

# LICENCIATURA EM BIOLOGIA



## FISIOLOGIA ANIMAL COMPARADA

1ª EDIÇÃO



FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS



EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA

# **FISIOLOGIA ANIMAL COMPARADA**

1ª Edição - 2007



## **SOMESB**

**Sociedade Mantenedora de Educação Superior da Bahia S/C Ltda.**

**Gervásio Meneses de Oliveira**  
Presidente

**William Oliveira**  
Vice-Presidente

**Samuel Soares**  
Superintendente Administrativo e Financeiro

**Germano Tabacof**  
Superintendente de Ensino, Pesquisa e Extensão

**Pedro Daltro Gusmão da Silva**  
Superintendente de Desenvolvimento e Planejamento Acadêmico

## **FTC - EaD**

**Faculdade de Tecnologia e Ciências - Ensino a Distância**

**Reinaldo de Oliveira Borba**  
Diretor Geral

**Marcelo Nery**  
Diretor Acadêmico

**Roberto Frederico Merhy**  
Diretor de Desenvolvimento e Inovações

**Mário Fraga**  
Diretor Comercial

**Jean Carlo Nerone**  
Diretor de Tecnologia

**André Portnoi**  
Diretor Administrativo e Financeiro

**Ronaldo Costa**  
Gerente Acadêmico

**Jane Freire**  
Gerente de Ensino

**Luis Carlos Nogueira Abbehusen**  
Gerente de Suporte Tecnológico

**Romulo Augusto Merhy**  
Coord. de Softwares e Sistemas

**Osmane Chaves**  
Coord. de Telecomunicações e Hardware

**João Jacomel**  
Coord. de Produção de Material Didático

## **MATERIAL DIDÁTICO**

**Produção Acadêmica**

**Jane Freire**  
Gerente de Ensino

**Ana Paula Amorim**  
Supervisão

**Leticia Machado**  
Coordenação de Curso

**Maristela do Espirito Santo**  
Autor(a)

**Produção Técnica**

**João Jacomel**  
Coordenação

**Carlos Magno Brito Almeida Santos**  
Revisão Final

**Fabio José Pereira Gonçalves**  
Editoração

**Fabio Gonçalves, Francisco França Júnior,  
Cefas Gomes**  
Ilustrações

## **Equipe**

**Angélica de Fatima Silva Jorge, Alexandre Ribeiro, Bruno Portela, Cefas Gomes, Cláuder Frederico, Delmara Brito, Diego Aragão, Fábio Gonçalves, Francisco França Júnior, Israel Dantas, Lucas do Vale, Marcio Serafim, Mariucha Silveira Ponte, Tatiana Coutinho e Ruberval Fonseca**

## **Imagens**

**Corbis/Image100/Imagemsource**

copyright © FTC EaD

Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei 9.610 de 19/02/98.








É proibida a reprodução total ou parcial, por quaisquer meios, sem autorização prévia, por escrito, da FTC EaD - Faculdade de Tecnologia e Ciências - Ensino a Distância.

[www.ead.ftc.br](http://www.ead.ftc.br)

# SUMÁRIO

<b>B</b>	<b>01</b>	<b>FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS CIRCULATÓRIO, RESPIRATÓRIO, DIGESTÓRIO E EXCRETOR NOS DIFERENTES GRUPOS ANIMAIS</b>	7
<b>T</b>	<b>01</b>	<b>CIRCULAÇÃO E RESPIRAÇÃO</b>	7
<b>C</b>		SISTEMA CIRCULATÓRIO ABERTO E FECHADO	9
<b>C</b>		CONTEÚDO 2 – SISTEMA CIRCULATÓRIO DOS VERTEBRADOS E DO HOMEM	16
<b>C</b>		CONTEÚDO 3 – RESPIRAÇÃO CUTÂNEA, TRAQUEAL, BRANQUIAL E PULMONAR	17
<b>A</b>		ATIVIDADE COMPLEMENTAR	29
<b>T</b>	<b>02</b>	<b>DIGESTÃO E EXCREÇÃO</b>	31
<b>C</b>		INGESTÃO DO ALIMENTO	31
<b>C</b>		DIGESTÃO	35
<b>C</b>		MECANISMOS DE EXCREÇÃO	42
<b>A</b>		ATIVIDADE COMPLEMENTAR	51
<b>B</b>	<b>02</b>	<b>FISIOLOGIA DA TRANSMISSÃO NERVOSA E SUAS RELAÇÕES COM O EQUILÍBRIO IÔNICO, REGULAÇÃO ENDÓCRINA E MOVIMENTAÇÃO</b>	54
<b>T</b>	<b>03</b>	<b>SISTEMA NERVOSO E EQUILÍBRIO IÔNICO</b>	54
<b>C</b>		SISTEMA NERVOSO	54
<b>C</b>		IMPULSO NERVOSO	57
<b>C</b>		EQUILÍBRIO OSMÓTICO E IÔNICO	60
<b>A</b>		ATIVIDADE COMPLEMENTAR	70

# SUMÁRIO

	<b>04 SISTEMA ENDÓCRINO E MOVIMENTO</b>	72
	<b>GLÂNDULAS</b>	72
	<b>REGULAÇÃO E AÇÃO DOS HORMÔNIOS</b>	76
	<b>MÚSCULOS E MOVIMENTO ANIMAL</b>	81
	<b>ATIVIDADE COMPLEMENTAR</b>	93
	<b>GLOSSÁRIO</b>	96
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	101

## **Apresentação da Disciplina**

Caro(a) aluno(a),

O nosso objetivo é fornecer conhecimentos fundamentais sobre a fisiologia comparada dos organismos animais, evidenciando as adaptações funcionais em relação as condições ambientais e, dessa forma, capacitar o aluno a compreender os processos fisiológicos dos órgãos e sistemas dos animais.

A fisiologia é o estudo dos processos fisiológicos que possibilita a existência da vida. É um campo amplo da Ciência que está interligada a outras disciplinas; é tanto que para estudar os processos fisiológicos de um animal é necessário saber conceitos e leis da Química e da Física. Para compreender o processo respiratório, por exemplo, é preciso saber o que é a lei de Boyle e a lei do Gás Ideal, assim como a importância do oxigênio, descoberto pelos químicos, para a respiração. Um outro exemplo é a importância do conceito da energia cinética para entender como ocorre a contração muscular.

A disciplina fisiologia comparada fornece o conhecimento da diversidade dos processos fisiológicos utilizados por diversos grupos de animais com a finalidade de sobreviver e prosperar em ambientes diversos, analisando como os organismos vivos obtêm e mantêm a homeostase do seu meio interno a nível molecular, celular e de tecido, no contexto das modificações do ambiente

A fisiologia animal comparada abre as portas para o aprendizado de muitos processos fisiológicos em humanos. Experimentos feitos em animais demonstram que eles possuem mecanismos fisiológicos fundamentalmente iguais aos dos humanos. Os mecanismos moleculares que produzem um impulso nervoso elétrico no cérebro humano são essencialmente os mesmos que produzem um impulso nervoso de uma lula, caranguejo ou de um rato.

Esta disciplina possui uma carga horária de 72 horas é formada por 02 blocos temáticos, onde cada um é constituído por 02 temas. O primeiro bloco temático aborda o Funcionamento dos Sistemas Circulatório, Respiratório, Digestório e Excretor nos Diferentes Grupos Animais. O segundo bloco temático apresenta a Fisiologia da Transmissão Nervosa e suas Relações com o Equilíbrio Iônico, Regulação Endócrina e Movimentação.

Para a compreensão de diversos processos fisiológicos é necessário ter conhecimentos de fisiologia evolutiva, que utiliza métodos e técnicas da biologia evolutiva e sistemáticas para entender a evolução dos organismos através de árvores taxonômicas familiares.

Prof. Maristela do Espírito Santo







## BLOCO 01

# **FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS CIRCULATÓRIO, RESPIRATÓRIO, DIGESTÓRIO E EXCRETOR NOS DIFERENTES GRUPOS ANIMAIS**



## TEMA 01

### **CIRCULAÇÃO E RESPIRAÇÃO**

Nos animais, o sistema circulatório tem a função de garantir a distribuição do sangue em todo o organismo. Com a circulação, são transportados, às células, os produtos da digestão e o oxigênio introduzido com a respiração. Além de transportar os gases, calor e os nutrientes para os tecidos, ela mantém o equilíbrio hidrossalino para a manutenção da vida das células, distribui hormônios para diversas partes do corpo e transfere os produtos finais da digestão para os órgãos excretores. Nos animais, o principal veículo de circulação interna é o sangue.

As substâncias conhecidas como transportadoras de oxigênio no sangue são proteínas que contêm um metal (comumente ferro ou cobre). Normalmente elas são coloridas e, por isso, são frequentemente chamadas de pigmentos respiratórios (ver tabela 1.1).

Para o funcionamento da circulação sanguínea a presença de uma bomba, em condições de colocar o sangue em circulação, é de fundamental importância. A função de bomba é desenvolvida pelo coração, um órgão central do aparelho circulatório. Nos animais inferiores, o coração é simples, aumentando a complexidade estrutural e funcional de acordo com a progressão da escala zoológica. Nos invertebrados mais simples a circulação ocorre por difusão: a substância necessária ao organismo e as que devem ser eliminadas passam através da membrana que envolve o corpo do animal.

O sistema circulatório, nos diversos organismos, pode ser aberto ou fechado (Tabela 1.2). O sistema aberto é típico de muitos invertebrados, os quais a maioria tem o sistema circulatório bem desenvolvido, a exemplo dos moluscos, anelídeos, equinodermos e artrópodos. No sistema aberto, o ciclo não é completo, pois existem interrupções nos vasos sanguíneos fazendo com que o sangue flua mais ou menos livre entre os tecidos antes de retornar ao coração, de onde o sangue inicialmente foi bombeado. Isto significa que o sangue (hemolinfa) não segue um caminho claramente definido, mas é distribuído diretamente nas células nas quais ele entra em contato. Nos vertebrados, entre eles o homem, o sistema circulatório é do tipo fechado, formado de um circuito vascular completo, com um sistema de distribuição, um sistema capilar, e um sistema de recolhimento. Este tipo de sistema circulatório é chamado de fechado porque o sangue permanece dentro dos vasos, sem sair, e o sangue realiza trocas através das paredes dos capilares.





**TABELA 1.1** Pigmentos respiratórios comuns e exemplos de sua ocorrência nos animais.

Pigmento	Descrição	Ocorrência nos animais
<b>Hemoglobina</b>	Proteína com porfirina férrica, transportada em solução ou em células; pigmento mais amplamente distribuído	Vertebrados: quase todos equinodermos: pepino do mar; Moluscos: Planorbis, bivalve (Tivela) Artrópodes: insetos (Chironomus, Gastrphilus); crustáceos (Daphnia, Artemia) Anelídeos: Lumbricus, Tubiflex, Arenicola, Spiroboris Nematóides: Ascaris Platelmintos: trematódos parasitas Protozoários: Paramecium, Tetrahymena
<b>Hemeritrina</b>	Proteína que contém ferro, transportada sempre em células, estrutura não-porfirínica	Sipunculídeos: todas as espécies examinadas; Poliquetos: Magelona Priapulidas: Halicryptus, Priapul Braquiópodes: Lingula
<b>Hemocianina</b>	Proteína que contém cobre, transportada em solução	Moluscos (não lamelibrânquios) Artrópodes, caranguejos, lagostas Aracnomorfos: Limulus, Euscorpius
<b>Clorocruorina</b>	Proteína com porfirina férrica, transportada em solução	Restrito a quatro famílias de poliquetos: Sabellidae, Serpulidae, Chlorhaemidae, Ampharetidae



**TABELA 1.2** Principais diferenças entre os sistemas circulatórios abertos e fechados

SISTEMA ABERTO	SISTEMA FECHADO
Normalmente sistemas de baixa pressão	Normalmente sistemas de alta pressão
Pressões moderadas e baixas	Pressão alta requer grande resistência periférica
Possível manutenção da pressão	Pressão alta mantida entre as batidas do coração, requer paredes elásticas
Semelhante aos sistemas fechados	Sangue transportado diretamente para os órgãos
Distribuição de sangue regulada menos facilmente	Distribuição bem regulada para diferentes órgãos
O sangue retorna ao coração freqüentemente, de forma lenta	O sangue retorna rapidamente para o coração



## SISTEMA CIRCULATÓRIO ABERTO E FECHADO

### Circulação dos Invertebrados

#### Anelídeos

O sistema circulatório dos anelídeos é fechado e, geralmente, possui pigmento respiratório dissolvido no plasma, que pode ser a hemoglobina ou hemeritrina.

Na *Lumbricus*, minhoca, a superfície do corpo contém muitos capilares e esta superfície corpórea faz o papel de órgão respiratório. O sistema circulatório deste animal é composto por dois vasos longitudinais, sendo um vaso dorsal e um ventral. No vaso dorsal, o sangue é bombeado para parte anterior; e o ventral, o fluxo vai para o lado oposto ao vaso dorsal. O cordão nervoso de muitos anelídeos possuem vasos longitudinais adicionais e sangue oxigenado do tegumento é mandado para o cordão nervoso ventral. Os anelídeos possuem vários vasos sanguíneos com dilatações contráteis. O vaso dorsal é contrátil e, através de ondas peristálticas, ele impulsiona o fluxo na direção anterior, e a conexão entre o vaso dorsal principal com o vaso longitudinal ventral principal é feita por vasos sanguíneos que servem como corações acessórios (Figura 1.1).

A minhoca gigante (*Glossoscolex giganteus*), que é encontrada nas regiões tropicais e subtropicais do Brasil, é o maior animal terrestre conhecido e desprovido de órgãos respiratórios especializados, mas possuem um sistema circulatório altamente especializado, e o sangue desse animal contém hemoglobina com grande afinidade pelo oxigênio. Devido a combinação com órgãos circulatórios altamente especializados, o animal obtém oxigênio suficiente utilizando apenas a pele como órgão respiratório.

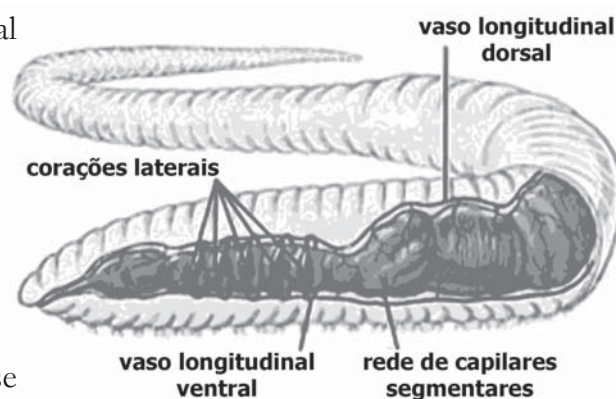


FIGURA 1.2

O vaso sanguíneo dorsal da minhoca gigante contrai-se, aproximadamente, 6 a 8 vezes por minuto, elevando, assim, a pressão sistólica para quase 20 mmHg (2,7 kPa). Em consequência das contrações, tem-se o enchimento de 5 pares de corações laterais segmentares na parte dianteira do animal. Esses, por sua vez, contraem-se e fazem a pressão no vaso ventral subir até 75 mmHg (10kPa) (Jonhansen e Martin, 1965).

#### Equinodermos

A exemplo da estrela-do-mar, ouriço-do-mar e pepinos-do-mar, os equinodermos têm três sistemas preenchidos por fluidos: sistema celômico, o sangue ou sistema hemal e o sistema vascular aquífero.

Entre a parede do corpo e o trato digestivo de um equinoderme encontra-se um grande celoma preenchido com fluido celômico que parece ser importante no transporte de nutrientes

entre o trato digestivo e outras partes do corpo (Farmanfarmaian e Philips, 1962).

O fluido do sistema sanguíneo ou hemal dos equinodermes é separado e, em alguns pepinos-do-mar, que contém hemoglobina. A hemoglobina da *Cucumaria* tem uma afinidade muito grande pelo oxigênio porque eles vivem em ambientes lamacentos, deficientes em oxigênio.

Não é muito clara a relação entre o sistema hemal e o celômico, assim como o papel do sistema hemal na respiração e o suprimento de oxigênio para o animal.

O sistema vascular aquífero funciona principalmente na locomoção. É um sistema hidráulico utilizado no movimento dos pés e é preenchido com um líquido semelhante à água do mar. Este sistema é o mais bem compreendido entre os três sistemas dos equinodermes.

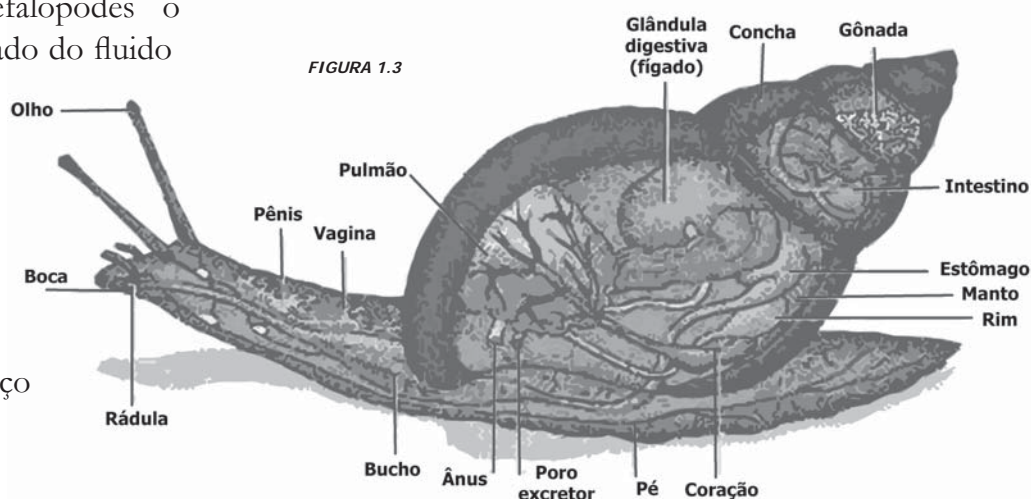
## Moluscos

Os moluscos possuem sistema circulatório aberto (Figura 1.2), com exceção do polvo e da lula. A hemoglobina está presente no sangue de poucos moluscos, e a grande maioria possui hemocianina. O coração deles é bem desenvolvido, através do qual passa o sangue, que é distribuído em um sistema lacunar. O coração manda o sangue oxigenado, que passa pelas brânquias em direção aos órgãos e o batimento cardíaco se ajusta de acordo com as necessidades fisiológicas de oxigênio. Quando ocorre crescente retorno venoso sanguíneo para o coração, existe um aumento na amplitude e na frequência do batimento cardíaco. O coração dos moluscos continua a bater quando é isolado do sistema nervoso, mas ele está sob a influência de neurosecreções, acetilcolina e serotonina, que modificam o batimento cardíaco.

O movimento ativo do pé do vôngole está baseado no uso do sangue como um fluido hidráulico. Existem válvulas que controlam grandes seios sanguíneos no pé e estas válvulas no tamanho e nos movimentos do pé,

Os cefalópodes (Cephalopoda), polvo e lula, possuem um sistema circulatório fechado que compreende um sistema de vasos, artérias e redes capilares distintas, que promove uma pressão e uma eficiência maior do fluxo sanguíneo que, favorece as trocas gasosas nas brânquias e a função renal. Assim como nos vertebrados, as artérias do polvo e da lula se distendem durante a sístole e serve como reservatório elástico durante a diástole, pois mantêm a pressão sanguínea e suaviza o fluxo sanguíneo pulsátil proveniente do coração.

Nos moluscos cefalópodes o sangue permanece separado do fluido intersticial, ao contrário dos moluscos não-cefalópode os quais possuem sistema circulatório aberto, o sangue não é separado do fluido intersticial, e flui livremente através do espaço extracelular.



## Insetos

O sistema sanguíneo dos insetos é aberto, dificilmente a pressão sanguínea excede a pressão tecidual e o sangue não tem função na respiração.

Nos insetos, o sangue contém hemolinfa e tem, principalmente, a função nutritiva e de transporte de hormônios. Em alguns insetos, a circulação sanguínea é essencial na distribuição de calor, e principalmente, na regulação da perda de calor nos insetos voadores. Esses animais possuem um vaso sanguíneo principal ao longo do lado dorsal que se ramifica até a cabeça e tem uma parte posterior que funciona como um “coração” que possuem aberturas com válvulas por onde o sangue entra. Na parte anterior do vaso sanguíneo, “aorta”, é contrátil e o sangue é impulsionado na direção anterior.

Além do coração e do vaso dorsal, muitos insetos possuem corações acessórios, com contrações independentes dos coração dorsal e com a com função de bomba, que serve, particularmente, para manter a circulação das asas, pernas e antenas. O fluxo sanguíneo nas asas é auxiliado por órgãos pulsáteis no interior delas, localizados nos canais que conduzem o sangue de volta para o corpo Thomsen (1938).

Em muitos insetos , membranas longitudinais dão alguma direção ao sangue que flui entre os tecidos. Nas antenas e nos membros, o sangue pode entrar de um lado e sair do outro. Dessa forma, o sangue é conduzido para certos trajetos, apesar de não fluir em vasos isolados.

As pernas dos insetos são apêndices importantes e, em muitos insetos, os corações estão presentes, nesses apêndices, para auxiliar na circulação sanguínea (Figura 1.3).

É por sucção que ocorre o enchimento do coração dorsal de um inseto. Os músculos ali-formes são os responsáveis por esse enchimento, porque quando eles se contraem o coração, através dos óstios, puxa o sangue para dentro dele e a contração seguinte do coração impulsiona o sangue em direção à cabeça.

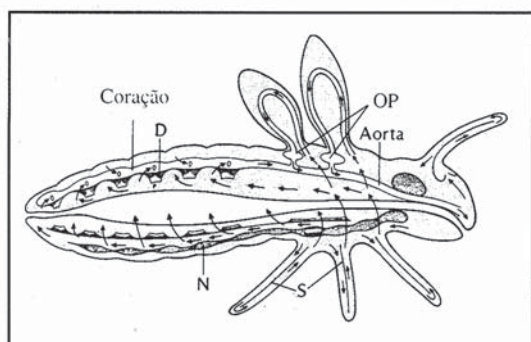


Figura 1.3 O sistema circulatório bem desenvolvido num inseto tem um vaso dorsal principal que leva sangue proveniente do coração. Apesar de a circulação ser aberta, o sangue segue certos canais devido à presença de membranas longitudinais, especialmente nas pernas. As setas indicam o curso da circulação. D, diafragma dorsal com músculos; N, cordão nervoso; OP, órgãos pulsáteis; S, septos que dividem apêndices (Wigglesworth, 1972).

## Aracnídeos

As aranhas e os escorpiões possuem um sistema circulatório muito semelhante ao dos insetos, porém, ao contrário dos insetos, este pode está relacionado com a respiração. Alguns escorpiões possuem hemocianina no sangue e os órgãos respiratórios deles e das aranhas definidos perfundidos por sangue.



O coração dos aracnídeos, que está localizado dorsalmente no abdome, se enche através dos óstios e se esvazia no interior das artérias. As pernas das aranhas não possuem músculos extensores, por isso a pressão sanguínea, nesses apêndices, é relativamente alta, pois o sangue é utilizado como fluido hidráulico para a extensão das pernas.

### Crustáceos

A maioria dos crustáceos possui o sistema circulatório do tipo fechado, normalmente, com um coração dorsal ao interno de uma cavidade pericárdica, e um sistema de vasos mais ou menos desenvolvido e o sangue entra no coração através de óstios. O coração varia como uma forma de um tubo longo a uma vesícula esférica. Normalmente, existem duas artérias: a principal, que sai do coração para parte anterior; e outra, que vai na direção posterior. Os pequenos crustáceos, a maior parte deles, não possui coração, a exemplo dos copépodos e cirrípedes.

Nos grandes crustáceos, os decápodos, o sistema circulatório é bem desenvolvido e a hemocianina está presente como pigmento respiratório e o coração, localizado num seio pericárdico, é suprido diretamente com sangue oxigenado e bombeado para os tecidos. O sangue deixa os vasos, à medida que as artérias se ramificam, e flui entre os tecidos para um sistema de seios ventrais. Em seguida, o sangue flui para as brânquias, onde é oxigenado, e depois por meio de vasos distintos retorna ao coração. Ao contrário dos peixes que o coração recebe sangue venoso desoxigenado, que, então, é bombeado para as brânquias e para os tecidos.

A circulação dos crustáceos se diferencia da dos insetos por causa das brânquias, por isso eles possuem uma circulação bem definida.

### **Circulação nos Vertebrados**

A água constitui, aproximadamente, dois terços do peso total do corpo de um vertebrado. O valor varia de acordo com a quantidade de gordura, pois o tecido adiposo possui pouca água, somente 10%, portanto quanto mais gordura tiver o indivíduo, menos água estará presente no corpo. É no interior das células que se encontra a maior parte da água (água intracelular) e a menor porção encontra-se nos espaços extracelular. Uma parte da água intersticial encontra-se no sangue (água do plasma) e a outra parte nos espaços teciduais (líquido intersticial). Sendo assim, a água do corpo está em três compartimentos: intracelular, intersticial e plasma. Calculando a diferença entre o volume extracelular total e o volume plasmático encontra-se o volume do líquido intersticial.

O peixe tem uma circulação que é denominada simples. O coração bombeia e recebe sangue pobre de oxigênio. O sangue atravessa capilares das brânquias, onde absorve oxigênio, e se dirige para os tecidos. O sangue é ajudado com o movimento dos peixes. Nos vertebrados terrestre a circulação pulmonar coloca o coração em comunicação com o tecido pulmonar, onde ocorre as trocas gasosas, e a circulação sistêmica, que transporta o sangue do coração ao restante do corpo e depois retorna ao coração. Assim, a parte direita do coração é atravessada por sangue pobre em oxigênio, este sangue vem bombeado nos capilares pulmonares. O lado esquerdo do coração

bombeia o sangue rico de oxigênio, que entra nos capilares e depois de ter sido oxigenado retorna ao coração e, em seguida, o sangue atravessa os capilares. Deste modo, a temperatura do corpo permanece constante. A passagem das brânquias para os pulmões foi uma inovação.

### Ciclóstomos

Os ciclóstomos possuem um sistema circulatório parcialmente aberto que é diferente de todos os outros vertebrados. Esses animais possuem, além de um coração branquial, corações acessórios, principalmente no sistema venoso. Os corações acessórios estão divididos em três grupos: coração porta que recebe sangue venoso da veia cardinal e do intestino e bombeia esse sangue para o fígado; os corações cardinais, que estão localizados nas veias cardinais e ajudam a impulsionar o sangue; e os corações caudais, que são expansões pareadas das veias caudais. O sangue é impulsionado no sistema arterial pela contração de elementos musculares existentes nas brânquias.

Nos corações caudais dos ciclóstomos há uma haste longitudinal de cartilagem que separa as duas câmaras e contrações alternadas bilaterais dos músculos fazem com que a haste seja flexionada. Quando os músculos de um lado se contraem, os do lado oposto produzem pressão para expulsar o sangue naquele lado. Simultaneamente, aumenta o volume do lado que está se contraindo, de modo que esta câmara é preenchida com sangue. Por meio de contrações alternadas, as duas câmaras são preenchidas e esvaziadas em fases opostas, enquanto um sistema adequado de válvulas garante um fluxo unidirecional.

### Peixes

O sistema circulatório dos peixes é do tipo simples e completo com um coração que possui duas câmaras, um átrio e um ventrículo e com uma câmara maior, o seio venoso, que ajuda a assegurar o fluxo sanguíneo contínuo para o coração. O sangue passa somente uma vez pelo coração e não ocorre mistura de sangue arterial com venoso no coração (Figura 1.4). O coração do teleósteo, no lado arterial tem uma parte muscular espessada localizada da aorta ventral, o bulbo venoso, assim como nos elasmobrânquios, que é o cone arterial, desenvolvido a partir do músculo cardíaco. O cone arterial é fibroso e possui válvulas que evitam o fluxo sanguíneo reverso para o interior do ventrículo. Isso é importante porque o coração dos elasmobrânquios fica dentro de uma câmara rígida, e pode produzir pressões negativas. Uma pressão negativa no coração favorece o enchimento por “sucção” do átrio a partir dos grandes seios venosos.

A pressão sanguínea, que é alta durante a contração ventricular, é transmitida para o bulbo arterial. O fluxo reverso do bulbo, quando o ventrículo relaxa, é evitado pelas válvulas, e a pressão alta continua no bulbo mesmo depois que o ventrículo começa a relaxar. O fluxo sanguíneo na aorta ventral é mantido durante o período diastólico, devido as propriedades elásticas do bulbo.

Durante a sístole, a diminuição do volume faz com que seja produzida uma pressão negativa na câmara rígida, isso devido à localização do coração do elasmobrânquio. Com o influxo sanguíneo, a pressão negativa não se torna excessiva, mas serve para encher o átrio. O átrio cheio contrai-se e impulsiona o sangue para o interior do ventrículo, que está vazio e relaxado; o refluxo para o interior do seio é impedido por válvulas.



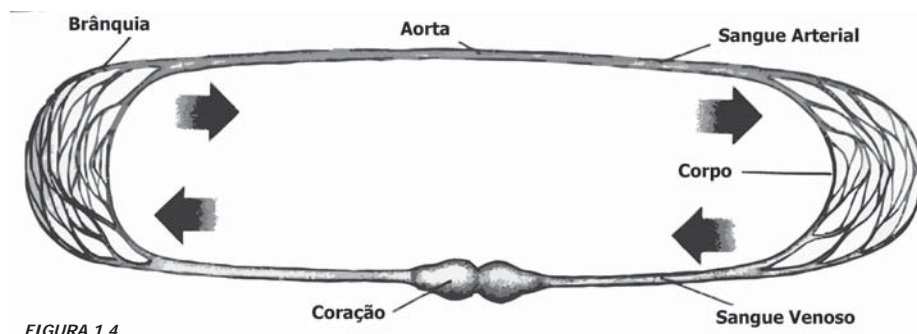


FIGURA 1.4

### Peixes pulmonados

Os peixes pulmonados, além das brânquias que sofreram degenerações, possuem pulmões como órgão respiratório e a presença dos pulmões nesses animais representa uma modificação evolutiva. O átrio é dividido em duas câmaras e o ventrículo é parcialmente dividido. O átrio direito recebe sangue da circulação geral e o esquerdo recebe o proveniente dos pulmões, o sangue menos oxigenado, do átrio direito, flui pelos arcos branquiais posteriores para a aorta dorsal e para os pulmões e o sangue oxigenado é direcionado para o interior dos dois primeiros arcos branquiais e suprir a cabeça com o sangue.

### Anfíbios

O coração desses animais é constituído por um ventrículo não dividido e dois átrios separados. Os anfíbios tem uma circulação sanguínea dupla incompleta, porque o sangue que é proveniente do átrio direito e do esquerdo se misturam, mesmo que em pouca quantidade (Figura 1.5). O átrio direito recebe sangue oxigenado dos pulmões e esquerdo recebe sangue venoso da circulação sistêmica geral. O sangue é oxigenado e passa para a circulação geral e o sangue pobre de oxigênio entra na circulação pulmonar.

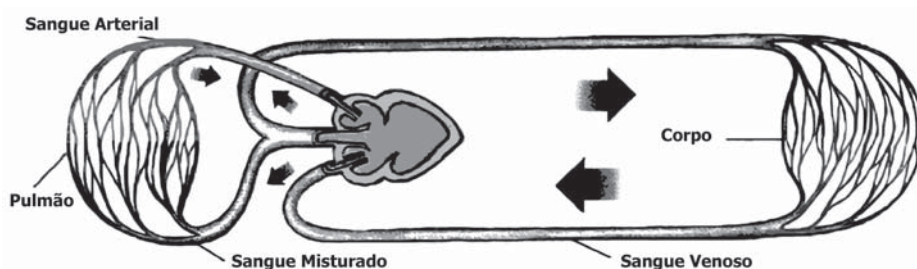


FIGURA 1.5

A pele do anfíbio é úmida e recebe ramificações provenientes da artéria pulmonar para captura de oxigênio. O sangue proveniente da pele de uma rã possui um alto teor de oxigênio, porém, quando o animal respira o sangue oxigenado mistura-se com o sangue venoso, mas a quantidade que se mistura é tão pouca que não é significativa. No interior do ventrículo as duas correntes que retornam ao coração permanecem praticamente separadas.

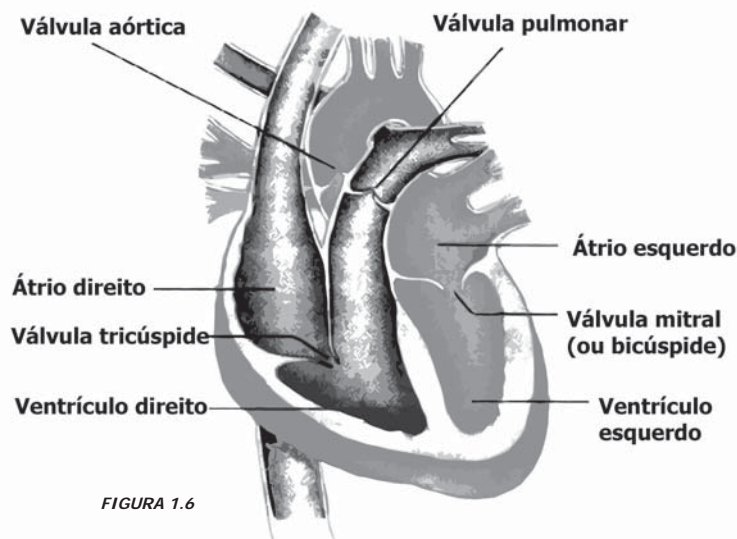
## Répteis

Os répteis não-crocodilianos possuem átrios completamente separados, mas o ventrículo é parcialmente dividido, e a mistura de sangue oxigenado e não oxigenado que ocorre é muito pouca.

O coração dos crocodilos é mais evoluído e possuem um ventrículo completamente dividido em duas partes como o dos mamíferos. O sangue oxigenado não se mistura mais com o venoso no ventrículo. A circulação parece perfeita, mas são sempre os dois arcos aórticos, um dos quais tem origem no ventrículo direito e o outro no esquerdo. Então, o sangue venoso vai em circulação através da aorta, porém nos crocodilos o arco esquerdo, no qual passa o sangue venoso, é mais estreito que o outro; e entre os dois arcos existe uma comunicação, o forâmen de Panizza, que permite ao sangue oxigenado de passar do arco direito para o esquerdo, e em circulação entra, principalmente, sangue oxigenado.

## Aves e mamíferos

Nas aves e mamíferos a circulação é dupla e completa com o coração, que tem dois átrios e dois ventrículos separados entre eles (Figura 1.6). Nas aves, o arco aórtico direito é mantido e nos mamíferos é mantido o esquerdo. Uma diferença de importância fisiológica é que os rins de todos os vertebrados não-mamíferos recebem sangue venoso da parte posterior do corpo (a circulação porta renal). As aves mantiveram esta circulação porta renal, porém, ela está ausente nos mamíferos.



A divisão do coração e a separação em circulações pulmonar e sistêmica completa tem como consequência uma diferença de pressão, pois a resistência no sistema pulmonar é muito menor que na circulação sistêmica e a pressão sanguínea na circulação pulmonar é somente uma pequena fração da pressão na parte sistêmica.

Nas aves e mamíferos não ocorre mistura de sangue arterial com venoso no coração, porque do lado direito passa somente sangue venoso e do lado esquerdo somente sangue arterial (ver Figura 1.7).

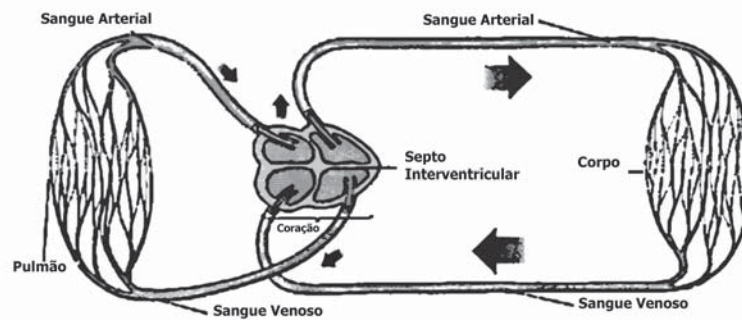


FIGURA 1.7



## CONTEÚDO 2 – SISTEMA CIRCULATÓRIO DOS VERTEBRADOS E DO HOMEM

A circulação sanguínea no ser humano e nos mamíferos é definida como dupla e completa, porque o coração apresenta uma completa separação entre parte direita e a esquerda, onde passam, respectivamente, sangue pobre de oxigênio e sangue oxigenado, que não se misturam entre eles porque as duas metades do coração funcionam autonomamente.

Os vertebrados, inclusive os seres humanos têm um sistema circulatório fechado chamado de cárdio-vascular, constituído de uma rede de vasos tubulares. O sangue é separado nos vasos do líquido intersticial. No sistema circulatório estão: as artérias que transportam o sangue do coração aos órgãos, as veias que levam o sangue ao coração, e os capilares, as menores unidades do sistema e é nas paredes onde ocorre as trocas de substâncias entre o sangue e os tecidos. Normalmente, as artérias transportam sangue rico em oxigênio, e as veias, sangue pobre de oxigênio. No entanto, as artérias pulmonares transportam sangue pobre de oxigênio do coração aos pulmões, e quatro veias pulmonares que levam o sangue oxigenado dos pulmões ao coração. O coração tem duas cavidades principais; o átrio que recebe sangue das veias, e o ventrículo que bombeia o sangue para as brânquias através das grossas artérias. As grandes artérias se ramificam em pequenos vasos que dão origem aos capilares.

A contração do coração dos mamíferos se origina no nó sinusal que é também conhecido como marca-passo do coração. A alternância das contrações e dos relaxamentos do coração constitui o ciclo cardíaco. Quando o coração relaxa durante a diástole o sangue flui dentro de todas as quatro cavidades (dois átrios e dois ventrículos). Através das veias cava o sangue entra no átrio direito e, através das veias pulmonares, o sangue entra no átrio esquerdo.

É durante a diástole que as válvulas atrioventriculares são abertas permitindo, assim, a passagem do sangue do átrio ao ventrículo, mas os ventrículos não se enchem completamente. Na fase de sístole, os átrios se contraem e os ventrículos se enchem completamente de sangue. Os ventrículos se contraem e as válvulas átrio-ventriculares fecham e se abrem as válvulas semilunares; o sangue pobre de oxigênio é ejetado para os pulmões, enquanto o rico de oxigênio se dirige para todo o corpo através da aorta.

O coração humano em repouso bate a uma frequência de aproximadamente 70 vezes por minuto. Uma frequência entre 60 e 100 batimentos por minuto é considerada fisiológica; uma frequência inferior a 60 bpm é chamada de bradicardia e acima de 100 bpm, em adulto, é definida taquicardia. No recém-nascido a frequência chega a 120 bpm, no feto é ainda superior e decresce do nascimento até a puberdade com o desenvolver do organismo. Durante o repouso, o coração

bombeia 5 litros de sangue em um minuto, mas durante exercício intenso o débito cardíaco pode aumentar até mais de 5 vezes. A pressão sanguínea depende também do volume de sangue por minuto que o ventrículo esquerdo bombeia na aorta e também da resistência ao fluxo sanguíneo nos vasos. Por isso, a pressão e a velocidade do sangue são maiores vizinho ao coração. A pressão média de uma pessoa é 120/80 (120=pressão em mm de mercúrio na sístole, e 70=pressão em mm de mercúrio na diástole).

O batimento cardíaco é feito por músculos cardíacos que formam as paredes dos átrios e dos ventrículos. Uma região especializada do tecido muscular cardíaco chamada de seno atrial (SA), ou pacemaker, mantém o ritmo de bombeamento do coração determinando a frequência com a qual ele se contrai.

Fibras musculares especializadas transmitem os impulsos do nodo atrioventricular (AV) aos músculos cardíacos dos ventrículos e dão origem às violentas contrações que empurram o sangue do coração aos pulmões (do ventrículo direito) e a aorta (do ventrículo esquerdo). O ritmo é dado pelo próprio coração. Algumas vezes, é necessário o pacemaker artificial. Eles emitem sinais elétricos que induzem uma contração regular da musculatura cardíaca. Todavia, também o sistema nervoso central exerce influência. No caso de um esforço, os centros cardiovasculares do nosso encéfalo enviam impulsos nervosos, seja ao nodo senoatrial que ao ventricular. O contrário ocorre quando se dorme ou quando é depressivo. Então o batimento diminui.

A função respiratória pode adaptar-se, até um certo limite, a uma particular condição ambiental ou necessidade do organismo. Quando em ambiente pobre de oxigênio, os animais desenvolvem adaptações no comportamentais ou fisiológicas com o objetivo de captar o gás.



### CONTEÚDO 3 – RESPIRAÇÃO CUTÂNEA, TRAQUEAL, BRANQUIAL E PULMONAR

A respiração é o processo pelo o qual os organismos absorvem o oxigênio e eliminam dióxido de carbono. A função da respiração é a de levar oxigênio às células que, através das reações da respiração celular, permite a produção de energia e através de tal processo, o organismo se libera do dióxido de carbono que deriva da respiração celular.

Os animais aquáticos captam o oxigênio que é dissolvido na água, os gases são solúveis em água e a solubilidade aumenta de acordo com a temperatura, e os animais terrestres captam o oxigênio em abundância no ar. Mas, com o aumento da altitude o desempenho físico dos seres humanos sofre redução por causa da falta de oxigênio, pois quanto maior a altitude menor será a pressão parcial de oxigênio. A 6.000m a pressão atmosférica é a metade daquela do nível do mar e a pressão do oxigênio passa, também, a ser a metade. Do ponto de vista fisiológico, os gases mais importantes são oxigênio, dióxido de carbono e o nitrogênio.

Para a maioria dos animais aquáticos, o principal estímulo à respiração é a falta de oxigênio. O efeito do dióxido de carbono nos invertebrados aquáticos nunca é pronunciado e pode até estar ausente. A tensão de dióxido de carbono na água natural é quase sempre baixa devido a alta solubilidade do dióxido de carbono na água, os animais aquáticos não têm como desenvolver uma alta tensão deste gás. Se esses animais dependessem de um aumento da tensão de dióxido de carbono para o estímulo respiratório, não seria possível assegurar um suprimento adequado de oxigênio. Os animais aquáticos não podem depender de algo tão pouco seguro como a concentração dióxido de carbono; quando a regulação desses animais é regulada em resposta à

concentração de oxigênio.

Os peixes, em geral, respondem a uma diminuição do teor de oxigênio, e a resposta às alterações no dióxido de carbono é mínima. Com relação a isso, eles se assemelham aos outros animais aquáticos que aos vertebrados de respiração aérea. De maneira geral, verifica-se que os animais de respiração aérea são muito mais sensíveis às alterações do dióxido do que às do oxigênio. Na maioria das vezes, os insetos são muito sensíveis ao dióxido de carbono.

A difusão é o processo físico responsável pelo movimento de oxigênio do meio externo para as células, é o processo pelo qual o oxigênio passa de uma zona onde é mais presente (precisamente, o ambiente externo onde tem uma pressão parcial maior) a uma zona onde a pressão parcial é menos abundante (o organismo o qual tem a pressão parcial inferior). A quantidade de gás que se difunde em uma unidade de tempo é proporcional à superfície de troca, em consequência, os organismos pluricelulares possuem estruturas respiratórias, geralmente, muito complexas, formas tais que permitem desenvolver ampla superfície no menor espaço possível, como as brânquias de muitos animais aquáticos, os pulmões dos mamíferos, os parabrônquios das aves. Nos vertebrados terrestres, os pulmões são complexos e o ar é trocado devido a movimentos da caixa torácica e do diafragma.

É quase sempre unidirecional o fluxo de água nos organismos aquáticos, porque o fluxo de água para dentro e para fora ou para frente e para trás, uma grande massa de água teria de ser acelerada e desacelerada e gastaria muita energia para as modificações na energia cinética da água. Os animais que possuem pulmões utilizam o ar atmosférico, eles não gastam muita energia com o fluxo para dentro e para fora. Porém, os animais de respiração aérea podem usar um fluxo unidirecional de ar. Além da massa do meio respiratório um outro fator que leva a o aumento de trabalho é a viscosidade. A água tem uma viscosidade maior que a do ar, por isto o trabalho para bombear o fluido aumenta. A difusão de oxigênio da respiração no ar tem uma alta velocidade. A rápida difusão permitem dimensões diferentes nos órgãos respiratórios, pois nos pulmões a distância para a difusão de um gás é maior que nas brânquias dos peixes.

Os órgãos respiratórios são três: brânquias, pulmões e traquéias. As brânquias são pouco adequadas à respiração aérea e somente poucos animais utilizam, dentre eles caranguejos terrestres que possuem brânquias rígidas e funcionais para a respiração aérea e peixes que captam oxigênio através da pele e das brânquias. Para os anfíbios, que têm pele úmida e vascularizada, as trocas de gases através da pele é muito importante. Os pulmões podem ser de difusão, encontrados nos animais pequenos tais como: caracóis e escorpiões; e de ventilação que são típicos dos vertebrados. As traquéias são órgãos respiratórios dos insetos onde ocorre as trocas gasosas por difusão ou por bombeamento ativo e unidirecional de ar.

## Respiração Cutânea

Nos anelídeos as trocas dos gases respiratórios ocorrem através da superfície cutânea, no caso dos poliquetas, anelídeos que vivem no mar, possuem expansões filamentosas as quais fazem com que as superfícies corpórea fiquem amplas. Os anelídeos possuem um pigmento respiratório, a hemoglobina, que circulando no sangue que escorre nos vasos do sistema circulatório, facilita a ligação do oxigênio e o transporte de gás a todo o organismo.

Para os anfíbios as trocas de gases através da pele é importante como no caso de pequenas



salamandras que não têm pulmões e a troca de gases respiratórios ocorrem por difusão entre a superfície do corpo e o sangue que passa através de vasos superficiais. Nas rãs, o oxigênio é capturado através da pele e dos pulmões, no inverno, quando a tomada de oxigênio é baixa, a pele desses animais transfere mais oxigênio que os pulmões. No verão, quando o consumo de oxigênio é alto, a tomada através dos pulmões aumenta diversas vezes e excede em muito a tomada cutânea. A respiração cutânea nos anfíbios é possível graças ao extrato de muco que deixa constantemente úmida a pele desses animais.

Ao contrário dos anfíbios, os répteis possuem uma pele quase impermeável, mas existem as serpentes marinhas que apesar do pulmão ser o principal órgão de trocas gasosas a pele também tem o seu papel na respiração, como no caso da *Pelamis platurus*, quando está submersa capta oxigênio através da pele.

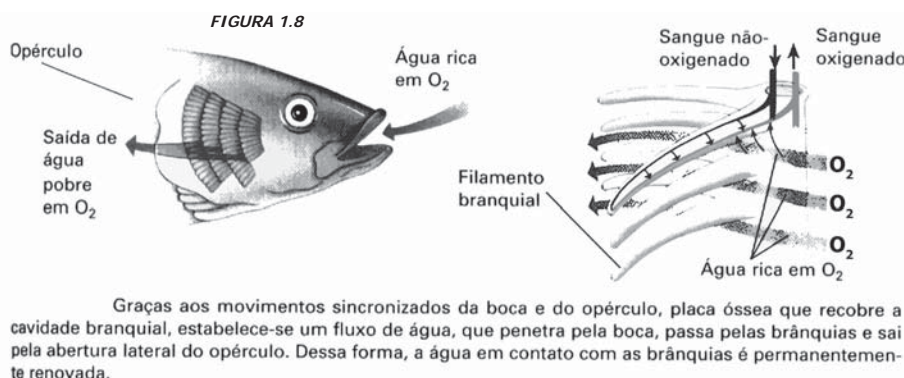
Os peixes recorrem à respiração aérea quando a quantidade de oxigênio na água é baixa. Existem peixes que utilizam a pele para a captação do oxigênio. A enguia, quando está fora da água, obtém dois terços do oxigênio através da pele e o mestre da lama (*Periophthalmus*) depende principalmente da respiração cutânea.

Muitos insetos aquáticos pequenos realizam as trocas gasosas por difusão através da cutícula que é relativamente fina, mas no interior do animal o transporte dos gases ocorre por meio do sistema traqueal.

## Respiração Branquial

Os processos respiratórios ocorrem a nível das brânquias em alguns insetos na fase larval, nas larvas dos de anfíbios, moluscos, crustáceos e peixes. Nos moluscos cefalopodes, bivalves e gastrópodes marinhos, o processo respiratório a nível dos órgãos branquiais especializados; nos gastrópodes pulmonados existe um tipo de pulmão que é um órgão estático, no qual a troca dos gases ocorre por difusão.

Nos crustáceos, as trocas de gases ocorrem nas brânquias que é uma estrutura de aspecto plumoso e ricamente vascularizada. Nesses animais, as brânquias são protegidas pelo cefalotorax. O sistema branquial nos peixes é sustentado pelos arcos branquiais, trata-se de uma estrutura cartilaginosa ou ossea. Os peixes utilizam o oxigênio dissolvido na água para respirar. O fluxo de água que entra pela boca passa através das brânquias, onde é filtrada; quando a água está nas brânquias o operculo é fechado para ela não sair; e é expulsa pelo movimento do operculo que se abri (Figura 1.8). Quando a água passa de uma parte para outra, da delicada película branquial, o oxigênio é absorvido no sangue e o dióxido de carbono é eliminado. As brânquias são irrigadas





por vasos sanguíneo pelos quais escorrem sangue que contém o pigmento respiratório que é a hemoglobina. Nas brânquias, cria-se um fluxo contracorrente de sangue e de água (doce ou marinha) que permite manter constante os gradientes dos gases respiratórios.

### Fluxo contra-corrente nos peixes

Nos peixes, as trocas gasosas ocorrem nas lamelas, provenientes dos filamentos branquiais. Na saída da lamela branquial o sangue encontra água com oxigênio que ainda não foi removido, e então dessa forma o sangue obtém o oxigênio dessa água inspirada, permitindo assim que o conteúdo de oxigênio do sangue atinja o nível mais alto possível. Durante todo o percurso da água, o oxigênio vai sendo liberado no sangue com o conteúdo baixo de oxigênio. As lamelas serve para captar oxigênio da água ao longo de sua extensão e a água pode deixar a brânquia tem perdido 80 a 90% de seu conteúdo inicial de oxigênio (Hazelhoff e Evenhuis 1952). Essa extração de oxigênio é considerada muito alto já que os mamíferos removem apenas um quarto do oxigênio presente no ar do pulmão antes que ele seja expirado.

À medida que o sangue flui através das lamelas branquiais obtém cada vez mais oxigênio cuja a tensão se aproxima com a da água que entra. Devido a remoção de grande parte do oxigênio, a água que sai tem uma tensão muito mais baixa que a do sangue que deixa a brânquia.

Os fluxos de água e sangue correm em direções opostas. O bombeamento de água sobre as brânquias precisa de energia, o fluxo contra-corrente, que leva a uma maior extração de oxigênio, também reduz o custo energético de bombeamento. Esse tipo de fluxo, ocorre, também, em alguns caranguejos; porém, com menor eficiência na remoção de oxigênio em relação aos peixes.

Alguns insetos que tem a fase larval na água respiram através de um sistema traqueal fechado, que se estende para o interior de apêndices abdominais com uma superfície grande e cutícula fina, esse eficiente sistema respiratório que permite a troca gasosa entre a água e o ar é também chamado de “brânquias”. Essas brânquias são encontradas, dentre outros, nas larvas de efemérides. Em algumas larvas de libélulas, encontram-se brânquias traqueais dentro da luz do reto e a ventilação ocorre devido ao movimento da água para dentro e para fora do animal.

Os anfíbios, como a rã e a salamandra, têm principalmente dois tipos de respiração. Quando são pequenos, no estágio larval, respiram através das brânquias que permitem de pegar oxigênio diretamente da água.

### **Respiração Traqueal**

O sistema respiratório dos insetos é composto por traquéias, são tubos especiais que se comunicam com a superfície do corpo através de pequenas aberturas denominadas espiráculos. O sistema dos tubos é muito complexo; eles se dividem por toda parte do corpo em tubos de calibre cada vez menores até chegar a traquéolas, ramificações mais finas. Nas traquéolas está presente o fluido circulante no qual o oxigênio se liga ao pigmento hemocianina. O ar penetra nas traquéias devido aos movimentos do corpo do animal. O sistema traqueal transporta oxigênio para os tecidos e o dióxido de carbono para o lado oposto. Através de mecanismo de fechamento e abertura dos espiráculos ocorre um controle das trocas entre o ar no sistema traqueal e a atmosfera.

Devido ao controle dos espiráculos os insetos não perdem água. Os espiráculos se abrem com maior frequência quando a temperatura é alta e quando a atividade aumenta e consequentemente a demanda de oxigênio, também, aumenta. Ao contrário dos vertebrados, o sangue dos insetos não tem função direta no transporte de oxigênio, porém a taxa de consumo de oxigênio de uma mariposa e um beija-flor durante o voo são semelhantes.

Nos insetos grandes e muito ativos, a difusão não é suficiente para as trocas gasosas, e o sistema de tubos, as traquéias, são ligados aos sacos aéreos, os quais, tornam-se necessários para a ventilação. Para que a ventilação ocorra é necessário a dilatação dos sacos aéreos que estão conectados com as traquéias maiores, porque quando esses sacos estão comprimidos o ar é expelido. A ventilação pode ser aumentada durante o voo devido as variações sincrônicas de pressão e movimentos. Mas, parece que o principal estímulo para a ventilação e a função dos espiráculos, é influenciada pelo dióxido de carbono e pela falta de oxigênio.

Uma pequena concentração de dióxido de carbono é suficiente para a abertura dos espiráculos, mas não necessariamente todos ao mesmo tempo, porque se uma pequena corrente desse gás for em direção a um determinado espiráculo apenas esse se abrirá, demonstrando, assim, que os espiráculos são independentes um do outro e cada um pode se abrir em diferentes momentos. Eles são controlados pelo sistema nervoso central e a abertura e o fechamento deles permitem o controle do fluxo do ar pelo sistema traqueal.

Em uma expiração, dos insetos, pode chegar a ser expelido até a metade da capacidade total do sistema, renovando, assim; cerca da metade do volume do sistema respiratório. Um mamífero, em repouso, uma única respiração renova o ar dentro do sistema em aproximadamente um décimo e quando em exercício a renovação é de no máximo dois terços.

Muitos insetos aquáticos possuem apenas os dois últimos espiráculos que funcionam e se abrem para o meio externo e realiza as trocas gasosas, enquanto o animal está na superfície da água. Mas existe pequenos insetos que possuem o sistema traqueal completamente fechado e as trocas gasosas ocorrem através da cutícula quando eles estão submersos.

## **Respiração Pulmonar**

Os peixes pulmonados africano, sul-americano e australiano são os mais estudados entre os peixes de respiração aérea. Além das brânquias, os peixes pulmonados possuem os pulmões, os quais contribuem para as trocas gasosas quando existe pouca água no meio onde esses animais se encontram. O peixe pulmonado africano e o sul-americano trocam uma boa parte do dióxido de carbono através do pulmão e uma boa parte de oxigênio é obtido (os sul-americanos captam uma grande parte do oxigênio através do pulmão).

Na escala evolutiva, os anfíbios representam os primeiros vertebrados que conquistaram a terra. Esse grupo de animal possui o pulmão em forma de saco, nos quais entra o ar que aumenta a superfície. Os pulmões fazem coligação com o nariz e a boca mediante a faringe, a traquéia e dois brônquios, mas grande parte da respiração é do tipo cutânea. As rãs e salamandras, quando se tornam adultas, respiram através dos pulmões, os quais possuem muitos vasos sanguíneos na superfície.

O enchimento pulmonar pode se dar com a utilização de bomba de pressão como nos anfíbios. Quando a rã pega o ar no interior da cavidade bucal ela infla os pulmões fechando a

boca e o nariz e pressionando o ar para dentro dos pulmões ao elevar o assoalho da boca. Com esse mecanismo de enchimento a rã pode pegar repetidos volumes de ar, em sequência, sem deixar o ar sair. Esse animal pode inflar-se até atingir um tamanho considerável. Mas, o enchimento pulmonar pode também se dar por uma bomba de sucção, como nos mamíferos, pássaros e no interior da cavidade bucal da maioria dos répteis.

O bombeamento positivo, semelhante ao mecanismo dos anfíbios, é encontrado em alguns répteis. Um lagarto do deserto do sudoeste da América do Norte, geralmente se esconde nas fendas de rochas e infla os pulmões e não pode ser retirado, porque ele fica firmemente alojado. Os índios, que caçam para comer, retiram o animal perfurando-o com uma vara pontiaguda.

Para que ocorra o enchimento pulmonar por uma bomba de sucção, o animal deve ter uma cavidade torácica fechada na pressão durante a inspiração seja menor que a pressão atmosférica. A contração do diafragma, nos mamíferos, auxilia na inspiração. As aves, também possuem diafragma membranoso preso às paredes do corpo por intermédio de músculos, mas a função é diferente daquela dos mamíferos.

Sabe-se que, em contraste com os anfíbios, os répteis possuem uma pele quase impermeável. A maioria dos répteis são terrestres e respiram com os pulmões. Mas, nos Testudines aquáticos, uma parte considerável das trocas gasosas é também através de outra parte do corpo, através da pele que o recobre. As serpentes marinhas verdadeiras, são excelentes nadadoras capazes de mergulhar a uma profundidade de até 20m. Quando *Pelamis platurus* fica submersa, consegue obter até 33% de oxigênio através da pele e excreta dióxido de carbono a uma proporção de mais de 94% do total. Apesar de o pulmão ser o principal órgão de trocas gasosas, nessas serpentes; a pele é fundamental na troca de gases, quando elas a busca de peixes para predar.

As aves possuem um pulmão formado de uma complexa sequência de tubos paralelos chamados de parabônquios. Esse pulmão particular está ligado a expansões em forma de sacos aéreos recobertos por uma fina membrana e espaços que seguem entre os órgãos internos e através das suas ramificações que penetram no interior dos ossos das extremidades e do crânio. Os ossos preenchidos de ar contribuem para as aves ficarem mais leves.

As aves e mamíferos que têm o mesmo tamanho, quando em repouso ou no vôo, consomem quantidades de oxigênio muito parecidas. Nas aves, durante a inspiração, o ar flui para os sacos aéreos; e na expiração o ar sai devido a pressão nos sacos que aumenta.

A presença dos sacos aéreos nas aves é uma das diferenças existentes nos órgãos respiratórios dos mamíferos e das aves. As ramificações mais finas dos brônquios dos mamíferos são os alvéolos e do sistema branquial das aves os parabônquios. Esses parabônquios permitem a passagem contínua de ar através do pulmão das aves.

Provavelmente, os sacos aéreos das aves funcionam como um fole para movimentar o ar para dentro e para fora. Durante a inspiração, o ar flui para dentro dos sacos, porém, não entra em todos os sacos. Na expiração aumenta a pressão nos sacos e o ar sai.

Experimentos feitos com avestruz pode seguir facilmente as alterações na composição dos gases, porque essa ave respira lentamente. No avestruz, o oxigênio puro, ao invés de ar, quando

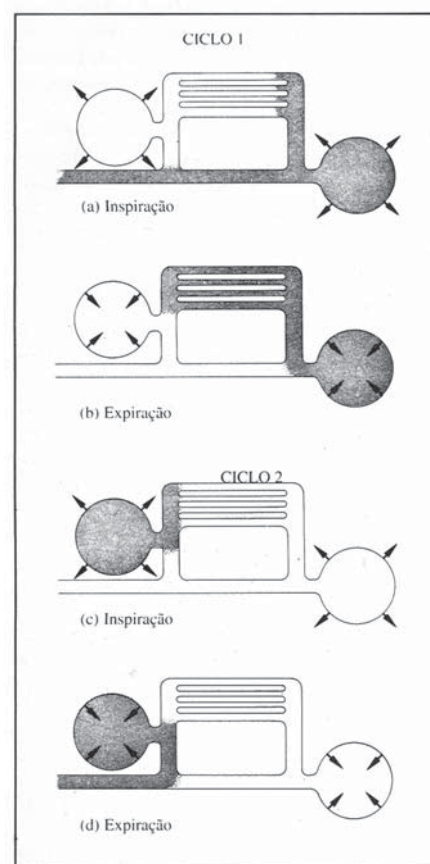
inalado em uma única respiração apresenta-se nos sacos aéreos caudais no final da respiração. Provavelmente o oxigênio inalado chega a esses sacos através dos brônquios principais. Nos sacos craniais não existe aumento de oxigênio durante a inalação de oxigênio, mas eles se expandem durante a inspiração, levando a crer que eles recebem ar por outro lugar. Somente no final da segunda inspiração, quando a ave pela segunda vez respira o ar comum, começa a aumentar o oxigênio dentro dos sacos craniais. Isso faz acreditar que o oxigênio estava em algum outro lugar do sistema respiratório, provavelmente, nos sacos caudais e passou através do pulmão para os sacos craniais.

Nos sacos aéreos, as concentrações dos gases são: 4% de dióxido de carbono nos sacos caudais e 6 e 7% nos sacos craniais; a depleção do oxigênio, em relação ao ar atmosférico e dá em quantidade semelhante, de 21% para, aproximadamente, 17%. As evidências indicam que os sacos craniais e caudais servem como uma câmara de armazenamento do ar proveniente do pulmão, que será exalado na próxima expiração.

O fluxo de ar também pode ser determinado pela colocação de sondas, sensíveis ao fluxo de ar nas diversas passagens. Experimentos com marrecos indicam os padrões de fluxo, ilustrado na Figura 1.9, que mostra como se dá o fluxo de uma única massa de ar.

Durante a inspiração (a), os sacos craniais se expandem, porém não recebem o ar externo inalado, porque a maior parte do ar flui para os sacos caudais. O ar que os sacos craniais recebem são provenientes do pulmão. Durante a expiração (b), o ar dos sacos caudais flui para o interior do pulmão através do brônquio principal. Na inspiração seguinte (c), o ar do pulmão flui para os sacos craniais. Na segunda expiração (d), o ar dos sacos craniais flui diretamente para o meio externo. São necessários dois ciclos respiratórios completos para movimentar uma única massa de gás através do sistema respiratório. Nesse exemplo ficou demonstrado que o ar sempre flui através do pulmão da direção posterior para a anterior e que durante a inspiração e a expiração o ar é movimentado através do pulmão.

Figura 1.9 O movimento de um volume unitário de gás inalado através do sistema respiratório das aves. São necessários dois ciclos respiratórios completos para movimentar o gás através de todo o sistema (Bretz e Schmidt-Nielsen, 1972).



Esse padrão de fluxo é semelhante ao fluxo de contra corrente observado nas brânquias dos peixes. Isso permite que o sangue oxigenado que está para sair do pulmão tenha uma tensão de oxigênio mais alta uma que a pressão parcial de oxigênio no ar expirado (ver Figura 1.10). O sangue que está para sair do pulmão encontra-se em troca com o ar que acabou de entrar, pois este ultimo vem dos sacos caudais com alta pressão de oxigênio. A medida que esse ar flui através do pulmão recebe dióxido de carbono e perde oxigênio. O ar entra em contato com sangue a uma baixa tensão de oxigênio fornecendo cada vez mais oxigênio para o sangue, durante todo o percurso. Com esse tipo de fluxo, o sangue pode ficar saturado de oxigênio, sendo ainda capaz de extrair oxigênio do ar pulmonar e liberar mais dióxido de carbono que no caso dos mamíferos.



Figura 1.10 Trocas gasosas no pulmão das aves. Este diagrama altamente simplificado representa o fluxo de sangue e de ar através do pulmão, cada um indicado por uma única corrente, com direções opostas de fluxo. Esse padrão de fluxo permite que o sangue oxigenado deixe o pulmão com a mais alta tensão de oxigênio possível (Schmidt-Nielsen, 1972).

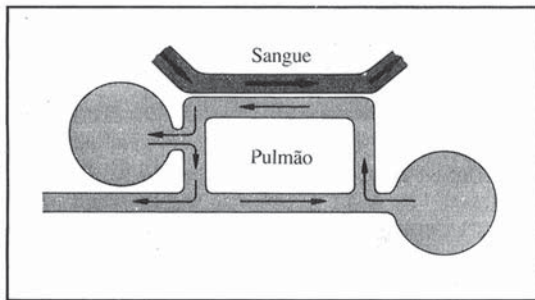
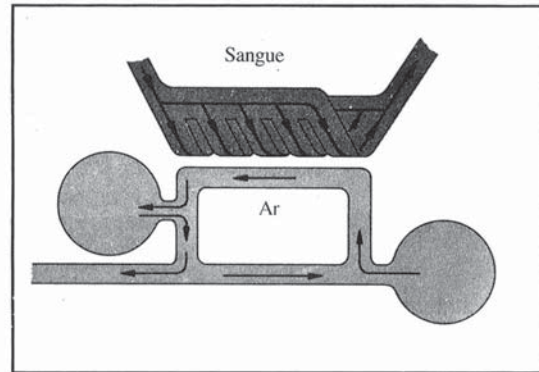


Figura 1.11 O sangue no pulmão das aves não flui em vasos sanguíneos paralelos, mas numa rede irregular e complexa. O diagrama simplificado abaixo mostra que o sangue que deixa o pulmão é uma mistura de sangue que flui de diferentes partes do pulmão e que tem diferentes graus de oxigenação. Esse padrão pode ser descrito como fluxo de corrente cruzada (Scheid e Piiper, 1972).



O fluxo de ar no pulmão das aves é muito mais um fluxo do tipo corrente cruzada (Figura 1.11), do que um sistema de troca contra corrente ideal. Apesar do sistema de corrente cruzada não ser tão efetivo quanto ao verdadeiro sistema contra-corrente em relação à obtenção do proveito máximo nas trocas gasosas.

Em grandes altitudes, a efetividade do fluxo unidirecional no pulmão das aves é muito importante. Experimentos com camundongos e pardais demonstraram que a 6.100m de altitude, os camundongos mal conseguiram rastejar, porém os pardais eram ainda capazes de voar (Tucker, 1968). Esses dois animais têm a mesma massa corpórea, a mesma afinidade pelo oxigênio e taxas metabólicas semelhantes. A explicação mais plausível, pois permite que o sangue remova oxigênio de um ar que tem uma concentração deste gás mais alta que a encontrada no sistema respiratório dos mamíferos. Além disso, por causa do fluxo unidirecional e contínuo através do



TABELA 2.1 Circulação e respiração em invertebrados vertebrados.

ANIMAL	Sistema circulatório	Órgão propulsor	Órgãos respiratórios	Trocas superfície respiratória/células
Platelmintos	-	-	-	Difusão direta
Anelídeos	Fechado com sangue	Arcos aórticos	Pele	Difusão direta
Insetos	Aberto com hemolinfa	Vaso dorsal contrátil com ostíolos	Traquéias	Difusão direta
Peixes cartilagineos	Fechado com sangue	Coração com 2 cavidades	Brânquias em cavidades com fendas individuais	Difusão indireta (hematose) com sistema contracorrente
Peixes ósseos	Fechado com sangue	Coração com 2 cavidades	Brânquias em cavidade comum protegida por opérculo	Difusão indireta (hematose) com sistema contracorrente
Anfíbios	Fechado com sangue	Coração com 3 cavidades	Pulmões em saco, pele e cavidade bucofaringica	Difusão indireta (hematose)
Répteis	Fechado com sangue	Coração com 3 cavidades	Pulmões com alvéolos	Difusão indireta (hematose)
Aves	Fechado com sangue	Coração com 4 cavidades	Pulmões compactos	Difusão indireta (hematose)
Mamíferos	Fechado com sangue	Coração com 4 cavidades	Pulmões muito alveolados	Difusão indireta (hematose)

pulmão, uma quantidade maior de oxigênio pode ser extraída do ar (Schmidt-Nielsen, 1996). Para compreender melhor o fluxo pulmonar das aves experimentos continuam sendo feitos por especialistas e, aves na natureza têm sido observadas no alto das montanhas do Himalaia, sobrevoando a altitudes nas quais alpinistas mal conseguem andar sem respirar oxigênio.



## As principais causas das doenças do coração no homem

### Hereditariedade

Pessoas com avós e pais ou irmãos que já sofreram um infarto têm 03 vezes mais probabilidade de ser vítimas de um ataque cardíaco.

### Hipertensão

O coração bombeia o sangue através das veias e das artérias gerando uma pressão conhecida como pressão arterial. Se tudo estiver funcionando bem, ela fica dentro de limites considerados normais, cujo ideal é uma máxima de 120 e mínima de 80. Mas, há uma série de problemas que elevam e mantêm a pressão arterial acima desses limites causando a hipertensão arterial, que é perniciosa à saúde do coração. Aferir a pressão arterial significa determinar o fluxo do sangue pelas artérias. A pressão é máxima quando o músculo cardíaco se contrai e bombeia sangue para o resto do organismo. É mínima entre um batimento e outro, no momento em que o coração relaxa. Na pressão alta, o sangue está circulando com uma velocidade e uma força além das recomendáveis. Isso causa danos, porque as paredes arteriais submetidas a um impacto muito grande sofrem uma erosão, que resulta na formação de sulcos abrindo caminho para depósito de gorduras. A hipertensão também pode romper uma artéria - a isso se dá o nome de Derrame. Os hipertensos brasileiros somam cerca de 18 milhões de pessoas. Um terço não sabe que está doente e outro terço sabe, mas não se trata. Vale salientar que a hipertensão tem um forte componente hereditário. O consumo exagerado de sal é um dos principais fatores de risco da hipertensão. O perigo aumenta, porque poucos sabem que existe o “sal invisível”, aquele que já está contido, naturalmente, em muitos alimentos.

### Sedentarismo

Uma excelente opção para aliviar o risco de formação de placas gordurosas nas artérias é a prática de exercícios físicos. O indivíduo sedentário tem 40% (quarenta por cento) mais de probabilidade de sofrer infarto, porque a falta de exercício constitui um grande risco para o de-



envolvimento de doenças coronárias. A inatividade física também está associada a 35% (trinta e cinco por cento) das doenças cardiovasculares fatais. Concorre, ainda, para o desenvolvimento da obesidade e do diabetes. Além de saudável, está provado que as pessoas que já sofreram de problemas cardiovasculares e adicionaram à sua rotina algum tipo de exercício, tiveram maiores chances de sobrevivência. A explicação fisiológica é que o coração é um músculo e, como tal, precisa de exercícios freqüentes para se manter fortalecido. Além do que, quando o coração bombeia o sangue com maior rapidez pelo corpo, os vasos sangüíneos se dilatam para acomodar o fluxo adicional. O resultado é uma diminuição da pressão em todo o sistema cardiovascular.

### Colesterol Alto

O colesterol é um dos compostos mais importantes para o organismo e essencial para o funcionamento do coração. É uma lipoproteína que serve de matéria prima na produção e síntese de hormônios e vitamina D e na composição da membrana das células. O fígado é o responsável pela produção do colesterol, mas uma boa parte da gordura provém de alimentos gordurosos. Em excesso, o colesterol é um dos fatores que leva à ocorrência do infarto e derrame. Forma depósitos espessos denominados placas nas paredes das artérias dificultando a circulação.

### **As principais gordura do sangue são:**

**HDL** - partículas de colesterol que promovem a saúde. Ajuda a “varrer” o colesterol mal do interior das artérias. Funciona como uma espécie de desentupidor recolhendo as gorduras grudadas nas paredes arteriais e as despeja no fígado onde são emulsionadas e eliminadas.

**LDL** - são partículas que prejudicam a saúde. Passam por reações químicas que facilitam a deposição de células que se acumulam nas paredes dos vasos. É um processo silencioso que só é descoberto pelo exame do sangue.

**LIPOPROTEÍNA** - nos últimos anos, os pesquisadores identificaram uma outra forma de ácido graxo que pode ser chamado de colesterol ruim 2. Denominada de lipoproteína (a) ela se comporta como o LDL no organismo. Os níveis de lipoproteína (a) dependem mais do genes do que da dieta, por isso são difíceis de controlar. Quando em excesso acelera o endurecimento das paredes das artérias.

**TRIGLICERÍDIOS** - são um tipo de gordura que predis põem a camada interna das artérias à penetração do colesterol.

## Tabagismo

O tabagismo é responsável por um a cada seis óbitos. A frequência cardíaca e a pressão arterial se elevam durante o ato de fumar. Os fumantes têm maiores possibilidade de apresentar doenças cardiovasculares, trombose coronária, ataque cardíaco e problemas circulatórios. Os indivíduos que fumam mais de uma carteira por dia têm risco 5 vezes maior de morte súbita do que o não fumante. A conclusão de estudos - realizados pela Associação Cardíaca Britânica e assinada pelo cardiologista Rory Collins, professor da Universidade de Oxford, - é que o cigarro é responsável por 80% de ataques cardíacos em pessoas com mais de 50 anos.

## Obesidade

É considerado um fator indiscutível do encurtamento de vida. O obeso é duas vezes mais propenso a ter uma doença do coração, como o infarto do miocárdio, além de favorecer o aparecimento do diabetes e da aterosclerose ou arterosclerose

## Diabetes

É caracterizado pela incapacidade, total ou parcial, do pâncreas de produzir insulina. Esta serve de chave para a glicose, principal fonte de energia do organismo. O excesso de glicose parede das artérias e facilita o depósito de gordura nos vasos sanguíneos no sangue escava a

## Stress

É um fator que duplica a possibilidade de ocorrência de algum distúrbio cardiovascular. A tensão e a ansiedade intensificam a produção de substâncias que danificam as artérias.

## **Cardiopatias - são doenças cardiovasculares (doenças do coração)**

### **AS PRINCIPAIS CARDIOPATIAS SÃO**

## Infarto

O infarto agudo do miocárdio (IAM) é causado pelo comprometimento da circulação coronária com oclusão total de uma ou mais artérias coronárias, provocando a necrose do tecido miocárdico por ela irrigado.

### Isquemia

Quando o miocárdio deixa de receber o oxigênio adequadamente, aquela área desoxigenada fica isquêmica. O fluxo sanguíneo fica moderadamente reduzido para as áreas de transição entre os tecidos de perfusão normal e o núcleo central gravemente isquêmico. A isquemia difere do infarto que é acarretado pela falta de oxigênio permanente e as células morrem.

### Aterosclerose

É outra doença que atinge os vasos sanguíneos. Não trazem danos imediatos ao coração.

Consiste numa progressiva diminuição da elasticidade das paredes das artérias, endurecendo-as, o que serve de obstáculo ao fluxo normal do sangue. Isso obriga o músculo cardíaco a um trabalho excessivo. Ocorre, principalmente, em pessoas de idade avançada e vai se agravando com o passar do tempo.

A doença aterosclerótica leve, em geral, é assintomática. Quando a lesão em crescimento restringe à luz do vaso, diminuindo o fluxo de sangue, pode levar à isquemia do tecido irrigado pelo mesmo. Os sintomas dependem do órgão afetado e do grau de obstrução. Os agentes responsáveis pela aterosclerose são múltiplos, envolvendo fatores de risco tais como: a dislipidemia (que é a elevação dos níveis de triglicérides, ou triglicerídios, e de colesterol), a obesidade, o tabagismo, antecedentes familiares, diabetes e stress.

### Doença de Chagas

A doença de Chagas - cardiopatia chagásica - é causada por um protozoário - o *TRYPANOSOMA CRUZI* - que é inoculado no ser humano por um inseto conhecido, popularmente, por barbeiro ou chupão. Esses insetos são encontrados nas áreas rurais, em habitações pobres cobertas de palha ou em casas de parede de barro onde vivem ocultos e depositam ovos. À noite saem do esconderijo, ocasião em que atacam o homem picando a face. A infecção invade vasos e tecidos, particularmente o coração, com aumento do músculo cardíaco (cardiomegalia). A doença pode ser transmitida por transfusão de sangue e por via placentária para os recém nascidos.

### Febre Reumática

A febre reumática é ocasionada pela infecção das amígdalas pelo *Streptococcus Beta Hemolítico do Grupo A* de Lancefield. Muitas vezes destrói as válvulas do coração, levando à morte ou a incapacidade física. A infecção também pode ser pela pele.

### Doenças Congênitas

Nas crianças, os distúrbios circulatórios mais graves são determinados por más formações congênitas do coração. Podem consistir na presença de comunicações entre as metades direita e

esquerda do coração, com conseqüente mistura de sangue “limpo” (rico em oxigênio) com o sangue “sujo” (pobre em oxigênio). Ou, ainda, no estreitamento de uma das grandes artérias - a aorta e a pulmonar - que partem do coração. Quando o caso é mais grave e não há uma cirurgia reparadora, essas más formações podem ser incompatíveis com a sobrevivência do recém-nascido.

[www.orbita.starrmedia.com](http://www.orbita.starrmedia.com)



## Atividade Complementar

**1.** Nos vertebrados, a circulação é fechada; mas, muitos invertebrados têm sistemas circulatórios abertos. Faça uma distinção entre esses sistemas circulatórios.

---

---

---

---

---

**2.** Os crustáceos, ao contrário dos peixes, possuem sistema circulatório aberto, mas têm brânquias e uma circulação bem definida. Qual a diferença fundamental na circulação de uma lagosta e um peixe? E por quê?

---

---

---

---

---

**3.** Compare os sistemas circulatórios dos anfíbios e dos répteis quanto às características fisiológicas, e diferencie répteis não-crocodilianos dos crocodilos quanto à circulação.

---

---

---

---

---

**4.** Nas aves e mamíferos, a circulação é dupla e completa, mas existem diferenças entre a circulação nas aves e mamíferos de importância na anatomia comparativa e da fisiologia. Quais são essas diferenças?

**5.** Conceitue sístole e diástole.

---

---

---

---

---

**6.** Qual a principal função da respiração? E quais os órgãos respiratórios?

---

---

---

---

---

**7.** Qual a relação entre altitude, oxigênio e seres humanos?

---

---

---

---

---

**8.** Como os animais aquáticos captam oxigênio? E como se cria o fluxo contra-corrente nas brânquias?

---

---

---

---

---

**9.** Qual a função do sistema traqueal em insetos? E qual o papel dos espiráculos no sistema traqueal?

---

---

---

---

---

**10.** A captura de oxigênio nas rãs é feita através da pele e dos pulmões. Mas, os papéis relativos da pele e dos pulmões mudam durante o ano. Como ocorrem essas mudanças?

---

---

---

---

---

---



## TEMA 02

# DIGESTÃO E EXCREÇÃO



## CONTEÚDO I

# INGESTÃO DO ALIMENTO

A duração e a qualidade da vida dependem muito da ingestão e utilização de nutrientes. O nosso corpo está sempre em uma contínua e rápida renovação, mas, para isso, é necessário “material de construção”: aminoácidos, ácidos graxos, sais minerais, vitaminas, que devem ser fornecidos em quantidade e qualidade adequada. Se isso não acontece, a reconstrução dos tecidos não será devidamente correta, com carências que levam à doenças degenerativas ou a graves distúrbios metabólicos.

Uma alimentação boa ou ruim faz a diferença entre o estado de saúde e de doença. A ingestão de alimento, a sua digestão e os processos de assimilação são as atividades mais importantes para a nossa saúde e de diversos animais, a exemplo de copépodes *Calanus helgolandicus* que diminuem a capacidade de reprodução a medida que esses animais se alimentam com alga diatomácea *Skeletonema costatum*. Os embriões dos copépodes *Calanus helgolandicus* apresentam deformações, e muitos não chegam ao estágio de larva ou se desenvolvem em larvas deformadas. Para investigar com rapidez e detectar o negativo impacto de diatomáceas sobre os embriões de *Calanus helgolandicus* foram utilizados três colorantes e microscópio confocal. Células com metabolismo inativo, embriões mortos, que estavam em grande números, não eram fluorescente quando colorados com dois dos colorantes utilizados (Do Espírito Santo M. e Buttino 2003; Buttino et al 2004).

Os alimentos são importantes na produção de energia, que é necessária para a manutenção e a reprodução dos animais, mas a ingestão dos alimentos varia muito de espécie para espécie com diversos métodos para a obtenção dos mesmos, que vai desde a absorção de pequenas partículas até a captura e engolição de presas. A origem dos alimentos que os animais ingerem podem ser diretamente do vegetal, animal ou de fontes inorgânicas, porém os compostos orgânicos que são derivados das plantas, ou a energia química contida nos alimentos, que os animais necessitam, é em última análise, derivado do sol. Invertebrados que vivem no fundo mar se utilizam de características químicas das águas ricas em minerais e delas derivam o alimento, sendo, assim, mais um exemplo de que a vida animal depende da energia solar.

As proteínas, carboidratos e gorduras são a parte principal da matéria orgânica utilizadas



como alimento. Os principais produtos da digestão destes compostos são os aminoácidos açúcares simples e ácidos graxos de cadeia longa. A oxidação desses produtos digestivos produz quase toda a energia química necessária ao organismo.

As proteínas são fundamentais para os animais e durante todo o desenvolvimento deles, ela é sintetizada e adicionada, e quando adulto a quantidade é mantida. Esse suprimento de proteína deve continuar por toda a vida, porque independente do organismo está na fase de crescimento ou completamente desenvolvido a dieta de proteínas deve ser suficiente para que a desnutrição grave não ocorra.

As proteínas servem como componentes estruturais dos tecidos e como enzimas. Elas podem ser, também, utilizadas como fonte de energia após serem degradadas em aminoácidos. Porém as gorduras fornecem mais do que o dobro de energia que fornecem os carboidratos e as proteínas. As moléculas gordurosas, ou lipídeos, incluem ácidos graxos, monoglicerídeos, triglicerídeos, esteróis e fosfolipídeos. A gordura é estocada por animais como reserva para períodos de deficiência calórica, como na hibernação que a energia gasta excede a ingestão de energia.

O cérebro humano é um exemplo da necessidade de carboidrato (glicose) e os outros órgãos fazem uso de ácidos graxos, que é o principal combustível do metabolismo muscular dos mamíferos. Porém, os músculos do vôo da mosca de fruta, *Drosophila*, requerem carboidrato e, na ausência dele, a mosca não consegue voar, mesmo tendo gordura armazenada. Porém, a gordura armazenada é utilizada para outros processos que necessitam de energia (Wigglesworth, 1949). Alguns animais precisam de glicose para voar, mas o gafanhoto migratório usa a gordura para seus longos vôos.

O estado de equilíbrio de um animal se dá quando ele ingere alimento que cobre o total do gasto energético. Mas, quando a quantidade de alimento for insuficiente, será consumida substâncias corpóreas, como as gorduras armazenadas. A maioria dos animais armazenam o excesso do que é consumido em forma de gordura, e isso ocorre quando se ingere alimento além da energia utilizada.

Os animais são heterotróficos, precisam de alimento orgânico pré-existente, além de água e sais minerais. As substâncias orgânicas necessárias são em primeiro lugar as proteínas, os lipídeos e glucídeos; também as vitaminas são indispensáveis, mesmo que sendo em mínima quantidade.

## **Métodos de ingestão de alimentos**

Pequenas partículas, como as bactérias e algas, podem ser absorvidas através da superfície corpórea de alguns protozoários e invertebrados aquáticos, a exemplo das amebas e radiolários, que formam vacúolos digestivos. Os cílios são utilizados pelos ciliados, esponjas, bivalves e girinos para captura do alimento. Gastrópodos e tunicados possuem um muco que é utilizado como armadilha para a captura de pequenas partículas que ficam em suspensão e, após a captura, o muco é ingerido e o que foi capturado é digerido.

Os pepinos-do-mar, que vivem com o corpo dentro da lama, capturam alimento com os tentáculos que eles deixam acima da superfície, mas após envolverem as finas partículas os tentáculos se dirigem para dentro da boca do animal e a substância digerível é transportada.

A ingestão por filtração é um método de alimentação utilizado por muitos animais aquáticos e é também conhecida como ingestão de alimentos por suspensão. Os animais que utilizam

esse método são, geralmente, sésseis e pequenos que se alimentam de zooplâncton ou fitoplâncton, a exemplo dos branquiópodes, esponjas, tunicados e lamelibrânquios. Os branquiópodes com a rotação sobre os pés cria uma orientação hidrodinâmica e assim a captura da corrente de água é efetuada.

Muitos animais sésseis que vivem em águas movimentadas utilizam o efeito Bernoulli, para aumentar a quantidade de água, que flui através dos locais de captura, sem gasto de energia para o animal. Um exemplo de animal que a ingestão de alimentos é por filtração passiva é a esponja. Devido ao fluxo de água através da grande abertura terminal das esponjas ocorre queda na pressão da parte externa do ósculo, por isso a água sai do animal pelo ósculo e entra na parede corpórea através de vários óstios (que são aberturas semelhantes a bocas). A água flui com maior velocidade para fora do ósculo do que entra pelo óstio. Os coanócitos são células flageladas que estão localizadas na superfície interna da cavidade corpórea e são eles que englobam as partículas alimentares que entram junto com a água nas esponjas.

Os moluscos têm dois modos diferentes de alimentar-se: alimentação erbívora ou predatória e o consumo de suspensão. Os moluscos apresentam uma característica única, utilizada seja pelos herbívoros que pelos predadores: a rádula. Trata-se de uma fita de dentes quitinoso e recurvados. Os dentes podem ser simples, penteados ou modificados. A função da rádula é de rasgar e remover partículas do alimento antes da ingestão.

São poucos os vertebrados que utilizam a filtração para obter alimento, mas muitos peixes pelágicos comem plâncton como no caso do arenque e da cavallinha, que possuem brânquias as quais funcionam como uma peneira que capturam pequenos crustáceos. As placas das barbatanas, das baleias de barbatanas, que são os maiores animais que se alimentam por filtração, tem uma franja que está localizada na mandíbula e que serve como peneira quando as mandíbulas estão fechadas, após a baleia capturar grande quantidade de animais suspensos e na água. Com a ajuda da língua, a água passa através das peneiras das barbatanas e os crustáceos que ficam dentro da boca são engolidos.

Os flamingos são exemplos de pássaros que se alimentam de plâncton e usam a filtração como método de alimentação. Tanto a baleia de barbatanas como o flamingo enchem a cavidade bucal com água e usam a língua para empurrar a água através dos filtros e retendo, assim, o alimento.

A ingestão de líquidos é feita por animais especializados, com uma variedade de estruturas e mecanismos, entre eles o de sucção e perfuração. O leite materno é o alimento exclusivo dos mamíferos no início de suas vidas e algumas aves, a exemplo dos pombos, alimentam os filhotes com uma secreção semelhante ao leite. O leite do papo, como é chamado o leite dos pombos, é estimulado pelo mesmo hormônio que estimula as glândulas mamárias dos mamíferos a produzir leite, que é a prolactina.

O pingüim imperador consegue alimentar os filhotes com o “leite” que é secretado pelo esôfago. E além do mais, o conteúdo de gordura e proteínas, no leite do pingüim e do pombo é semelhante a composição ao leite dos mamíferos( apesar de o leite de muitos mamíferos ter um conteúdo muito maior de carboidrato).

As medusas são animais predadores de outros invertebrados e pequenos peixes. Para capturar a suas presas usam os tentáculos, armados de células especializadas chamadas de cnidócitos que, se estimuladas, lançam uma substância urticante.

Os insetos que sugam, geralmente, possuem peças bucais na forma de probóscide e fre-

quentemente as duas maxilas formam dois canais por onde passa a ponta da probólide. O canal dorsal transporta o sangue ou a seiva que foram sugados do hospedeiro e o outro é o canal ventral que passa a saliva, contendo anticoagulante ou enzimas, das glândulas salivares para o hospedeiro.

O néctar das flores é um alimento para os insetos e eles fazem a polinização enquanto se movem de uma flor para outra sugando o néctar, havendo assim um mútuo benefício. Mas, existem os insetos parasitas que alimentam-se de seiva das plantas e outros do sangue de animais, como os pernilongos, pulgas e percevejos, que podem ser vetores de doenças. Além dos insetos que se alimentam de sangue, existe entre os anelídeos as sanguessugas, que também se alimentam de sangue. A saliva deste anelídeo contém um anticoagulante que serve para impedir a coagulação do sangue das suas presas. O anticoagulante dos sanguessugas foram isolados quimicamente e é utilizado em clínicas e o próprio animal é usado após certas cirurgias para reduzir o inchaços pela remoção de líquido extracelular.

As aranhas perfuram as suas presas, os insetos, com as mandíbulas para obter o alimento. A quitina que recobre os insetos é rígida e, para rompê-las, as aranhas utilizam as mandíbulas que perfuram e injetam no interior do corpo dos animais sucos digestivos que liquefazem os tecidos. Em seguida, o conteúdo do inseto é totalmente sugado pela aranha.

Alguns vertebrados e muitos invertebrados cortam a parede corpórea das presas e se alimentam do líquido que sai do corpo devido ao corte. Os morcegos vampiros fazem perfurações no gado com os dentes e lambe o sangue que escorre devido ao ferimento. O hospedeiro que é mordido pelo morcego não sente dor, porque na saliva deste animal contém analgésico, além de um anticoagulante.

Métodos mecânicos, como a mastigação e raspagem, são muito utilizados por animais invertebrados e vertebrados para a obtenção de alimentos, geralmente, de origem vegetal. Alguns animais carnívoros capturam a presa e antes de engolir as mastigam, cortam ou rasga, mas existem outros grupos que engolem as presas inteira.

Os nematocistos são células urticantes de celenterados que se concentram sobre os tentáculos e paralisam as presas com as toxinas que nelas são injetadas, e enquanto as presas estão imobilizadas os tentáculos as transferem para boca. Muitos nemertinos injetam veneno nas presas através de uma probólide que parece com um estilete. Mas, além dos nemertinos, outros animais como os moluscos gastrópodes, anelídeos, e uma grande variedade de artrópodes também utilizam veneno para capturar das suas presas.

Os animais que são bem conhecidos pela sua estratégia de captura do alimento através do veneno são: as aranhas e os escorpiões. Esses artrópodes produzem toxinas que são, geralmente, substâncias químicas altamente específicas que se ligam a determinados tipos de receptores. Depois que o escorpião agarra a sua presa com as quelas (orgão semelhante a pinças), ele arca a cauda e penetra o ferrão na presa para injetar veneno, que contém neurotoxinas. As aranhas também produzem um veneno com neurotoxinas. A viúva-negra é uma aranha que tem um veneno com uma substância que induz a liberação total de neurotransmissor na placa motora do músculo. O veneno de várias espécies de cascavel contém substâncias hemolíticas.

Geralmente, os animais que utilizam toxinas para capturar as presas usam somente a dose necessária durante uma mordida ou ferroadada, porque o custo de energia para a produção é alta. As toxinas são altamente eficazes para capturar as presas, mas precisam ser cuidadosamente estocada para evitar auto-envenenamento. Quanto à ingestão da presa envenenada, não é um proble-

ma para o predador, porque, geralmente, essas toxinas são proteínas que se tornam inofensivas por causa da ação das enzimas proteolíticas do sistema digestório do predador.



**TABELA 2.1** Métodos utilizados por animais para a obtenção de alimentos.

<b>Tipo de alimento</b>	<b>Método de alimentação</b>	<b>Animais que utilizam o método</b>
<b>Pequenas partículas</b>	Formação de vacúolos digestivos	Amebas, radiolários
	Uso de cílios	Ciliados, esponjas, bivalves, girinos
	Formação de armadilhas mucosas	Gastropodes, tunicados
	Uso de tentáculos	Pepinos-do-mar
	Uso de cerdas, filtração	Pequenos crustáceos (p. ex., Daphnia), arenque, baleias, flamingos, procelárias
<b>Grandes partículas ou massas</b>	Ingestão de massas inativas	Animais que se alimentam de detritos, minhocas
	Raspagem, mastigação, perfuração	Ouriços-do-mar, caracóis, insetos, vertebrados
	Captura e engolição da presa	Celenterados, peixes, cobras, aves, morcegos
<b>Fluidos ou tecidos moles</b>	Sucção da seiva de plantas, néctar	Pulgões, abelhas, beija-flores
	Ingestão de sangue	Sanguessugas, carrapatos, insetos, morcegos vampiros
<b>Matéria orgânica dissolvida Suplemento simbiótico de nutrientes</b>	Sucção de leite ou secreção semelhante ao leite	Jovens mamíferos, filhotes de aves
	Digestão interna	Aranhas
	Tomada através da superfície corpórea	Parasitas, tênias
	Tomadas de solutos diluídos	Invertebrados aquáticos
	Ação de algas simbióticas intracelulares	Paramécios, esponjas, corais, hidras, platelmintos, moluscos



## CONTEÚDO II

## DIGESTÃO

O sistema digestivo ou sistema digestório, em animais mais complexos é composto por uma série de órgãos que estão interligados formando um tubo que se estende desde a boca até o ânus. Mas, no caso dos celenterados, por exemplo, eles possuem um tubo ou uma cavidade cega, o celenteroma, que tem somente uma abertura que serve como “boca” e “ânus”, ou seja, o alimento entra por esta abertura e pelo mesmo local é expulso o resíduo não digerido.

A digestão é o resultado de transformações físico-químicas que os alimentos passam no sistema digestivo, através do qual ocorre a assimilação de substâncias no alimento ingerido. A digestão pode ser intracelular e extracelular; a intracelular é, normalmente, nos unicelulares e a extracelular, que é realizada por sistemas alimentares verdadeiros, em animais multicelulares mais complexos.

Os alimentos são constituídos por moléculas muito grandes para serem absorvidas diretamente pelo intestino e, por este motivo, são transformadas. As fases da digestão são mecânica e química. A mecânica consiste de todos os movimentos de misturar, triturar, engolir e transportar o alimento. A fase química consiste em várias reações químicas através das quais se obtém a transformação do alimento em substâncias absorvíveis. As reações químicas ocorrem por meio da água e são assim chamadas de hidrólise. O processo de hidrólise consiste na quebra de várias moléculas presentes nos alimentos em moléculas menores com a captação de água. Tal quebra é muito lenta e então é necessário a intervenção de catalisadores que acelerem a reação espontânea que é a hidrólise. Os catalisadores que são produzidos pelos organismos vivos são chamados de enzimas, as quais são essenciais para os processos digestivos.

### **Digestão intracelular**

A digestão intracelular é feita com partículas pequenas através de membranas plasmática de organismos unicelulares, porque eles não possuem um sistema digestivo. Nos protozoários, organismos unicelulares, a digestão acontece do lado externo da célula em cavidade chamada de do vacúolo digestivo, onde as enzimas são secretadas para auxiliar no processo digestivo das proteínas, lipídios e carboidratos. Este tipo de digestão intracelular ocorre de forma semelhante nas esponjas, celenterados, ctenóforos e turbelários. Os fenômenos digestivos são chamados de fagocitose e endocitose. Na medusa, a digestão dos alimentos é em parte a nível extracelular e em parte a nível intracelular. Nos metazoários, a digestão é uma determinada região do intestino, sendo, ainda uma digestão intracelular prevalentemente nos invertebrados, mas nos organismos mais evoluídos é extracelular.

### **Digestão extracelular**

A digestão extracelular ocorre fora da célula dos diversos seres hetertróficos, em sistemas digestivos, geralmente bem desenvolvido, que permitem a ingestão de grandes pedaços de alimento e a ação das enzimas sobre eles ao longo do trato digestivo que pode ser formado por uma abertura, a exemplo dos celenterados, ofiuróides e platelmintos, local que serve de entrada para o alimento e de saída para as substância não digeridas.

Nos animais mais complexos, o sistema digestivo tem a forma de um tubo com duas aberturas: uma para a introdução do alimento e outra para a eliminação do material não digerido. O alimento é ingerido pela boca e, na sua passagem pelo trato digestivo, sofre a ação de uma série de enzimas digestivas; os produtos solúveis da digestão são absorvidos e, no final, o material não digerido é expelido pelo ânus.

No invertebrados mais simples, a exemplo da hidra, uma cavidade gastrovascular tem a função tanto digestiva quanto circulatória. Um outro exemplo de animal com cavidade gastrovascular, é um verme, a plânaria. A cavidade desse verme serve para a digestão e ao mesmo tempo para transportar o alimento por todo o corpo. A digestão extracelular, nas plânarias, auxilia na degradação dos alimentos, porém a maioria das partículas alimentares são digeridas no interior das células, que se encontram na cavidade. Nos insetos, existe um canal digestivo com duas aberturas a boca e o ânus, alguns deles agarram o alimento com as patas anteriores e levam à boca,



que possui labro especial para prender e poderosas mandíbulas para mastiga-lo.

Nas aves, tal como em todos os vertebrados, o tubo digestivo é completo com dois órgãos muito importantes que é o fígado e o pâncreas (Figura 2.1). O tubo digestivo propriamente dito está dividido em: boca, esôfago, papo, proventrículo, moela, intestino e ânus. O papo é uma dilatação a nível do esôfago, onde os alimentos são armazenados e amolecidos antes da digestão; o proventrículo é a primeira divisão do estômago, onde é segregado suco gástrico com enzimas; a moela é a segunda divisão do estômago, é o local onde o animal pode moer completamente os alimentos, como sementes. A moela é muito musculosa e contém seixos que agem como “pedras que moem”. O intestino é o local onde decorre a absorção e onde são lançadas as secreções do fígado e pâncreas; o ânus está localizado na cloaca, não abrindo directamente para o exterior.

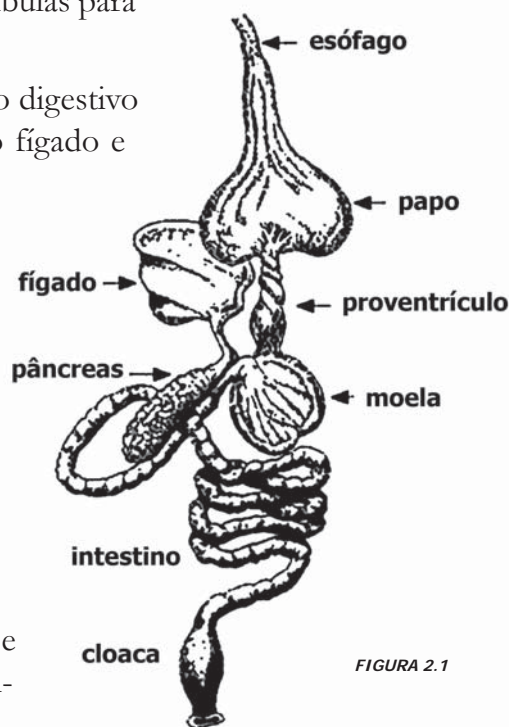


FIGURA 2.1

## Digestão enzimática

As enzimas são catalizadores biológico de natureza protéica essenciais para digerir o que se come, porque as moléculas dos alimentos são, geralmente, muito grandes e precisam ser transformados em fragmentos pequenos; as proteínas são diminuídas para unidades mais simples que são os aminoácidos sob a ação das proteases, os carboidratos complexos em açúcares simples devido a presença da amilase e as gorduras em ácidos graxos e glicerol por causa da lipase que é secretada pelo pâncreas dos vertebrados.

As enzimas são encontradas nas plantas e nos animais, sem elas a vida seria impossível. Cada enzima tem uma função específica que é assumida somente por aquele tipo de enzima, a ativação e a reação só acontece na presença de uma de uma determinada substância. A substância que se altera na presença de uma enzima se chama substrato, de acordo com o substrato que a enzima age é adicionado a terminação ase.

Algumas substâncias ingeridas com o alimento não são submetidas ao processo digestivo porque são absorvidas diretamente: é o caso da água, dos sais minerais, das vitaminas. As outras substâncias necessitam do intervento das enzimas. As enzimas hidrolíticas são responsáveis pela quebra das macromoléculas em pequenas moléculas através da adição de água. Cada enzima tem o seu pH ótimo para o seu funcionamento. Por este motivo, o pH varia ao longo do tubo digestivo. Além do pH da solução que influencia a atividade das enzimas, elas são também influenciadas pela temperatura, porque a velocidade das reações enzimáticas depende dela é tanto que a temperatura acima de 50°C, uma grande parte da ação enzimática é inativada.

A amilase é uma enzima secretada pela saliva humana, na boca, onde o pH é neutro, ela hidrolisa o amido e também é produzida pelo pâncreas. No estômago é mantido um ambiente muito ácido por causa da secreção do ácido clorídrico (pH 2), que age com a pepsina que hidrolisa algumas ligações peptídicas. No intestino delgado, as enzimas proteolíticas (que agem em ambiente

básico) que se encontram no suco do pâncreas hidrolizam definitivamente as cadeias peptídicas definitivamente a aminoácidos.

O alimento proveniente do estômago passa a ser básico graças a ação do suco pancreático e da bile, que tem substâncias capazes de alterar o valor do pH. A clivagem das gorduras que ocorre no intestino delgado, é sob ação da enzima que é secretada no pâncreas dos vertebrados e invertebrados que se chama lipase, porém, ela necessita do auxílio da bile que é secretado pelo fígado que provoca a subdivisão de gotas de grande de gorduras em gotículas, favorecendo a ação das enzimas em solução alcalina em torno pH 8.



TABELA 2.2 As principais secreções digestivas.

LOCAL DA SECREÇÃO	Enzimas e outros produtos	Local de ação	Alimento que sofre a ação	Produtos da digestão
<b>Glândulas salivares</b>	Amilase salivar (ptialina)	boca	amido	maltose
<b>Glândulas gástricas</b>	HCl, pepsina e renina	estômago	proteína	Proteoses e peptonas
<b>Fígado</b>	bile	Intestino delgado	lipídeos	emulsão
<b>Pâncreas</b>	amilase pancreática	intestino delgado	Amido	maltose
	tripsina, carboxipeptidase		Proteínas	peptídeos e aminoácidos
	lipase pancreática		Gorduras (lipídeos)	monoglicerídeos, ácidos graxos e glicerol
<b>Glândulas do intestino delgado</b>	Lipase entérica	intestino delgado	Lipídeos	monoglicerídeos, ácidos graxos e glicerol
	aminopeptidases		Peptídios	aminoácidos
	lactase		Lactose	glicose e galactose
	maltase		maltose	glicose
	invertase		sacarose	glicose e frutose

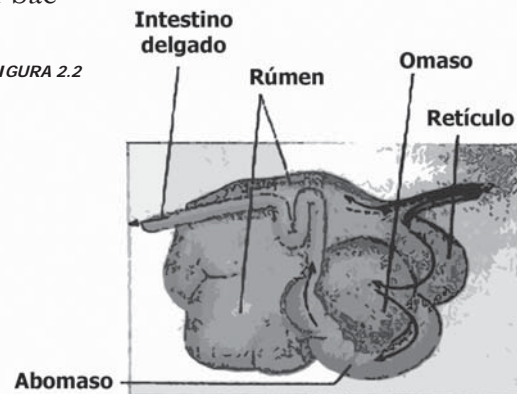
## Digestão de celulose

A celulase é a enzima que atua na quebra da celulose, porém não estão presentes nas secreções dos vertebrados e muitos deles precisam ingerir a celulose por ser a fonte principal de energia. Em muitos animais invertebrados que se alimentam de madeira e produtos similares, a celulase está presente no trato intestinal. As traças é um exemplo de animal que digere a celulose. No intestino de traça existe muitos microorganismos, mas não foi encontrado espécie que digere a celulose, ao contrário do intestino dos cupins (animais que se alimentam quase que exclusivamente de madeira), o trato intestinal é cheio de flagelados e bactérias, que têm papel fundamental na digestão da celulose sendo assim organismos simbióticos.

Os estômagos são classificados como monogástricos ou digástricos de acordo com o número de câmaras: o estômago monogástrico possui um único tubo ou um saco muscular forte e estão presentes nos vertebrados carnívoros ou onívoros; os estômagos digástricos possuem muitas câmaras e são encontrados em mamíferos da subordem Ruminantia (ovelhas, cabras, vacas e outros).

Os mamíferos que são herbívoros, a exemplo dos ruminantes, possuem tratos digestivos especializados como um estômago digástrico com quatro câmaras: rúmen e retículo, omaso e abomaso para a digestão da celulose (Figura 2.2). O abomaso é o verdadeiro estômago e o rúmen é o local onde a vegetação pastejada é fermentada por bactérias e protozoários ali existentes em grande número. Após o desdobramento do alimento por fermentação, os produtos são absorvidos e utilizados na corrente sanguínea.

FIGURA 2.2



Nos ruminantes, a mastigação do alimento ou ruminação consiste na regurgitação e remastigação das substâncias fibrosas indigestas. Ao reentrar no rúmen, o alimento passa por uma outra fermentação e as partículas decompostas passam para o omaso onde ficam sujeitas aos sucos digestivos. Os ácidos orgânicos de cadeias curtas provenientes da fermentação são tamponados no rúmen pela saliva que é produzida em grandes quantidades pelos ruminantes. A saliva dos ruminantes é uma solução diluída de bicarbonato de sódio, por isso serve como um tampão para os ácidos e como um meio apropriado para a fermentação dos microorganismos.

Muitos mamíferos dependem da celulose como principal fonte energética, os herbívoros, porém não possuem a celulase e dependem de microorganismos simbióticos para a digestão da celulose. Até mesmo aqueles mamíferos, os ruminantes, que possuem tratos digestivos especializados e altamente adaptados a digestão da celulose dependem das bactérias e protozoários para a degradação da celulose, pois sem esses microorganismos a celulose não pode ser degradada no interior desses animais.

Os protozoários ciliados são organismos anaeróbios obrigatórios que satisfazem as suas necessidades energéticas através dos processos fermentativos. Como os protozoários existentes no rúmen são ciliados, e os ruminantes precisam digerir a celulose, esses microorganismos são fundamentais para a digestão simbiótica da celulose, além da digestão, eles estão envolvidos na síntese protéica. A existência dos microorganismos no rúmen traz vantagens nutricionais para os ruminantes, porque eles contribuem para a síntese protéica e sintetizam vitaminas importantes do grupo B.

Nos mamíferos herbívoros não-ruminantes a digestão da celulose tem a participação dos microorganismos, mas a fermentação é relativamente mais lenta. Para a fermentação é necessário um espaço grande do trato digestivo. Em alguns animais a digestão é muito semelhante a dos ruminantes, porque possuem um estômago grande com divisões. Em outros animais é no ceco, um grande divertículo do intestino delgado, que se dá a fermentação da celulose a qual tem muita semelhança com a fermentação do rúmen, sendo que a digestão nos ruminantes se dá na região anterior do trato gastrointestinal, por isso, existem vantagens, tais como: a passagem dos produtos da fermentação para a complementação da digestão e da absorção; as partículas grossas não digeridas podem ser regurgitadas e mastigadas diversas vezes; a reciclagem do nitrogênio da uréia, que caso contrário seria perdido através da excreção se a fermentação do alimento dos ruminantes não fosse na parte anterior do trato gastrointestinal.

## Digestão em mamífero (o homem)

O alimento introduzido na boca passa pela primeira transformação, seja mecânica que química. Na boca, o alimento é mastigado, insalivado e parcialmente digerido. A mastigação, efetuada pelos dentes, tem a função de reduzir o alimento sólido em pequenas partes para facilitar as fases sucessivas. Com a insalivação as pequenas partes ficam amolecidas pela saliva e se transformam em bolo alimentar, o qual passa pela primeira reação química com a amilase, secretada na saliva humana (e de alguns, mas não em todos os outros mamíferos) que transforma as grandes moléculas de amido em moléculas menores.

Após passar pela primeira transformação, na boca, o bolo é enviado para o estômago pelos movimentos coordenados e sincronizados da língua, da faringe e do esôfago através da deglutição. No estômago, o bolo alimentar permanece por um período que, a depender da natureza e da quantidade do alimento, pode chegar a mais de 6 horas. Ali é misturado pelos movimentos gástricos e passa por importantes transformações químicas que é a digestão das proteínas pela ação da pepsina, uma enzima secretada pelas glândulas dos vertebrados, que age em ambiente fortemente ácido causado pelo o ácido clorídrico que, também, é secretado pelo estômago; a pepsina só é ativada na presença do ácido clorídrico para a hidrólise de proteínas em polipeptídeos e alguns aminoácidos livres.

Os movimentos peristálticos misturam o alimento no estômago, favorecendo o contato com as enzimas digestivas. No caso dos invertebrados, as enzimas são diferentes, mas a ação delas é semelhante à da pepsina dos vertebrados.

O produto da digestão no estômago é o quimo que contém material proteico parcialmente digerido, carboidrato, em parte, e lípidio praticamente sem modificações da digestão gástrica. O quimo em breve intervalo de tempo atravessa para a região pilórica e na primeira parte do intestino delgado, o duodeno, os processos digestivos se completam e os principais mecanismos de absorção acontecem.

A decomposição dos carboidratos, das proteínas (ligações peptídicas adjacentes a um aminoácido básico) e das gorduras, é completada, quase totalmente, no intestino delgado, graças à intervenção das enzimas tripsina e lipase, dos sucos digestivos produzidos pelo intestino, pâncreas e fígado. A ação digestiva reduz as estruturas elementares absorvíveis através da mucosa intestinal, o bolo alimentar que é, ainda, mais decomposto se transforma em quilo. Ao longo do intestino delgado, os produtos de digestão são absorvidos através das vilosidades intestinais, a exemplo das substâncias proteicas que são os aminoácidos, os quais atingem a corrente circulatória e sucessivamente também os músculos. As gorduras são absorvidas sob a forma de ácidos graxos e de complexos hidrossolúveis.

Depois da absorção, a massa alimentar, que é denominada quilo, através dos movimentos peristálticos do intestino delgado, segue para o intestino grosso e o que resta do quilo percorre todo o intestino grosso transformando-se, gradualmente, em fezes, que, recolhidas na ampola retal, são eliminadas com a defecação. O material alimentar que não foi submetido aos processos enzimáticos na passagem pelo o estômago e intestino nos monogástricos como o cavalo, o porco e o coelho, um sucessivo processo do tipo fermentativo é realizado no intestino grosso.



## Vamos Refletir!

### Os distúrbios do comportamento alimentar

Desde a década de 90, passou a existir uma distinção clara entre os dois principais distúrbios do comportamento alimentar que é a anorexia nervosa e a bulimia nervosa. A anorexia nervosa foi descrita no passado como uma doença rara, mas, atualmente, ela atinge grande parte dos adolescentes, principalmente, do sexo feminino com idade entre 12 e 25 anos. Esta doença é muito difundida em determinados campos profissionais como o da moda e o da dança.

- Uma pessoa afetada de anorexia nervosa é individuada através de características fundamentais:

- Uma grande perda de peso, porque é fundamental para a pessoa doente ser abaixo do peso;

- Medo de engordar;

- Uma forte preocupação com o peso e o aspecto físico. A pessoa afetada pela anorexia nervosa baixa a própria autoestima, porque um aumento de peso determina uma frustração, ao contrário, uma perda de peso aumenta a confiança pessoal e autoestima;

- Amenorreia, a falta de almenos 3 ciclos menstruais consecutivos.

A bulimia nervosa também afeta a muitas mulheres com idade entre 12 e 25 anos, mas, ao contrário da anorexia nervosa, não é simples individualizar as pessoas afetadas por bulimia. As características fundamentais para a identificação da bulimia são:

- O consumo de uma grande quantidade de alimento e com uma falta de controle sobre o ato de comer, ou seja, sentir de não poder parar de comer ou de não controlar que coisa ou o quanto está comendo;

- Comportamento de compensação. Após comer em grande quantidade, para prevenir o aumento de peso, a pessoa provoca o vômito, abusa do uso indevido de laxativos, diurético ou outro remédio, jejum ou exercício físico em excesso.

- Uma extrema preocupação com peso e o aspecto físico

Quando uma dieta supera, consideravelmente, o valor dos gastos calóricos do cotidiano, conduz ao acúmulo de gordura no organismo.

Uma pessoa é considerada obesa se o seu peso supera os 20% daquele ideal. Todo peso a mais é supérfluo e prejudicial, pois aumenta o risco de doenças como



diabetes, pressão arterial e artrite.

Na maioria dos obesos, o aumento da gordura tem origem no desequilíbrio entre a alimentação e exercício físico. Pelo menos 30% dos casos de obesidade têm um fator genético associado: a famosa tendência a engordar, mas pode haver uma razão clínica para o aumento do peso. Por isso, deve ser tratada com orientação do médico, e como uma questão estética e de saúde.

A obesidade é o resultado do balanço do que se come e o que se gasta de energia então, além da orientação do médico, depende na verdade, de um grande esforço pessoal. Ou diminuem-se a quantidade, sem alterar a qualidade da comida e aumenta-se os gastos energéticos ou ambos. Obedecendo as dietas e os exercícios físicos, o peso diminui gradualmente e de acordo com o ritmo de cada um.

Os medicamentos, quando usados, devem ser recomendados sempre por um médico e usados como auxiliares e não como a base do tratamento. Na maioria dos casos, os médicos receitam moderadores do apetite, reduzindo sua dose aos poucos até que o organismo passe a funcionar por si só. Diuréticos não devem ser usados, pois gordura não é água e não sai na urina; a discreta perda de peso no uso desses medicamentos se deve à desidratação do organismo, e conseqüentemente perde-se sais essenciais à saúde. Fórmulas mágicas não existem, por isso tome muito cuidado no uso de medicamentos para emagrecer, principalmente aqueles naturais ou recomendados por um amigo.

www.saudevidaonline.com.br



### CONTEÚDO III

## MECANISMOS DE EXCREÇÃO

Nas horas das refeições, geralmente, a família se reúne em torno da mesa para comer. No final das refeições, restam as sobras na mesa, nos pratos, o que não será aproveitado. É evidente que os restos devem ser recolhidos em sacos e jogados fora da casa, caso contrário ela ficaria muito cheia de lixo e sem condições de continuar vivendo dentro dela.

Uma das exigências fundamentais dos seres vivos é a de se libertar dos resíduos que as células, no desenvolver das suas funções vitais, com o seu metabolismo (sobretudo com aquelas

reações químicas que decompõem moléculas grandes em moléculas menores, o catabolismo), produzem em continuação.

A excreção compreende ao conjunto de mecanismos fisiológicos utilizados para a remoção de substâncias inúteis ou prejudiciais ao organismo, além de promover a eliminação dos resíduos que resultam do metabolismo. A excreção é, também, responsável pela regulação da concentração dos íons e controle do volume de água no organismo. Algumas dessas substâncias, como o dióxido de carbono, estão, em estado gasoso, e podem ser eliminados através da respiração. O restante de substância, sobretudo aquelas que contêm nitrogênio e provêm da decomposição de proteína animal, requerem um tratamento e um sistema excretor especializado que varia de organismo para organismo. Na maioria dos casos, no entanto, a eliminação dos restos a base de nitrogênio seguiu duas vias de eliminação: sistema urinário e a pele.

Existem diversos órgãos excretores e uma diversidade morfológica, mas os princípios básicos dos processos de excreção é a ultrafiltração e o transporte ativo. Na ultrafiltração, as moléculas grandes, como as proteínas, ficam retidas e as pequenas, a exemplo dos aminoácidos, passam através de uma membrana semipermeável. O transporte ativo é um movimento contra gradiente de solutos que requer gasto de energia. Se esse transporte for direcionado para organelas excretoras é chamada de secreção ativa e no sentido oposto, regresso ao meio interno, é a reabsorção ativa.

### **Excreção de nitrogênio**

A eliminação de substâncias nitrogenadas é comumente definida como “excreção”. O sistema mais rápido e direto para eliminar substâncias nitrogenadas (excreção do nitrogênio do metabolismo protéico) é sob a forma de amônia, uréia ou ácido úrico. As principais excretas nitrogenadas estão relacionados ao habitat normal do animal e à disponibilidade de água como mostra a Tabela 2.3. A amônia é uma substância simples, mas extremamente tóxica, que requer diluição para poder ser expulsa sem danos. Se um organismo tem uma suficiente reserva de água, a amônia pode ser continuamente diluída e facilmente excretada. Este é o caso de alguns invertebrados aquáticos, principalmente os que vivem na água doce e excretam amônia como produto final do metabolismo protéico.

Nos organismos com pouca disponibilidade de água, nos quais os animais terrestres convertem a amônia em uréia, que é menos tóxica, facilmente solúvel e requer uma menor quantidade de água para ser excretada. Por tal motivo em muitos casos uréia pode acumular-se no sangue e muitos animais tem órgãos especializados para remover a uréia e outros produtos de excreção do sangue.

O ácido úrico e seus sais são ligeiramente solúveis em água e é ainda menos tóxico que a uréia e prevalece nos insetos, caracóis terrestres e na maioria dos répteis e das aves.



**TABELA 2.3 Principais excretas nitrogenadas em vários grupos de animais, de acordo com o habitat e a disponibilidade de água; concentrações sanguíneas em relação ao meio, concentração das excreções em relação ao sangue, órgãos excretores e osmorregulação.**

ANIMAL	Habitat	Produto de excreção	Concentração sanguínea em relação ao meio	Concentração das excreções em relação ao sangue	Órgãos excretores	Osmorregulação
<b>Platelmintes</b>	Água doce	Amônia	-	Hipotônica	Protonefrídeos com células flama	Não bebem água
<b>Anelídeos</b>	Água doce ou terrestre	Amônia	Hipertônica	Hipotônica	Metanefrídios	Não bebem água
<b>Insetos</b>	Terrestre	Ácido úrico	-	Hipertônica	Túbulos de Malpighi	Bebem água
<b>Peixes cartilaginosos</b>	Água salgada	Uréia	Isotônica	Isotônica	Rins	Não bebem água, ureia ajuda a reter água
<b>Peixes ósseos</b>	Água salgada	Amônia	Hipotônica	Isotônica	Rins e brânquias	Bebem água e excretam sal
	Água doce	Amônia	Hipertônica	Hipotônica	Rins	Não bebem água e absorvem sal
<b>Anfíbios</b>	Água doce terrestre	Amônia (larva) Uréia (adulto)	Hipertônica	Hipotônica	Rins e pele	Não bebem água e absorvem sal
<b>Répteis e Aves</b>	Água salgada	Uréia e ácido úrico	Hipotônica	Hipertônica	Rins	Bebem água e excretam sal
	Terrestre	Ácido úrico	-	Hipertônica	Rins	Bebem água
<b>Mamíferos</b>	Água salgada	Uréia	Hipotônica	Hipertônica	Rins	Não bebem água
	Terrestre	Uréia	-	Hipertônica	Rins	Bebem água

Em relação à eliminação dos compostos nitrogenados os animais podem distinguir-se em três categorias:

**Amoniotéticos** – Animais que secretam principalmente amônia como produto final do metabolismo protéico;

**Urotéticos** – Animais que excretam principalmente uréia

**Uricotéticos** – São os animais que formam principalmente ácido úrico.

## Excreção nos invertebrados

Os organismos unicelulares usam vesículas de expulsão de água; que são os vacúolos contráteis. Os protozoários de água doce precisam dos vacúolos contráteis para a regulação osmótica e de volume, porque a água doce é sempre hiperosmótica em relação ao meio em que eles vivem e as superfícies permeáveis tendem a inchar e eles precisam eliminar o excesso de água e repor os solutos perdidos.

Alguns protozoários, como a ameba, o sistema excretor é mais complexo graças ao qual a célula isola temporaneamente o fluido coletado e o volume é aumentado, e quando atinge um tamanho crítico, o protozoário expelle o conteúdo e o tamanho diminui, e depois começa tudo de novo, inicia um novo ciclo.

Os invertebrados marinhos primitivos como os celenterados não possuem um verdadeiro órgão excretor. As estrelas do mar e os ouriços do mar se limitam a expelir o nitrogênio sob

a forma de amônia diretamente na cavidade do corpo a espera que as correntes aquáticas a transporte.

Os protonefrídios, caracteriza os primeiros organismos pluricelulares e existem principalmente nos animais que não possuem um celoma, exemplo dos platelmintes e pseudocelomados. Um animal pode ter um ou mais protonefrídeos, geralmente extremamente ramificados. As extremidades fechadas terminam em estruturas bulbares dilatadas, cada uma com o interior vazio, contendo um ou vários cílios longos. Se existir um único cílio, a célula é denominada solenócitos; se forem numerosos a estrutura é denominada de célula flama, as quais, mediante vibração dos cílios, criam uma corrente de sucção que aspira o líquido e as substâncias a serem eliminadas dos espaços intracelulares e através dos protonefrídios envia para o meio externo pelos particulares poros de saída, denominados poro do nefrídio.

Os metanefrídios, como mostra a Figura 2.3, são estruturas excretoras dos animais celomados. Estes órgãos especializados na excreção são formados por um tubo aberto nas extremidades e mais ou menos enrolado, dependendo do ambiente em que o animal vive. A extremidade mais interna abre na cavidade celômica através de um funil ciliado que é o nefróstoma, e a extremidade externa abre na parede do corpo por um poro excretor ou nefridióporo.

O metanefrídio funciona como um rim de filtração-reabsorção, onde o fluido inicial é formado por ultrafiltração e modifica

à medida que percorre o túbulo urinário. O

fluido do celoma escoar no nefrídio através do nefróstoma e à medida que percorre as alças extremamente convolutas do ducto, sua composição é modificada.

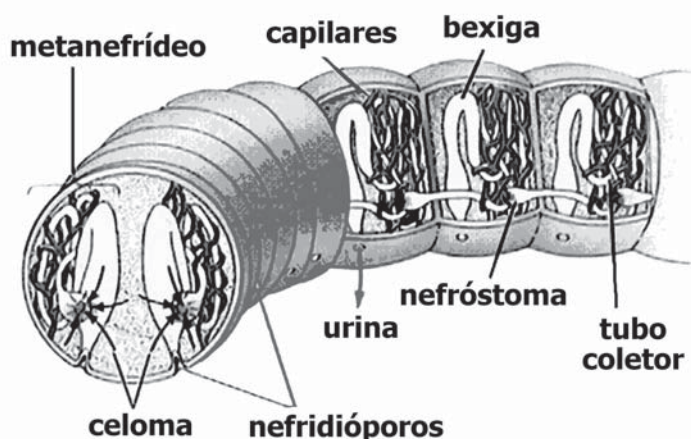


FIGURA 2.3

Nos moluscos, um fluido inicial é formado por ultrafiltração do sangue. Com exceção das proteínas, o fluido contém os mesmos solutos presentes no sangue. O ultrafiltrado dos moluscos não contém somente substâncias a serem excretadas, mas, também, glicose e aminoácidos, porém essas substâncias de valor são reabsorvidas.

O volume urinário, nos moluscos, é igual ao volume filtrado, isto significa que a água não é reabsorvida em grande quantidade, porque nos ambientes marinhos os organismos tendem a ser isotônicos em água marinha; portanto, é razoável que não reabsorva água no rim. Porém, esses animais precisam excretar os produtos metabólicos para regular a sua composição iônica.

Nos crustáceos a urina é formada por filtração e reabsorção na glândula antenal. A glândula antenal ou glândula verde é o órgão renal dos crustáceos. As glândulas pareadas estão localizadas na cabeça, cada uma com uma bolsa inicial, um longo túbulo excretor espiralado e uma bexiga. A abertura é um poro excretor que está próximo à base das antenas. Em crustáceos marinhos, a glândula antenal serve para reter potássio e cálcio e para eliminar magnésio e sulfato.

A excreção, nos insetos, é feita por túbulos de Malpighi, que estão presentes em número de dois e até várias centenas. Esses tubos desembocam na parte final do intestino, e nele é formado um fluido rico em potássio. Apesar desse fluido ser isotônico em relação ao sangue, a composição

é bastante diferente, o que contrasta com o rim dos mamíferos, onde o fluido úrinário inicial é um ultrafiltrado do plasma sanguíneo.

Através de processos secretórios e reabsortivos existem modificações do fluido dentro do túbulo de Malpighi. Após as modificações nos túbulos, o fluido passa para o intestino posterior, onde os solutos e grande parte da água são reabsorvido e o ácido úrico é precipitado. A seguinte retirada de água fica mais fácil, porque o ácido úrico que foi retirado não contribui para atividade do conteúdo retal. O que resta no reto é eliminado como urina que se mistura às fezes. A depender do tipo de alimento que o inseto ingere, as fezes produzidas serão secas ou não. Os insetos que se alimentam de vegetais contendo muita água excretam uma urina líquida abundante, porém os insetos que ingerem alimentos secos produzem fezes secas para não perder água.

## **Excreção nos Vertebrados**

A ultrafiltração ocorre no corpúsculo de Malpighi devido a pressão sanguínea que impulsiona o fluido das finas paredes dos capilares. As proteínas plasmáticas são grandes para passar através dessas finas paredes dos capilares e, por isso, ficam retidas, mas as substâncias menores são filtradas juntamente com a água.

Os vertebrados desenvolveram órgãos especiais para a excreção, os rins, capazes de filtrar, mas também de reabsorver os líquidos, com exceção dos peixes teleósteos, que dependem de um rim do tipo secretor. A função de reabsorver os líquidos é, particularmente, importante porque, além de consentir a recuperação da água preciosa, faz também com que o sangue seja filtrado mais de uma vez em ciclo contínuo mantendo-o sempre em presença de uma normal atividade renal, em condições de pressão e composição. Muitos compostos filtrados que são de valor não devem ser eliminados, e através da reabsorção compostos como a glicose vitaminas e aminoácidos são conservados.

Uma urina mais concentrada que os fluidos corpóreos é produzida somente por aves e mamíferos, porque os outros vertebrados produzem urina isotônica ou hipotônica em relação ao sangue. Os animais no mar não podem eliminar uma urina diluída ou isotônica, porque eles possuem órgãos acessórios para a excreção do excesso de sal, por exemplo, brânquias, glândulas retais e de sal.

Os répteis e aves produzem uma urina semi-sólida que requer uma quantidade moderada de água para a excreção, isso se deve ao fato que esses animais excretam ácido úrico ao invés de uréia.

### Excreção nos peixes

Em relação ao meio, os peixes de água doce são hipertônicos e o excesso de água que penetra no organismo é eliminado como urina hipotônica. Ao contrário, são os teleósteos marinhos que são hipotônicos em relação ao meio e a taxa de produção de urina desses animais é baixa porque não produzem uma urina concentrada e o excesso de sal é excretado pelas brânquias, porque uma das principais funções dos rins é excretar os íons divalentes, sulfato e magnésio que são encontrados na água do mar que eles bebem para compensar a perda osmótica água.



Nos elasmobrânquios a ureia é filtrada no glomérulo e reabsorvida pelos túbulos. Esses animais excretam uréia em pequena quantidade porque ela tem a função de manter o equilíbrio osmótico, por isso é um produto de valor que é filtrada nos rins desses animais e recuperada pela reabsorção tubular ativa.

### Excreção nos anfíbios

Os anfíbios produzem um grande volume de urina muito diluída quando estão dentro da água, (esses animais vivem na água ou próximo a ela). A urina muito diluída é para retirar o excesso de água no organismo.

Nas rãs, a uréia é eliminada por um rim, através de filtração glomerular e secreção tubular, o que é vantajoso para elas porque quando esses animais estão expostos ao ar seco existe uma perda de água, redução do seu débito urinário pela diminuição da taxa de filtração glomerular e aumento da reabsorção tubular de água. Todavia, a excreção de uréia pode continuar alta mesmo quando a filtração glomerular estiver totalmente encerrada. Ao contrário dos elasmobrânquios, que a uréia é filtrada e ativamente reabsorvida, no rim dos anfíbios grande parte da uréia filtrada é secretada através da urina.

### Excreção nos répteis

O rim dos répteis produz uma urina diluída ou isotônica, porém não produz uma urina mais concentrada que o plasma sanguíneo. Uma urina diluída para os que vivem na água doce é importante para retirar o excesso de água do organismo.

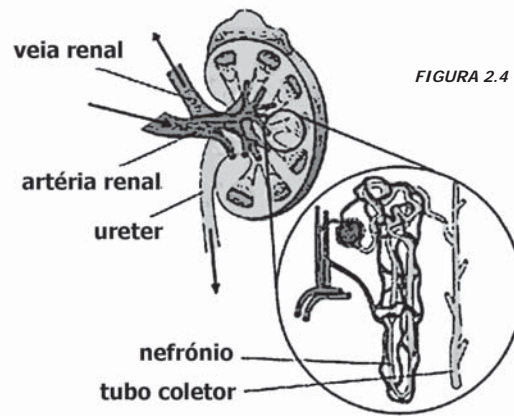
Com os répteis marinhos ocorre o contrário em relação à excreção porque eles não precisam eliminar excesso de água, mas, sim, o excesso de sal, que é eliminado através das glândulas de sal.

Os répteis terrestres, que vivem lugares secos, excretam ácido úrico, o qual é pouco solúvel em água e se precipita na urina. Como resultado da precipitação do ácido úrico, a urina desses répteis é pastosa sem a utilização de muita água.

As glândulas nasais existentes em alguns répteis servem para eliminar o excesso de sódio e potássio, porém os répteis das regiões desérticas que não as possuem e nas serpentes terrestres a excreção do ácido úrico é importante para a eliminação de sal com pouca água.

### Aves e mamíferos

O néfron é a unidade estrutural e funcional do rim dos mamíferos, sendo composto por um tubo mais ou menos enrolado, de paredes metabolicamente ativas e cheias de microvilosidades, tubo urinífero, associado a numerosos vasos sanguíneos, entre eles duas redes capilares – glomérulo de Malpighi e rede peritubular (Ver Figura 2.4).



No tubo urinário podem distinguir-se as zonas, onde ocorrem diversos fenômenos. O tubo propriamente dito é formado pela cápsula de Bowman, tubos contornados proximal e distal, separados pela alça de Henle.

A cápsula de Bowman é a zona inicial que se localiza na região cortical do rim. Nesta zona ocorre a filtração, através do endotélio do capilar do glomérulo e da parede da cápsula, que impedem a passagem de células e macromoléculas.

O resultado é o filtrado glomerular, uma mistura de água, sais minerais, ureia, glicose, AA, vitaminas, etc., tudo em concentrações iguais às que tinham no plasma;

O Tubo contornado proximal está logo após cápsula de Bowman, é uma porção do tubo bastante enrolada e ainda localizada no córtex renal. As suas paredes realizam transporte ativo de sais e nutrientes (glicose, AA,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , etc.) para o meio interno, o que causa a reabsorção de água por osmose, pois a pressão osmótica no tubo é baixa;

A alça de Henle é uma porção do tubo em forma de U, subdividida em zona descendente e ascendente, que mergulha na medula do rim. A porção descendente da ansa é permeável à água (que passa para os capilares peritubulares), mas pouco permeável aos sais e à ureia, pelo que há uma concentração da urina. O inverso ocorre na porção ascendente, onde o tubo é impermeável à água, mas permeável aos sais, que saem por difusão e transporte ativo, aumentando a pressão osmótica dos fluidos intersticiais da medula renal. A Alça de Henle está ausente em peixes, anfíbios e répteis, os quais produzem uma urina que não é mais concentrada que o plasma sanguíneo;

O tubo contornado distal é a zona terminal do tubo urinário, novamente bastante enrolada e de volta ao córtex renal. Aqui ocorrem importantes fenômenos de secreção, com transporte ativo, sobretudo de  $\text{K}^+$  e  $\text{H}^+$ , o que mantém o pH sanguíneo adequado. Outras substâncias, como venenos e drogas, podem ser secretadas para a urina a este nível;

O tubo coletor, embora não fazendo parte do tubo urinário, é considerado importante interveniente na formação da urina. Este tubo é muito permeável à água, impermeável aos íons e atravessa a medula (zona muito hipertônica do rim) dá-se a reabsorção de grandes quantidades de água ainda presente na urina, tornando-a muito concentrada.

Vários tubos urinários desaguam num tubo coletor, que abrirá, no bacinete, uma zona central do rim, onde partem os ureteres em direção à bexiga. Esta abre para o exterior através da uretra.

Na parte vascular do néfron, o sangue, vindo da artéria renal, entra na cápsula de Bowman

pela arteríola aferente, que se capilariza formando o glomérulo de Malpighi no interior da cápsula. Estes capilares reúnem-se na arteríola eferente, que se irá novamente capilarizar em volta dos tubos contornados e da alça de Henle, formando a rede peritubular. Estes capilares formam vénulas que irão terminar na veia renal.

A arteríola eferente apresenta um diâmetro menor que a aferente, aumentando a pressão no interior do glomérulo e forçando uma filtração abundante. Por este motivo, o sangue flui passivamente e com baixa pressão para a rede peritubular, facilitando os fenômenos de reabsorção e secreção.

A Figura 2.5 é um rim de mamífero, que representa a estrutura excretora dos vertebrados terrestres. Os rins de todos os vertebrados (peixes, anfíbios, aves e mamíferos, são similares, pois funcionam sob o princípio de filtração-reabsorção, com a adição da secreção tubular. Alguns peixes teleósteos dependem inteiramente de um rim do tipo secretor.

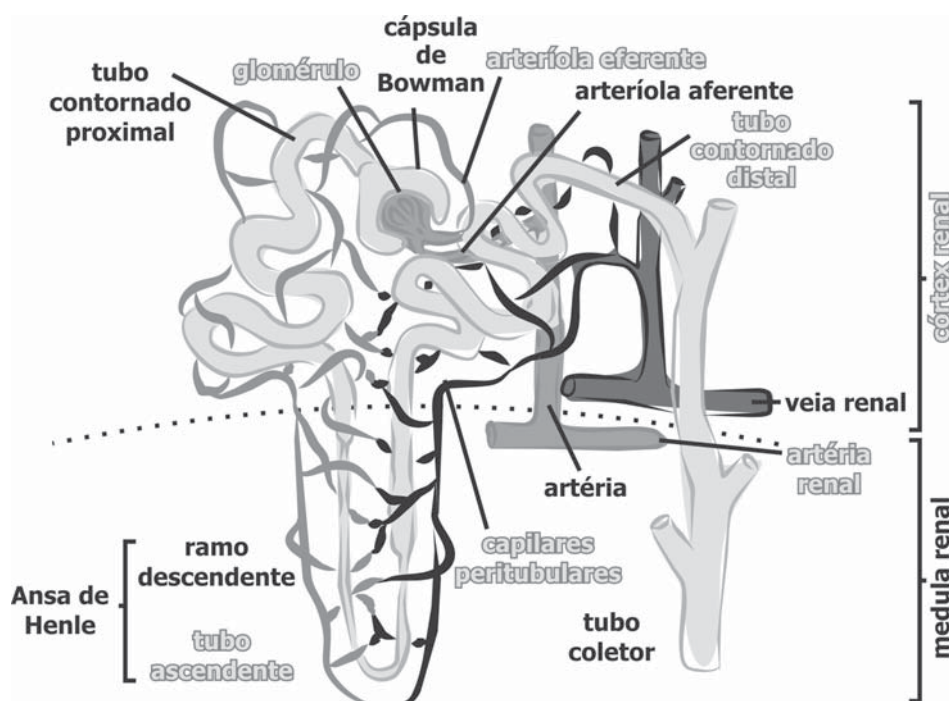


FIGURA 2.5

A urina produzida pelas aves e mamíferos é hipertônica em relação ao plasma sanguíneo. Nas aves, a concentração osmótica da urina pode chegar até duas vezes a concentração do plasmática. Em contraste com as aves, o rim dos mamíferos produzem uma urina com uma concentração que pode chegar a 25 vezes superior à concentração do plasma. A Figura 2.6 mostra a formação da urina no rim de um mamífero. As concentrações mais altas são produzidas pelos animais que vivem nos habitats desérticos.

A reabsorção de sódio e cloro do fluido tubular é responsável pela produção de uma urina altamente concentrada no túbulo renal. Esse mecanismo tem o seu

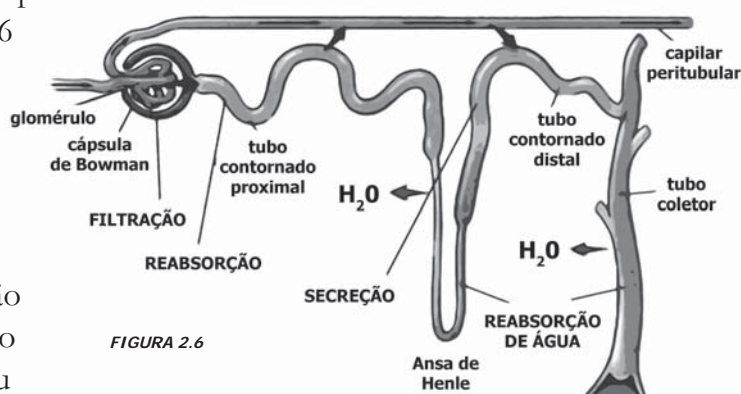


FIGURA 2.6

alto grau de desenvolvimento nos mamíferos que produzem uma urina muito concentrada, mas esse mecanismo também é encontrado nas aves em um menor grau de desenvolvimento.

O comprimento da alça de Henle está intimamente relacionado com a capacidade de concentração dos rins. A unidade funcional dos rins é o néfron, e a maioria dos mamíferos possuem dois tipos de néfrons. Os animais que produzem uma urina altamente concentrada têm néfrons com alças longas. Os que possuem néfrons com alças curtas, a exemplo dos porcos e castores, a urina têm uma concentração máxima de duas vezes a do plasma.

O local de reabsorção ativa do cloreto de sódio é no ramo ascendente da alça de Henle, especificamente no segmento grosso, onde o cloro é transportado para o interstício, seguido pelo sódio, como um contra íon. Mas, enquanto a alça de Henle ascendente é permeável ao sódio e ao cloro, solutos, a alça descendente é permeável a água. Os fluidos que circulam nos ramos ascendentes e descendentes seguem em direção contrária (fluxo contra corrente). A diferença de concentração entre os ramos ascendente e descendente deixa de ser moderada ao longo do comprimento da alça e passa a ser aditiva, efeito multiplicador, e por isso é denominado de sistema multiplicador.

Quando a bomba de cloro chega ao interstício mais concentrado, a água é retirada do ramo descendente da alça de Henle, aumentando a concentração do seu conteúdo. Ao passar pela alça, o fluido tubular fica mais concentrado e mais cloro é lançado para fora da bomba. E então quanto mais a água é retirada o fluido fica mais concentrado no ramo ascendente e o efeito de bomba iônica é multiplicado.

Paralelos à alça de Henle estão os capilares conhecidos como vasa recta, os quais são permeáveis a água e solutos, porém não são permeáveis às proteínas e a pressão coloidosmótica das proteínas plasmáticas causa a retirada de água para a corrente sanguínea e o excesso de água segue para o sistema venoso.

O fluido que passa do segmento ascendente grosso para o túbulo distal tem o conteúdo de sódio removido e sua concentração é menor que no plasma. E no ducto coletor, a concentração salina é baixa porque o fluido tubular que entra é diluído, mas contém uréia.

Por causa da alta concentração osmótica do interstício, a água flui para fora do ducto coletor e a medida que a uréia fica mais concentrada ocorre também difusão.

Quando o fluido tubular passa no ductor coletor descendente entra em equilíbrio com a alta concentração do interstício medular, transforma-se em urina.

No tecido da papila renal existe uma elevada concentração de uréia, porém há um acúmulo de metilaminas a uma concentração em torno da metade da concentração da uréia sobre as proteínas intracelulares.

O hormônio antidiurético (ADH) controla a permeabilidade a água e na ausência desse hormônio os ductos coletores são impermeáveis à água e então uma urina diluída é formada; na presença do ADH, os ductos coletores são permeáveis à água, a qual é removida e, então, uma urina diluída é formada.

A cloaca é a última porção do intestino das aves, onde há o acúmulo de urina e material fecal. Mesmo contendo ácido úrico precipitado, a urina das aves deve permanecer líquida nos néfrons e no ureter até chegar a cloaca na forma líquida ou semi-líquida, assim como nos répteis.

Quando o animal precisa conservar água, a urina é liberada sob a forma pastosa ou como uma pelota semi-sólida, por causa da retirada da água. A água é absorvida na cloaca de um lagarto até que a força necessária para remover mais água seja igual à pressão coloidosmótica das proteínas plasmática, terminando assim a absorção. Parece que nos lagartos a remoção passiva de água é suficiente para a produção de uma urina semi-seca na cloaca.

Muitas aves possuem glândulas nasais que excretam o excesso de sal; no caso dos lagartos que vivem em ambientes secos, os rins são utilizados para a excreção do ácido úrico e, com isso, a perda de água é mínima e eles não tem a dificuldade que os outros animais tem na excreção do sal, por não possuírem essas glândulas.

O volume total da urina depende da necessidade do animal em excretar água. Quanto mais água um animal ingere maior será o volume de urina diluída excretada; havendo falta de água no organismo, o volume de urinário diminuirá e a concentração urinária aumentará.

No caso dos seres humanos, a urina pode ser reduzida, em até 10ml por hora, se não houver disponibilidade de água para beber, porém a redução da urina não pode ser menos do que 10ml, para não se instalar a insuficiência renal.

A quantidade de fluido filtrado é que determina o volume urinário máximo, portanto não adianta uma pessoa beber muita água para aumentar o volume urinário, porque este permanece constante após exceder o limite de 1 litro por hora.



## Atividade Complementar

**1.** Qual a importância das proteínas, carboidratos e gorduras para os animais?

---

---

---

---

---

**2.** A morfologia e a fisiologia dos animais são o resultado da seleção natural que favorece a aquisição efetiva de energia do alimento enquanto evita que eles próprios se tornem alimento de outros animais. Cite os principais métodos de alimentação.

---

---

---

---

---



**3.** Qual a importância do efeito Bernoulli para as esponjas?

---

---

---

---

---

**4.** Diferencie digestão intracelular e extracelular, destacando a digestão dos protozoários.

---

---

---

---

---

**5.** Na passagem pelo trato digestivo, o alimento sofre a ação de diversas enzimas digestivas, e a atividade dessas enzimas é muito influenciada pelo pH da solução. Cite as principais enzimas que agem no trato digestivo e relacione os seus principais locais de ação e os compostos alimentares que sofrem a ação.

---

---

---

---

---

**6.** A celulose é a principal fonte de energética para muitos mamíferos herbívoros, porém eles não possuem a celulase para atuar na quebra da celulose. Como ocorre a digestão da celulose nos mamíferos herbívoros ruminantes?

---

---

---

---

---

**7.** As proteínas são importantes componentes da alimentação dos animais. A excreção do nitrogênio, resultante do metabolismo protéico, sob a forma de amônia, uréia e ácido úrico está relacionada ao habitat do animal e à disponibilidade de água. Quais são as categorias, que os animais podem distinguir-se, em relação à eliminação dos compostos nitrogenados?

---

---

---

---

---

**8.** Diferencie os protonefrídios dos metanefrídios.

---

---

---

---

---

**9.** Como é formada a urina nos crustáceos e como funciona o túbulo de Malpighi nos insetos?

---

---

---

---

---

**10.** Cite as estruturas do néfron fazendo a distinção entre os dois tipos existentes na maioria dos mamíferos. Indique a causa da produção da urina concentrada nas aves e mamíferos.

---

---

---

---

---



## BLOCO 02

# FISIOLOGIA DA TRANSMISSÃO NERVOSA E SUAS RELAÇÕES COM O EQUILÍBRIO IÔNICO, REGULAÇÃO ENDÓCRINA E MOVIMENTAÇÃO



## TEMA 03

## SISTEMA NERVOSO E EQUILÍBRIO IÔNICO



## CONTEÚDO I

## SISTEMA NERVOSO

A vida de relações de um indivíduo, isto é, os seus relacionamentos com outros indivíduos e com o ambiente que o cerca, a possibilidade de receber os estímulos externos e de saber responder a esses de maneira adequada, a capacidade de aprendizagem, de pensamentos e de idealizações dependem da mais refinada e complexa das estruturas que o organismo possui: o sistema nervoso. Todos os animais possuem sistema de transmissão nervosa, alguns rudimentares, mas não existem diferenças significativas nas estruturas fundamentais: a conformação das células nervosas é similar em todas as espécies viventes e também os mecanismos de comunicação nervosa não são essencialmente diferentes.

A unidade básica do sistema nervoso é a célula nervosa, denominada neurônio, que possui duas partes funcionais muito importantes, que são os axônios e as conexões sinápticas. O que muda, passando de um organismo simples para um mais complexo, é o número das células nervosas e a organização sempre mais complexa das mesmas células em estruturas especializadas. No homem, o sistema nervoso atingiu o nível mais alto de especialização, é tanto que a compreensão de algumas funções psíquicas superiores, entre as quais a memória e o pensamento, estão sendo ainda pesquisadas.

O tecido nervoso é constituído de células e de fibras. As células nervosas, os neurônios (Figura 3.1), possuem um corpo central do qual se bifurca um número variável de ramificações mais ou menos longas e sutis chamadas dendritos, por meio dos quais impulsos nervosos são transmitidos ao corpo celular dos próprios neurônios.

As fibras nervosas, chamadas axônios, são os prolongamentos dos neurônios. O comprimento dos axônios varia, podendo chegar a vários metros em grandes animais, (estudos demonstraram que determinadas fibras nervosas na lula são constitui-

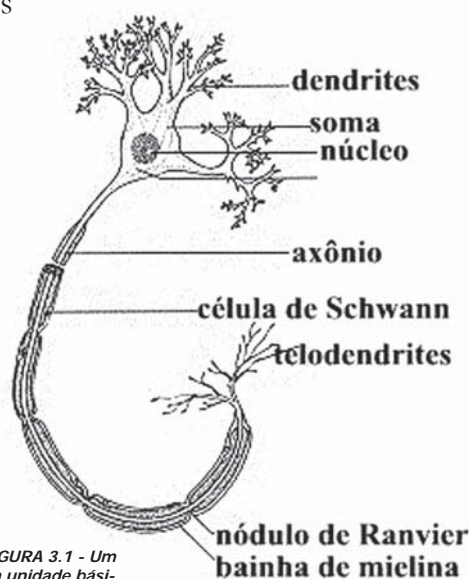


FIGURA 3.1 - Um Neurônio, a unidade básica do sistema nervoso.

das por um único axônio muito grande, chegando a medir 10 metros de diâmetro), esses axônios tem a função de transmitir os estímulos nervosos de uma a parte a outra do organismo. O que é conhecido como um nervo ou tronco nervoso, na verdade é um conjunto de centenas ou milhares de axônios.

Em um neurônio normal, juntamente com o seu axônio, quando ativado existe diferenças de potencial entre o interior e o exterior da membrana celular, mas em repouso ou inativo o potencial de membrana é conhecido como potencial de repouso. No axônio gigante da lula, o potencial de repouso da membrana é em torno de 60 mV, quando em atividade esse potencial pode chegar a + 40 mV.

## **O sistema nervoso dos vertebrados**

As atividades independentes da nossa vontade é regulada pelo sistema nervoso autônomo, que se distingue em em sistema nervoso simpático e parassimpático, que são dois sistemas antagonistas (se um é excitado o outro é inibido). O sistema simpático é formado por cordões nervosos com diversos engrossamentos chamados gânglios, dispostos ao longo da coluna vertebral. Desses gânglios partem numerosos ramos laterais que penetram fora das vertebbras e se ligam ao nervo da medula espinhal que pertecem ao sistema nervoso central. Existe uma estreita ligação entre o sistema ne rvoso autônomo e os centros nervosos superiores.

O sistema nervoso autônomo regula a manutenção da estabilidade do ambiente interno: controla os mecanismos cardiovasculares, as secreções das glândulas, as atividades motora dos músculos lisos. Todos os órgãos conectados com o sistema autônomo têm uma dupla inervação: uma proveniente do simpático, a outra do parassimpático.

Na regulação do ritmo cardíaco, o parassimpático desenvolve uma ação inibidora ou de freio, enquanto o simpático aumenta a atividade cardíaca. Existe então um controle recíproco entre os dois sistemas, mas, evidentemente, eles são condicionados pelo sistema nervoso central o qual decide, sobre a base de estímulos externos, se acelera ou diminui determinados processos. As fibras simpáticas liberam nos órgãos sobre os quais atuam um mediador químico denominado adrenalina e as fibras parassimpáticas liberam acetilcolina.

O sistema nervoso periférico tem a função de transmitir da medula espinhal e do cérebro as sensações provenientes dos órgãos dos sentidos e enviar aos grupos musculares periféricos os impulsos. A transmissão nervosa segue direções opostas e é efetuada por fibras nervosas de duas espécies: fibras sensitivas, que dos órgãos dos sentidos seguem para a medula espinhal e ao cérebro; fibras motoras, que do cérebro e da medula espinhal seguem para os músculos. Estas fibras podem constituir separadamente nervos sensitivos e nervos motores, ou então se reúnem em um único cordão nervoso para formar os nervos mistos.

Do cérebro dos peixes e anfíbios derivam os pares de nervos cranianos, enquanto dos répteis, aves e mamíferos derivam doze. A maioria desses nervos partem do bulbo. Os nervos cranianos podem ser sensitivos, motores ou mistos.

O sistema nervoso central (SNC), que é formado pelo cérebro e a medula espinhal, é a porção contida na caixa craniana e na coluna vertebral. As substâncias cinzentas e brancas estão presentes. A substância cinza é formada pelos corpos dos neurônios e a branca por fibras (axônio e neurônio).

Os órgãos do SNC são protegidos por estruturas esqueléticas e um revestimento compacto formado por três membranas, as meninges, que recobre o interior do cérebro-espinhal. No espaço entre a membrana e a superfície externa da medula espinhal está presente o líquido cefalorraquidiano, que tem a função protetora porque age como um travesseiro líquido, mantendo constante a pressão interna.

### Potencial de repouso

Os impulsos nervosos constituem uma modalidade de transmissão de sinais que se baseia na alteração do normal equilíbrio de cargas elétricas presentes na superfície interna e externa da membrana. A concentração de potássio no meio intracelular é sempre superior à do extracelular, e cada íon potássio que sai do axônio, sem estar acompanhado por um íon cloro, cria uma carga positiva na face externa da membrana. A difusão contínua dos íons potássio para fora da célula leva a uma carga positiva no lado externo da membrana nervosa até atingir um nível que não ocorre mais o efluxo desses íons. E quando a carga elétrica negativa se acumula no interno da membrana e a positiva ao externo, devido à permeabilidade do potássio, essa diferença de cargas gera uma diferença de potencial, que é denominada de potencial de repouso.

O gradiente de concentração e o potencial de membrana conduzem o sódio para o interior da célula fazendo com que o meio interno fique positivo, e quando esse meio atinge um potencial positivo a entrada de mais sódio é impedida. O potencial de membrana do axônio pode ser modificado em 125mV, pela alteração da permeabilidade dos íons sódio e potássio.

O potencial de repouso é, em grande parte, devido à desigualdade da distribuição dos íons sódio ( $\text{Na}^+$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ) entre o lado interno e externo do axônio. Esse potencial de repouso é restabelecido quando a membrana se torna impermeável ao sódio (Figura 3.2). A saída ativa de sódio do axônio é dependente da concentração de externa do potássio.

O potencial de membrana do axônio em repouso ou em atividade é determinado pela permeabilidade da membrana. E a diferença de carga entre o meio interno e externo da membrana é mantida pela bomba de sódio, que parece estar presente nas células de todos animais, associadas a uma enzima conhecida como ATPase sódio-potássio ( $\text{Na,K-ATPase}$ ), essa enzima se liga ao sítio ativo da bomba de sódio. No axônio gigante de lula existe vários milhares de sítios por micrômetro quadrado de membrana.

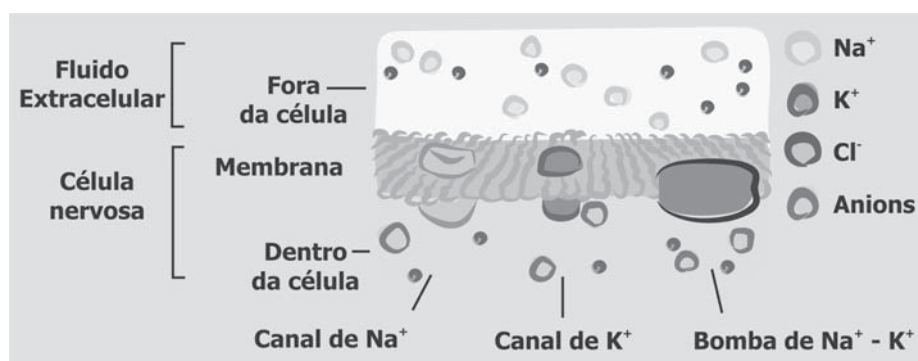


FIGURA 3.2 - O potencial de repouso restabelecido quando a membrana se torna impermeável ao sódio.

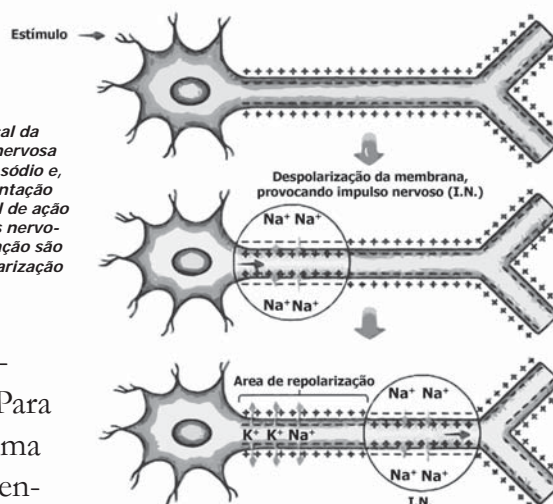




## IMPULSO NERVOSO

Ao ser estimulada, uma pequena região da membrana torna-se permeável ao sódio (abertura dos canais de sódio). Como a concentração desse íon é maior fora do que dentro da célula, o sódio atravessa a membrana no sentido do interior da célula. A entrada de sódio é acompanhada pela pequena saída de potássio. Esta inversão vai sendo transmitida ao longo do axônio, e todo esse processo é denominado onda de despolarização. Os impulsos nervosos ou potenciais de ação são causados pela despolarização da membrana, como mostra a Figura 3.3, além de um limiar (nível crítico de despolarização que deve ser alcançado para disparar o potencial de ação).

**FIGURA 3.3**  
 - A despolarização local da membrana da célula nervosa aumenta o influxo de sódio e, através de retroalimentação positiva, um potencial de ação é gerado. Os impulsos nervosos ou potenciais de ação são causados pela despolarização da membrana.



A velocidade de deslocamento de um impulso ao longo de um nervo depende da intensidade do estímulo e da propriedade do mesmo. Para que ocorra um potencial de ação o estímulo deve ter uma intensidade que é chamada limiar. A grandeza do potencial de ação (impulso) provocado em alguma fibra é independente da força do estímulo excitante, sempre que este seja adequado. Um estímulo elétrico abaixo do limiar não provoca nenhum potencial de ação desencadeado; se ocorrer um estímulo e valor maior que o limiar, é gerado um potencial de ação (impulso nervoso) de grandeza máxima. Então, ou a fibra não responde, ou dar a resposta com toda a sua capacidade. Isto porque potencial de ação é produzido pela concentração de íons do lado interno e externo da membrana e, portanto, gera um potencial de ação total ou nada ocorre. Em fisiologia é denominada resposta tudo-ou-nada.

Os insetos herbívoros que apresentam baixas concentrações de sódio na hemolinfa, têm potenciais de ação e repouso semelhantes aos de outros animais, porque o sistema nervoso desses animais e de todos os outros insetos não herbívoros possuem uma bainha que funciona como uma barreira que separa a superfície do axônio com a hemolinfa, limitando a movimentação de materiais entre a hemolinfa e o fluido que ficam junto às superfícies neuronais.

### Velocidade de condução

Nos nervos motores dos vertebrados, a velocidade de condução é superior aos nervos motores comuns de invertebrados. A velocidade efetiva da condução é determinada pelo diâmetro e do grau de mielinização da fibra nervosa. As fibras com um grande diâmetro e com mielina conduzem os impulsos mais rapidamente do que as fibras menores e sem mielina.

Nos axônios gigantes, a velocidade de condução é 10 vezes maior que em axônios comuns de um mesmo animal. Nas baratas, pode-se verificar a condução em alta velocidade que está relacionada a um mecanismo de resposta rápida que o animal utiliza na locomoção, geralmente para evitar predadores. As baratas escapam com muita velocidade em presença dos predadores, devido

a presença de pêlos receptores.

As minhocas possuem fibras gigantes que permitem a retração do corpo quase que instantânea em resposta a uma perturbação mecânica, porém a locomoção é relativamente lenta.

Nos vertebrados, a velocidade de condução é grande mesmo sem possuírem axônios grandes. O axônio dos vertebrados é coberto por uma bainha delgada que tem uma substância de origem lípídica, mielina. Essa bainha é formada a partir das células de sustentação ou glia e é interrompida a curtos intervalos, expondo a membrana ao nervo. Esses intervalos, ou locais expostos da membrana ao nervo, se chama de nós, nó de Ranvier.

O potencial de ação em um nó é igual a qualquer outro potencial de ação (Figura 3.4), ou seja, há despolarização local da membrana. Esse nó fica negativo criando uma corrente elétrica entre ele e o nó adjacente, que é suficiente para iniciar a despolarização e desencadear um potencial de ação no vizinho.

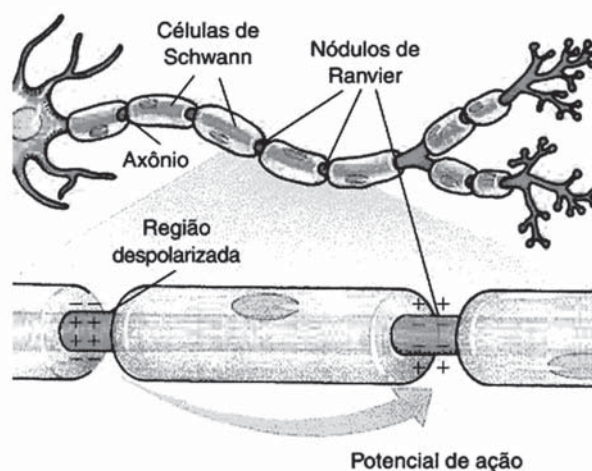


FIGURA 3.4 - O potencial de ação em um nó de Ranvier. Há despolarização local da membrana.

Nos vertebrados, com o auxílio de uma bainha de mielina e uma condução saltatória, há rápida transmissão de um nó a outro, eles conseguem uma rápida condução nervosa. Mas, a despolarização no nó é mais lenta.

Os axônios dos invertebrados exibem dois tipos de modificações estruturais relacionadas à condução rápida que são: a utilização de axônios gigantes quando a condução rápida é essencial, como no caso de necessidade de fuga; e algumas fibras nervosas que são revestidas por múltiplas camadas de bainhas similares à mielinização dos vertebrados. Esses nervos recobertos por “mielina” foram observados em insetos minhocas, caranguejos e pitus. Nesses invertebrados a velocidade de condução nas fibras é muito superior à dos outros nervos de invertebrados de diâmetro similar. Porém, não atinge a mesma velocidade de condução dos axônios mielinizados da maioria dos vertebrados.

## Sinapse

A sinapse é a estrutura que compreende a terminação do axônio de um neurônio com outro adjacente, é o local onde ocorre as transmissões de sinais. Essas transmissões podem ser elétrica ou química.

As sinapses elétricas são verificadas em vários artrópodos, anelídeos, celenterados e moluscos e, provavelmente, é comum em algumas partes do sistema nervoso central de vertebrados. Sendo que muitas das sinapses conduzem igualmente bem nas duas direções, porém em outras,

a região de contato permite apenas que a corrente seja transmitida da área pré-sináptica para a pós-sináptica e não no sentido inverso.

Nos peixes a reação de fuga, geralmente acontece com a batida repentina da cauda, seguida por a natação ondulatória. Isso ocorre devido a atuação das células nervosas, de tamanho grande, que são denominadas células de Mauthner, que estão localizadas no cérebro dos peixes teleósteos. Essas células recebem um intenso suprimento de células nervosas, e a maioria formando sinapses elétricas ao invés de químicas.

As células de Mauthner integram e retransmitem informações dos órgãos sensoriais e do cérebro para os nervos motores. Elas reagem às informações sensoriais, principalmente, produzidas por distúrbios mecânicos na água, e em resposta aos distúrbios, a célula de Mauthner descarrega um único impulso para o grande axônio, (principal via de saída da célula de Mauthner) e provoca uma contração muscular rápida e vigorosa.

A ativação de uma célula de Mauthner, geralmente, ocorre um pouco antes da outra. Conexões inibitórias são enviadas por cada célula para a célula do lado oposto e, quando uma dispara um impulso, a outra é inibida impedindo assim uma contração paralizante simultânea em ambos os lados. Esse é o acontecimento importante na velocidade de transmissão elétrica, porque faz com que a transmissão ocorra quase que instantaneamente.

### **Sinapses químicas**

A extremidade de um axônio é arredondada e tem a forma de um botão, que é denominado botão do axônio. Essa parte é que fica em contato com um dendrito de um outro neurônio. O axônio com a célula não se fundem, porque existe um estreito espaço que é a fenda sináptica. O botão é uma estrutura pré-sináptica que contém pequenas vesículas que estão presentes em todas as sinapses química. Em todo o reino animal a fenda sináptica e sua largura são semelhantes.

Quando ocorre a transmissão de um impulso elétrico do botão pré-sináptico para o neurônio pós-sináptico, uma substância química transmissora é liberada e se difunde através da fenda sináptica, afetando a membrana pós-sináptica.

No momento em que um impulso elétrico alcança o botão pré-sináptico ocorre alteração no potencial de membrana que permite o influxo de cálcio na terminação nervosa. Os íons atravessam canais de cálcio que normalmente estão fechados, mas se abrem em resposta a alteração da membrana. O aumento de cálcio estimula as vesículas presentes na membrana pré-sináptica a liberar as substâncias químicas transmissoras. Na falta do cálcio, pouco ou nenhum transmissor é liberado.

A acetilcolina é o transmissor na junção muscular, que rapidamente se difundem através da fenda sináptica em direção membrana pós-sináptica onde as molécula de acetilcolina ligam-se a receptores específicos. As proteínas de membrana pós-sináptica, são moléculas receptoras que formam canais, considerados portões químicos ou de ligantes, que normalmente estão fechados, mas se abrem em respostas à acetilcolina e possibilitam o influxo de sódio e potássio. Para cada molécula do canal deve ter duas de acetilcolina para que a abertura possa ocorrer.

Nas sinapses químicas, os impulsos ocorrem em apenas uma direção, como mostra na Figura 3.5 o sentido da propagação do impulso em um neurônio, porque a transmissão depende

da liberação de substância transmissora, que só se encontra no botão pré-sináptico, por isso não tem como a transferência de impulsos ocorrer na direção oposta.

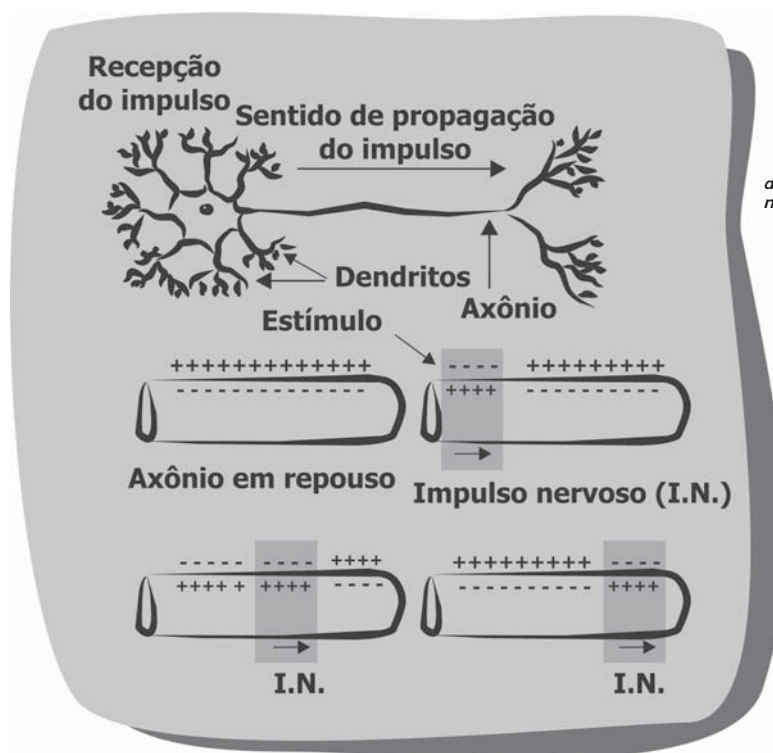


FIGURA 3.5 - O sentido da propagação do impulso em um neurônio.



### CONTEÚDO III

## EQUILÍBRIO OSMÓTICO E IÔNICO

As propriedades químicas e físicas da água tiveram um papel importante na origem da vida, e todos os processos da vida se dá em meio aquoso. Ela é de fundamental importância para o metabolismo celular e para o transporte de substância nutritiva, oxigênio e produtos do metabolismo celular e para regular a temperatura corpórea. Portanto, a água é importante para todos os processos bioquímicos e fisiológicos. E a vida que conhecemos só é possível por causa da água, a qual faz parte de mais de 70% da superfície terrestre.

A vida, segundo as mais acreditadas hipóteses, foi originada nos oceanos e os primeiros organismos vivos deveriam ser necessariamente isotônicos e osmoconformadores. Os artrópodes terrestres, inclusive os insetos, provavelmente têm origem de artrópodes marinhos que teriam desenvolvido especiais adaptamentos para poder conservar a água. As células vivas circundadas por líquidos extracelulares refletem, nos dias de hoje, de algum modo, a composição do mar primitivo, (um mar salgado e escuro de vários bilhões de anos atrás), no qual a vida evoluiu.

O sal mais abundante nos oceanos é o NaCl (cloreto de sódio), o qual a medida é expressa como número de gramas de sal dissolvido em 1.000 gramas de água marinha. As águas marinhas apresentam uma salinidade em torno de 35gr/Kg, ou seja, cada litro de água do mar contém 35g de sal. A concentração de sal depende da localização geográfica. No mar mediterrâneo cada litro de água do mar contém 40g de sal, isso porque a evaporação não é contrabalançada com água doce proveniente dos rios. Os íons principais na água do mar são sódio, cloreto com magnésio,



enxofre e cálcio; outros íons estão presentes em pequenas quantidades. A água doce contém íons similares, mas a concentração é muito variável, da estação, da quantidade de chuva e do tipo de substrato, etc.

Todos os animais estão envolvidos com o problema da manutenção de concentrações de água e soluto, que variam com os diferentes meios que são: água do mar, água doce e ambiente terrestre. Tanto a água doce como a do mar, possuem substâncias dissolvidas, (sais, gases, compostos orgânicos e poluentes). Do ponto de vista da salinidade, soluções muito salgadas são definidas como hipertônicas, ao contrário soluções pouco salgada hipotônica. Se duas soluções apresentam a mesma salinidade se definem isosmóticas. Os animais, em relação ao meio externo podem ser: hiperosmóticos, hiposmótico ou isosmótico.

Nos ambientes marinhos os organismos tendem a ser isotônicos em relação a água marinha. Os animais que mantêm osmolaridade interna diferente do meio onde vivem são definidos osmorreguladores. E os que não controlam ativamente a condição osmótica de seus líquidos corporais e se adaptam à osmolaridade do meio ambiente é chamado de osmoconformadores. Estes estão geralmente presentes em ambientes com restritas variações de salinidade. A maioria dos invertebrados marinhos possui fluidos corpóreos com a mesma pressão osmótica da água do mar e ,por isso, são denominados isosmóticos. Animais de água doce e muitos estuarinos, são hipertônicos em relação à água que os circundam e, portanto apresentam um fluxo de água do ambiente externo (hipotônico) verso o interno.

O sódio é baixo dentro do meio intracelular na maioria dos animais, porém é alto em proteínas, potássio e fosfato. As diferenças osmóticas entre os líquidos intra e extracelular dos animais são pequenas e transitória. Assim, a membrana celular mantém diferença iônica, mas não osmótica, entre os líquidos intra e extracelular, enquanto no epitélio externo as diferenças iônica e osmótica são, freqüentemente, mantidas entre os animais e seus meios.

A regulação iônica na maioria dos animais multicelulares, geralmente, não é feita pela a superfície corpórea inteira, mas por partes externas, como as brânquias dos peixes ou estruturas internas como as glândulas de sal dos elasmobrânquios ou rim de mamíferos. Essas estruturas são relativamente permeáveis a íons e água, enquanto as outras partes da superfície corpórea são impermeáveis, com excessão do revestimento do trato gastrointestinal.

Durante o metabolismo são produzidos resíduos tóxicos que não devem permanecer em grande quantidade dentro do organismo, porque podem ser prejudiciais. A depuração nos animais aquáticos menores é feita por difusão dos resíduos na água que os circunda. Nos animais que possuem sistema circulatório, o sangue passa através de órgãos excretores, geralmente são os rins, que nos animais terrestres são fundamentais para excreção; remove resíduos orgânicos e, também, são órgãos primários de osmorregulação.

A água é ingerida pelos animais terrestres através de líquido ou dos alimentos, os quais a água faz parte da composição. E nos animais de água doce, ela entra através do epitélio respiratório, superfície das brânquias dos peixes e dos invertebrados e o tegumento de anfíbios e de muitos invertebrados. A eliminação é através da urina, fezes, evaporação, pulmões e do tegumento, a superfície externa.

Os mecanismos osmorregulatórios servem para controlar os problemas osmóticos e regular as diferenças entre o meio intra e extracelular e o meio externo. A eficiência desses mecanismos



teve efeitos sobre a especificidade e a diversidade animal.

A água é ingerida pelos animais terrestres através do líquido ou dos alimentos, nos quais a água faz parte da composição. Nos animais de água doce, a água entra, principalmente, através do epitélio respiratório, superfície das brânquias dos peixes e dos invertebrados e o tegumento de anfíbios e muitos invertebrados. E é através da urina, fezes, evaporação, pulmões e do tegumento, a superfície externa que a água sai do corpo.

### **Trocas osmóticas**

As trocas osmóticas entre o animal e o meio no qual ele vive pode ser obrigatória e regulada. Nas trocas obrigatórias os animais respondem a fatores físicos que eles têm pouco ou nenhum controle; enquanto as trocas reguladas são fisiologicamente controladas e auxiliam na manutenção da homeostase interna e servem, geralmente, para compensar as trocas obrigatórias.

Alguns animais possuem concentrações semelhantes àsquelas da água do mar, porém outros têm concentrações muito distintas. A exemplo do magnésio, que muitos invertebrados possuem na mesma concentração da água do mar, mas em outros as concentrações são muito baixas, assim como o sulfato.

A variação de concentrações é devido a permeabilidade da epiderme, que age como uma barreira entre os compartimentos extracelular e o meio. A permeabilidade à água e solutos, varia entre os diferentes grupos de animais e nenhum animal é completamente impermeável. As brânquias dos peixes são permeáveis, uma vez que são envolvidas na troca de oxigênio e dióxido de carbono entre o sangue e o meio. Tanto as brânquias quanto a pele de rã estão envolvidas no transporte ativo de sais. Em contraste, a permeabilidade existente na pele das rãs e nas brânquias, os répteis, alguns anfíbios do deserto, pássaros e muitos mamíferos têm peles relativamente impermeáveis e, conseqüentemente, perdem pouca água.

O dióxido de carbono se difunde para o meio através das superfícies respiratórias, quando é eliminado como produto final do metabolismo celular. A água é um outro produto final do metabolismo que deve ser eliminado, mas ela é produzida em pequena quantidade. É chamada de água metabólica e é a principal fonte de água para muitos animais que vivem no deserto.

### **Temperatura, exercício e respiração**

A água é ideal para a eliminação do calor corpóreo por evaporação através de superfícies do epiteliais. As moléculas de água entram na fase gasosa e leva com ela as suas energias térmicas. E a água deixada para trás torna-se fria. Animais do deserto como mamíferos e passaros, em algumas situações preferem deixar a temperatura corpórea aumentar acima de 40°C para não gastar água com resfriamento por evaporação. Exercícios intensos gera calor por causa do metabolismo muscular e deve ser compensado por alto ritmo de dissipação de calor. A compensação pode ser por resfriamento evaporativo nas superfícies respiratórias ou perda de água através da pele. Durante o exercício, em alguns mamíferos, a temperatura do corpo aumenta, mas a do cérebro permanece normal devido ao trocador de calor de contracorrente na região nasal, que resfria o suprimento sanguíneo do cérebro. Em vertebrados terrestres a perda de água pela evaporação é

reduzida por causa dos pulmões. Nos pássaros e mamíferos a perda evaporativa é maior que em outros vertebrados, porque as temperaturas corpóreas desses animais são, geralmente, mais altas que a do ambiente. O mesmo ocorre em répteis e mamíferos por estratégias comportamentais.

O processo de troca de calor entre o ar e o tecido nasal é invertido durante a expiração. O ar quente expirado é resfriado a valores pouco acima daqueles do ambiente quando ele passa pelas vias nasais, que tinha sido resfriadas pelo mesmo ar durante a inalação. Quando o ar expirado libera parte de seu calor para os tecidos frio. O homem também utiliza desse mecanismo para umidificar o ar inalante e tem nariz frio podendo ser úmido ou até mesmo gotejante. A umidade é condensada com a inalação seguinte, e essa umidade condensada contribui outra vez para a condensação do ar inspirado, e o ciclo é repetido, e a maior parte do vapor é reciclado dentro do trato respiratório. Para verificar esse mecanismo de resfriamento do ar através do nariz, basta colocar a mão em frente ao nariz e a boca e respirar pela boca ou pelo nariz e verificar a diferença de temperatura que existe.

### **Osmorregulação em ambientes aquáticos**

A maioria dos invertebrados marinhos são isosmótico, os líquidos corpóreos intra e extracelular desses animais estão próximos a água do mar em osmolaridade e também a concentração plasmática dos principais sais inorgânicos individuais. Esses animais não precisam gastar energia na regulação da osmolaridade dos líquidos corpóreos.

Os animais que mantêm osmolaridade interna diferente da do meio que eles vivem são denominados osmorreguladores. E aquele que não controla ativamente a condição osmótica de seus líquidos corporais e se adapta a osmolaridade do meio ambiente e definido como osmoconformador.

Quando os animais marinhos chegam à água salobra são denominados osmoconformadores passivos e osmorreguladores ativos. A ostra é osmoconformador que consegue tolerar a uma diluição elevada e resiste, até certo ponto, efeitos da diluição periódica no estuário, porque mantém sua conchas fechadas.

A maioria dos vertebrados, com exceção dos elasmobrânquios e peixes bruxa, são osmorreguladores estritos, que mantêm a composição dos líquidos corpóreos dentro de uma faixa osmótica estreita. Os invertebrados aquáticos, de água salobra e marinhos são expostos a várias osmolaridade ambientais. No caso do caranguejo da praia e de muitos outros animais de água salobra, o limite de diluição tolerado varia de acordo com a localização geográfica. Os animais de água doce apresentam um comportamento osmótico semelhante aos osmorreguladores bem-sucedidos em água salobra, porém, existe diferenças nas concentrações de seus fluidos corpóreos. Animais aquáticos eurialinos podem tolerar uma grande variação de salinidades, enquanto que animais estenoalinos podem tolerar somente uma faixa osmótica estreita.

Nos animais hiperosmótico a água do meio circundante, tende a fluir para dentro do animal, devido à sua concentração interna de soluto que é maior, e os solutos tendem a ser perdidos, porque a concentração interna é superior e também porque a água que entra precisa ser excretada, levado consigo alguns solutos.

## Ciclostomos

Os peixes-bruxas são marinhos e estuários. Os peixes-bruxas são os únicos vertebrados que os fluidos corpóreos apresentam concentrações semelhantes à água do mar; com uma regulação iônica bem pronunciada, pois eles regulam a concentração de íons individuais, porém, por terem altas concentrações de sais e serem isosmóticos, eles se comportam do ponto de vista osmótico, como os invertebrados. Mas, assim como os peixes-bruxa, os peixes cartilaginosos tais como tubarões e arraías, têm o plasma aproximadamente isosmótico em relação à água do mar.

As lampréias é um outro grupo de ciclostomos que vivem tanto no mar quanto na água doce, mas no período da reprodução os marinhos sobe os rios para reproduzir-se em água doce. Esses animais têm concentrações osmóticas que é em torno de um quarto a um terço da concentração da água do mar. O principal problema osmóticos enfrentados por esses animais é semelhante aos dos peixes teleósteos marinhos ou de água doce.

## Elasmobrânquios marinhos

Os tubarões e as arraías mantêm as concentrações salinas de seus fluidos corpóreos em torno de um terço do nível de concentração da água do mar, mesmo assim eles conseguem manter o equilíbrio osmótico. Esses animais mantêm o equilíbrio osmótico, porque acrescentam aos fluidos corpóreos compostos orgânicos, principalmente a uréia. Esses compostos são adicionados até que a concentração osmótica total do sangue se iguale, ou exceda, ligeiramente, à da água do mar.

A concentração de uréia no sangue dos elasmobrânquios marinhos é 100 vezes superior a dos mamíferos e, trata-se de uma concentração muita alta, que nenhum outro vertebrado suportaria. Nos elasmobrânquios a uréia faz parte de todos os fluidos corpóreo e na ausência de uma alta concentração, os tecidos não funcionam bem. Um exemplo da dependência da uréia para um tubarão pode ser observado com o isolamento do coração desse peixe, que funciona por horas, quando injetado uma solução salina com a mesma composição iônica do sangue. Mas, se a uréia for retirada, o coração deixa de bater. O outro composto orgânico importante para os elasmobrânquios é o óxido de trimetilamina (OTMA).

Alta concentração de uréia tende a causar quebra de proteínas em suas subunidades constituintes, enquanto que o OTMA tem efeito contrário, cancelando o efeito da uréia e estabilizando a estrutura da proteína devido a altos níveis de uréia. O excesso de eletrólitos inorgânicos como o sódio é excretado pelos rins, porém, a glândula de retal que está localizada na extremidade do canal alimentar é, provavelmente, mais importante.

## Elasmobrânquios de água doce

São elasmobrânquios com concentração sanguínea inferior a dos que são estritamente ma-

rinhos. Nesses animais, a uréia é reduzida a menos de um terço do valor em tubarões marinhos, mas continua tendo um nível alto para os outros vertebrados.

O influxo osmótico de água fica diminuído porque o sangue tem um baixo nível de solutos e, conseqüentemente, diminui os problemas de regulação osmótica. Com o influxo osmótico de água reduzido menos água será eliminada pelos rins, e um baixo fluxo urinário reduz a perda de sal.

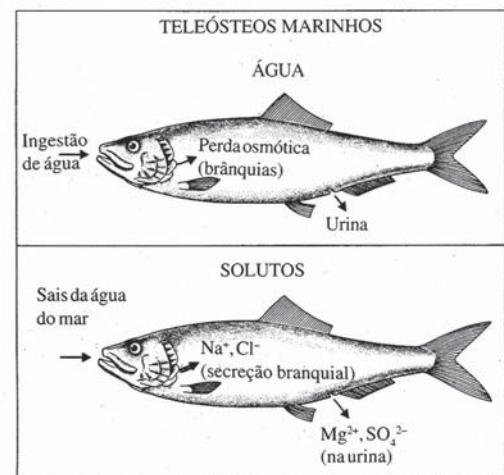
### Teleósteos marinhos

Os teleósteos marinhos são hipotônicos em relação a água do mar e, por isso, eles têm tendência a perder água para o meio através do epitélio e das brânquias. Para recuperar a água perdida eles bebem água do mar.

A absorção para a corrente sanguínea de 70 a 80% da água ingerida e de grande parte do NaCl e KCl presentes na água do mar, é através do epitélio intestinal. No esôfago, a absorção de sais é passiva, mas no intestino delgado, a absorção é ativa com um transporte ativo na membrana basolateral pela ATPase de  $\text{Na}^+ / \text{K}^+$ . Os íons divalentes como o  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  e  $\text{SO}_4$  que permanecem no trato gastrointestinal é expelido pelo ânus. O excesso de sal absorvido é, posteriormente, eliminado do sangue para a água do mar por transporte ativo de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{K}^+$  pelo epitélio das brânquias (Figura 3.6). As brânquias e os rins dos teleósteos conseguem reter água com esse trabalho osmótico combinado.

No epitélio das brânquias dos teleósteos marinho existem as células de cloreto (ou células de cloro), e é através delas que se dá o transporte de NaCl do sangue para a água.

Figura 3.6 Um teleósteo marinho é osmoticamente mais diluído que a água na qual vive. Devido à maior concentração osmótica do meio, o peixe constantemente perde água (diagrama superior), especialmente através das delgadas membranas branquiais. Uma quantidade adicional de água é perdida pela urina. Para compensar a perda de água, o teleósteo marinho ingere uma quantidade substancial de água do mar. Dos sais ingeridos, sódio e cloro são absorvidos no intestino e eliminados pelas brânquias por transporte ativo (seta dupla, diagrama inferior); o magnésio e sulfato são excretados pelos rins.



### Teleósteos de água doce

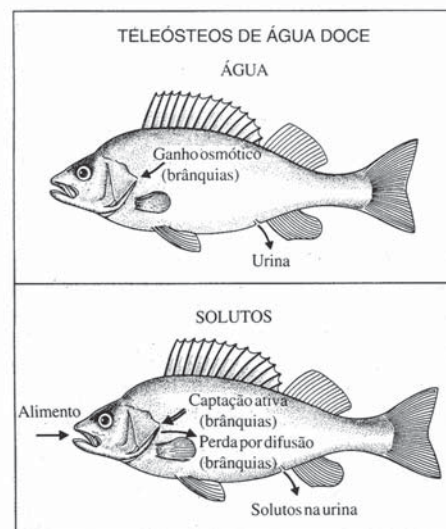
Um teleósteo de água doce é, osmoticamente, mais concentrado do que o meio no qual vive, e o maior problema é o influxo osmótico de água. A água em excesso é excretada na forma

de urina (Figura 3.7), que é muito diluída, mas se perde solutos necessários que precisam ser repostos. E alguns desses solutos são ingeridos com o alimento, porém a captação principal é feita nas brânquias com transporte ativo.

## Anfíbios

As rãs não suportam ambientes secos e muito quentes por causa da perda de água através da pele. Assim como as rãs, muitos anfíbios e alguns mamíferos podem ficar desidratados por causa da perda de água através do tegumento. Mas, rãs e sapos possuem uma grande bexiga urinária na qual eles reservam água até o necessário. Durante o período de seca ou quando eles estão longe da água, a água se move osmoticamente da luz da bexiga para o líquido intersticial parcialmente desidratado e, então, segue para o sangue. Nos anfíbios o epitélio da bexiga, como a pele dos anfíbios, são capazes de transportar ativamente sódio e cloreto da luz da bexiga para o corpo e assim compensar a perda de sais que acompanham a hidratação excessiva durante períodos de muita água. A permeabilidade da pele dos anfíbios é controlada pelo hormônio arginina-vasotocina (AVT). Esse hormônio é antidiurético e age como o (ADH) hormônio dos mamíferos, que aumenta a permeabilidade à água.

Figura 3.7 Um teleósteo de água doce é osmoticamente mais concentrado que o meio e, portanto, recebe um influxo osmótico constante, principalmente através das brânquias (diagrama superior). O excesso de água é eliminado na forma de urina. A perda de solutos pelas brânquias e urina é compensada principalmente pela captação ativa nas brânquias (seta dupla, diagrama inferior).



## Osmorregulação em ambiente terrestre

Nos animais terrestres, a perda de água corpórea é inevitável para a regulação da concentração de íons no plasma e a excreção de resíduos nitrogenados a exemplo dos insetos que eliminam resíduos nitrogenados e inorgânicos conservando, assim, água. A osmorregulação é realizada, intensamente, por muitos invertebrados terrestres.

O rim é o principal órgão de osmorregulação e excreção de nitrogênio da maioria dos vertebrados terrestres. Os passaros e mamíferos produzem uma urina hiperosmótica, é uma urina mais concentrada que o plasma, ela é produzida porque nos rins desses vertebrados é utilizado a multiplicação do mecanismo de contracorrente. Essa especialização está centrada na alça de Henle, e tem sido de grande importância para esses animais explorarem ambientes secos. Os répteis e anfíbios não são capazes de produzir uma urina hiperosmótica, porque os rins desses animais não são organizados para multiplicação por contra-corrente.



## **Animais de pele úmida**

A minhoca não pode permanecer por muito tempo em contato com o ar seco porque ela perde peso devido a evaporação, e logo morre. Quando expostas em soluções salinas com diferentes concentrações, os fluidos corporais da minhoca continuarão hipertônicos em relação ao meio, mas, na urina, permanecerá hipotônica em relação aos fluidos corpóreos. As relações osmóticas, ao que se refere ao equilíbrio hídrico, demonstram que a minhoca é mais de água doce do que um animal terrestre.

## **Rãs e outros anfíbios**

No caso dos anfíbios a pele, geralmente, é úmida e muito permeável e, é através dela que esses animais trocam oxigênio e dióxido de carbono e também é através da qual a água e íons podem mover-se por difusão passiva. A perda de eletrólitos por transporte ativo de sais do meio aquático para o animal, é compensada através da pele do anfíbio. Porém, alguns anfíbios são capazes de interromper a produção de urina, quando enfrentam desidratação água, e reiniciam a produção quando termina o período de estresse osmótico.

## **Caracóis**

Os caracóis terrestres, durante o verão, possuem uma barreira à perda de água que é o epifragma (uma membrana constituída de muco seco), que recobre a concha depois que o animal se retrai para dentro dela. O epifragma, em alguns casos, contém grande quantidade de carbonato de cálcio cristalino.

O caracol inativo, após as chuvas de inverno, dentro da concha, perde pouca água. Com o epifragma recobrendo a concha desses animais, algumas espécies podem sobreviver em regiões desérticas, quentes e secas.

As lesmas dependem da umidade de seus habitats e são ativas, principalmente, após a chuva e à noite, quando a umidade é alta.

## **Crustáceos**

Os caranguejos são dependentes de ambientes úmidos e, geralmente, possuem tocas, com poças de água no fundo. Algumas espécies de caranguejo vivem a maior parte do tempo na terra, mas retorna à água para desovar.

Os tatuzinhos ou bichos-de-conta são isópodes terrestres encontrados em habitats úmidos. Durante o dia esses animais ficam escondidos e se movimentam à noite quando a umidade relati-

va do ar é alta. Quando os bichos-de-contas ficam expostos ao ar seco e perdem água por evaporação e, para repor água, eles se alimentam de material vegetal úmido em decomposição, que deve ser a sua fonte natural de água, mas alguns captam água livre por ingestão e através do ânus.

## **Insetos**

Nos insetos a perda de água por evaporação muito menor que nos outros grupos de animais, porque eles têm uma cutícula de cera que é altamente impermeável à água, e esses invertebrados são altamente eficientes em conservar água enquanto eliminam resíduos nitrogenados e inorgânicos. A reabsorção de íons no reto ou da eliminação com as fezes é regulado de acordo com a condição osmótica do inseto.

Nos insetos terrestres a perda de água se dá pelo sistema traquel, pois a medida que as traquéolas são abertas para o ar, o vapor d'água pode difundir-se para fora e o dióxido de carbono e oxigênio se difundem em favor de seus gradientes.

## **VERTEBRADOS MARINHOS QUE RESPIRAM O AR**

### **Répteis marinhos**

As tartarugas marinhas vivem a maior parte de suas vidas em mar aberto, porém, as fêmeas retornam às praias arenosas tropicais para a reprodução; somente as fêmeas retornam para depositar os ovos na terra, porque os machos não retornam a terra depois que entram no mar como filhotes.

O rim dos répteis não conseguem excretar o excesso de sal, e essa função é realizada por glândulas na cabeça denominadas glândulas de sal. O fluido que essas glândulas produzem contém, principalmente, sódio e cloro em concentração substancialmente maiores que na água do mar. Glândulas secretoras de sal parecidas são encontradas em aves marinhas, lagartos, tartarugas, cobras marinhas e crocodilos. Em uma expiração súbita, os lagartos expele, ocasionalmente, o fluido, através das narinas, na forma de um borrifo delicado.

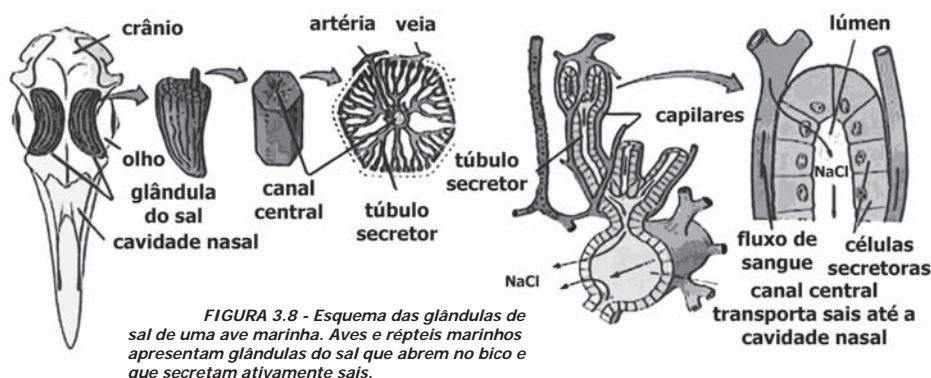
As tartarugas herbívoras ou carnívoras possuem uma grande glândula excretora de sal na órbita de cada olho. O ducto da glândula desemboca no canto posterior da órbita e quando a tartaruga enfrenta uma carga salina elevada, ela derrama lágrimas salgada. Apesar das lágrimas dos seres humanos possuir gosto salgado, essas são isosmóticas em relação ao plasma sanguíneo. Portanto, as glândulas lacrimais humanas não exercem função na excreção do sal.

As serpentes marinhas possuem glândulas de sal que desembocam na cavidade oral; e, nos crocodilos as glândulas de sal estão localizadas sobre a superfície da língua.

### **Aves marinhas**

As glândulas de sal das aves marinhas permanecem inativas enquanto as aves não ingerem

alimentos salgados ou a água do mar. O fluido secretado tem uma composição simples que contém principalmente sódio e cloro. As glândulas são muito diferentes dos rins, que altera, em intervalos amplos, as concentrações e as proporções relativas dos componentes excretados. A Figura 3.8 mostra um esquema das glândulas de sal de uma ave marinha.



As concentrações de sais no fluido secretado são altas, mas essas concentrações variam entre as espécies de acordo com os hábitos alimentares e a ecologia normal das aves. Aves litôrneas que se alimentam de peixe secretam um fluido salino relativamente baixo, enquanto a gaivota que come mais invertebrados e, conseqüentemente, ingere mais sal e apresenta uma concentração alta de sódio. As aves que são altamente oceânicas e se alimentam de crustáceos planctônicos, apresentam uma concentração de sódio por litro ainda maior do que as gaivotas.

A glândula de sal das aves e seu fluxo sanguíneo são organizados como um fluxo de contra corrente, e isto pode ajudar na concentração da solução de sal. As glândulas de sal das aves marinhas e dos répteis terrestres parecem ser órgãos altamente especializados para a excreção de sódio e cloro. Nesses grupos, as glândulas de sal compensam a incapacidade dos rins de produzir urina fortemente hipertônica em relação aos líquidos corporais.

## Mamíferos

Os mamíferos marinhos que não têm glândulas de sal ou especializações semelhantes, obtêm água através do alimento ingerido e do metabolismo. Eles evitam beber água do mar. Os alimentos que esses animais comem apresentam uma grande variação de sal, mas eles dependem primariamente de seus rins para manter o equilíbrio osmótico. Os rins das baleias e focas são capazes de produzir urina mais concentrada que a água do mar, porém não se sabe ao certo se esses animais ingerem água do mar ou se ela é ingerida casualmente junto com o alimento.

Quando uma foca ingere invertebrados marinhos com osmolaridade semelhante à água do mar, ingere quantidades altas de sal em relação à água, porém precisa de água para eliminar a carga de sal. Os peixes teleosteos marinhos são mais diluídos que a água do mar, e quando a foca come esses peixes a carga de sal ingerida é muito menor. A foca queima gordura para produzir energia e água quando se alimenta com invertebrados marinhos, porém, quando come peixe, estoca gordura.

Mamíferos não podem beber água do mar, porque não são preparados. No caso dos seres humanos, a água do mar é tóxica e a ingestão dela causa acúmulo de sal que não será acompanhada por uma quantidade fisiologicamente equivalente de água e o processo de desidratação é

acelerado. Portanto, o homem requer uma fonte constante de água de beber para excretar sais e restos de produtos do metabolismo acumulados.

Os mamíferos precisam de uma grande quantidade de para a produção do leite. O leite da foca e da baleia contém um alto teor de gordura e um teor protéico maior que o leite da vaca. As focas fornecem nutrientes para os filhotes com um gasto mínimo de água.

O rato-canguru e outros mamíferos do deserto enfrentam calor excessivo e praticamente não existe água doce. Para evitar a perda eles permanecem durante o dia em uma toca e sai somente a noite, enquanto o animal está dentro de uma toca fria reduz a carga de temperatura do animal e a perda de água pela respiração. O rato canguru possui rins eficientes e excreta urina altamente concentrada, e absorção retal de água das fezes resulta em bolos fecais ressecados.



## Atividade Complementar

**1.** Diferencie sistema nervoso simpático do parassimpático, quanto à atuação.

---

---

---

---

---

**2.** Como ocorre a transmissão do impulso nervoso?

---

---

---

---

---

**3.** Como é produzido um potencial de ação tudo-ou-nada?

---

---

---

---

---

**4.** Defina sinapse e a função das células de Mauthner.

---

---

---

---

---

---

**5.** Justifique o porquê as sinapses químicas ocorrerem apenas em uma direção e defina o papel do cálcio no impulso nervoso.

---

---

---

---

---

---

**6.** Diferenciar animais osmorreguladores dos osmoconformadores e citar como podem ser os animais, do ponto de vista da salinidade, em relação ao meio externo.

---

---

---

---

---

---

**7.** Por que os peixes teleósteos marinhos bebem água do mar e os teleósteos de água doce produzem uma urina muito diluída? Como as brânquias e os rins dos teleósteos marinhos conseguem reter água?

---

---

---

---

---

---



**8.** O principal órgão de osmorregulação e excreção dos vertebrados terrestres é o rim. Por que os mamíferos e pássaros estão mais aptos a explorarem ambientes secos? Por que os répteis e anfíbios não produzem uma urina hiperosmótica?

---

---

---

---

---

---

**9.** Como os anfíbios compensam a perda de eletrólitos?

---

---

---

---

---

---

**10.** Por que os mamíferos não podem beber água mar? Do que os mamíferos dependem para manter o equilíbrio osmótico?

---

---

---

---

---

---



## TEMA 04

## SISTEMA ENDÓCRINO E MOVIMENTO



### CONTEÚDO I

### GLÂNDULAS

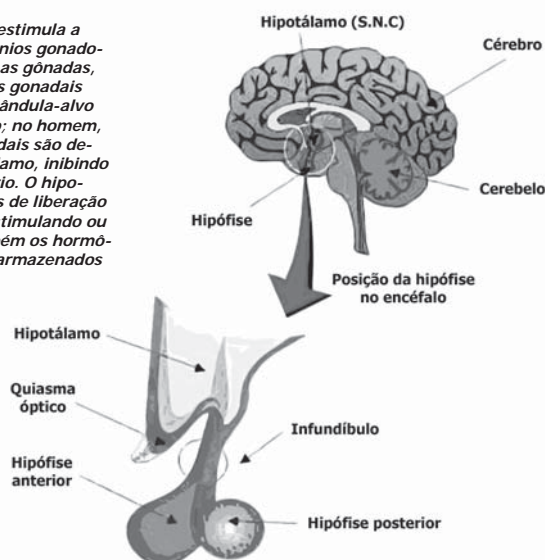
O sistema endócrino age através de mensageiros químicos denominados HORMÔNIOS. Os hormônios são substâncias químicas liberadas no sangue em pequenas quantidades e transportadas através do sistema circulatório por todo o corpo até as CÉLULAS ALVO distantes, onde iniciam as respostas fisiológicas.

Desta forma, podemos dizer que as GLÂNDULAS podem ser definidas como órgão ou grupo de células especializado na síntese e segregação de certas substâncias que são lançadas no sangue ou para o exterior.

## Glândulas reprodutoras

Em resposta ao prolongamento e o encurtamento associado ao período de claridade, muitos mamíferos e aves entram na fase de reprodução. Parece que o efeito da luz é transmitido ao hipotálamo a partir da glândula pineal. Através dos hormônios liberados, o hipotálamo estimula a adeno-hipófise e libera gonadotropinas: o hormônio folículo-estimulante (FSH) e o hormônio luteinizante (LH). O FSH estimula o crescimento e maturação dos folículos ovarianos, e o LH estimula a persistência do folículo (Figura 4.1).

**FIGURA 4.1** - O hipotálamo estimula a glândula pituitária a liberar os hormônios gonadotróficos (FSH e LH), que atuam sobre as gônadas, estimulando a liberação de hormônios gonadais na corrente sanguínea. Na fêmea a glândula-alvo do hormônio gonadotrófico é o ovário; no homem, são os testículos. Os hormônios gonadais são detectados pela pituitária e pelo hipotálamo, inibindo a liberação de mais hormônio pituitário. O hipotálamo também produz outros fatores de liberação que atuam sobre a adeno-hipófise, estimulando ou inibindo suas secreções. Produz também os hormônios ocitocina e ADH (antidiurético), armazenados e secretados pela neuro-hipófise.



Em alguns mamíferos, a exemplo do coelho e gato, a ovulação ocorre em resposta ao acasalamento e à estimulação neural do hipotálamo associado. Ao final da gestação, nos mamíferos, a neuro-hipófise libera o hormônio ocitocina, que causa contração uterina e nascimento da cria. Antes do nascimento o hormônio relaxina, originado no corpo lúteo, provoca o relaxamento dos ossos fundidos da pelve da fêmea, esse hormônio também inibe a contratilidade do músculo úterino, de modo que o parto não seja prematuro.

O hormônio prolactina, da adeno-hipófise, está presente em quase todos vertebrados e possui diversas funções, entre elas a estimulação da produção de leite nos mamíferos, mas parece que os ciclóstomos são os únicos vertebrados que não produzem prolactina.

Os répteis, peixes e pássaros produzem um peptídeo chamado arginina-vasotocina, que exerce efeitos similares ao da vasopressina e da ocitocina. E como a vasopressina, a vasotocina promove a reabsorção de água pelo animal, este hormônio pode desempenhar uma função no comportamento sexual e está associado a expulsão dos ovos do oviducto em tartarugas.

## Córtex adrenal

A glândula adrenal é dividida em duas porções, uma interna e outra porção externa. A porção interna, a medula adrenal, é de origem neural; e a porção externa é cortex adrenal, que é formado por células que estão em íntima associação com aquelas que formam os ovários e os testículos. Todas as células sintetizam esteróides, sendo que existe uma similaridade entre os hor-

mônios esteróides produzidos pelos ovários, testículos e córtex adrenal.

O cortisol, corticosterona e aldosterona são os principais hormônios da córtex adrenal, e são essenciais à vida, pois influenciam no metabolismo de carboidratos, lipídeos, proteínas, eletrólitos e água. A liberação de cortisol e corticosterona do córtex adrenal é controlada pela adeno-hipófise, através da secreção do hormônio adrenocorticotrópico (ACTH).

A deficiência do cortisol causa hipoglicemia e o excesso produz hiperglicemia e aumenta a resistência à insulina. A aldosterona aumenta a reabsorção de sódio e, indiretamente o cloreto, pelos túbulos coletores do rim, e assim aumenta a osmolaridade do sangue. A aldosterona produz efeitos acentuados na distribuição de sódio e potássio no organismo, e não tem efeito antiinflamatório, uma característica importante do cortisol.

### **Glândula tireóide**

Localiza-se no pescoço, estando apoiada sobre as cartilagens da laringe e da traquéia. A glândula tireóide produz os hormônios triiodotironina (T3) e a tiroxina (T4). A liberação ocorre em resposta ao hormônio liberador de tireotropina (TRH) da adeno-hipófise. O iodo é acumulado ativamente pelo tecido tireóideo no sangue. Os hormônios tireóideos agem no fígado, rim, coração, sistema nervoso e no músculo esquelético, sensibilizando esses tecidos à adrenalina e estimulando a respiração celular, o consumo de oxigênio e a taxa metabólica e a geração de calor.

Em anfíbios a glândula tireóide tem papel importante e não tem relação com o que ocorre nos mamíferos. Essa glândula é essencial na metamorfose das larvas para a forma adulta. Se a tireóide de girino for retirada, o animal não sofrerá metamorfose e permanecerá na forma larvária, mas se a rã for nutrida com pequenos pedaços de glândula tireóide, ou se for injetado hormônio da tireóide, a metamorfose ocorrerá de forma normal.

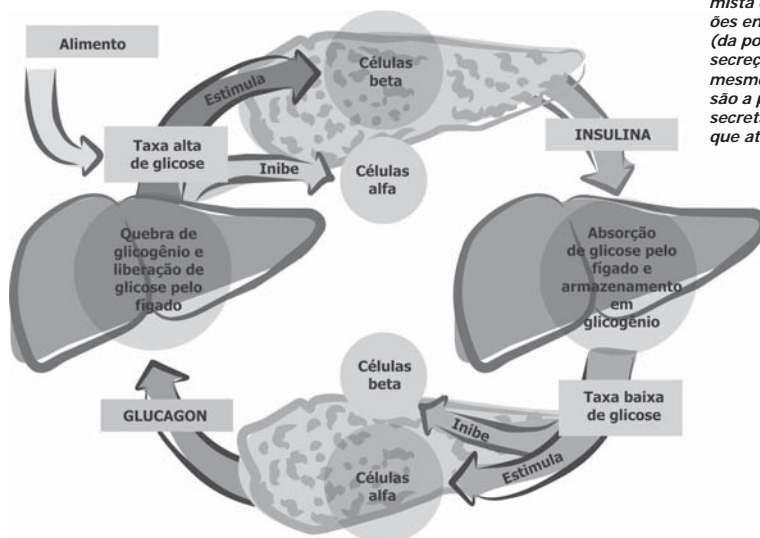
Os hormônios da tireóide são também importantes no desenvolvimento de salamandras com cauda. O axolote (*Ambystoma mexicanum*) é uma salamandra que permanece um animal aquático com brânquias externas, mas se for alimentada com hormônio da tireóide, as salamandras perdem as brânquias e desenvolvem a respiração aérea.

Os efeitos do desenvolvimento dos hormônios tireóideos ocorrem na presença do hormônio do crescimento (GH) e vice-versa. A falta de iodo na dieta durante os primeiros estágios do desenvolvimento em passaros, peixes e mamíferos resulta no hipotiroidismo que nos humanos provoca a doença que é chamada de cretinismo.

### **Pâncreas**

O pâncreas é uma das principais glândulas digestivas e produz importantes enzimas digestivas e hormônios que não apresentam função direta na digestão. A Figura 4.2 mostra regiões endócrinas e regiões exócrinas do pâncreas, as chamadas ilhotas de Langerhans são a porção endócrina, onde estão as células que secretam dois hormônios; insulina e glucagon, que atuam no metabolismo do açúcar. A glicose sanguínea alta age como o principal estímulo para que as células pancreáticas beta secretem insulina. O glucagon, o hormônio do crescimento, peptídeo inibitório gástrico, adrenalina e níveis elevados de aminoácidos, também estimulam a liberação

da insulina. O efeito mais evidente da insulina é a estimulação da formação e deposição de glicogênio no músculo e fígado a partir da glicose sanguínea. A insulina tem efeitos importantes no metabolismo de carboidratos, gorduras e proteínas.



**FIGURA 4.2** - O pâncreas é uma glândula mista ou anfícina – apresenta determinadas regiões endócrinas e determinadas regiões exócrinas (da porção secretora partem dutos que lançam as secreções para o interior da cavidade intestinal) ao mesmo tempo. As chamadas ilhotas de Langerhans são a porção endócrina, onde estão as células que secretam os dois hormônios: insulina e glucagon, que atuam no metabolismo da glicose.

Regulação da concentração de glicose no sangue. A normoglicemia é mantida pela ação combinada dos hormônios pancreáticos insulina e glucagon.

A deficiência de insulina em humanos causa a diabetes mellitus, que é caracterizada por um nível glicêmico no sangue elevado. O tipo I de diabetes mellitus está associada à perda de massa de células pancreáticas beta, que causa diminuição de produção e secreção da insulina. O tipo II de diabetes mellitus está associado a receptores de insulina defeituosa. Independente da causa, a deficiência da insulina resulta em hiperglicemia, altos de níveis de glicose sanguínea.

O hormônio glucagon é liberado das células alfa das ilhotas pancreáticas em resposta à hipoglicemia. Esse hormônio causa a mobilização de glicose no fígado, e as ações antagônicas do glucagon e da insulina são importantes no nível apropriado da glicose sanguínea, sendo um estimulador e o outro inibidor.

As células delta são também células das ilhotas pancreáticas que produzem somatostatina que inibe a secreção dos hormônios hipofisário do crescimento. O hormônio do crescimento neutraliza a hipoglicemia e a insulina neutraliza a hiperglicemia. E, assim, tanto o glucagon, que estimula a quebra do glicogênio no fígado, quanto o hormônio do crescimento agem para manter níveis adequados de glicose sanguínea.

O hormônio do crescimento (GH) estimula a secreção de insulina, tanto pela sua ação sobre as células pancreáticas beta, quanto indiretamente, pelo seu efeito na elevação dos níveis de glicose plasmática. O hormônio do crescimento e os hormônios tireóideos trabalham de modo sinérgico para promover o crescimento do tecido durante o desenvolvimento.

Distúrbios na secreção do hormônio do crescimento pode resultar em anomalias, tais como:

**Gigantismo:** tamanho e estatura excessivas causadas por hipersecreção do hormônio do crescimento na infância;

**Acromegalia:** aumento dos ossos da cabeça e das extremidades causados por hipersecreção do hormônio do crescimento iniciada após a maturidade;

**Nanismo:** subdesenvolvimento anormal do corpo causado por secreção insuficiente do hormônio do crescimento durante a infância e a adolescência.

## Glândulas paratireóides e tireóide

São glândulas localizadas na região posterior da tireóide e secretam o paratormônio (PTH), que estimula a remoção de cálcio da matriz óssea, aumentando o cálcio plasmático. Esse hormônio é antagonista, a calcitonina, que é secretada pelas células parafoliculares, ou C, na tireóide em resposta a altos níveis plasmáticos de cálcio, com a função de reduzir a concentração plasmática de cálcio.

A retirada das glândulas paratireóides causa a redução da concentração sanguínea de cálcio, seguida por câimbras musculares tetânicas, resultantes do baixo nível de cálcio sanguíneo.

## Rim

A vitamina D<sub>3</sub>, que pode ser sintetizada na pele a partir do colesterol ou pela radiação ultravioleta, após ser hidroxilada pelo fígado é transportada no sangue por uma proteína transportadora específica em direção ao rim, onde é novamente hidroxilada em forma ativa do hormônio, diidroxicolecalciferol, que no intestino estimula a absorção do cálcio para os ossos, onde é necessário para mineralização óssea normal.

Outra função do rim é a liberação da renina que produz o aumento prolongado da hipertensão. A renina é uma enzima que age sobre proteínas plasmáticas para liberar angiotensina que estimula a secreção de aldosterona influenciando no metabolismo do sódio e da água; causa vasoconstrição e, conseqüentemente, elevação da pressão sanguínea; causa, também a liberação de cotecolaminas da medula adrenal.

## Medula adrenal

Elas secretam a noradrenalina e adrenalina. A adrenalina causa a aceleração dos batimentos cardíacos, aumento da pressão sanguínea, aumento da glicemia pela conversão de glicogênio em glicose, vasodilatação e aumento do fluxo sanguíneo no músculo cardíaco, pulmões e músculo esquelético. No entanto, causa vasodilatação e diminuição do fluxo sanguíneo no músculo liso, trato digestivo e pele.

A noradrenalina produz um efeito mais potente sobre a frequência cardíaca e em alguns órgãos, a noradrenalina causa uma maior vasoconstrição. Esse hormônio foi observado no sistema nervoso de insetos e anelídeos e pode estar amplamente presentes nos invertebrados.



### CONTEÚDO II

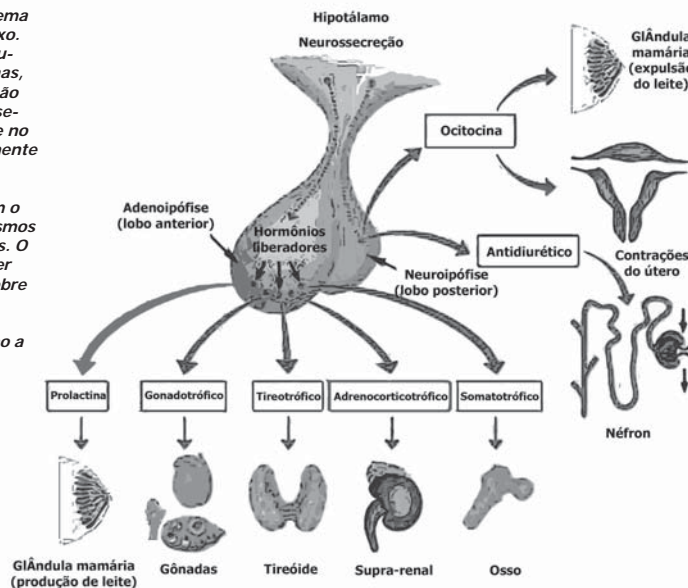
## REGULAÇÃO E AÇÃO DOS HORMÔNIOS

Os hormônios são substâncias produzidas por tecidos ou glândulas específicas que influenciam praticamente todas as funções dos demais sistemas corporais. Muitos hormônios modificam ou influenciam as atividades dos tecidos ou órgãos alvos. Os produtos do sistema endócrino são



lançados na corrente sanguínea e irão atuar em outra parte do organismo, mas apenas as células que contenham receptores específicos para determinado hormônio particular são afetadas por ele, porque cada hormônio é específico e age sobre determinado órgão alvo (Figura 4.3).

**FIGURA 4.3 - O sistema endócrino é bastante complexo. Os hormônios, secreção produzida pelas glândulas endócrinas, nome dado a glândulas que não apresentam ductos, sendo a secreção eliminada diretamente no sangue, influenciam praticamente todas as funções dos demais sistemas. Frequentemente o sistema nervoso interage com o endócrino, formando mecanismos reguladores bastante precisos. O sistema nervoso pode fornecer ao endócrino a informação sobre o meio externo, ao passo que o sistema endócrino regula a resposta interna do organismo a esta informação.**



Em todas as classes de vertebrados os hormônios são semelhantes ou idênticos, mas outros têm funções específicas que se diferem de um grupo para outro. A prolactina estimula a secreção de leite em mamíferos, em pombos estimula a formação do “leite” do papo e em peixes exerce ação sobre a função renal e permeabilidade das brânquias.

Do ponto de vista químico, pode-se distinguir os hormônios:

- **Hormônios esteróides:** que são derivados do colesterol e compreendem testosterona, estrógeno e corticosteróides, tais como a cortisona e aldosterona.
- **Hormônios proteicos e peptídicos.** Diversos hormônios do hipotálamo agem provocando a liberação de outros hormônios de suas respectivas glândulas endócrinas, e são os maiores hormônios e os mais complexos. Os principais hormônios que têm origem na adeno-hipófise são de natureza protéica e podem conter várias centenas de aminoácidos.
- **Hormônios derivados da tirosina** – incluindo as catecolaminas adrenalina e noradrenalina. A formação das catecolaminas tem início com o aminoácido tirosina e em poucas etapas ocorre a formação de adrenalina. A tirosina é também a matéria-prima para síntese dos hormônios da tireóide, triiodotironina e tiroxina.

O sistema endócrino, juntamente com o sistema nervoso, atuam na coordenação e regulação das funções corporais (Figura 4.3). O hipotálamo, que está localizado na base do cérebro, logo acima da hipófise (glândula pituitária), é a sede de várias funções de controle nervoso e de fundamental importância no sistema endócrino, controlando o funcionamento da hipófise, que é chamada de glândula dominante do sistema endócrino. Esse controle é mediado junto à neuro-hipófise via vasos sanguíneos especiais.

A neuro-hipófise, órgão de armazenamento e liberação dos hormônios vasopressina e a ocitocina. Esses hormônios são sintetizados e armazenados nos corpos celulares de células neurosecretores da porção anterior do hipotálamo.

O aumento do hormônio antidiurético também conhecido como vasopressina, causa uma elevação na pressão sanguínea, devido a constrição das arteríolas e, tem como função principal a de promover e retenção de água no rim e a ocitocina estimula as contrações úterina durante o parto e estimula a liberação de leite da glândula mamária.

Em relação às células alvos, os hormônios podem ser classificados em duas categorias:

- aqueles que exercem sua ação por meio de receptores próprios na superfície celular, as catecolaminas e os hormônios peptídicos.
- aqueles que penetram na célula e exercem seu efeito diretamente sobre o núcleo celular e sobre o mecanismo de síntese de proteínas celulares, incluindo esteróides e hormônios da tireóide.

O segundo mensageiro, como assim é chamado o monofosfato de 3', 5' adenosina (AMPcíclico ou AMPc) é produzido, enzimaticamente, a partir do ATP na superfície interna da membrana e tem importante papel como regulador intracelular, mediando ações de muitos hormônios e outros mensageiros extracelulares em uma ampla variedade de respostas celulares.

O AMPc age no interior da membrana celular, transmitindo sinal através da superfície sem penetrar. Mas, o evento iniciador da ação dos hormônios que atuam via AMPc, é sempre a liberação de adenilato ciclase do sítio receptor do hormônio na membrana e, como todas as enzimas, a adenilato ciclase, acelera a taxa da reação. Tanto o AMPc, quanto o adenilato ciclase foram encontrados em vários tecidos de vertebrados, invertebrados e bactérias. Múltiplos efeitos fisiológicos são induzidos por hormônios ligados ao AMPc. O trifosfato de inositol e a mobilização de íons cálcio desempenham papel nas ações hormonais, funcionando como um sistema de segundo mensageiro.

Os hormônios sexuais masculinos e femininos e os hormônios secretados pelo córtex adrenal afetam células que possuem os sítios receptores apropriados. O estradiol liga-se a receptores localizados na próstata, a progesterona, às tubas uterinas de aves e assim por diante. Na superfície celular esses hormônios formam um complexo com uma proteína receptora. Em ratos recém-nascidos os hormônios interagem com áreas receptoras e induzem o desenvolvimento de circuitos nervosos que posteriormente serão responsáveis pela determinação do comportamento animal adulto.

### **Substâncias transmissoras**

A acetilcolina é a substância transmissora de nervo-a-nervo fora do cérebro e da medula espinhal nos vertebrados, está presente na maioria das transmissões sinápticas periféricas, porém é apenas um dos transmissores do sistema nervoso central. Nos invertebrados, várias outras substâncias também são transmissores importantes, sendo a maior parte delas animais.

Para demonstrar se uma substância é transmissora, ela deve ser liberada na chegada de um potencial de ação na terminação pré-sináptica, em quantidade suficiente para produzir o efeito fisiológico observado na estrutura pós-sináptica.

Em neurônios de muitos invertebrados, principalmente moluscos e artrópodos, é encontrado a 5-hidroxitriptamina, conhecida como 5HT, que também se encontra em outros tecidos, além das estruturas nervosas, mas em baixa concentração. O coração dos moluscos bivalves é sensível a 5HT e existem evidências que essa substância é transmissor normal para acelerar o coração desses animais. O músculo catch dos bivalvos, que pode permanecer contraído por períodos prolongados, com um mínimo de consumo de energia, relaxa rapidamente em resposta a 5HT.

Em algumas toxinas animal, tais como as do polvo e do caracol Murex, no veneno das vespas e outros insetos encontra-se grande quantidade de 5HT. O efeito doloroso quando uma pessoa é picada por alguns insetos, está relacionado com o 5HT. Ele age como um potente estimulante das terminações nervosas da dor na pele humana.

### **Interação entre o cérebro e o trato digestivo:**

O intestino libera a secretina, que estimula a secreção pancreática; e a colecistoquinina (CCK), que causa a contração da vesícula biliar, e também estimula a secreção de enzimas pancreáticas. O cérebro contém sítios receptores para a CCK, e uma enzima semelhante à tripsina, que separa a CCK-33 de seus aminoácidos terminais formando a CCK-8. A infusão de CCK-8 inibe a ingestão de alimento em ratos e carneiros famintos. Tal demonstração mostrou-se ainda mais desafiadora quando se verificou que camundongos geneticamente obesos possuíam menos CCK-8 no córtex cerebral que os não obesos (Straus e Yalow, 1979). Outro hormônio intestinal também encontrado em altas concentrações no córtex cerebral é o peptídeo vasoativo intestinal (VIP, uma cadeia de 28 aminoácidos).

### **Os hormônios esteróides em vertebrados**

Os estrógenos e andrógenos são importantes no crescimento, desenvolvimento e na diferenciação morfológica, assim como no desenvolvimento e na regulação do comportamento e dos ciclos sexual e reprodutivo de ambos os sexos. Os andrógenos predominam no macho, e os estrógenos na fêmea. As características sexuais masculinas primárias (a exemplo do pênis, canal deferente, vesículas seminais, próstata, epidídimo), no embrião e das características sexuais masculinas secundárias (a exemplo da juba do leão, a crista do galo, a plumagem e os pêlos faciais nos homens) na época da puberdade. Os andrógenos contribuem também para síntese de proteínas miofibrilares no músculo, essa contribuição é evidenciada pela musculatura mais desenvolvida dos machos em relação às fêmeas em muitas espécies de vertebrados.

Os estrógenos estimulam o desenvolvimento tardio das características sexuais primárias como útero, ovário e vagina e das características sexuais secundárias como as mamas e pela regulação dos ciclos reprodutivos que em geral são controlados pelo sistema neuroendócrino, sendo esses ciclos internos limitados por sinais ambientais como as alterações na duração do dia que acompanham as mudanças de estação.

## Ação hormonal em invertebrados

As células neurosecretoras têm sido identificadas em todos os grupos de invertebrados, mas é no desenvolvimento dos insetos que as ações hormonais têm sido estudadas. Porque os hormônios têm função fundamental na fisiologia dos insetos, agindo no crescimento, muda, fase de pupa e metamorfose para a forma adulta madura.

Com base no padrão de desenvolvimento, os insetos dividem-se em:

- **insetos hemimetabólicos**, que exibem metamorfose incompleta;
- **insetos holometabólicos**, que exibem metamorfose completa.

Como exemplo de hemimetabólico está o barbeiro sul-americano *Rhodnius* que eclode do ovo como um minúsculo barbeiro, uma ninfa, e ao longo de cinco estágios de desenvolvimento se alimentando de sangue e gradualmente ele se desenvolve na forma adulta. A ninfa solta a antiga cutícula após quatro semanas de ter sugado sangue; a ninfa solta a cutícula e aumenta de tamanho quando enche o sistema traqueal com ar, antes que a nova cutícula endureça. Se for capaz de obter sangue, ela sofrerá nova muda após 4 semanas.

A muda do *Rhodnius* é estimulada pelo hormônio ecdisona, que é secretado por glândulas pró-torácicas após a ingestão de sangue. Essas glândulas são estimuladas pelo o hormônio PTTH, que é secretado por células neurosecretoras.

As asas e gônadas maduras no *Rhodnius* adulto são devidas à ausência do hormônio juvenil, que é secretado pelo corpora allata, agrupamento de células que se encontra atrás do cérebro. Esse hormônio determina as características de ninfa na nova cutícula.

Os principais hormônios que controlam o desenvolvimento de insetos são:

- A **ecdisona** - estimula a muda e é secretado por glândulas pró-torácicas após a ingestão de sangue. A ecdisona é sintetizada a partir do colesterol. Estruturalmente é similar aos hormônios esteróides de vertebrados;
- O **hormônio pró-toracicotrópico (PTTH)** - é um neuro-hormônio produzido pelas células neurosecretoras especializadas do cérebro. Esse hormônio estimula as glândulas pró-torácicas;
- O **hormônio juvenil** - é sintetizado e liberado pelo corpora allata, glândulas não neurais pareadas de alguma forma análogas à glândula hipófise anterior. O hormônio juvenil determina característica de ninfa a nova cutícula, impedindo, enquanto estiver presente, a formação dos caracteres adulto;
- O **hormônio da eclosão** - um neuro-hormônio peptídico, é liberado a partir das células neurosecretoras cujos terminais estão na corpora cardiaca, que são órgãos neuro-hemais pareados imediatamente posteriores ao cérebro;
- O **bursicon** - também um neuro-hormônio que é produzido por células neurosecretoras no cérebro e no cordão nervoso.

A quantidade de hormônio juvenil diminui no quarto estágio de ninfa e no estágio seguinte inicia o desenvolvimento das asas. O adulto só é formado quando o hormônio juvenil desaparece da circulação. No adulto, reprodutivamente ativo, a concentração do hormônio aumenta. O hormônio juvenil é responsável pelo desenvolvimento de órgãos sexuais acessórios em machos de algumas espécies de insetos e em muitas fêmeas ele induz a síntese da gema e a maturação.

A ecdisona é importante para cada muda e seus efeitos são modificados pelo hormônio juvenil. Por isso o desenvolvimento normal de um inseto depende da concentração precisamente ajustada de hormônio juvenil em cada estágio. De alguma forma a ação do hormônio juvenil de inseto é análogo ao dos hormônios tireóides na regulação dos anfíbios. Tanto no inseto quanto no anfíbio, o distúrbio entre a concentração do hormônio e o estágio de desenvolvimento resulta em desenvolvimento anormal.

O desprendimento da cutícula velha durante a muda ocorre por causa da ação do hormônio juvenil e da ecdisona. Em resposta a estimulação pelo PTH a ecdisona atua na epiderme para iniciar a produção da nova cutícula que começa com o destacamento da cutícula velha. Com a concentração alta do hormônio juvenil é formada uma cutícula do tipo larva, mas se os níveis forem baixos será produzida uma cutícula do tipo adulta.

Na fase final da muda, o hormônio da eclosão e o bursicon são adicionados porque são esses hormônios os responsáveis pela promoção da fase final do processo de muda. O hormônio da eclosão, em algumas espécies de holometabólicos, está envolvido no desprendimento da cutícula da pupa que é chamado de ecdise.

A função endócrina que controla os estágios de desenvolvimento em insetos holometabólicos foi estudada em várias mariposas, que passam, geralmente, por quatro mudas e todas são iniciadas pela secreção de hormônio cerebral, que estimula a liberação de ecdisona da glândula pró-torácica.

O hormônio juvenil é que determina se a muda irá gerar uma larva, pupa ou um adulto. A pupa é formada com a diminuição do hormônio juvenil no último estágio larval, e só com o desaparecimento do hormônio juvenil é que a pupa se transforma em adulto.

Ao término no quinto estágio larvário, nas mariposas, os corpora allata param de secretar o hormônio juvenil, e na muda seguinte uma cutícula rígida é formada (uma pupa) e os tecidos larvários são degradados e se transforma em estruturas pupárias. Quando não há mais hormônio juvenil surge uma mariposa adulta totalmente desenvolvida. Devido a ação do hormônio juvenil em prevenir a maturação de inseto, ele juntamente com análogos sintéticos, são promissores como meio ecologicamente seguros, não tóxicos para combate às pragas de insetos e contra os quais o inseto encontraria dificuldades em desenvolver resistência.



## MÚSCULOS E MOVIMENTO ANIMAL

### Movimento amebóide

O movimento amebóide é característico de alguns protozoários, fungos (Myxomycetes) e glóbulos brancos de vertebrados. O movimento dessas células está associado à corrente cito-



plasmáticas, modificadas na forma da célula e expansão dos pseudópodes. Quando a ameba se movimenta, seu citoplasma flui entre prolongamentos celulares (pseudópodes) recém-formados que parecem com braços que gradualmente se expandem e se avolumam, de modo que a célula, por inteiro, ocupa o espaço onde previamente apenas um pequeno pseudópodo havia começado a se formar.

Em uma ameba, a camada mais externa, o ectoplasma, é um gel relativamente firme. Quando o pseudópode é formado, o endoplasma, que é mais líquido, flui para o interior desse e um novo ectoplasma é formado na superfície.

O movimento amebóide tem semelhanças evidentes com o fluxo citoplasmático (ciclose), um fenômeno comumente observado em todos os tipos de células, vegetal ou animal, que têm papel importante no transporte intracelular.

O fluxo citoplasmático e a formação de pseudópodes parece que dependem da interação entre o filamento de miosina e actina; isto significa que é o mesmo mecanismo fundamental da contração muscular.

### **Movimentação por cílios e flagelos**

Os cílios são estruturas com aspecto de pequenos pêlos com 0,25 micrômetros de diâmetros constituídos por um feixe de microtúbulos dispostos paralelamente e envoltos por uma membrana. Os cílios são curtos, múltiplos. Estendem-se a partir da superfície de muitos tipos de células e são encontrados na maioria das espécies animais, em muitos protozoários e em algumas plantas inferiores. Têm como função primária a de movimentar fluido sobre a superfície celular ou deslocar células isoladas através de um fluido. Os flagelos dos espermatozoides de muitos protozoários possuem grande semelhança com cílios, porém muito mais longos.

Os flagelos são, geralmente, únicos e bem longos. No corpo humano estão situados apenas nos espermatozoides. Na cauda do espermatozoide já foram verificadas mais de 200 tipos de proteínas. Uma célula ciliada, como um paramécio, pode ter milhares de cílios distribuídos sobre sua superfície.

As brânquias ciliadas e os tentáculos, comuns em muitos invertebrados, destinam-se a duas funções: trocas respiratórias e filtração da água para a obtenção de partículas alimentares. Os cílios servem, também, para movimentar fluidos em tubos, tais como os dos sistemas reprodutor e excretor (p. ex., os nefrídeos dos anelídeos). Em mamíferos, os epitélios ciliados auxiliam o transporte de material junto às superfícies internas, como a movimentação do muco no trato respiratório e o ovo no interior do oviduto.

Estruturas ciliares modificadas, reconhecidas pela distribuição característica 9+2 filamentos internos, estão presentes nos olhos dos insetos, bem como na maioria dos outros órgãos sensoriais na maioria dos filos animais.

Uma série de experiências realizadas com flagelos isolados de cauda de espermatozoide demonstraram que os pares de microtúbulos deslizam entre si durante a contração e que a força motriz para este movimento deriva da interação dos braços de dineína com microtúbulos vizinhos. A dineína estabelece contato com a tubulina dos microtúbulos vizinhos e gera força da mesma intensidade que a miosina com a actina. Essas forças promovem movimentos de deslizamento entre pares de microtúbulos vizinhos, provocando o deslizamento de um par em relação

ao outro. Este deslizamento é limitado por proteínas que prendem os pares de microtúbulos aos outros. O resultado da ação destas forças contidas leva a um dobramento dos cílios.

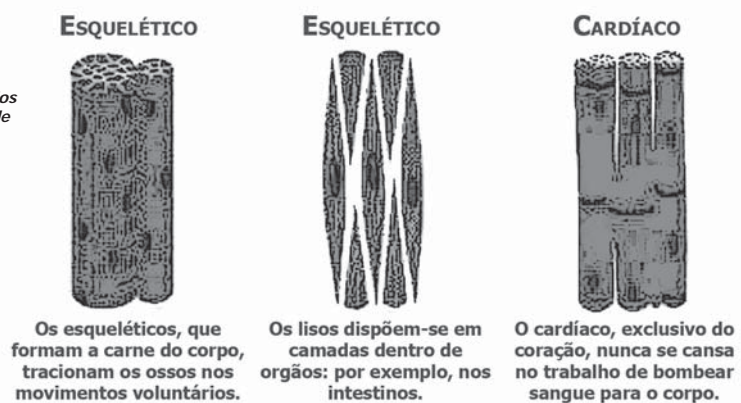
É a dineína que dirige os movimentos dos cílios e flagelos em células não-musculares. Várias observações sugerem que o ATP fornece energia para o movimento ciliar e flagelar. Por exemplo, a queda do teor de ATP nos espermatozoides diminui sua motilidade: a adição de ATP a células ciliadas e flagelos isolados e previamente tratados por detergentes (para remover a membrana e facilitar a entrada de ATP) promove rigorosos movimentos dos cílios e flagelos.

## Músculo e movimento

O mecanismo bioquímico da contração muscular é o mesmo em todos os músculos e são as proteínas actina e miosina que estão envolvidas no mecanismo, tendo o ATP como fonte imediata de energia para a contração.

Os músculos esqueléticos e cardíaco de vertebrado são estriados; os músculos dos órgãos internos são lisos (Figura 4.4). Os músculos esqueléticos são também chamados de músculos voluntários, porque os músculos dos membros e tronco estão sob o controle da vontade, mas nem sempre temos consciência ou podemos decidir pela locomoção respiração e outros movimentos.

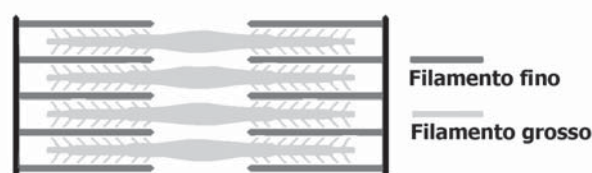
**FIGURA 4.4 - Músculos esqueléticos, liso e cardíaco de vertebrado.**



O músculo liso dos vertebrados é denominado involuntário, porque não está sob controle consciente. O músculo estriado possui contrações mais rápidas que a do músculo liso e, geralmente, o indivíduo não conhece bem o estado de contração muscular em seus vasos sanguíneos, estômago, intestino e outros órgãos internos que têm nas paredes o músculo liso.

O músculo estriado é formado por muitas fibras paralelas que são formadas por fibrilas mais finas com estrias transversais chamadas de banda Z, que se repetem a intervalos exatamente regulares. E entre duas bandas Z existe uma região que se chama de sarcômero.

Na linha Z existem filamentos muito finos que se estendem em ambas as direções e, no centro, se encontram com filamentos um pouco mais grosso, resultando em um número de bandas menos proeminentes, localizadas entre as linhas Z; de acordo com o estado de contração do músculo a aparência dessas bandas é modificada como mostra a Figura 4.5.



**FIGURA 4.5 - No sarcômero, unidade contrátil do músculo, encontramos filamentos grossos e finos intercalados e dispostos como mostra a figura abaixo.**

Os filamentos grossos são constituídos de miosina e os filamentos finos de actina. A disposição dos filamentos é extremamente regular e bem ordenada. Esses filamentos são interligados por um sistema de ligações moleculares cruzadas e quando o músculo contrai e encurta, essas ligações cruzadas são reorganizadas de forma que os filamentos grossos deslizam por entre os finos e, nem os filamentos grossos e nem os filamentos finos têm seus movimentos alterados durante a contração, mas eles se movem uns em relação aos outros.

O músculo cardíaco possui estrias transversais semelhantes à do músculo esquelético. E as propriedades essenciais para a contração rítmica normal do coração são:

- Quando se inicia a contração em uma região do músculo cardíaco, ela rapidamente se espalha por toda massa muscular;
- Uma contração é seguida imediatamente por um período de relaxamento, durante o qual o músculo não pode ser estimulado para deflagração de uma nova contração. O resultado é que não ocorre uma contração duradoura como ocorre em um músculo esquelético.

O músculo liso não possui estrias transversais, mas sua contração depende das mesmas proteínas do músculo estriado, actina e miosina e da energia proveniente do ATP.

Além do ATP (trifosfato de adenosina), como fonte de energia para os músculos, existe um outro fosfato orgânico, o fosfato de creatina que se encontra em grandes quantidades. O seu grupo fosfórico é também para o difosfato de adenosina (ADP) e, assim, é restaurado o suprimento de ATP, que está presente em pequena quantidade no músculo. E como terceira fonte de energia é a oxidação de carboidrato e ácidos graxos. Os carboidratos são armazenados no músculo sob a forma de glicogênio e na ausência de oxigênio suficiente, pode produzir energia ao ser quebrado até o ácido láctico.

Nos músculos de vertebrados está presente o fosfato de creatina, mas em alguns invertebrados é ausente, porém o fosfato de arginina, outro fosfato orgânico, que não é encontrado no músculo de vertebrados está presente no músculo de invertebrados.

### **Contração muscular**

A contração muscular que produz uma força exercida nos pontos de fixação e que não ocorre modificação no comprimento é denominada contração isométrica. Se for adicionado a uma das extremidades do músculo um peso que ele consegue erguer, o músculo encurtará durante a contração, ela é denominada contração isotônica.

O filamento grosso é constituído pela proteína miosina, mas o filamento fino é formado por três proteínas; actina, tropomiosina e troponina (Figura 4.6). A troponina está ligada à tropomiosina e é fundamental para o processo de contração. Quando a troponina liga-se aos íons cálcio ocorre uma alteração conformacional que é essencial para a interação entre as cabeças de miosina dos filamentos grossos e a actina dos filamentos finos (Squire 1975). Quando as cabeças de miosina unem-se aos filamentos finos em determinado ângulo; elas sofrem uma alteração con-

fomacional, que faz com que a ponte gire sobre o eixo para um ângulo diferente, tracionando o filamento fino para além do grosso (Huxley, 1973).



**FIGURA 4.6** - O filamento fino é composto por três proteínas, a actina, a troponina e a tropomiosina. A actina é a molécula central, que polimerizada forma uma dupla hélice e contém os sítios de ligação com a miosina. A tropomiosina é uma molécula presa à actina de forma espiralada sobre a dupla hélice.

Cada ciclo de união implica no dispêndio de energia na forma de ATP. Molécula de ATP liga-se temporariamente à cabeça da miosina, formando um complexo ativo que se unirá às moléculas disponível e não bloqueado pela fita delgada de tropomiosina (Weber e Murray, 1973).

Enquanto a miosina não se combinar com uma nova molécula de ATP ela não se separa novamente da actina, porque para cada desacoplamento o ATP é indispensável. A condição de rigidez muscular após a morte (rigor mortis) ocorre devido a incapacidade de desacoplamento das pontes cruzadas, pois o suprimento de ATP no músculo fica esgotado.

### Função do cálcio

Logo após a estimulação do músculo, a concentração de cálcio no interior da fibra muscular aumenta, e esses íons se ligam à troponina, proteína controladora que passa por uma alteração conformacional, permitindo que a tropomiosina, (proteína bloqueadora da interação entre a cabeça da miosina e o filamento) seja deslocada da sua posição de bloqueio nas moléculas de actina.

A equorina é uma proteína que pode ser isolada de um celenterado luminescente e emite luz na presença de íons cálcio. Essa proteína foi usada para demonstrar o aumento da concentração de íons cálcio logo após a estimulação. Quando injetada nas fibras musculares da craca gigante *Balanus nubilis*, produz uma fraca luminescência no momento em que as fibras sofrem uma estimulação elétrica, indicando um aumento na concentração de íons cálcio dentro das fibras musculares.

### A contração muscular

A membrana da célula muscular, sarcolema, faz conexão com um complexo sistema de túbulos transversais, que atravessam as células musculares próximas às linhas Z, conhecido como sistema T. O sarcolema é despolarizado quando um impulso nervoso atinge a placa motora, essa despolarização continua dentro do sistema T e desencadeia as etapas complementares da contração. A Tabela 4.1 mostra a os eventos desde a estimulação até contração muscular.

O retículo sarcoplasmático, que circunda a fibra muscular, é um sistema de vesículas achatadas. A medida que um impulso percorre o sarcolema e o sistema T, a alteração é transmitida à membrana do retículo sarcoplasmático, causando um aumento na permeabilidade ao cálcio. Como resultado os íons cálcio, que estavam dentro do sarcolema do músculo em repouso, são

liberados e desencadeia a alteração na configuração da troponina, permitindo a interação entre a actina e miosina que é a base da contração. O cálcio liberado retorna ao retículo sarcoplasmático, e permanece até chegar um novo impulso; no músculo esquelético relaxado. Esses eventos, o músculo contraído e relaxado, podem ser vistos nos esquemas das figuras 4.7 e 4.8.



FIGURA 4.7 - Esquema de um músculo contraído.

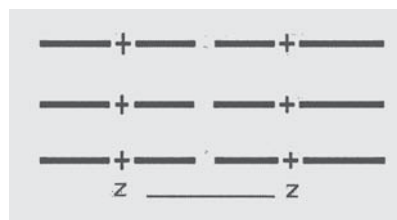


FIGURA 4.8 - Esquema de um músculo relaxado.



TABELA 4.1 Seqüência de eventos na estimulação e contração muscular (Schmidt-Nielsen, 1996).

### Estimulação

Despolarização do sarcolema

Despolarização do sistema T

Liberação de  $\text{Ca}^{++}$  do retículo sarcoplasmático

Difusão de  $\text{Ca}^{++}$  para o filamento fino

### Contração

5 - Ligação do cálcio à troponina

6 - Remoção do bloqueio exercido pela tropomiosina nos sítios de actina, pelo complexo troponina- $\text{Ca}^{++}$

7 - Formação de pontes cruzadas entre as cabeças do filamento grosso (contendo o complexo preexistente de miosina-ATP) e a fita de actina

8 - Hidrólise do ATP, com indução de alterações conformacionais nas cabeças, causando a rotação das pontes cruzadas

### Relaxamento

9 - Seqüestro de  $\text{Ca}^{++}$  do filamento fino, pelo retículo sarcoplasmático

10 - Difusão do  $\text{Ca}^{++}$  do filamento fino para o retículo sarcoplasmático

11 - Liberação de  $\text{Ca}^{++}$  do complexo troponina- $\text{Ca}^{++}$

12 - A troponina permite que a tropomiosina retorne à sua posição de bloqueio

13 - Qualquer das pontes cruzadas de miosina-actina

14 - Reedição do complexo ATP-miosina nas cabeças do filamento grosso



## Músculos rápidos e lentos de vertebrados

As fibras rápidas do músculo estriado dos vertebrados são denominadas fibras fásicas e as mais lentas fibras tônicas. As fibras fásicas são utilizadas em movimentos rápidos e as tônicas para manter contrações prolongadas de baixa intensidade. O sistema fásico está associado a grandes fibras nervosas com velocidade de condução em torno de 8 a 40m/s, que provocam respostas contráteis rápidas. As fibras do sistema tônico são pequenas e a velocidade de condução é de 2 a 8 m/s, provocando contrações musculares graduadas, acompanhadas de potenciais musculares não-propagados de pequena amplitude e duração prolongada.

O músculo sartório da rã é formado por fibras fásicas, ele se estende ao longo da coxa e é usado, principalmente, para o salto. As fibras fásicas respondem de acordo com a lei do tudo ou nada, isto significa que quando um estímulo excede um determinado valor mínimo (valor limiar), elas respondem com uma contração total. Um aumento adicional na intensidade do estímulo não provoca um aumento da resposta. Desse modo, a fibra muscular não responde com intensidade máxima. Isso é conhecido como a lei do tudo ou nada.

As fibras musculares do músculo tônico são inervadas por fibras nervosas de pequeno diâmetro. Ao contrário das fibras musculares fásicas, a resposta das fibras tônicas não se espalha necessariamente por toda fibra para produzir uma resposta completa de tudo ou nada. A resposta a um estímulo único é pequena e a tensão aumenta com uma frequência repetida de estímulos. Portanto, é necessário uma estimulação repetida de pequenos nervos para provocar um acréscimo significativo na tensão das fibras tônicas. Frequências crescentes aceleram a taxa de aumento da tensão. O relaxamento após a concentração da fibra muscular lenta é, no mínimo, 50 a 100 vezes mais lento que após ação de uma fibra fásica. Esse tipo de resposta tem uma função importante na atividade postural da rã (Kuffler e Williams 1953b).

Os peixes também possuem músculos constituídos por fibras fásicas e tônicas. A cavalinha e o atum nadam continuamente a velocidade relativamente lenta, possuem dois tipos de fibras em diferentes massas musculares. Devido a alta concentração de mioglobina, o músculo tônico é vermelho e está localizado nas laterais do animal e se estende em direção a coluna vertebral. O músculo vermelho executa a natação à velocidade cruzeiro e a massa de músculo branco (tipo fásico) representa a reserva de força para curtos surtos de atividade de alta velocidade. No tubarão as fibras tônicas são usadas durante a natação vigorosa, como a perseguição a uma presa.

## Músculo cardíaco

O músculo cardíaco, como o músculo esquelético, contém filamentos de actina e miosina e estrias transversais idênticas às do músculo esquelético, porém, apresenta uma maior abundância de mitocôndrias. Isso é compreensível tendo em vista a necessidade constante do músculo cardíaco em trabalhar continuamente durante toda a vida do organismo.

A contração do coração é originada nas células do marcapasso, que são células musculares especializadas. Como as contrações repetidas origina-se no tecido muscular, o coração dos vertebrados é considerado como sendo miogênico. O coração de alguns invertebrados, por outro lado, são chamados de neurogênicos, pois as contrações iniciam-se por impulsos provenientes do sistema nervoso. A natureza miogênica do coração dos vertebrados não significa, entretanto, que

não haja influência do sistema nervoso. Pelo contrário, a frequência e a amplitude podem ser modificados por nervo do sistema nervoso autônomo. Um deles é o nervo vago que contém fibras nervosas parassimpáticas que liberam acetilcolina, causando a redução da frequência cardíaca. A estimulação pelos nervos simpáticos provoca a liberação de noradrenalina, elevação da frequência de batimentos cardíacos e contrações mais vigorosas do músculo cardíaco.

O músculo não necessita ser estimulado por nervos para contrair, pois apresenta contrações rítmicas espontâneas, que podem variar muito em frequência e intensidade. Isso é particularmente válido para os músculos da parede intestinal que servem para mover o conteúdo intestinal, à medida que ondas peristálticas de contração são transmitidas pelo intestino. A atividade espontânea do músculo liso pode ser modificada não apenas pelos nervos, mas também por hormônios, tais como a adrenalina e noradrenalina. Porém, a velocidade de contração é geralmente muito mais lenta que nos músculo estriado.

O músculo liso de vertebrados é innervado pelo sistema nervoso autônomo por dois conjuntos de nervos, um estimulador e o outro inibidor, isto é, agem de forma antagônica. A diferença entre músculo liso e voluntário está nas camadas musculares, localizadas principalmente na parede dos órgãos ocos, contendo numerosas fibras e células nervosas. O estiramento súbito do músculo liso causa uma contração imediata; portanto, a distensão de um órgão oco é frequentemente seguida por contração.

### **Músculo catch dos moluscos**

Quando uma estrela-do-mar ataca um mexilhão, ela acopla seu pé tubular nas duas conchas e tenta separá-las. Durante o teste de resistência protetora, o músculo de fechamento do bivalve permanece em estado de contração, conhecido como catch. Em algumas espécies, mas não em todas, os músculos do fechamento das conchas estão divididos em duas porções, fibras lisas e estriadas. Do ponto de vista funcional, a parte estriada contrai rapidamente e é indicada como porção rápida ou fásica e a não estriada é muito mais lenta e é conhecida como porção lenta ou tônica.

O músculo mais estudado do tipo catch é o músculo retrator anterior do bisso (MRAB) do mexilhão azul (*Mytilus edulis*), que contém somente fibras lisas. E o nervo é misto, isto é, contém fibras nervosas de excitação e relaxamento. As fibras de excitação agem provavelmente por meio da liberação de acetilcolina e as de relaxamento, pela liberação de uma outra substância transmissora, a serotonina.

O aspecto singular do catch é que a rigidez muscular (resistência ao estiramento) é mantida após o término da excitação. Há fortes evidências de que isso ocorra porque as pontes cruzadas permanecem unidas e apenas se desconectam em resposta a impulsos nervosos de relaxamento (ou serotonina). Isso sugere que os músculos de fechamento dos bivalves, uma vez que tenham encurtado e entrado em catch, mantêm seus comprimentos sem gasto energético adicional.

## **Músculo dos crustáceos**

Qualquer pessoa que já tenha manipulado caranguejos ou lagostas vivos tem conhecimento da dor que pode ser causada pela força impressionante que esses animais podem exercer por meio de suas pinças. Tal condição não se deve a um vigor muscular extraordinariamente grande, mas, sim, à disposição anatômica das fibras. Na pinça de um caranguejo, o músculo é peniforme. Isso significa que as fibras, ao invés de serem paralelas na direção da tração, estão dispostas em ângulo, aumentando muito a vantagem mecânica.

Um aspecto interessante do músculo do crustáceo é inervação múltipla: as fibras musculares isoladas podem ser inervadas por duas ou mais fibras nervosas. Além dos nervos múltiplos que estimulam a contração do músculo, muitos músculos de artrópodos também possuem nervos inibitórios, cuja estimulação resulta no relaxamento muscular caso o músculo esteja previamente em estado de contração. No crustáceo, o músculo por inteiro é geralmente inervado por somente alguns, ou um único axônio. Isso faz com que o músculo funcione como uma unidade isolada e, dependendo dos impulsos que recebe, pode funcionar como um músculo rápido ou lento.

## **Músculo do voo de insetos**

Muitos insetos, como as libélulas, mariposas, borboletas e gafanhotos, exibem uma frequência relativamente baixa de batimentos de asas e cada contração muscular ocorre em resposta a um impulso nervoso. Como a contração do músculo é sincronizada com o impulso nervoso, esse tipo é conhecido como músculo sincrônico. Mas, existem pequenos insetos como as abelhas, moscas e mosquitos que batem as asas demasiadamente rápido para que um impulso nervoso atinja o músculo a cada contração. Esses músculos rápidos possuem nervos, porém os impulsos nervosos são transmitidos a uma frequência mais baixa que as contrações e, portanto, os músculos são denominados de músculos assíncrônicos.

Os músculos no interior do tórax de um inseto de batimentos de asas rápido não estão acoplados às asas, mas à parede do tórax. Há dois conjuntos de músculos que, por conveniência, podem ser chamados de vertical e horizontal. O efeito primordial da contração muscular é deformar o tórax e devido ao menor encurtamento das fibras, apenas uma pequena fração do comprimento muscular, a contração pode ocorrer muito rapidamente. No entanto, a propriedade mais importante do músculo assíncrônico é que a contração é uma resposta ao estiramento.

Quando os músculos verticais contraem, o tórax é deformado, assumindo uma nova posição com um estalido, de modo que a tensão é subitamente dissipada dos músculos verticais em contração. Entretanto, uma modificação repentina na forma do tórax causa o estiramento do conjunto horizontal de músculos do voo que, por sua vez, funciona como um estímulo para a contração. Tal contração deforma o tórax na direção oposta e ele subitamente estala de novo para voltar à posição inicial, liberando a tensão dos músculos horizontais. Isso causa estiramento dos músculos verticais que respondem com uma nova contração e assim por diante.

## Esqueletos hidráulicos

### Minhocas

A parede de uma minhoca comum apresenta duas camadas musculares que se estendem em duas direções distintas, tanto em folhetos circulares ao redor do corpo como na direção longitudinal. O movimento da minhoca quando rasteja para frente é aproximadamente o seguinte: uma onda de contração dos músculos circulares inici-se na extremidade anterior, causando afilamento e alongamento do corpo, empurrando a extremidade anterior para frente. A contração circular percorre todo o corpo como uma onda, seguida por uma onda de contração dos músculos longitudinais.

O movimento da minhoca quando rasteja para frente é, aproximadamente, o seguinte: Uma onda de contração dos músculos circulares inicia-se na extremidade anterior, causando afilamento e alongamento do corpo, empurrando a extremidade anterior para frente. A contração circular percorre todo corpo como uma onda, seguida por uma onda de contração dos músculos longitudinais.

A minhoca se movimenta para frente à medida que as ondas de contração movem-se em sentido retrógrado. E, quando a minhoca se movimenta, os músculos exercem força sobre o conteúdo fluido do animal; os músculos circulares criam uma pressão que provoca o estiramento dos músculos longitudinais e quando esses músculos se contraem, subsequentemente, a pressão distende os músculos circulares e a minhoca se espessa.

### Patas de aranha

As aranhas não podem estender suas patas com o auxílio dos músculos, pois não possuem músculos extensores. Fotografias de alta velocidade das aranhas saltadoras dão suporte ao conceito de que a pressão sanguínea está envolvida, pois, no momento do salto, as espículas das patas ficam eretas, exatamente como o fazem quando há um aumento na pressão do fluido no interior da pata. Entretanto, o mecanismo preciso não é completamente entendido (Parry e Brown, 1959b).

## Locomoção

Um animal que corre sobre uma superfície horizontal utiliza energia sob três formas principais:

- A movimentação através do ar requer energia para superar a resistência devida ao atrito do ar.
- À medida que o animal corre, seu centro de massa é constantemente levantado, caindo logo em seguida. Trabalho é realizado cada vez que o corpo é levantado, aumen-

tando sua energia potencial, e a maior parte desta é novamente perdida à medida que o centro de massa é abaixado.

- À medida que o animal se movimenta, os membros são constantemente acelerados e novamente desacelerados. Trabalho é necessário para acelerar um membro e fornecer energia cinética; para desacelerar, o membro requer trabalho adicional.

A força mecânica para superar o atrito nas articulações é mínima, mas alguns animais apresentam aumento dos movimentos respiratórios e da atividade de bombeamento do coração. Entretanto, a quantidade é muito pequena quando comparada com a energia necessária para a movimentação mecânica do corpo.

A corrida ladeira acima a 15° de inclinação causa um aumento insignificante no consumo de oxigênio de um animal pequeno, como um camundongo de 30g. Para animais maiores, neste caso o chimpanzé, a corrida ladeira acima aumenta muito o consumo de oxigênio. De forma similar, a corrida ladeira abaixo faz pouca diferença para o camundongo, mas torna o deslocamento muito menos custoso para o chimpanzé [Taylor e col., 1972].

## Saltos

Como um salto requer apenas uma única contração dos músculos apropriados, o trabalho realizado durante a partida para o salto e o utilizado para a aceleração é o mesmo em relação à massa corpórea. A conclusão é que animais de constituição isométrica, mas massas diferentes, devem saltar a uma mesma altura, contanto que seus músculos contraíam com a mesma força.

Quanto menor o animal, menor a distância de partida para o salto, e visto que a velocidade de partida deve ser a mesma para todos, o animal menor necessita acelerar mais velozmente seu peso corpóreo. Como há menos tempo disponível para a partida, a potência do músculo precisa ser aumentada de acordo (isto é, o músculo deve contrair muito rapidamente).

A pulga salta utilizando o princípio da catapulta e armazena energia em um pedaço de material elástico (resilina), na base das patas traseiras. A resilina é uma proteína com propriedades muito semelhante à borracha (Weis-Fogh, 1960; Andersen e Weis-Fogh, 1964). Os músculos relativamente lentos são usados para comprimir esse material, que devolve a energia total com uma eficiência próxima a 100%, quando o mecanismo de liberação é disparado. Dessa maneira, o reschacho elástico funciona à semelhança de um estilingue e confere à pulga a necessária aceleração.

O besouro click, como a pulga, é muito pequeno para que os músculos proporcionem a aceleração necessária durante o curto tempo de aceleração. Metade de um milissegundo não é suficiente para a contração muscular e a melhor maneira de obter energia, à velocidade necessária, é armazená-la em uma estrutura elástica.

## Vôo

A potência necessária para que um animal seja impulsionado no ar durante o vôo tem dois componentes: deve haver uma força de ascensão (empuxo) equivalente ao seu peso e um impulso



para frente equivalente ao arrasto sobre o animal à medida que ele se movimenta no ar. Em animais voadores, o empuxo e o impulso para frente são proporcionados pelas superfícies.

A principal força para o vôo de uma ave é provida pelos músculos peitorais, que em todas as aves constituem cerca de 15% da massa corpórea, independentemente do tamanho da ave. Os músculos responsáveis pelo curso ascendente das asas constituem apenas aproximadamente um décimo da massa total dos músculos do vôo e, desse modo, não podem prover uma fração importante da força necessária para o vôo.

Como um grupo, os beija-flores são diferentes; seus músculos de vôo constituem 25 a 30% da massa corpórea. Os músculos responsáveis pelo curso ascendente das asas constituem cerca de um terço da massa total dos músculos do vôo, indicando que para o vôo pairado, os cursos ascendente e descendente das asas são importantes no fornecimento de potência e, como a ave permanece voando no mesmo lugar, toda a potência é destinada ao soerguimento.

O beija-flor, ao pairar no ar, obtém sustentação durante os cursos ascendente e descendente das asas. O curso descendente é na realidade um batimento na direção anterior (esquerda) e no batimento de retorno (direita), a asa é torcida, invertendo o aerofólio, proporcionando dessa maneira a força de sustentação necessária em ambos os batimentos. O vetor horizontal é invertido de modo que a ave permaneça no mesmo lugar (Stolpe e Zimmer, 1939). Outras aves, como corvos e estorninhos, usam suas asas de modo diferente e pairam no ar de forma que a sustentação seja produzida no curso descendente, mas não no ascendente (Dathe e Oehme, 1978).

## **Natação**

A natação, em princípio, não é muito diferente do vôo, exceto que a maior densidade da água reduz a potência necessária para a sustentação do corpo. De fato, alguns animais nadadores possuem a mesma densidade que a água e nenhuma potência é usada para obter sustentação; toda a potência usada na natação pode ser direcionada para impulsionar o corpo. A densidade e a viscosidade da água maiores são importantes e os peixes não nadam tão rapidamente quanto as aves voam.

## **Flutuabilidade**

Se um animal que nada for mais pesado que a água, parte de seu gasto energético servirá para impedir que afunde e apenas parte estará disponível para a locomoção. Se o animal tivesse a mesma densidade que a água (isto é, possuísse uma flutuabilidade neutra), teria mais energia disponível para se mover.

O problema da flutuabilidade é mais importante para os grandes animais do que para aqueles muito pequenos. Os apêndices, grandes o suficiente para funcionar como freios evitando o afundamento, são mecanicamente impossíveis em grandes organismos, que devem, portanto, fazer uso de outros meios.

Uma redução na densidade ou gravidade específica de um organismo é a única solução para que ele se mantenha flutuando, sem envolver um certo grau de ação natatória (isto é, gasto energético). Podem ser relacionadas cinco formas para reduzir a tendência ao afundamento e levar o organismo a um estado de flutuabilidade neutra:

1 - Redução na quantidade de substâncias pesadas (a exemplo do carbonato de cálcio ou fosfato de cálcio).

2 - Substituição de íons pesados (p. ex.,  $Mg^{2+}$  e  $SO_4^{2-}$  por  $Na^+$ ,  $Cl^-$  ou até mesmo íons mais leves,  $H^+$  e por  $NH_4^+$ ).

3 - Remoção de íons sem que haja substituição (isto é, o organismo torna-se mais diluído).

4 - Aumento da quantidade de substâncias mais leves que a água, principalmente gorduras e óleos.

5 - Utilização de pneumatóforos, como a bexiga natatória dos peixes.

O princípio básico, o deslizamento entre microfilamentos adjacentes, parece ser o mecanismo universal para a produção de força. Em qualquer animal, exceto os menores, a locomoção depende de forças que atuam sobre elementos esqueléticos, um esqueleto hidráulico ou um rígido, que pode ser interno (p. ex., em vertebrados) ou externo (p. ex., em artrópodos). As adaptações dos animais à locomoção revelam muitos princípios interessantes de biomecânica, incluindo como os animais aquáticos conseguem uma flutuabilidade neutra, evitando, assim, o gasto de energia para impedir que afundem (Schmidt-Nielsen, 1996).



## Atividade Complementar

**1.** Classifique os hormônios quanto à estrutura e à natureza química.

---

---

---

---

---

**2.** O funcionamento da hipófise é controlado pelo hipotálamo, mediado junto a neuro-hipófise via conexões neurais, e junto a adeno-hipófise via vasos sanguíneos especiais. Cite os hormônios produzidos pela neuro-hipófise e a função de cada um deles.

---

---

---

---

---

**3.** Qual a importância das ilhotas de Langerhans existentes no pâncreas? Qual é a consequência da retirada das glândulas paratiróides?

---

---

---

---

---

**4.** Como se obtém a vitamina D3 e qual a relação entre essa vitamina e os ossos?

---

---

---

---

---

**5.** Descreva, sucintamente, a atuação dos hormônios que exercem funções fundamentais na fisiologia dos insetos, principalmente no crescimento, muda, fase de muda, fase de pupa e metamorfose.

---

---

---

---

---

**6.** Diferencie, fisiologicamente, o tecido muscular liso do estriado.

---

---

---

---

---

**7.** Como ocorre a contração muscular?

---

---

---

---

---

**8.** Conceitue as fibras fásicas e tônicas.

---

---

---

---

---

**9.** Por que o coração dos vertebrados é considerado miogênico e o dos vertebrados neurogênicos?

---

---

---

---

---

**10.** O que é o mecanismo de “catch”, presente em alguns músculos de moluscos bivalves? Explique-o.

---

---

---

---

---



## Glossário

- **ÁCIDO ÚRICO:** produto nitrogenado, menos solúvel que a uréia; presente na excreção de aves e répteis. Tem relação com a adaptação ao ovo terrestre.
- **ACTINA:** proteína relacionada com o movimento celular; está presente em grande quantidade nos músculos.
- **ADRENALINA:** ou epinefrina. Hormônio produzido pela medula da glândula adrenal; prepara o organismo para reações de defesa ou ataque.
- **ALVÉOLO PULMONAR:** cada um dos milhões de saquinhos de parede fina (uma camada celular) presentes nos pulmões dos vertebrados; as paredes dos alvéolos estão em íntimo contato com capilares sanguíneos; é ao nível dos alvéolos que ocorre a hematose.
- **AMIDO:** polissacarídeo sintetizado a partir da reunião de moléculas de glicose.; utilizado por certas algas e pelas plantas como substância de reserva.
- **AMILASE:** nome genérico de enzimas que digerem o amido, transformando-o em maltose.
- **AMÔNIA:** substância nitrogenada de fórmula  $\text{NH}_3$ ; é produzida pelas células quando estas utilizam os aminoácidos (reação de desaminação). É bastante tóxica, devendo ser eliminada imediatamente, ou transformada em produto menos tóxico, como a uréia, por exemplo.
- **ARTÉRIA:** vaso sanguíneo que conduz sangue do coração para os tecidos; possui parede mais espessa que a veia.
- **ATP (ADENOSINA-TRIFOSFATO OU TRIFOSFATO DE ADENOSINA)** - molécula constituída por ribose, adenina e três grupos fosfato; representa a principal fonte de energia para as reações celulares.
- **BRÂNQUIA:** bolsa respiratória presente em diversos invertebrados aquáticos e também nos peixes e larvas de anfíbios. São expansões faringeanas, com ampla superfície de contato com a água do meio. Devido à sua grande irrigação sanguínea, permite eficiência nas trocas gasosas.
- **CÁPSULA DE BOWMAN:** parte do néfron dos animais vertebrados, que recolhe o filtrado glomerular e os envia aos túbulos, onde se formará a urina.
- **CÉLULA** - unidade morfológica e funcional de todos os seres vivos, com exceção dos vírus, que são acelulares. De acordo com sua complexidade, as células podem ser classificadas em procarióticas e eucarióticas. As células procarióticas (bactérias e cianobactérias) não possuem envoltório nuclear nem organóides membranosos no citoplasma; seu material genético está concentrado numa região chamada nucleóide, que está em contato direto com o citoplasma. As células eucarióticas (encontradas em todos os outros seres com organização celular) têm um envoltório (carioteca) delimitando um verdadeiro núcleo e organóides membranosos (mitocôndrias, cloroplastos, lisossomos, complexo de Golgi e outros) no citoplasma. Unidade estrutural e fisiológica da vida.



- **CELOMA:** cavidade interna do corpo de certos animais, totalmente revestida por mesoderma.
- **CEPHALOPODA:** cefalópodes; classe de moluscos cujos representantes não apresentam concha, ou a apresentam interna e reduzida; o pé é dividido em 8 ou 10 tentáculos com ventosas. Ex. Polvo e lula.
- **CÉREBRO:** termo usado para designar o órgão formado por um grande aglomerado de corpos celulares de neurônios; significa especificamente, uma das partes do encéfalo, o telencéfalo.
- **COLESTEROL** - lipídio do grupo dos esteróides, presente em membranas de células animais; é precursor de outros esteróides biologicamente ativos, tais como os hormônios sexuais (estrógeno, progesterona e testosterona) e a vitamina D. Nos seres humanos, é sintetizado principalmente no fígado. Em certas condições, o colesterol pode depositar-se na parede das artérias, reduzindo, e até interrompendo, o fluxo de sangue para vários órgãos (coração, rins, cérebro e outros).
- **CORAÇÃO:** órgão oco e musculoso presente em diversos grupos de animais, responsável pelo bombeamento do sangue pelos vasos (circulação sanguínea).
- **DENDRITO:** cada um dos finos prolongamentos do neurônio, capaz de receber estímulos, transformando-os em impulsos nervosos, e transmitindo-os ao corpo celular.
- **DIGESTÃO:** quebra enzimática de moléculas de alimento; a digestão é necessária para que a maioria dos alimentos seja absorvida.
- **ECDISONA:** hormônio responsável pelo processo de muda.
- **ENCÉFALO:** parte do sistema nervoso central dos vertebrados, situado dentro da caixa craniana (crânio); o encéfalo é dividido em 5 partes (telencéfalo, diencéfalo, mesencéfalo, metencéfalo e mielencéfalo).
- **ENDÓCRINO:** relativo às glândulas de secreção interna, que produzem e lançam seus produtos (hormônios) no sangue.
- **ENZIMA:** catalisador biológico de natureza protéica.
- **ESPIRÁCULO:** abertura das traquéias dos insetos e aracnídeos; nos insetos, os espiráculos se situam nas laterais do abdome.
- **ESTRÓGENO:** hormônio feminino produzido pelo folículo ovariano; responsável pelo impulso sexual e pelo desenvolvimento das características sexuais secundárias femininas.
- **EXPIRAÇÃO:** o movimento de saída de ar dos pulmões.
- **GIRINO:** forma larval dos anfíbios, que apresenta vida aquática e respira por meio de brânquias.
- **GLÂNDULA:** órgão especializado em produzir e eliminar secreções; podem ser exócrina ou endócrinas.
- **GLICOGÊNIO:** polissacarídeo sintetizado a partir da reunião numerosas moléculas de glicose, e utilizado por animais vertebrados como reserva.

- **GLUCAGON:** hormônio pancreático que faz subir o nível de açúcar no sangue.
- **HEMOCIANINA:** pigmento respiratório (transportador de oxigênio) verde azulado que contém cobre; presente na hemolinfa de crustáceos e aracnídeos.
- **HEMOGLOBINA:** proteína conjugada, rica em ferro, que atua como pigmento respiratório (transportador de oxigênio); nos vertebrados está presente no interior das hemáceas.
- **HEMOLINFA:** genericamente significa o fluido que preenche certas cavidades do corpo dos artrópodes; equivale ao sangue; no caso dos crustáceos e aracnídeos, há pigmento respiratório (hemocianina) na hemolinfa; já os insetos não apresentam pigmento respiratório.
- **HIDRÓLISE:** tipo de reação química em que ocorre quebra de ligações, com a participação de moléculas de água.
- **HIPERTENSÃO ARTERIAL:** doença em que a pressão arterial diastólica (mínima) encontra-se aumentada (acima de 90 mm Hg).
- **HORMÔNIO:** substância secretada por células de glândulas ou de órgãos endócrinos (em animais); hormônios de plantas são chamadas fitormônios; os hormônios agem em pequenas quantidades sobre tecidos ou órgãos específicos (alvos do hormônio).
- **ILHOTAS DE LANGERHANS:** porção endócrina do pâncreas, responsável pela produção dos hormônios insulina e glucagon.
- **IMPULSO NERVOSO:** onda de natureza elétrica, que se propaga nos nervos e células nervosas.
- **INSPIRAÇÃO:** movimento de entrada de ar nos pulmões.
- **INSULINA:** hormônio pancreático que faz baixar o nível de açúcar no sangue
- **INVERTEBRADO:** animais que não possuem vértebras.
- **LARVA:** estágio jovem de determinados animais; quando há estágio larval, o desenvolvimento é indireto.
- **LH:** hormônio luteinizante; importante hormônio da hipófise, indutor da ruptura do folículo ovariano (ovulação) e da formação do corpo lúteo ou amarelo, que produz progesterona.
- **LIPÍDIO:** classe de substâncias orgânicas pouco solúveis em água.
- **METAMORFOSE** - conjunto de transformações na forma e na estrutura do corpo de um animal, desde o estado de lagarta até a forma adulta, como as que ocorrem em anfíbios, crustáceos e insetos. Os insetos podem ser classificados em ametábolos (que não passam por metamorfose) e metábolos (que passam por metamorfose). São hemimetábolos quando a metamorfose é incompleta (fases de ovo, ninfas e adulto) e holometábolos quando têm metamorfose completa (fases de ovo, larva, crisálida ou pupa e adulto).
- **MIOSINA:** uma das proteínas que constituem a miofibrila; desliza sobre a actina (outra proteína); é esse deslizamento que provoca contração muscular.
- **MOELA:** porção muscular do aparelho digestivo das aves (estômago); tem por função triturar o alimento ingerido.

- **MOLUSCO** - animal pertencente ao filo Mollusca. Os moluscos são celomados e têm tubo digestivo completo. Possuem a superfície ventral modificada em um pé muscular, que apresenta várias formas; as superfícies dorsal e lateral do corpo são modificadas por um manto, que secreta a concha, embora ela possa estar ausente ou reduzida. Existem espécies marinhas, de água doce e terrestres. Exemplos: ostras e mexilhões (classe Bivalvia), caracóis e lesmas (classe Gastropoda), polvos e lulas (classe Cephalopoda).
- **MUDA**: ou ecdise; troca periódica do exoesqueleto que ocorre nos artrópodes; a muda é necessária para permitir o crescimento.
- **MÚSCULO**: órgão formado por tecido muscular, cuja função é a contração para a produção de movimento.
- **NÉFRON**: cada uma dos milhões de unidades excretoras dos rins de animais vertebrados; é responsável pela filtração do sangue e remoção da uréia, formando a urina.
- **NEMATOCISTO**: ou cápsula urticante; cápsula presente no cnidoblasto; possui um fio enrolado sobre si mesmo em seu interior, além de líquido tóxico sob pressão; abre-se explosivamente quando o cnidoblasto é estimulado.
- **NERVO**: via nervosa pertencente ao sistema nervoso periférico, constituído por fibras nervosas (axônios e/ou dendritos); os nervos possuem envoltório protetor e vasos sanguíneos para nutrição e oxigenação.
- **NEURÔNIO**: a célula nervosa; suas partes básicas são: o corpo celular, os dendritos e o axônio.
- **NINFA** é a forma jovem dos insetos hemimetábolos.
- **OCITOCINA**: hormônio produzido pela hipófise; induz as contrações uterinas do parto e a expulsão de leite pelas glândulas mamárias.
- **PÂNCREAS**: órgão associado ao aparelho digestivo dos vertebrados; é considerado uma glândula mista, pois tem função exócrina e endócrina; em sua função exócrina produz o suco pancreático, e em sua função endócrina, produz os hormônios insulina e glucagon.
- **PAPO**: região dilatada do esôfago, que nas aves tem por função acumular e umedecer o alimento deglutido.
- **PROTEÍNA**: substância formada por moléculas grandes (macromoléculas), as quais são constituídas por unidades denominadas aminoácidos.
- **PUBERDADE**: termo utilizado para designar particularmente na espécie humana, a idade em que se atinge a maturidade sexual.
- **PUPA** é a forma intermediária entre larva e o imago nos holometábolos (do grego holo, 'todo', 'tudo', e metabole, 'mudança').
- **QUITINA**: substância de natureza polissacarídica, nitrogenada, que confere rigidez e resistência ao exoesqueleto dos artrópodos; é encontrada também em alguns fungos.
- **RIM**: órgão responsável pela excreção; nos animais vertebrados, o rim é uma estrutura complexa, que desempenha mais de uma função.

**RUME:** o maior dos quatro compartimentos do estômago dos ruminantes.

**RUMINANTE:** animal mamífero cujo estômago é dividido em várias câmaras, uma delas o rume, onde vivem bactérias e protozoários que participam da digestão do ruminante.

**TIREÓIDE:** glândula endócrina situada na região do pescoço, cujos hormônios (tiroxina e triiodotironina), controlam o metabolismo geral do corpo.

**TIROXINA:** um dos principais hormônios da glândula tireóide; contém iodo em sua molécula.

**TRANSPORTE ATIVO:** processo de bombeamento ativo de substâncias através da membrana celular, com gasto de energia.

**TRANSPORTE PASSIVO:** processo através do qual partículas podem atravessar a membrana celular sem que haja gasto de energia; a osmose, a difusão simples, e a difusão facilitada por permeases são processos passivos de transporte.

**TÚBULO DE MALPIGHI:** estrutura excretora presente nos insetos e aracnídeos; retira excreções nitrogenadas da hemolinfa, lançando-as no intestino.

**UNICELULAR:** composta por apenas uma célula.

**URÉIA:** substância orgânica produzida no fígado dos vertebrados, a partir de amônia e gás carbônico; a síntese de uréia é um modo de reduzir a toxidez provocada pela amônia produzida nas células.

**VASOPRESSINA:** ou ADH; hormônio antidiurético produzido pela hipófise.

**VEIA:** vaso sanguíneo que conduz sangue dos tecidos e órgãos para o coração; possui parede relativamente mais fina que a artéria.

**VENTRÍCULO:** um dos tipos de câmaras do coração; o ventrículo recebe sangue da aurícula e o bombeia para as artérias sob alta pressão.

**VITAMINA:** substância orgânica fabricada pelos organismos vivos, requerida em pequena quantidade, mas importante para o desempenho das reações químicas vitais.



## Referências Bibliográficas

- Andersen, S. O., and Weis-Fogh, T. (1964) Resilin: A rubber-like protein in arthropod cuticle. *Adv. Insect Physiol.* 2:1-65
- Avancini e Favaretto (1997) Uma abordagem evolutiva e ecológica. Moderna Editora
- Bretz, W. L., and Schimdt-Nielsen, K. (1972) Movement of gas in the respiratory system of the duck. *J. Exp. Biol.* 56:57-65
- Dathe, H. H., and Oehme, H. (1978) Typen des Rüttelfluges des Vögel. *Biol. Zbl.* 97:299-306
- Do Espirito Santo M., Buttino I. (2003) Rapid assessment of copepod embryo viability by using fluorescent vital dyes and confocal laser scanning microscope. *European journal of histochemistry* Vol 47 (2) pag.7, ISSN 1121-760x
- Eckert, Randall, D., Burggren, W., French, K., Fernald, R. *Fisiologia Animal: Mecanismos e Adaptações.* 4a. Edição. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro. 2000
- Farmanfarmaian, A., and Phillips, J. H. (1962) Digestion, storage, and translocation of nutrients in the purple sea urchin (*Srongylocentrotus purpuratus*). *Biol. Bull.* 123:105-120
- Hazellhoff, E. H., and Evenhuis, H. H. (1952) Importance of the “counter-current principle” for the oxygen uptake in fishes. *Nature, Lond.* 169:77
- Huxley, H. E. (1973) Muscular contraction and cell motility. *Nature, Lond.* 243:445-449
- I. Buttino, M. do Espirito Santo, A. Ianora and A. Miralto (2004) Rapid assessment of copepod embryo viability using fluorescent probes. *Marine Biology* 145: 393-399
- Johansen, K., and Martin, A. W. (1965) Circulation in a giant earthworm, *Glossoscolex giganteus*. 1. Contractile processes and pressure gradients in large blood vessels. *J. Exp. Bol.* 43:333-347
- Kuffler, S. W., and Williams, E. M. V. (1953) Properties of the “slow” skeletal muscle fibres of the frog. *J. Physiol.* 121:318-340
- Paulino, W. R. (1998) *Biologia*, Ática Editora
- Parry, D. A., and Brown, R. H. J. (1959b) The hydraulic mechanism of the spider leg. *J. Exp. Biol.* 36:645-664
- Scheid, P., and Piiper, J. (1972) Cross-current gas exchange in avian lungs: Effects of reversed parabronchial air flow in ducks. *Respir. Physiol.* 16:304-312
- Schmidt-Nielsen, K. (1996) *Fisiologia Animal: Adaptação e Meio Ambiente*, São Paulo, Santos Livraria Editora
- Schmidt-Nielsen, K. (2002) *Fisiologia Animal: Adaptação e Meio Ambiente*, São Paulo, Santos Livraria Editora



- Squire, J. M. (1975) Muscle filament structure and muscle contraction. *Annu. Rev. Biophys. Biomed. Engin.* 4:137-163
- Stolpe, M., and Zimmer, K. (1939) Der Schwirrflug des Kolibri im Zeitlupenfilm. *J. Ornithol.* 87:136-155
- Straus, E., and Yalow, R. S. (1979) Cholecystokinin in the brain of obese and nonobese mice. *Science* 203:68-69
- Taylor, C. R., Caldwell, S.L., and Rowntree, V. J. (1972) Running up and down hills : Some consequences of size. *Science* 178:1096-1097.
- Thomsen, E. (1938) Ueber den kreislauf im Flügel der Musciden, mit besonderer Berücksichtigung der akzessorischen pulsierenden Organe. *Z. Morphol. Oekol. Tiere* 34:416-438
- Tucker, W. A. (1968) Respiratory physiology of house sparrows in relation to high-altitude flight. *J. Exp. Biol.* 48:55-66.
- Weber, A., and Murray, J. M. (1973) Molecular control mechanisms in muscle contraction. *Physiol. Rev.* 53:612-673
- Weis-Fogh, T. (1960) A rubber-like protein in insect cuticle. *J. Exp. Biol.* 37:889-907
- Wigglesworth, V. B. (1949) The utilization of reserve substances in *Drosophila* during flight. *J. Exp. Biol.* 26:150-163
- Wigglesworth, V. B. (1972) *The Principles of insect Physiology*, th ed. London: Chapman & Hall. 827pp.
- Wood, D.W. (1973) *Princípios de Fisiologia Animal*, São Paulo, Editora Polígono - Editora da Universidade de São Paulo.



## Bibliografia Complementar

- Guyton C. (1996) *Tratado de Fisiologia Médica* - Tradução por Charles Alfred Esbérard. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 9ª Ed., 1014p.
- Hoar S. W. (1983) *General and comparative physiology*. 3a. Ed. New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 928p
- Withers P. C. (1992) *Comparative Animal Physiology*. 1a ed. Saunders College Publishing, 949p.



## Sites

- [www.curlygirl.naturlink.pt](http://www.curlygirl.naturlink.pt)
- [www.orbita.starmedia.com](http://www.orbita.starmedia.com)

- [www.saudevidaonline.com.br](http://www.saudevidaonline.com.br)
- [www.wikipedia.org.br](http://www.wikipedia.org.br)

[illegible]

**FTC - EaD**

Faculdade de Tecnologia e Ciências - Educação a Distância

---

www.ead.ftc.br



[www.ftc.br/ead](http://www.ftc.br/ead)