nutrientes e oxigênio. Desse modo, mecanismos de vasoconstrição ou vasodilatação dificultam ou facilitam o aporte de sangue para cada estrutura corporal, de acordo com a necessidade de momento. Posto isso, indica-se essa obra como uma leitura complementar.

UNIDADE IV

**Fisiologia do sistema imunológico e a  
termorregulação humana**

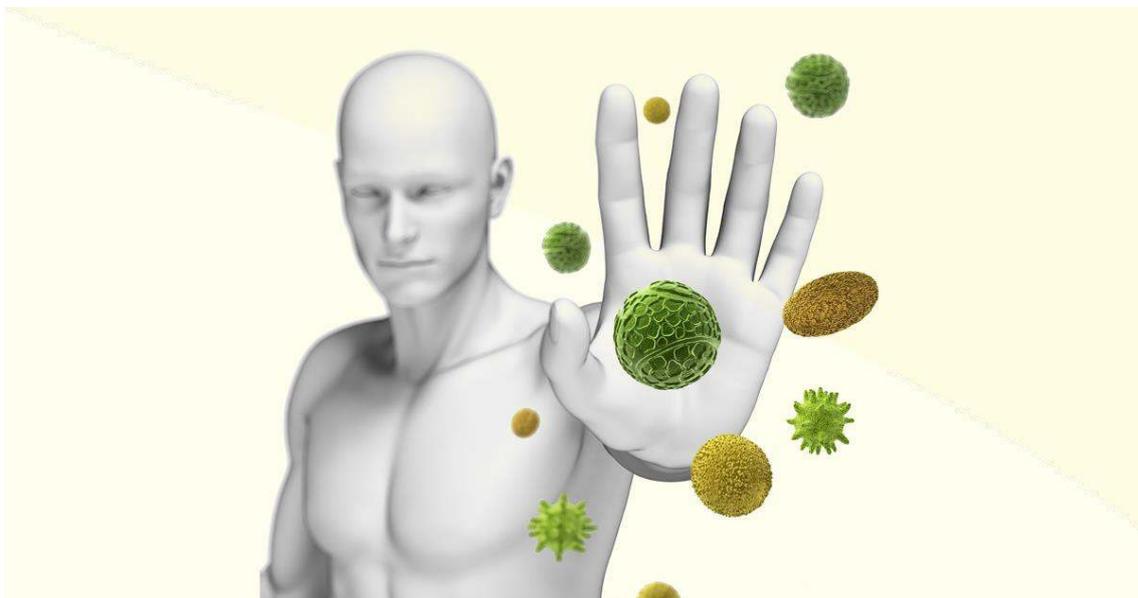
*Daniel Vicentini de Oliveira*

## Introdução

Prezado(a) aluno(a), nesta Unidade IV, pretendo levar até você, de modo simples e esclarecedor, os conhecimentos relacionados à Fisiologia Humana do sistema imunológico. O sistema imunológico é composto por células, tecidos, órgãos e moléculas. Estes são responsáveis, principalmente, pela retirada de agentes ou moléculas estranhas do corpo, com a finalidade de manter a homeostasia dinâmica do organismo. A resposta coletiva e coordenada das células e moléculas diante dos agentes estranhos consiste no funcionamento do sistema imune.

Ainda nesta Unidade, você estudará sobre como ocorre o processo de termorregulação humana, que é muito importante para a Educação Física. A temperatura corporal normal em nós, seres humanos, depende de alguns pontos, como o local do corpo, a hora do dia, a atividade corporal, dentre outros quesitos. Porém, em algumas circunstâncias do dia a dia, essa temperatura altera-se, passando por diversos processos. Veremos estes neste material.

Tenha uma boa experiência!



Fonte: Sebastian Kaulitzki / 123RF.

## **RESISTÊNCIA DO CORPO À INFECÇÃO I**

Você sabia que nossos corpos são expostos, diariamente, a bactérias, vírus, fungos e parasitas, todos encontrados em condições normais e em graus variáveis na pele, na boca, nas vias respiratórias, no trato intestinal, nas membranas de revestimento dos olhos e no trato urinário? Muitos desses agentes infecciosos são capazes de produzir anormalidades graves nas funções fisiológicas dos sistemas corporais, que você leu nas demais unidades, até mesmo a morte, se invadirem os tecidos profundos.

Além disso, somos, de forma intermitente, expostos a outras bactérias e vírus extremamente infecciosos, além dos presentes nas condições normais. Esses microrganismos podem causar doenças agudas letais. Sabe quais? Pneumonia, infecções estreptocócicas e até febre tifoide.

Porém, nosso corpo tem um sistema especial para combater as diferentes infecções e agentes tóxicos. Esse sistema é o imunológico, tema desta e da próxima aula, que é formado pelos leucócitos, também chamados glóbulos brancos, e pelas células teciduais derivadas dos leucócitos. Essas células atuam em conjunto por dois modos para impedir a doença: pela verdadeira destruição das bactérias ou dos vírus por fagocitose; e pela formação de anticorpos e linfócitos sensibilizados, capazes de destruir ou inativar o invasor. A seguir, você irá ler sobre essas células do sistema imunológico.

### **Leucócitos (Glóbulos brancos)**

Os glóbulos brancos, conhecidos como leucócitos, são as células do sistema de proteção do corpo. Os leucócitos são formados, principalmente, na medula óssea e no tecido linfático. Após formados, estes são transportados pelo sangue a diversas partes do corpo, no caso, para onde forem necessários. Na imagem a seguir, é possível ver um glóbulo branco na corrente sanguínea (GUYTON; HALL, 2011).

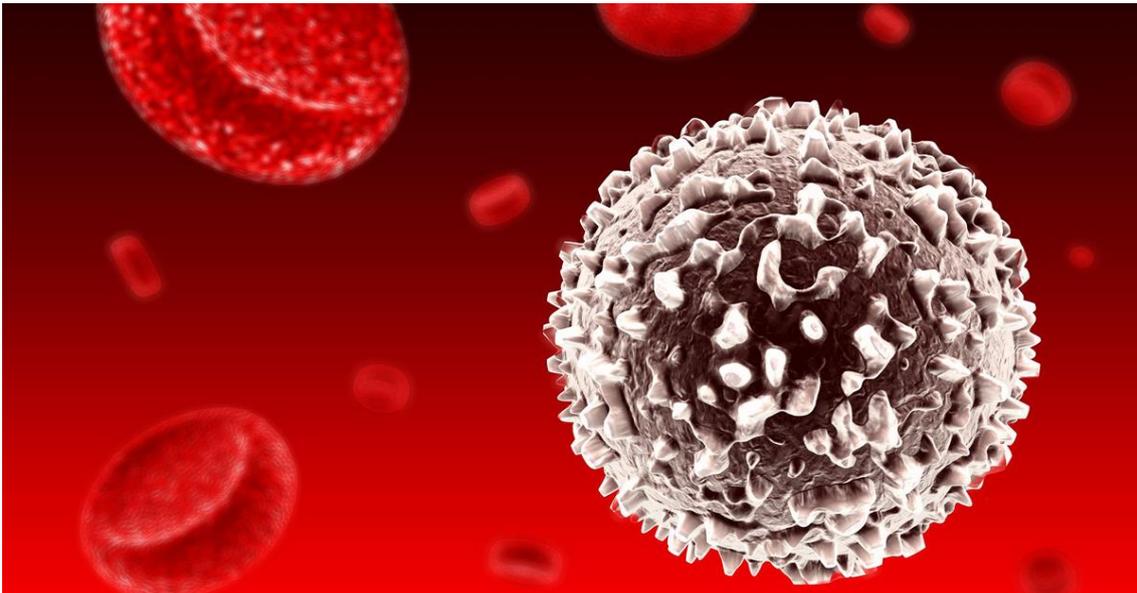


Figura 4.1 - Leucócito

Fonte: Psim / 123RF.

O valor real dos glóbulos brancos é que, em sua maioria, estes são especificamente transportados para áreas de infecção e inflamação graves, promovendo a rápida e potente defesa contra agentes infecciosos.

### **Tipos de glóbulos brancos**

São seis os tipos de glóbulos brancos presentes no sangue: neutrófilos polimorfonucleares, eosinófilos polimorfonucleares, basófilos polimorfonucleares, monócitos, linfócitos e, ocasionalmente, plasmócitos. Além desses, é encontrado um grande número de plaquetas, que são fragmentos de outro tipo de célula semelhante aos leucócitos, encontrados na medula óssea, o megacariócito. Os três primeiros tipos de células, as polimorfonucleares, têm aparência granular, como você pode ver na Figura 4.2, motivo de serem chamadas granulócitos (GUYTON; HALL, 2011).

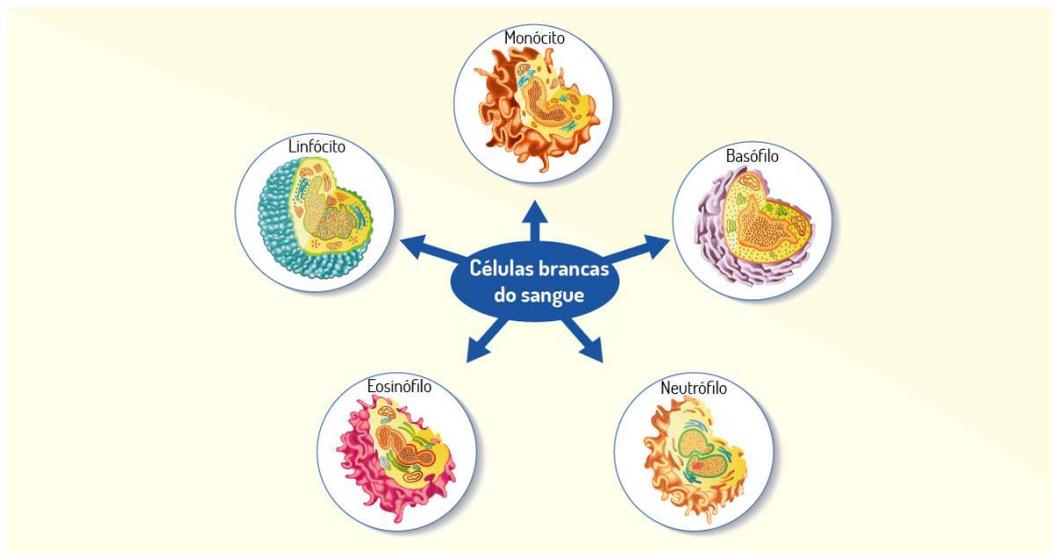


Figura 4.2 - Tipos de leucócitos

Fonte: Roberto Biasini / 123RF.

Os granulócitos e os monócitos protegem o corpo contra micro-organismos invasores por meio de sua ingestão (fagocitose). Os linfócitos e os plasmócitos atuam, principalmente, em conexão com o sistema imune. Por fim, a função das plaquetas é especificamente a de ativar o mecanismo da coagulação sanguínea.

Na figura a seguir, veja as plaquetas imersas na corrente sanguínea.

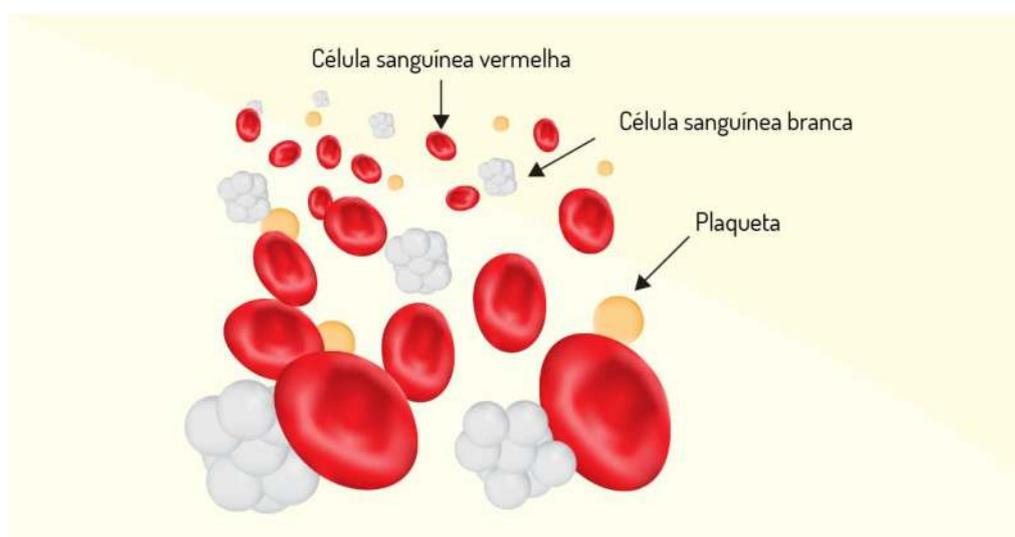


Figura 4.3 - Plaquetas na corrente sanguínea

Fonte: Joshua Abbas / 123RF.

Mas qual a quantidade de leucócitos em um indivíduo? O ser humano adulto tem cerca de 7.000 leucócitos por microlitro de sangue, isto se comparado a cinco milhões de hemácias. Do total de leucócitos, as porcentagens normais de diferentes tipos de células são: 62% de neutrófilos, 2,3% de eosinófilos, 0,4% de basófilos, 5,3% de monócitos e 30% de linfócitos. O número de plaquetas em cada microlitro de sangue é, normalmente, de cerca de 300.000 (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

Veja, na figura a seguir, algumas destas células em tamanho maior.

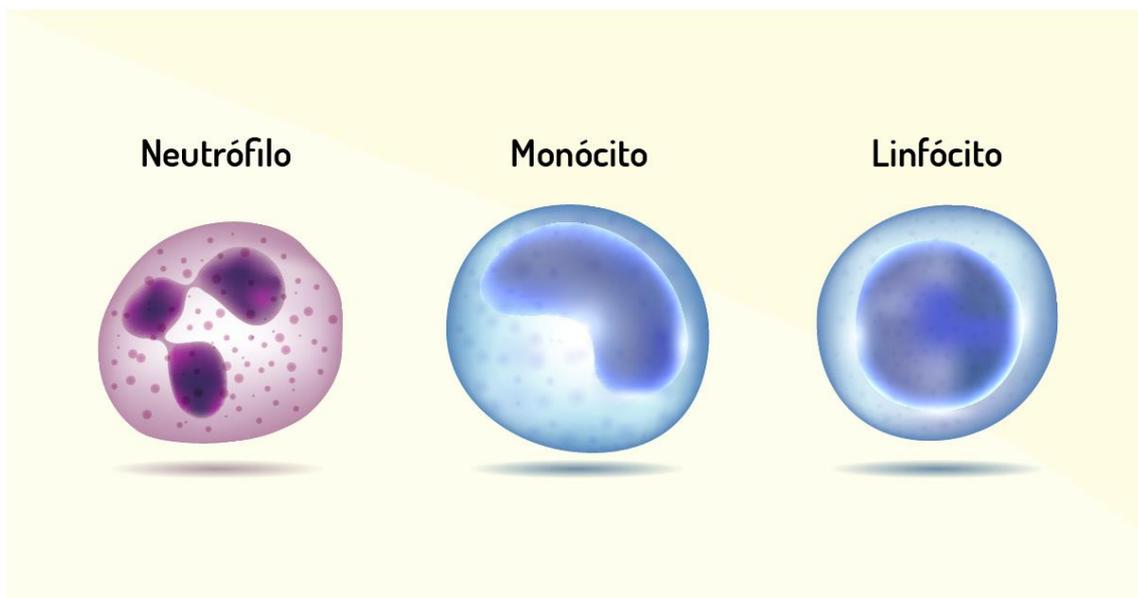


Figura 4.4 - Neutrófilo, Monócito e Linfócito, respectivamente

Fonte: Guniita / 123RF.

Após a infecção, como os neutrófilos e macrófagos fazem a defesa do organismo?

Os neutrófilos e os macrófagos teciduais atacam e destroem bactérias, vírus e outros agentes invasores. Os neutrófilos, em especial, são células maduras que atacam e destroem bactérias mesmo no sangue circulante. Já os macrófagos teciduais iniciam sua vida como monócitos no sangue (células imaturas que, ainda no sangue, têm pouca capacidade de combater os agentes infecciosos). Entretanto, assim que essas células entram nos tecidos, começam a aumentar de volume. Essas células são, agora,

denominadas macrófagos, sendo extremamente capazes de combater os agentes patogênicos intracelulares, como a infecção (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

Os neutrófilos e os monócitos podem apertar-se por meio dos poros dos capilares sanguíneos por diapedese. Mesmo que um poro seja muito menor que a célula, uma pequena porção da célula desliza pelo poro a cada vez; a porção que desliza pelo poro fica momentaneamente limitada ao tamanho do poro. Os neutrófilos, agora, também, os macrófagos, podem deslocar-se através dos tecidos por movimento ameboide. Algumas células movem-se com velocidade de até 40 micrometros por minuto, uma distância correspondente ao seu comprimento a cada minuto.

Nos tecidos, várias substâncias químicas diferentes fazem com que os macrófagos e neutrófilos movam-se em direção à fonte dessas substâncias. Esse processo é chamado quimiotaxia. Quando ocorre inflamação de um tecido, é formada pelo menos uma dúzia de produtos diferentes que causam quimiotaxia na direção da área inflamada. Essas substâncias incluem produtos degenerativos dos tecidos inflamados propriamente ditos; algumas das toxinas bacterianas e virais; vários produtos das reações causadas pela coagulação sanguínea na área inflamada; e produtos das reações do “complexo do complemento” ativado nos tecidos inflamados.

A quimiotaxia depende do gradiente de concentração da substância quimiotáxica. A concentração é maior, próxima à sua fonte, o que determina o movimento unidirecional dos leucócitos.

Agora, vamos falar da fagocitose. A fagocitose é a função mais importante dos neutrófilos e dos macrófagos. Fagocitose significa ingestão celular de um agente agressor. As células que atuam neste processo são os fagócitos, que necessitam ser seletivos, quanto ao material que é fagocitado. Caso isso não ocorra, células e estruturas normais do corpo podem ser ingeridas. Para ocorrer a fagocitose, três procedimentos seletivos devem acontecer:

- 1) a maior parte das estruturas naturais nos tecidos têm superfícies lisas e resistentes à fagocitose. Porém, se a superfície for áspera, a probabilidade de fagocitose aumenta.

2) a maior parte das substâncias naturais do corpo tem revestimentos proteicos protetores que repelem os fagócitos. Inversamente, a maioria das partículas estranhas ao corpo e dos tecidos mortos não apresenta esse revestimento protetor, fazendo-os sujeitos à fagocitose.

3) o sistema imunológico do corpo desenvolve anticorpos contra os agentes infecciosos, como as bactérias. Os anticorpos aderem às membranas bacterianas, o que as torna suscetíveis especialmente à fagocitose. Para que isso ocorra, a molécula do anticorpo combina-se com o produto C3 da cascata de complemento, uma parte adicional do sistema imunológico. Por sua vez, as moléculas C3 prendem-se a receptores da membrana do fagócito, e isso inicia o processo da fagocitose. Oponização é o nome dado a esse processo de seleção e de fagocitose. Os neutrófilos que penetram nos tecidos são células maduras e capazes de, imediatamente, iniciar a fagocitose. Ao aproximar-se da partícula a ser fagocitada, o neutrófilo prende-se à partícula e, depois, ao redor desta, emite pseudópodos em todas as direções. Esses pseudópodos encontram-se no outro lado e fundem-se criando uma câmara fechada contendo a partícula fagocitada. A seguir, a câmara invagina-se para a cavidade citoplasmática, rompendo suas conexões com a membrana externa da célula, o que forma, no citoplasma, uma vesícula fagocítica que flutua livremente, chamada de fagossoma.

Como produto final dos monócitos que penetram nos tecidos vindos do sangue, temos os macrófagos. Quando ativados pelo sistema imunológico, os macrófagos são fagócitos muito mais potentes que os neutrófilos e capazes de fagocitar até 100 bactérias, em média. Estes também têm a capacidade de envolver partículas ainda muito maiores, como hemácias inteiras ou, por exemplo, parasitas da malária. Já os neutrófilos não são capazes de fagocitar partículas muito maiores do que bactérias. Além disso, após digerirem as partículas, os macrófagos possuem a capacidade de eliminar os produtos residuais e, com frequência, sobrevivem e funcionam por muitos mais meses.

Quando a partícula estranha é fagocitada, lisossomos e outros grânulos citoplasmáticos no neutrófilo ou no macrófago entram em contato imediatamente com a vesícula fagocítica e suas membranas fundem-se, esvaziando muitas enzimas digestivas

e agentes bactericidas nessa vesícula. Assim, a vesícula fagocítica passa a ser uma vesícula digestiva e a digestão das partículas fagocitadas começa imediatamente.

Além da ingestão das bactérias ingeridas nos fagossomas, os neutrófilos e macrófagos contêm agentes bactericidas que matam a maioria das bactérias, mesmo quando as enzimas lisossômicas não conseguem digeri-las. Esse fato é especialmente importante, porque algumas bactérias têm revestimentos protetores ou outros fatores que impedem sua destruição pelas enzimas digestivas. Grande parte desse efeito mortal resulta de diversos agentes oxidantes potentes formados por enzimas nas membranas do fagossoma ou por uma organela especial chamada peroxissoma.

Na Figura 4.5 a seguir, você conseguirá ver esta organela peroxissoma na célula.

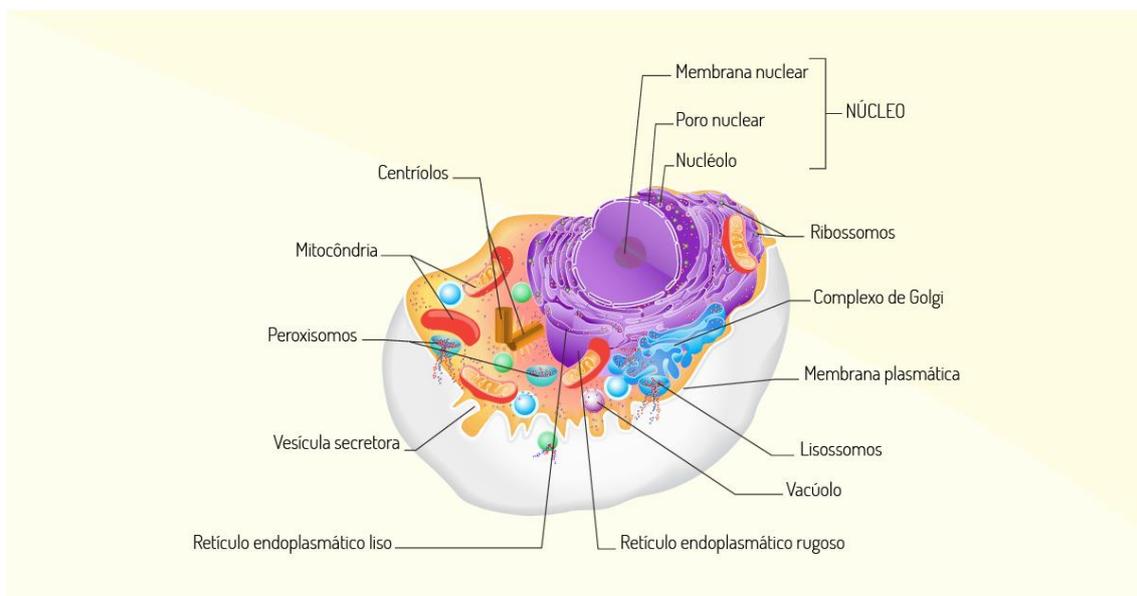


Figura 4.5 - Célula animal - ver peroxissoma

Fonte: Snapgalleria / 123RF.

A seguir, veremos o sistema celular monocítico-macrofágico. Vamos lá?!

## **O sistema celular monocítico-macrofágico**

Depois de entrarem nos tecidos e transformarem-se em macrófagos, outra grande parte dos monócitos fica presa aos tecidos, permanecendo por lá durante meses ou anos, até que seja mobilizada para realizar suas funções protetoras em locais específicos. Estes têm as mesmas capacidades dos macrófagos móveis para fagocitar muitas bactérias, vírus, tecido necrótico ou outras partículas estranhas nos tecidos. Quando apropriadamente estimulados, podem romper suas conexões e voltarem a ser macrófagos móveis, capazes de responder à quimiotaxia e todos os outros estímulos relacionados ao processo inflamatório. Assim, o corpo tem um amplo sistema monocítico-macrofágico em, praticamente, toda as áreas teciduais.

## **FIQUE POR DENTRO**

Caro(a) aluno(a), para entender a relação entre exercício físico e o sistema imunológico, deixo, para você, um excelente artigo científico no link: <[https://www.researchgate.net/profile/Raul\\_Manhaes-de-Castro/publication/255622412\\_Exercicio\\_fisico\\_e\\_sistema\\_imunologico\\_mecanismos\\_e\\_integracoes/links/00b495385416d92ded000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Raul_Manhaes-de-Castro/publication/255622412_Exercicio_fisico_e_sistema_imunologico_mecanismos_e_integracoes/links/00b495385416d92ded000000.pdf)>. Acesso em: 13 jul. 2019.

## **REFLITA**

O corpo humano resiste a quase todos os tipos de microorganismos ou, até mesmo, toxinas que tendem a lesar os tecidos e órgãos. Esta capacidade é a chamada “imunidade”. Você sabia que, durante a prática de exercícios físicos, há a tendência de diminuição da imunidade, já que se trata de um estresse físico e, às vezes, psicológico? Porém, com a prática contínua e bem orientada, a tendência é haver um aumento da imunidade de forma crônica.

## **Imunidade e Exercício Físico**

O exercício físico é modelo de indução de estresse e que gera alterações funcionais no sistema imunológico, discutido anteriormente. As diferentes intensidades, volumes e tipos de exercícios físicos provocam alterações distintas nos parâmetros imunológicos. Por exemplo, o exercício físico moderado, realizado com intensidade inferior a 60% do  $VO_{2max}$ , parece estar relacionado ao aumento da resposta dos mecanismos de defesa orgânica. Já o exercício físico intenso, realizado prolongadamente e com intensidade superior a 65% do  $VO_{2max}$  ou, até mesmo, o excesso de treino, parecem enfraquecê-la.

Durante o exercício físico, ativa-se o sistema nervoso simpático (SNS), que, por si, estimula a produção e a liberação de catecolaminas, hormônios e neurotransmissores que estão relacionados ao estresse. Há, também, durante o exercício físico, ativação do eixo hipotálamo-pituitária-adrenal, que possui relação intrínseca com as componentes do sistema imunológico, não apenas por possuir receptores hormonais em leucócitos, mas também pela relação anatômica existente entre os sistemas endócrino, imunológico e nervoso (POWERS; HOWLEY, 2016).

Parece que o exercício moderado pode promover a melhora de mecanismos de defesa do organismo. Já o exercício intenso parece enfraquecê-los. É válido salientar que ocorre neutrofilia, linfopenia e monocitose, em resposta a um exercício físico intenso. A adrenalina e, em menor grau, a noradrenalina parecem mediar a redistribuição das células do sistema imunológico no compartimento vascular em resposta ao exercício.

## **ATIVIDADE**

- 1) O organismo humano é capaz de combater diversos vírus, bactérias, fungos, dentre outros elementos que possam diminuir a imunidade corporal. Nesse sistema de defesa, diversas células atuam dinamicamente para atingir este feito. Sobre essas células, assinale a alternativa correta.
  - a) São, principalmente, as plaquetas e os macrófagos teciduais que atacam e destroem bactérias, os vírus e outros agentes invasores.
  - b) Os neutrófilos que penetram nos tecidos já são células maduras e capazes de iniciar imediatamente a fagocitose.
  - c) Depois de entrarem nos tecidos e transformarem-se em macrófagos, outra grande parte dos neutrófilos fica presa aos tecidos.
  - d) Os neutrófilos e monócitos contêm agentes bactericidas que matam a maioria das bactérias, mesmo quando as enzimas lisossômicas não conseguem digeri-las.
  - e) As plaquetas e os monócitos podem apertar-se através dos poros dos capilares sanguíneos por diapedese.

## **RESISTÊNCIA DO CORPO À INFECÇÃO II**

Dentre os tipos de imunidade, grande parte da nossa imunidade é adquirida, ou seja, não se desenvolve até que o organismo seja previamente atacado por bactérias, vírus ou toxinas. Isso necessita acontecer com frequência, de semanas a meses, para desenvolver a imunidade contra esse agente invasor. Parte adicional da nossa imunidade resulta de processos gerais, em vez de processos direcionados para micro-organismos patológicos específicos. Essa é a chamada imunidade inativa, que inclui certos mecanismos:

- fagocitose de bactérias ou outros invasores pelos leucócitos e pelas células do sistema dos macrófagos teciduais, como você viu na aula anterior;
- destruição de micro-organismos deglutidos pelas secreções ácidas do estômago e pelas enzimas digestivas;
- resistência da pele à invasão por micro-organismos;

- presença de certos compostos químicos no sangue que se prendem a micro-organismos ou toxinas estranhos, destruindo-os.

Essa imunidade inata torna o corpo humano resistente a doenças, como algumas infecções virais paralíticas em animais, cólera suína, praga do gado e cinomose (doença de cães). Inversamente, muitos animais inferiores são resistentes ou, até mesmo, imunes a muitas doenças humanas, como a poliomielite, caxumba, cólera humana, sarampo e sífilis, que são debilitantes ou letais para nós seres humanos.

Você sabia que, dentre as doenças sexualmente transmissíveis (DST), a sífilis é uma das mais prevalentes? Esta doença tem, como causa, a bactéria *Treponema pallidum*. Normalmente, a doença apresenta fases diferentes, com sintomas específicos e únicos, sendo intercalada por períodos latentes.

Agora, você lerá sobre a imunidade inata e a adaptativa.

### **Imunidade inata**

A imunidade inata inclui barreiras químicas e físicas fornecidas pela pele e túnicas. Além disso, inclui, também, diversas defesas internas, como substâncias antimicrobianas, células destruidoras naturais, fagócitos, inflamação e febre (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

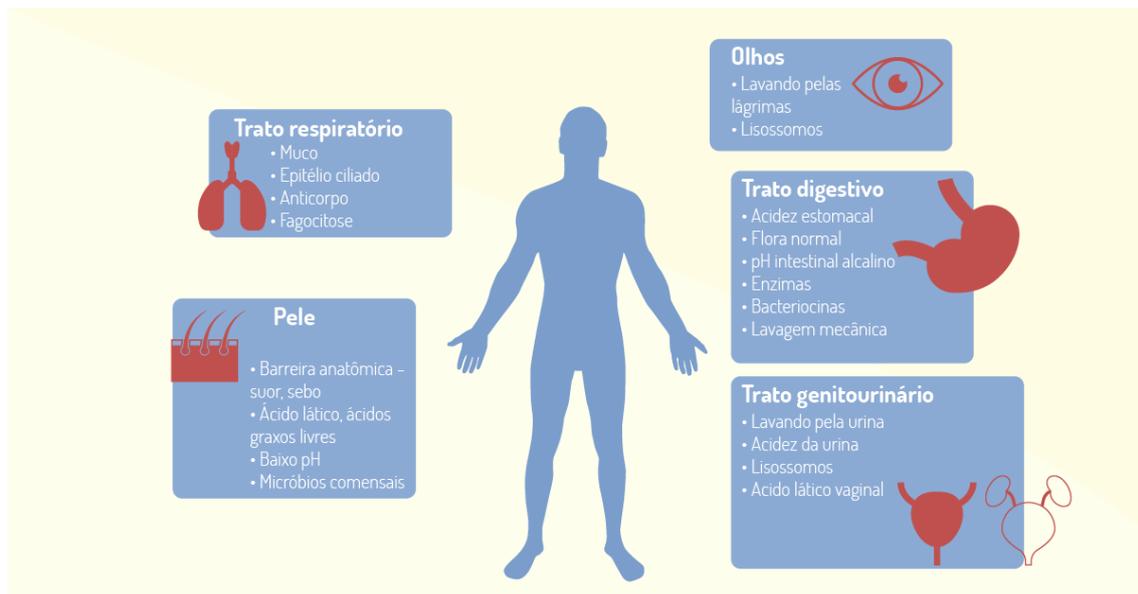


Figura 4.6 - Barreiras anatômicas do sistema imune

Fonte: Normaaals / 123RF.

A seguir, veremos a primeira linha de defesa: pele, túnicas mucosas e suas especificidades. Vamos lá?

### **Primeira linha de defesa: pele e túnicas mucosas**

A pele e as túnicas mucosas do corpo são a primeira linha de defesa contra os patógenos. Essas estruturas fornecem tanto barreiras físicas quanto químicas, as quais impedem patógenos e substâncias estranhas de penetrar no corpo e provocar doença.

Com suas muitas camadas de células queratinizadas, intimamente justapostas, a camada epitelial externa da pele (epiderme) representa uma barreira física contra a entrada de micróbios.

Veja, na figura a seguir, como caracteriza-se a epiderme na pele. Esta possui várias camadas que protegem realmente o corpo contra micróbios.

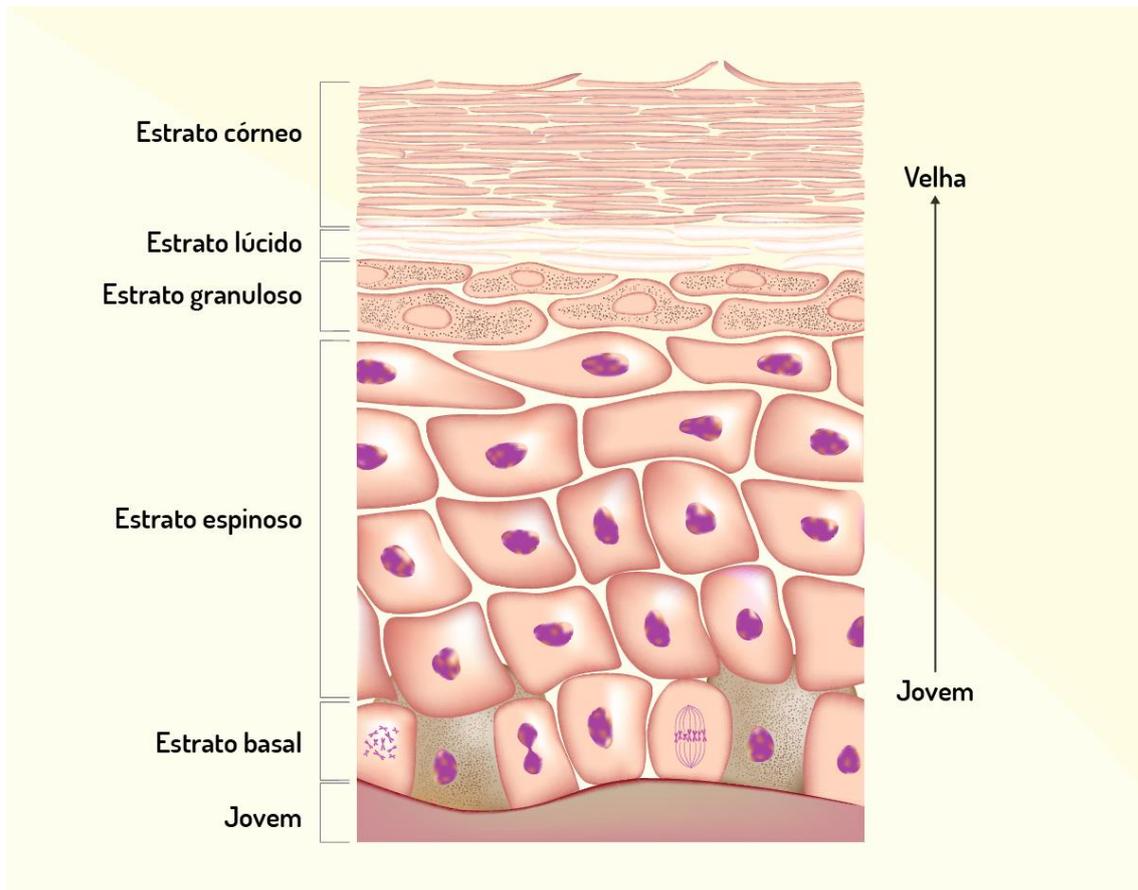


Figura 4.7 - Epiderme

Fonte: Alila / 123RF.

Além disso, a escamação periódica das células epidérmicas ajuda a remover micróbios da superfície da pele. As bactérias raramente penetram a superfície intacta da epiderme saudável. No entanto, caso a superfície epitelial seja rompida por cortes, queimaduras ou punções, o que é muito normal, os patógenos conseguem penetrar a epiderme e invadir tecidos adjacentes ou circular no sangue para outras partes do corpo. Na figura anterior, veja as células antigas da epiderme, no topo da primeira camada (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

A lâmina epitelial das túnicas mucosas que revestem as cavidades do corpo produz um líquido chamado muco que lubrifica e umedece a superfície da cavidade. Como o muco é ligeiramente viscoso, aprisiona muitos micróbios e substâncias estranhas. Por exemplo, a túnica mucosa do nariz tem pelos que são revestidos por muco e que prendem

e filtram micróbios, poeira e poluentes do ar inalado (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

Tanto no nariz quanto na túnica mucosa de outras partes superiores do trato respiratório existem cílios, que são projeções pilosas microscópicas na superfície das células epiteliais. As contrações ondulantes dos cílios impulsionam a poeira e micróbios inalados que ficaram aprisionados no muco em direção à garganta. A tosse e o espirro aceleram o movimento do muco e de seus patógenos aprisionados para fora do corpo. A deglutição do muco envia patógenos para o estômago, que são destruídos pelo suco gástrico (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

Veja, nas duas próximas figuras, a mucosa ciliada do nariz.

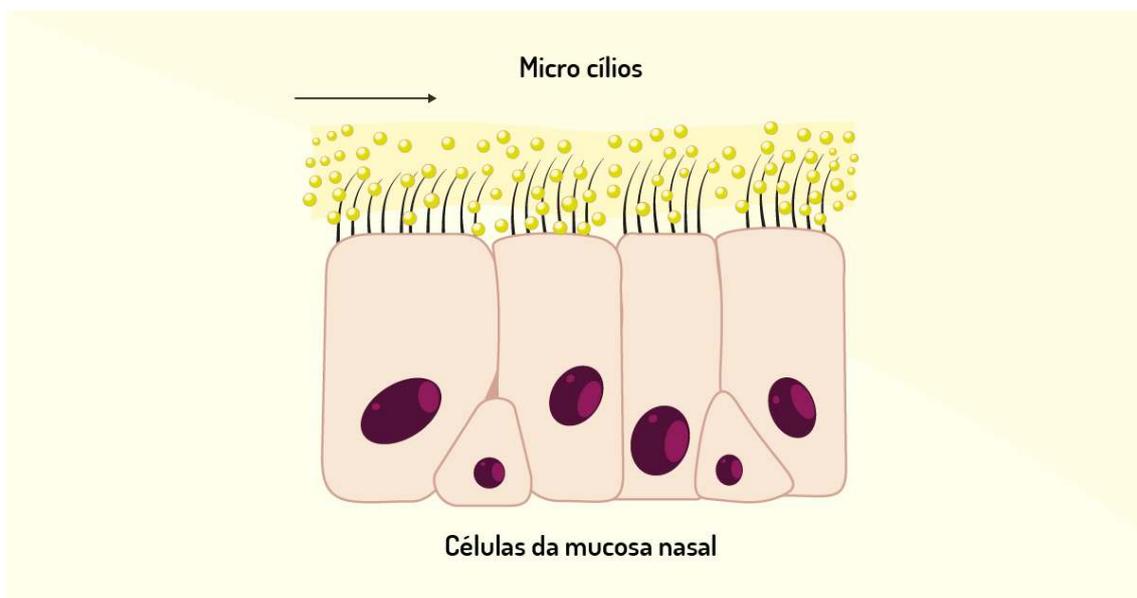


Figura 4.8 - Mucosa ciliada do nariz

Fonte: Srur / 123RF.

Na imagem a seguir, é possível ver os diferentes tipos de células presentes na mucosa nasal.

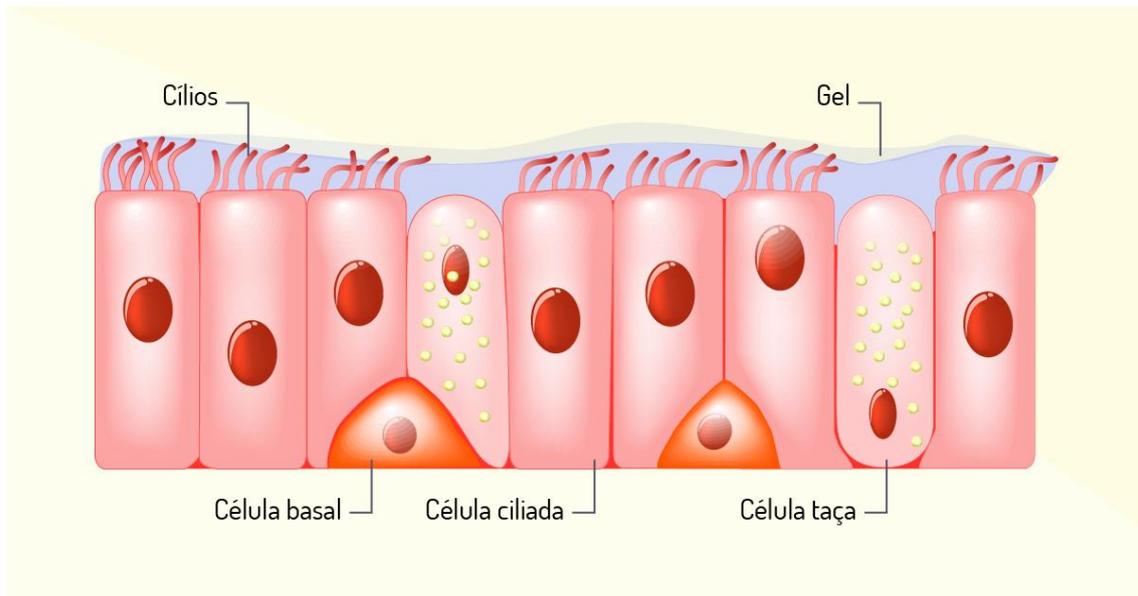


Figura 4.9 - Anatomia da mucosa nasal

Fonte: Designua / 123RF.

Outros líquidos produzidos por diversos órgãos também ajudam a proteger as superfícies epiteliais da pele e túnicas mucosas. Por exemplo, o aparelho lacrimal dos olhos produz e drena, para longe, as lágrimas em resposta aos irritantes. O piscar dos olhos espalha as lágrimas sobre a superfície do bulbo do olho e a ação de lavagem contínua das lágrimas ajuda a diluir os micróbios e evita que se sedimentem na superfície do olho. As lágrimas contêm lisozima, uma enzima capaz de decompor as paredes celulares de certas bactérias (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

Além das lágrimas, a lisozima está presente, também, na saliva, perspiração, secreções nasais e líquidos teciduais. A saliva, produzida pelas glândulas salivares, remove os micróbios das faces dos dentes e da túnica mucosa da boca, praticamente da mesma forma que as lágrimas limpam os olhos. O fluxo de saliva reduz a colonização da boca pelos micróbios (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

Já a limpeza da uretra, por meio do fluxo de urina, retarda a colonização microbiana do sistema urinário. Secreções vaginais igualmente removem os micróbios do corpo nas mulheres. Defecação e vômito também expelem os micróbios.

## **Segunda linha de defesa: defesas internas**

Quando os patógenos penetram as barreiras física e química da pele e túnicas mucosas, encontram uma segunda linha de defesa: proteínas antimicrobianas, fagócitos e células citotóxicas, que são destruidoras naturais, inflamação e febre.

Em relação às substâncias antimicrobianas, existem quatro tipos principais que dificultam o crescimento de micróbios: interferons, complemento, proteínas de ligação ao ferro e proteínas antimicrobianas. Os interferons (IFN) são proteínas produzidas pelos linfócitos, macrófagos e fibroblastos infectados com vírus. Estes espalham-se para as células vizinhas não infectadas, nas quais induzem a síntese de proteínas antiviróticas que interferem com a replicação virótica. Já o sistema complemento é composto por um grupo de proteínas normalmente inativas no plasma sanguíneo e nas membranas plasmáticas que, quando ativadas, intensificam certas reações químicas imunes. As proteínas de ligação ao ferro inibem o crescimento de certas bactérias, reduzindo a quantidade disponível de ferro. Por fim, as proteínas antimicrobianas são peptídeos curtos que apresentam um amplo espectro de atividade antimicrobiana.

Agora, vamos falar das células citotóxicas naturais e fagócitos.

Quando os micróbios penetram a pele e as túnicas mucosas desviam das substâncias antimicrobianas no sangue, a defesa inespecífica seguinte consiste nas células citotóxicas naturais e fagócitos. Aproximadamente, de 5 a 10% dos linfócitos no sangue são células citotóxicas (destruidoras) naturais. Estão presentes também no baço, linfonodos e medula óssea vermelha. Essas células têm a capacidade de matar uma ampla variedade de células corporais infectadas e certas células tumorais. Já os fagócitos são células especializadas na realização da fagocitose, a ingestão de micróbios ou de outras partículas, como fragmentos celulares.

Na imagem a seguir, ilustro, para você, esse processo de fagocitose em apenas três etapas.

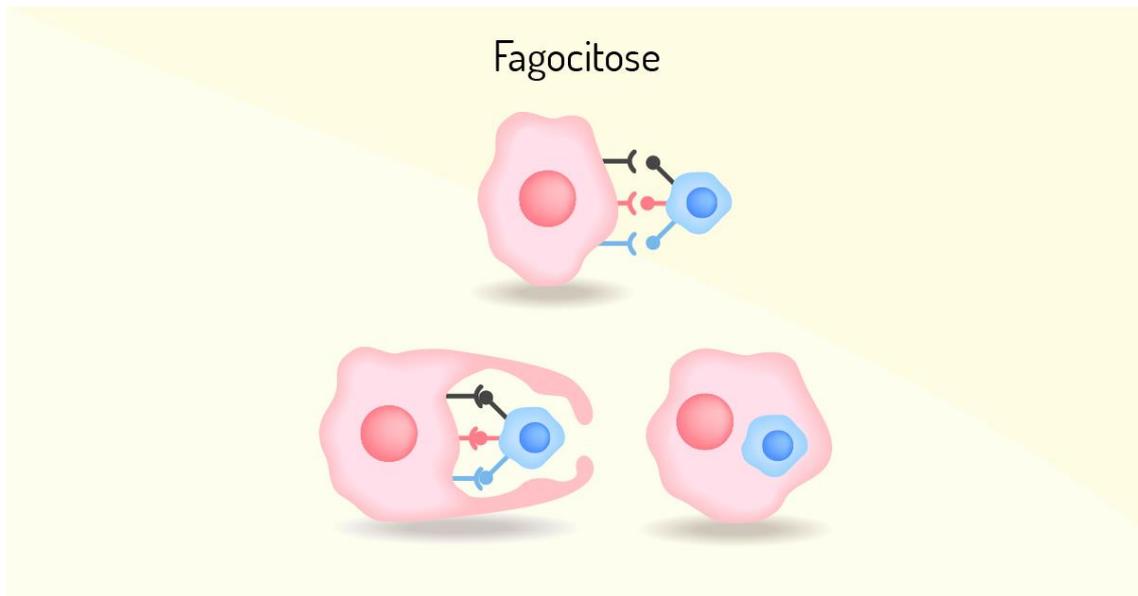


Figura 4.10 - Fagocitose em três etapas. Vetor do sistema imunológico humano

Fonte: Gritsalak Karalak / 123RF.

Porém, a fagocitose completa ocorre em cinco fases: quimiotaxia, aderência, ingestão, digestão e destruição.

Agora, vamos abordar a inflamação, uma forma de defesa do organismo muito comum, que ocorre durante a prática de exercício físico, principalmente quando o corpo é submetido à sobrecarga.

## **Inflamação**

A inflamação é uma resposta defensiva inespecífica do corpo ao dano tecidual. Dentre as condições que podem produzir inflamação, estão os patógenos, abrasões, irritações químicas, distorção ou distúrbios das células e temperaturas extremas. Os quatro sinais e sintomas característicos da inflamação são rubor, dor, calor e inchaço. A inflamação também pode provocar perda da função na área danificada, dependendo do local e da extensão da lesão.

A inflamação é uma tentativa de descartar micróbios, toxinas ou material estranho no local da lesão, para evitar sua difusão para outros tecidos e preparar o local para o reparo tecidual na tentativa de restabelecer a homeostasia tecidual.

Como a inflamação é um dos mecanismos de defesa inespecífica do corpo, a resposta de um tecido a um corte, por exemplo, é semelhante à resposta ao dano causado por queimaduras, radiação ou invasão bacteriana ou virótica. Em cada caso, a resposta inflamatória tem três estágios básicos: (1) vasodilatação e aumento da permeabilidade dos vasos sanguíneos, (2) emigração, ou seja, movimento dos fagócitos do sangue para o líquido intersticial e, por fim, (3) reparo tecidual.

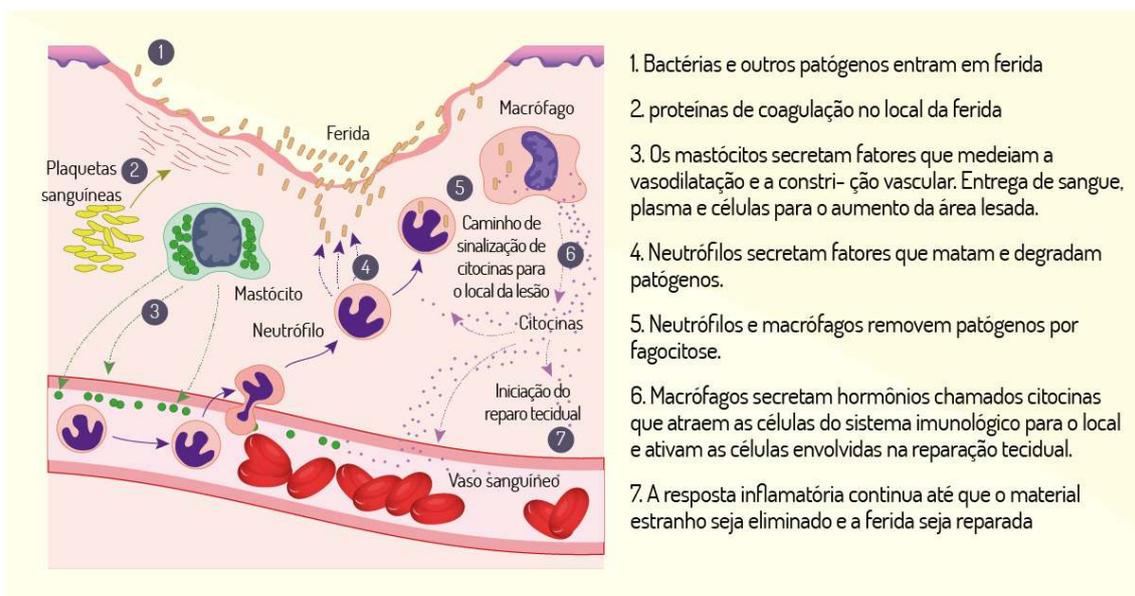


Figura 4.11 - Fatores químicos e celulares envolvidos na resposta inflamatória ao dano e reparo tecidual

Fonte: Peter Lamb / 123RF.

A inflamação, portanto, é um processo imunológico bastante complexo e dinâmico. A seguir, veja sobre a imunidade do tipo adaptativa.

## **Imunidade Adaptativa**

A capacidade do corpo de defender-se contra agentes invasores específicos, tais como bactérias, toxinas, vírus e tecidos estranhos, é chamada de imunidade adaptativa (específica). As substâncias reconhecidas como estranhas e que provocam respostas imunes são chamadas de antígenos (Ag).

Duas propriedades distinguem a imunidade adaptativa da imunidade inata: (1) especificidade para moléculas estranhas específicas, que também implica em diferenciar as próprias moléculas das moléculas estranhas e (2) memória para a maioria dos antígenos previamente encontrados, de modo que um segundo encontro induza, até mesmo, uma resposta mais rápida e mais vigorosa. O sistema imune inclui as células e os tecidos que executam as respostas imunes.

A imunidade adaptativa envolve os linfócitos chamados de células B e células T. Ambas se desenvolvem nos órgãos linfáticos primários (medula óssea vermelha e timo) a partir de células-tronco pluripotentes que se originam na medula óssea vermelha. As células B completam seu desenvolvimento na medula óssea vermelha, um processo que continua por toda a vida. Já as células T desenvolvem-se a partir de células pré-T, que migram da medula óssea vermelha para o timo, onde amadurecem.

## **Tipos de Imunidade Adaptativa**

Existem dois tipos de imunidade adaptativa: a imunidade mediada por células e a imunidade mediada por anticorpos. Ambos os tipos de imunidade adaptativa são desencadeadas por antígenos. Na imunidade mediada por células, as células T citotóxicas atacam diretamente os antígenos invasores. Na imunidade mediada por anticorpos, as células B transformam-se em células plasmáticas (plasmócitos), que sintetizam e secretam proteínas específicas chamadas anticorpos (Ac) ou imunoglobulinas. Um dado anticorpo de linfa inativa um antígeno específico. As células T auxiliares ajudam nas respostas imunes tanto da imunidade mediada por células quanto por anticorpos.

A imunidade mediada por células é particularmente eficiente contra (1) patógenos intracelulares, que incluem vírus, bactérias e fungos, residentes dentro das células; (2)

algumas células cancerígenas; e (3) transplantes de tecido estranho. Assim, a imunidade mediada por células sempre implica em células atacando células. A imunidade mediada por anticorpos atua, basicamente, contra patógenos, que estão nos líquidos do corpo fora das células. Como a imunidade mediada por anticorpos implica no uso de anticorpos que se fixam aos antígenos, nos humores ou líquidos do corpo, também é chamada de imunidade humoral.

## **ATIVIDADE**

- 2) Considera-se a imunidade como a resistência ou proteção contra vírus e bactérias que está, normalmente, relacionada a doenças e infecções que atacam o organismo de um ser vivo. Podemos dividir a imunidade em adaptativa e inata. Sobre estas, assinale a alternativa correta.
- a) A imunidade mediada por células é do tipo inata.
  - b) A imunidade mediada por anticorpos é do tipo adaptativa.
  - c) A imunidade inata envolve os linfócitos chamados de células B e células T.
  - d) A inflamação é um tipo de imunidade adaptativa.
  - e) A imunidade adaptativa é formada por barreiras químicas e físicas fornecidas pela pele e túnicas.

## **ESTRESSE, ENVELHECIMENTO E IMUNIDADE**

Caro(a) aluno(a), creio que você já tenha percebido que nossos pensamentos, sentimentos, humores e crenças influenciam em nosso nível de saúde e o curso da doença. Por exemplo, o cortisol, um hormônio produzido pelo córtex da glândula suprarrenal, em associação à resposta ao estresse, inibe a atividade do sistema imune.

Se quiser observar a relação entre o estilo de vida e a função imune, visite o campus de sua universidade ou faculdade. À medida que o semestre avança e o ritmo de trabalho avoluma-se, uma quantidade crescente de estudantes é vista nas salas de espera dos serviços de saúde estudantil. Quando o trabalho e o estresse acumulam-se, os hábitos de

saúde sofrem alterações. Muitas pessoas fumam ou consomem mais álcool quando estão estressadas, dois hábitos prejudiciais à função imune ideal. Sob estresse, as pessoas têm menos probabilidade de uma boa alimentação ou de práticas regulares de exercícios, dois hábitos que intensificam a imunidade.

Pessoas resistentes aos efeitos de saúde negativos do estresse têm mais probabilidade de experimentar uma sensação de controle a respeito do futuro, um compromisso com o seu trabalho, expectativas de resultados geralmente positivos para elas mesmas e sentimentos de apoio social. Para aumentar a sua resistência ao estresse, devemos cultivar uma perspectiva otimista, envolver-nos no trabalho e construir bons relacionamentos com as outras pessoas.

Relaxamento e sono adequados são especialmente importantes para um sistema imune saudável. Porém, quando não existem horas suficientes no dia, somos tentados a roubar algumas horas da noite. Enquanto deixar de dormir pode dar-nos poucas horas extras de tempo produtivo a curto prazo, a longo prazo, mais tarde, especialmente se adoecer nos manter afastados do trabalho durante vários dias, pode acarretar dificuldade em nossa concentração e bloqueio de nossa criatividade.

Mesmo se conseguirmos oito horas de sono, o estresse provoca insônia. Se tossimos ou nos viramos a noite, é hora de melhorar nossas habilidades de relaxamento e de gerenciamento do estresse.

Mas não só apenas o estresse pode alterar nossa imunidade. Com o avanço da idade, a maioria das pessoas torna-se mais suscetível a todos os tipos de malignidades e infecções. Sua resposta às vacinas é diminuída e a tendência é produzir mais autoanticorpos (anticorpos contra as moléculas do próprio corpo). Além do mais, o sistema imune exhibe níveis mais baixos de funcionamento. Por exemplo, as células T tornam-se menos suscetíveis aos antígenos e menos células T respondem às infecções. Isso pode resultar da atrofia do timo relacionada à idade ou à diminuição da produção dos hormônios tímicos. Como a população de células T diminui com a idade, as células B também se tornam menos reativas. Conseqüentemente, as concentrações de anticorpos não aumentam tão rapidamente em resposta à provocação por um antígeno, resultando no

aumento da suscetibilidade a várias infecções. É principalmente por esta razão que os indivíduos idosos são encorajados a tomar vacinas contra a gripe anualmente.

Em suma, o ser humano, durante toda a vida, sofre com alterações no sistema imunológico. São mudanças morfológicas e funcionais. Há um pico da função imunológica na puberdade e um gradual declínio no envelhecimento. A função imunológica parece estar alterada em indivíduos após os 60 anos de idade.

Sabemos que há uma grande interação entre o sistema nervoso e o sistema imunológico, o que desempenha papel importante na exacerbação de afecções de origem imunológica, assim como na depressão de funções normais do sistema imunológico. Os idosos estão ainda mais sujeitos a esses efeitos, se comparados aos adultos jovens.

Por exemplo, em casos de estresse emocional e/ou depressão, observa-se maior incidência de infecções, de doenças autoimunes e de neoplasias nos idosos. Já em indivíduos idosos que não apresentam quadro depressivo ou estresse emocional, é observado um menor número de linfócitos T CD4+ e CD8+. A capacidade funcional dessas células fica alterada, o que é evidenciado na resposta baixa ao estímulo com mitógenos, por exemplo, a fitohemaglutinina (PHA), e ao estímulo com a interleucina 2 (IL-2). Isso deve-se à diminuição e/ou deficiência na produção de IL-2, resultado de defeitos ou alterações na transdução de sinais mitogênicos vindos do receptor do linfócito T (TCR). Essa alteração na sinalização pode ser a mais importante causa do declínio da resposta imune celular mediada em idosos.

Em suma, todo esse processo de envelhecimento do sistema imunológico pode ser chamado de imunosenescência e refere-se ao envelhecimento do sistema imune, e não necessariamente está associado a doença, mas a alterações funcionais e morfológicas nas células que compõem este sistema.

Apesar da plasticidade e da capacidade de renovação do sistema imunológico mesmo em idosos, os órgãos linfoides, por exemplo, são afetados pelos mesmos mecanismos biológicos responsáveis pela perda de atividade funcional de células de tecidos diferentes. O estresse oxidativo e o encurtamento dos telômeros são considerados os principais causadores da diminuição do sistema imunológico relacionado à idade, em processo denominado senescência celular replicativa.

Veja, na figura a seguir, o telômero encurtando a cada rodada de divisão celular. Os telômeros encurtam com a idade e durante diferentes processos patológicos. Tal encurtamento também é causa de alterações no sistema imunológico durante a vida.

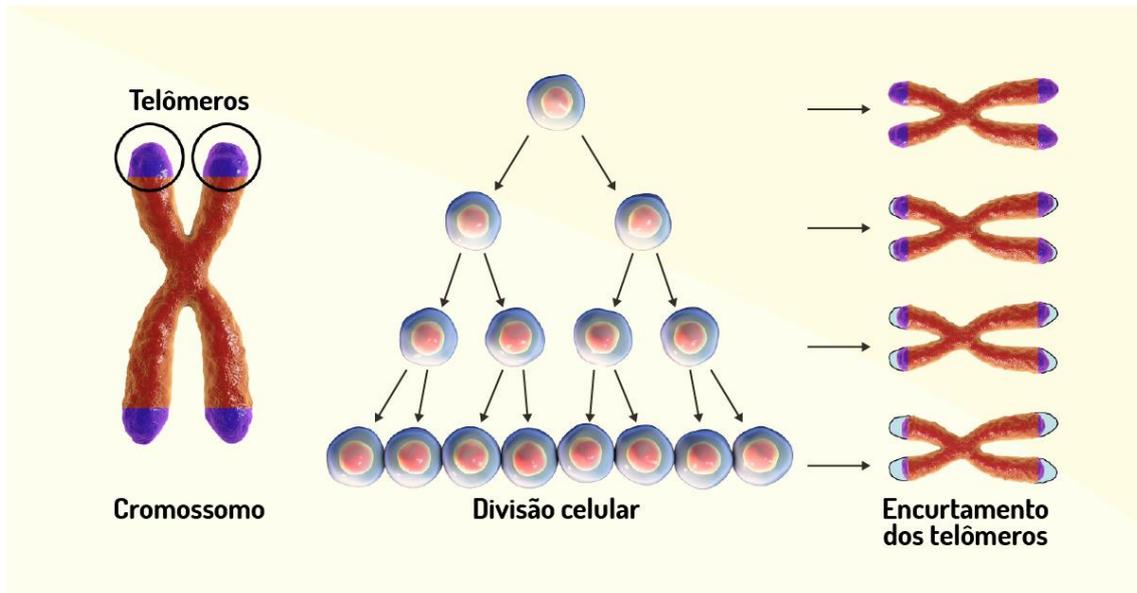


Figura 4.12 - Encurtamento dos telômeros

Fonte: Kateryna Kon / 123RF.

Parecem ser programadas geneticamente as funções do sistema imune, levando a uma maior vulnerabilidade a doenças. O processo de envelhecimento modifica progressivamente o funcionamento de todos os órgãos, conseqüentemente levando a um declínio na qualidade de vida e ao aparecimento de doenças, por exemplo, as doenças infecciosas, autoimunes e câncer.

### FIQUE POR DENTRO

Para saber mais sobre a fisiologia do Sistema imunológico e suas especificidades, assista a videoaula disponibilizada no link: [https://www.youtube.com/watch?v=IW\\_pOyMy74w](https://www.youtube.com/watch?v=IW_pOyMy74w). Acesso em: 13 jul. 2019.

## ATIVIDADE

- 3) O envelhecimento é um processo natural, progressivo e irreversível que atinge todos os seres vivos. Durante esse processo, alterações ocorrem nos mais diversos órgãos e funções corporais, como na função imune. Sobre isso, assinale a alternativa correta.
- a) Indivíduos idosos estão menos sujeitos a alterações imunológicas.
  - b) Em idosos, as células T tornam-se menos suscetíveis aos antígenos e menos células T respondem às infecções.
  - c) Em seres humanos, a função imune parece estar alterada, de modo geral, em indivíduos após os 30 anos de idade.
  - d) Com a idade, a resposta às vacinas é aumentada e tende-se a produzir mais autoanticorpos.
  - e) Em indivíduos idosos, que apresentam quadro depressivo ou estresse emocional, observa-se que o número de linfócitos T CD4+ e CD8+, respectivamente, pode estar diminuído.

## TERMORREGULAÇÃO

A temperatura dos tecidos profundos do corpo permanece em níveis bastantes constantes, dentro de, mais ou menos,  $1^{\circ}\text{F}$  ( $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$ ), dia após dia, exceto quando uma pessoa desenvolve doença febril. Na verdade, uma pessoa nua pode ser exposta a temperaturas que variam de  $13^{\circ}\text{C}$  a  $60^{\circ}\text{C}$  no ar seco e ainda manter uma temperatura central quase constante. Os mecanismos para a regulação da temperatura corporal representam um belo sistema de controle. Em contraste com a temperatura central, a temperatura da pele eleva-se e diminui, de acordo com a temperatura do ambiente ao seu redor.

Nenhuma temperatura central pode ser considerada normal, pois as mensurações feitas em várias pessoas saudáveis demonstraram uma variação de temperaturas normais aferidas oralmente. A temperatura central média normal geralmente é considerada entre  $36,5^{\circ}\text{C}$  e  $37^{\circ}\text{C}$  quando mensurada por via oral e, aproximadamente,  $0,6^{\circ}\text{C}$  mais alta quando mensurada por via retal.

Caro(a) estudante, lembre-se: durante o exercício físico, a temperatura corporal eleva-se e varia com as temperaturas extremas do ambiente, já que os mecanismos regulatórios da temperatura não são perfeitos. Quando o calor excessivo é produzido no corpo, geralmente pelo exercício vigoroso, pode-se elevar a temperatura, de forma temporária, para até 38,2° Ca 40° C. De forma inversa, quando o corpo é exposto ao frio extremo, geralmente a temperatura pode diminuir a valores abaixo de 36,6° C.

Quando a velocidade de produção de calor no corpo é maior que a velocidade da perda de calor, acumula-se o calor no corpo e a temperatura corporal aumenta. Do contrário, quando a diminuição de calor é maior, tanto o calor corporal quanto a temperatura corporal diminuem.

Veja, na figura a seguir, um esquema sobre o controle da temperatura corporal pelo hipotálamo, causando constrição ou dilatação dos capilares da pele e produção de suor.

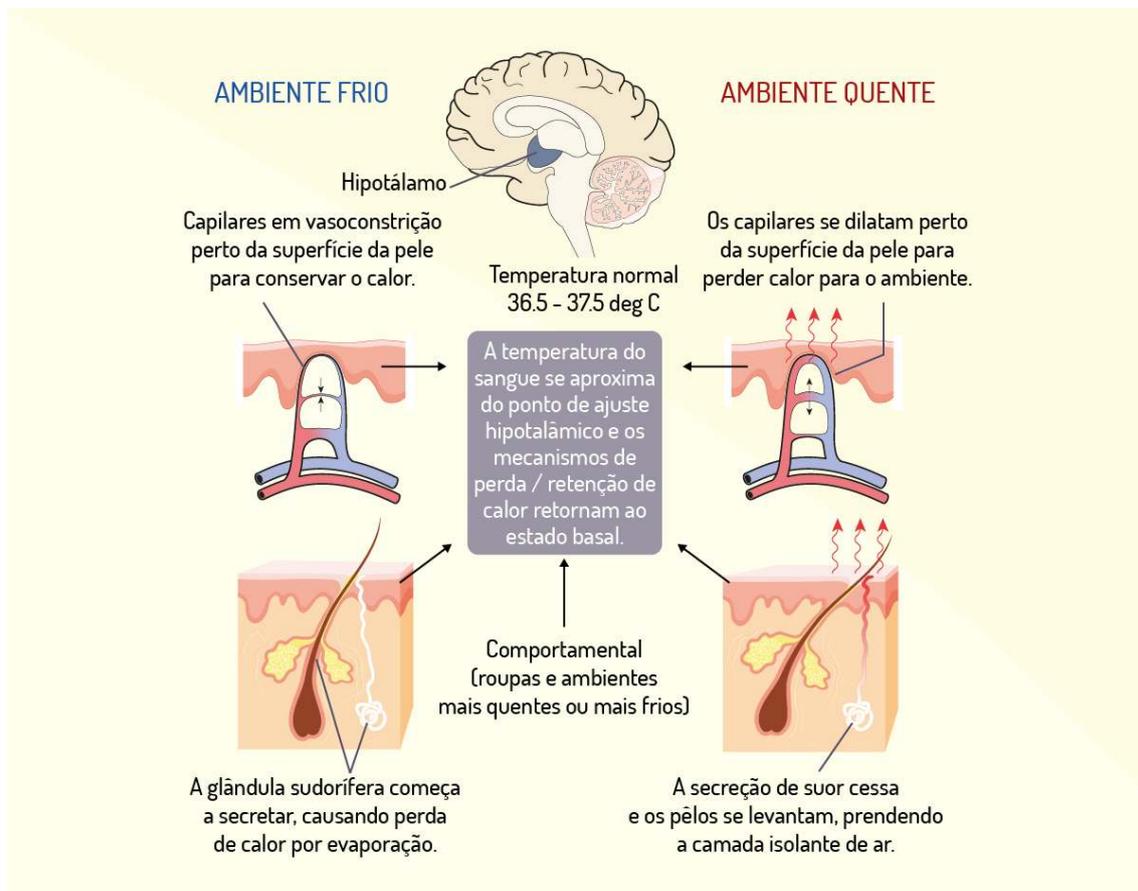


Figura 4. 13 - O controle da temperatura corporal pelo hipotálamo

Fonte: Peter Lamb / 123RF.

Veremos, a seguir, a produção de calor.

### Produção de Calor

Um dos principais produtos finais do metabolismo é a produção de calor. Um dos mais importantes fatores envolvidos neste processo é a taxa extra de metabolismo, causada pela atividade muscular, incluindo as contrações musculares causadas pelo calafrio.

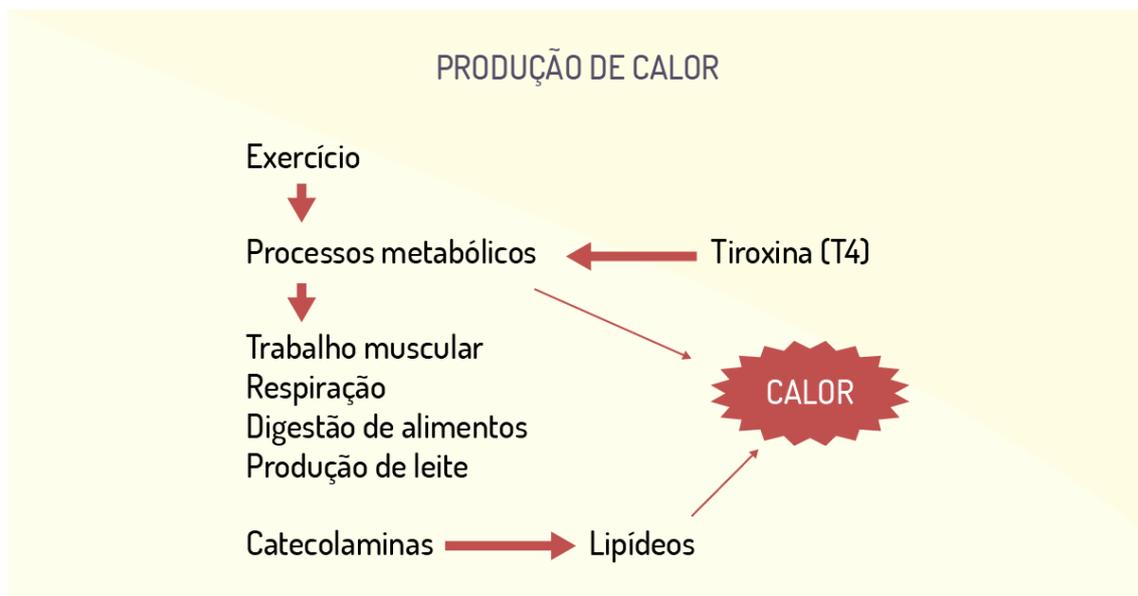


Figura 4.14 - Produção de calor

Fonte: Elaborada pelo autor.

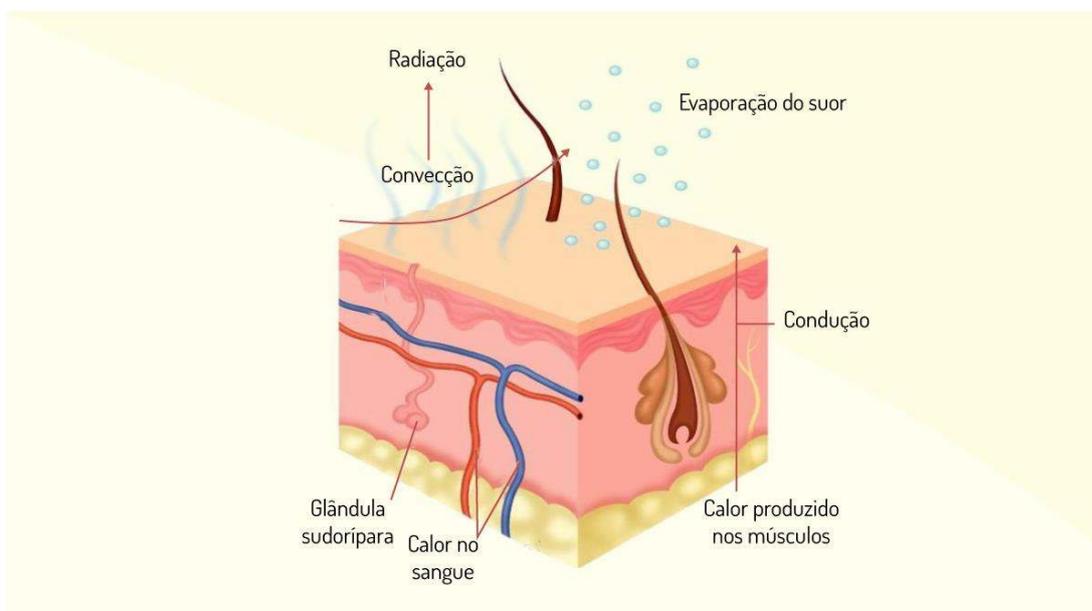
Além disso, destaca-se, também, a taxa do metabolismo basal de todas as células do corpo; o metabolismo extra, que é causado pelo efeito da tiroxina, epinefrina, norepinefrina e pela estimulação simpática sobre as células; o metabolismo extra, que é causado pelo próprio aumento da atividade química das células, principalmente quando a temperatura da célula é elevada, bem como o metabolismo extra, necessário para digestão, absorção e armazenagem de alimentos.

## Sistema de isolamento do corpo

Os tecidos subcutâneos, a pele, e o tecido adiposo em conjunto atuam como isolantes do corpo. O tecido adiposo é importante porque conduz apenas um terço do calor produzido por outros tecidos. Quando nenhum sangue flui dos órgãos internos aquecidos para a pele, as propriedades isolantes do corpo de um homem normal são, aproximadamente, iguais a três quartos das propriedades isolantes de um terno. Nas mulheres, esse isolamento é ainda melhor. O isolamento por debaixo da pele é um meio eficiente de manter a temperatura central interna normal, mesmo que a temperatura da pele aproxime-se da temperatura do ambiente.

## Perda de Calor

A maior parte do calor produzido pelo corpo é gerado nos órgãos profundos, principalmente no cérebro, fígado e coração, além dos músculos esqueléticos, durante o exercício físico. Este calor é transferido dos tecidos e órgãos profundos para a pele, onde será perdido para o ar e para o meio ambiente. Veja, na Figura 4.15 e 4.16, as formas de transferência de calor.



4.15 - Transferência de calor

Fonte: 10 Cose... (on-line).

A velocidade de perda de calor é determinada quase que completamente por dois fatores: a velocidade de condução do calor, de onde ele é produzido no centro do corpo até a pele, e a velocidade de transferência do calor entre o meio ambiente e a pele.

Os métodos diversos por meio dos quais é perdido o calor para a pele incluem a condução, irradiação e a evaporação (Figura 4.16). Em uma pessoa desnuda, sentada e dentro de uma sala com a temperatura normal, cerca de 60% da perda total de calor é dada por meio da irradiação, o que se dá na forma de raios de calor infravermelhos, que é um tipo de onda eletromagnética. A maior parte dos raios infravermelhos que se irradiam do corpo apresenta comprimentos de onda entre 5 e 20 micrômetros, 10 a 30 vezes o comprimento de onda dos raios de luz. O corpo humano irradia os raios de calor em todas as direções. Os raios de calor também são irradiados pelas paredes e por outros objetos na sala na direção do corpo. Se a temperatura do corpo for maior que a temperatura do ambiente, é irradiada uma maior quantidade de calor do corpo, se comparado ao que é irradiado para o corpo.

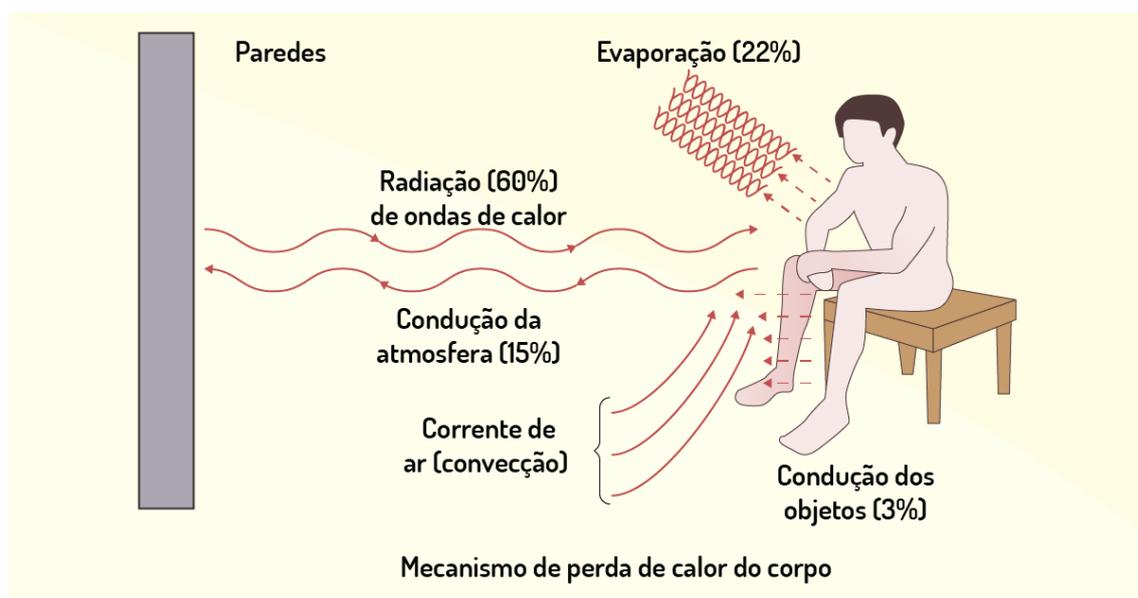


Figura 4.16 - Mecanismos de perda de calor

Fonte: Acuc (2016, *on-line*).

Somente pequenas quantidades de calor, cerca de 3%, são perdidas pelo corpo por meio da condução direta, a partir da superfície corporal para objetos sólidos, como uma mesa ou cadeira. A perda de calor por meio da condução para o ar representa uma considerável proporção da perda de calor do corpo, mesmo em condições normais.

Já a remoção do calor pela convecção de correntes aéreas é comumente denominada perda de calor por convecção. Na verdade, o calor primeiro deve ser conduzido para o ar e depois removido pela convecção das correntes de ar. Uma pequena quantidade de convecção quase sempre ocorre ao redor do corpo, devido à tendência de o ar adjacente à pele elevar-se conforme ele torna-se aquecido. Portanto, em uma pessoa desnuda, sentada em uma sala confortável, sem um movimento acentuado de ar, aproximadamente 15% de sua perda total de calor ocorre pela condução para o ar e, depois, pela convecção do ar para longe do corpo.

Quando a água evapora da superfície corporal, 0,58 caloria de calor é perdida por cada grama de água que evapora. Mesmo quando uma pessoa não está suando, a água ainda evapora insensivelmente a partir da pele e dos pulmões em um índice de 600 a 700 ml/dia. Isso causa uma perda contínua de calor em uma taxa de 16 a 19 calorias por hora. Essa evaporação insensível através da pele e dos pulmões não pode ser controlada por propósitos de regulação da temperatura, pois resulta de uma difusão contínua de moléculas de água através da pele e das superfícies respiratórias. Entretanto, a perda de calor por evaporação do suor pode ser controlada pela regulação da taxa de sudorese.

### **Fluxo sanguíneo muscular em exercício e a termorregulação**

Do repouso para o exercício, muda-se o fluxo sanguíneo. Isso ocorre porque há vasoconstrição das arteríolas locais e, portanto, será redirecionado o fluxo sanguíneo para longe dos rins, fígado, estômago, pâncreas e intestino. Este irá para áreas que demandam maior metabolismo, como o músculo estriado esquelético, que, obviamente, está envolvido no exercício.

Ao iniciar o exercício, o músculo estriado esquelético necessita de aumento de suprimento de oxigênio; isso será atendido parcialmente por influência do sistema

nervoso simpático, a vasoconstrição, nos vasos em que o fluxo sanguíneo poderá ser reduzido. Nesses músculos, ocorre o aumento da estimulação das fibras constritoras sobre as paredes arteriolares, mas, nos músculos ativos, há ocorrência de liberação de substâncias vasodilatadoras locais.

Isso ocorre porque as substâncias responsáveis possivelmente pela vasodilatação local serão liberadas devido ao aumento na acidez local, geralmente devido ao aumento nos níveis de hidrogênio, do pH mais baixo, aumento nos níveis do gás dióxido de carbono e na temperatura local.

#### **ATIVIDADE**

- 4) Tanto em repouso quanto em movimento (exercício físico), o corpo humano passa por um processo de controle da temperatura corporal, o qual é necessário para a sobrevivência. Sobre a termorregulação, assinale a alternativa correta.
- a) Na evaporação, o calor primeiro deve ser conduzido para o ar e depois removido pela convecção das correntes de ar.
  - b) A perda de calor por meio de irradiação se dá na forma de raios de calor infravermelhos, um tipo de onda eletromagnética.
  - c) A perda de calor por meio da convecção se dá na forma de raios de calor infravermelhos, um tipo de onda eletromagnética.
  - d) Na convecção, o calor não deve primeiro ser conduzido para o ar e depois removido pela convecção das correntes de ar.
  - e) A irradiação através da pele e dos pulmões não pode ser controlada por propósitos de regulação da temperatura, pois resulta de uma difusão contínua de moléculas de água através da pele e das superfícies respiratórias.

## **INDICAÇÕES DE LEITURA**

Nome do livro: Tratado de Fisiologia Médica

Editora: Elsevier

Autor: Arthur C. Guyton; John E. Hall

ISBN: 978-85-352-1641-7

Comentário: Caro(a) aluno(a), indico a você a leitura do capítulo 73, que trata, de forma bem aprofundada, sobre a termorregulação. Os autores definem bem a termorregulação como um termo que se refere ao conjunto de sistemas de regulação da temperatura do corpo do ser humano.

## CONCLUSÃO DO LIVRO

Caro(a) estudante, a neurofisiologia esclarece os aspectos comportamentais do ser humano, bem como o funcionamento biológico dos tecidos corporais, a aquisição de memória, o processamento de informações, dentre outras inúmeras funções. Desse modo, pensar nos movimentos humanos, para um profissional de Educação Física, é muito mais que analisar o aspecto contrátil das estruturas musculares, pois envolve muito mais que actinas e miosinas. Deve-se, sempre, partir de uma abordagem neuronal, que depende dos impulsos nervosos e diversas sinapses que ocorrem nos neurônios entre células nervosas ou nervos e músculos.

A intervenção do profissional de Educação física depende diretamente dos conhecimentos do sistema cardiovascular e respiratório. Desse modo, além do controle de variáveis para a saúde, considerando esses sistemas fisiológicos, é preciso embasamento para a prescrição de treinamentos com intensidades adequadas a cada contexto da Educação Física. A harmonia dos sistemas fisiológicos possibilita que nosso corpo funcione corretamente, ampliando o desempenho de cada estrutura corporal. Posto isso, é fundamental considerar as bases gastrointestinais, renais e, até mesmo, o sistema reprodutivo humano.

Como verificamos, o corpo humano é um sistema complexo, que pode sofrer diversas influências internas ou externas, seja por uma inflamação ou infecção. Vale lembrar que a contração muscular, principalmente resistida, e o exercício aeróbico pode e, em alguns casos, deve gerar inflamações. Desse modo, a Educação Física, ao intervir profissionalmente com crianças, adolescentes, adultos e idosos, deve sempre apoiar-se nos conhecimentos da fisiologia humana, assim, o entendimento das respostas corporais, frente à atuação profissional, será facilitado.

## REFERÊNCIAS

10 COSE da sapere sul sudore!!. **Farmacia Grellone**. Disponível em: <<http://www.farmaciagrelloni.it/10-cose-da-sapere-sul-sudore>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

A QUÍMICA e o corpo humano. **Química nas Taipas**. Disponível em: <<https://quimicanastaipas.wordpress.com/a-quimica-e-o-corpo-humano/>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

ALBERTS, B. et al. **Biologia Molecular da Célula**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

BRASIL. Hipertensão. **Ministério da Saúde**, 2018. Disponível em: <<http://www.saude.gov.br/saude-de-a-z/hipertensao>>. Acesso em: 1 jun. 2019.

BUCEAR en aguas frías. **Acuc**, nov., 2016. Disponível em: <<http://acuc.es/blog/bucear-en-aguas-frias/>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

CURI, R. **Fisiologia básica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2017.

DÁRIO, A. L. et al. Sistema nervoso simpático x parassimpático. **Scientific Investigation in Dentistry**, v. 18, n. 1, p. 48, 2016.

DE LA CRUZ, D. D. M. Capítulo VIII: excitación y contracción del musculo liso. **Wordpress**, fev., 2019. Disponível em: <<https://tare4s.wordpress.com/2019/02/24/capitulo-viii-excitacion-y-contraccion-del-musculo-liso/>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

FERREIRA, L. L. et al. Variabilidade da frequência cardíaca como recurso em fisioterapia: análise de periódicos nacionais. **Fisioterapia em Movimento**, v. 26, n. 1, 2017.

FOSS, M. L.; KETEYIAN, S. J. **FOX: Bases Fisiológicas do Exercício e do Esporte**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

GRANDO, S. R. Fisiologia Humana: Transporte Ativo. **Fisiologia Essencial Blogspot**. Disponível em: <<http://fisiologiaessencial.blogspot.com/2010/07/transporte-ativo.html>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 12. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

HENRIQUES, D. Citologia: transporte ativo secundário. **Medicina em minha vida**, nov., 2011. Disponível em: <<http://medicinaemminhavidablogspot.com/2011/11/citologia-transporte-ativo-secundario.html>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

JFAROD. “Afastem-se!” - Eletrofisiologia Cardíaca: Parte 1. **Fisiologia para leigos**, 3 set., 2016. Disponível em: <<https://physio4dummies.wordpress.com/2016/09/03/eletrocardiaca-1/>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Biologia Celular e Molecular**. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.

LENT, R. **Neurociência da Mente ao Comportamento**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

MARIEB, E. N.; HOEHN, K. **Anatomia e Fisiologia**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

MCARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. **Fisiologia do Exercício: Nutrição, Energia e Desempenho Humano**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

MOHRMAN, D. E.; HELLER, L. J. **Fisiologia Cardiovascular**. 6. ed. São Paulo: McGraw, 2008.

MOREIRA, C. Difusão Facilitada. **Wikiciências**, 2014. Disponível em: <[https://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/Difus%C3%A3o\\_Facilitada](https://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/Difus%C3%A3o_Facilitada)>.

Acesso em: 13 jul. 2019.

PARKER, S. **O Livro do Corpo Humano**: um guia ilustrado de suas estruturas, funções e disfunções. 2. ed. Editora: Ciranda Cultural, 2014.

PIVETTA, M. Na raiz do Alzheimer. **Revista Pesquisa FAPESP**, nov., 2008. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2008/11/01/na-raiz-do-alzheimer/>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

POLITO, L. F. A verdade sobre o potássio, a cãibra e a banana. **Universidade do Futebol**, 05 maio 2008. Disponível em: <<https://universidadedofutebol.com.br/a-verdade-sobre-o-potassio-a-caibra-e-a-banana/>>. Acesso em: 18 jul. 2019.

PÓS-DOUTORADO em Fisiologia Cardiovascular e Respiratória com Bolsa da FAPESP. **Agência FAPESP**, fev., 2017. Disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/pos-doutorado-em-fisiologia-cardiovascular-e-respiratoria-com-bolsa-da-fapesp/24788/>>.

Acesso em: 13 jul. 2019.

POWERS, S. K.; HOWLEY, E. T. **Fisiologia do exercício**: Teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho. São Paulo: Manole, 2016.

RESPIRAÇÃO celular e fermentação. **Me Salva**, 2018. Disponível em: <<https://www.mesalva.com/forum/t/respiracao-celular-e-fermentacao/7726>>. Acesso em: 17 jul. 2019.

SANTOS, J. Cadeia Respiratória: veja a fase decisiva da Respiração Celular. **Biologia Enem. Blog do ENEM**. Disponível em: <<https://blogdoenem.com.br/biologia-enem-respiracao-celular-cadeia-respiratoria/>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

SBC - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CARDIOLOGIA. V Diretrizes Brasileiras de Hipertensão Arterial. **Arq. Bras. Cardiol.**, v. 89, n. 3, São Paulo, set. 2007. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0066-782X2007001500012](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0066-782X2007001500012)>. Acesso em: 18 jul. 2019.

SILVERTHORN, D. U. **Fisiologia humana**: uma abordagem integrada [recurso eletrônico]. 7. ed. Porto Alegre : Artmed, 2017.

TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Princípios de Anatomia e Fisiologia**. 14. ed. RIO de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

WARD, J. P. T.; WARD, J.; LEACH, R. M. **Fisiologia Básica do Sistema Respiratório**. 3. ed. Barueri: Manole, 2012.

WILMORE, J. H.; COSTILL, D. L. **Fisiologia do esporte e do exercício**. 5. ed. Barueri: Manole, 2013.