

Anatomia geral e comparada

Anatomia geral e comparada

Jeanete Lopes Naves

© 2017 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente

Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação

Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico

Alberto S. Santana
Ana Lucia Jankovic Barduchi
Camila Cardoso Rotella
Cristiane Lisandra Danna
Danielly Nunes Andrade Noé
Emanuel Santana
Grasiele Aparecida Lourenço
Lidiane Cristina Vivaldini Olo
Paulo Heraldo Costa do Valle
Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

Isabel Cristina Chagas Barbin

Editorial

Adilson Braga Fontes
André Augusto de Andrade Ramos
Cristiane Lisandra Danna
Diogo Ribeiro Garcia
Emanuel Santana
Erick Silva Griep
Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Naves, Jeanete Lopes
N323a Anatomia geral e comparada / Jeanete Lopes Naves. –
Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017.
168 p.

ISBN 978-85-522-0028-4

1. Anatomia humana. 2. Anatomia comparada. I. Título.

CDD 611

2017
Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza
CEP: 86041-100 – Londrina – PR
e-mail: editora.educacional@kroton.com.br
Homepage: <http://www.kroton.com.br/>

Sumário

Unidade 1 Conceitos gerais de anatomia geral e comparada e sistemas ósseo e articular _____	7
Seção 1.1 - Introdução aos estudos de anatomia _____	9
Seção 1.2 - Anatomia geral e comparada do sistema ósseo _____	23
Seção 1.3 - Anatomia geral e comparada do sistema articular _____	37
Unidade 2 Anatomia geral e comparada dos sistemas muscular, nervoso e circulatório _____	49
Seção 2.1 - Anatomia geral e comparada do sistema muscular _____	51
Seção 2.2 - Anatomia geral e comparada do sistema nervoso _____	63
Seção 2.3 - Anatomia geral e comparada do sistema circulatório _____	75
Unidade 3 Anatomia geral e comparada dos sistemas respiratório, digestório, excretor e reprodutor _____	89
Seção 3.1 - Anatomia geral e comparada do sistema respiratório _____	91
Seção 3.2 - Anatomia geral e comparada do sistema digestório _____	103
Seção 3.3 - Anatomia geral e comparada dos sistemas excretor e reprodutor _____	115
Unidade 4 Anatomia geral e comparada dos sistemas tegumentar, sensorial e endócrino _____	129
Seção 4.1 - Anatomia geral e comparada do sistema tegumentar _____	131
Seção 4.2 - Anatomia geral e comparada do sistema sensorial _____	143
Seção 4.3 - Anatomia geral e comparada do sistema endócrino _____	155

Palavras do autor

A anatomia é o estudo da morfologia ou estrutura dos organismos, sejam vertebrados ou invertebrados. Com o objetivo de conhecer e diferenciar os diversos grupos animais, na disciplina Anatomia geral e comparada estudaremos partes do corpo dos animais, mostrando as terminologias adequadas para o estudo e os sistemas que compõem cada grupo.

Desde a Antiguidade estuda-se a anatomia para compreender a organização do corpo humano e dos animais. Durante anos, esse estudo dependia de cadáveres de animais, como porcos, e seu estudo era transferido para a anatomia humana. No entanto, ocorriam muito erros e, por isso, para confirmar os estudos, muitas vezes, cadáveres humanos eram roubados dos cemitérios.

Atualmente, peças artificiais sintéticas, além de imagens digitais e computacionais, auxiliam o aprendizado e colaboram com a construção do seu conhecimento de forma mais simples e autônoma.

Para os seus estudos, organizamos quatro unidades que abordarão a anatomia geral e animal. A primeira unidade abordará conceitos gerais de anatomia geral e comparada e os sistemas ósseo e articular. Na Unidade 2, estudaremos a anatomia geral e comparada dos sistemas muscular, nervoso e circulatório. Na Unidade 3, serão estudados os sistemas respiratório, digestório, excretor e reprodutor. Por fim, na Unidade 4, conheceremos os sistemas tegumentar, sensorial e endócrino.

Esses temas levarão você a conhecer e a diferenciar os diversos grupos animais de diferentes ambientes. A anatomia geral e comparada é importante para sua formação. Bons estudos!

Conceitos gerais de anatomia geral e comparada e sistemas ósseo e articular

Convite ao estudo

Caro aluno, a boa formação do biólogo depende do conhecimento de diversas áreas, entre elas a diversidade dos seres vivos. Baseados na descrição das características anatômicas superficiais, nos Séculos XVII e XVIII, os seres vivos começaram a ser identificados e organizados em grandes grupos. Ainda hoje, essas características são essenciais para a descrição de novos animais, acrescentado da anatomia interna e de outras ferramentas.

Imagine dois animais morfologicamente diferentes, como um réptil e um mamífero. Como estudar e comparar sua anatomia? Para isso, temos a padronização de algumas terminologias e conceitos, como os planos e eixos que cortam o corpo de um animal. As estruturas óssea e articular também nos dão grandes informações sobre o ambiente em que o animal vive, como ele se locomove ou até mesmo como ele se alimenta. Você conhece os caranguejos e os siris? São animais com articulações específicas que os diferenciam das estrelas-do-mar, por exemplo, que não têm articulações. Venha conhecer essa pequena parte da profissão do biólogo!

Como parte do currículo deste curso, você pode realizar estágios para melhorar seu aprendizado. Então, para facilitar a sua compreensão deste assunto tão complexo, criamos uma situação hipotética para basear a discussão dos principais temas da unidade. Considere que você conseguiu uma monitoria para ajudar num laboratório de anatomia. Você irá preparar as peças para as aulas de diversos cursos da área da saúde. Para facilitar o seu trabalho, você recebeu um manual de como preparar e organizar as peças.

A partir dessa situação, convidamos você a resolver as situações que se apresentarão ao longo dos estudos desta unidade. Bons estudos!

Seção 1.1

Introdução aos estudos de anatomia

Diálogo aberto

Caro aluno, seja bem-vindo à primeira seção de estudos da disciplina de Anatomia geral e comparada. A formação do biólogo é muito ampla e temos grandes desafios pela frente! Nessa primeira etapa, vamos nos familiarizar com conceitos relacionados ao estudo de anatomia, conhecendo e comparando os animais vertebrados e invertebrados quanto à sua morfologia. Para isso, vamos voltar ao cenário que foi criado na apresentação da unidade para que você possa conhecer a aplicação dos conhecimentos de anatomia. Você iniciará sua monitoria no laboratório de anatomia de uma universidade e deverá preparar as peças para as aulas de diversos cursos da área da saúde. Você recebeu um manual com as instruções de como preparar e organizar as peças. Para a preparação da primeira aula descrita no manual, você deve colocar nas bancadas de aula um corpo em posição anatômica, uma perna com corte longitudinal, um cérebro em corte sagital, entre outras coisas. Antes de organizar as peças, você deverá descrever o que é posição anatômica, corte longitudinal e corte sagital, comparando com os eixos do corpo. Você seria capaz de realizar essa tarefa?

Não pode faltar

História da anatomia

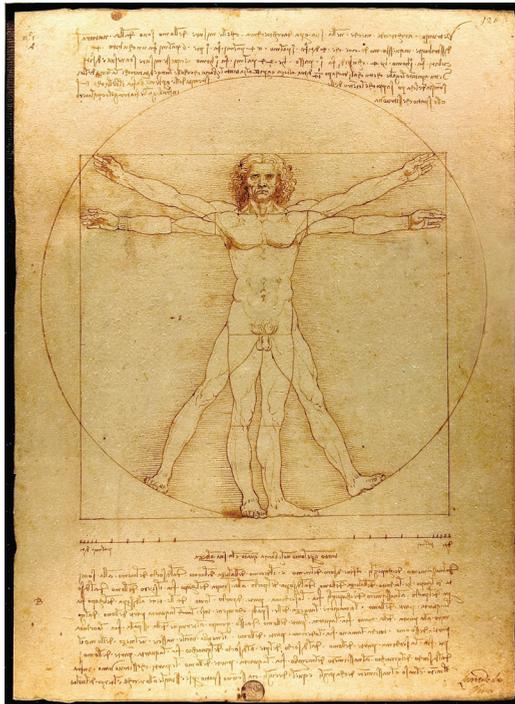
Os estudos de anatomia datam de anos antes de Cristo. Os primeiros registros provavelmente foram baseados na dissecação de animais e, mais adiante, na dissecação de cadáveres humanos. Segundo Cherem (2005), Hipócrates (460-375 a.C.), Aristóteles (384-322 a.C.) e Galeno (131-200 d.C.) podem ser lembrados como os representantes deste tipo de saber, pois, considerando os desarranjos do corpo e da alma como fenômenos interligados, perceberam que não era possível compreender as paixões da alma e as perturbações do espírito (*pathos*) sem associá-las aos desequilíbrios e distúrbios, às dores e às doenças do corpo (patologias).

Por razões éticas e religiosas, a dissecação humana foi proibida e o conhecimento anatômico continuou apenas com o uso de animais. As guerras estimulavam o estudo anatômico para conhecer as causas da morte ou até mesmo para o transporte dos corpos para o repatriamento. Eram necessários conhecimentos adequados para embalsamar os corpos e transportá-los.

Com uma visão artística do corpo humano, a precisão e os critérios das obras de Leonardo Da Vinci (1452-1519), Michelangelo (1475-1559) e Vesálio (1514-1564) trouxeram grandes contribuições para o conhecimento anatômico.

Para relacionar o homem como centro do universo, Leonardo Da Vinci estudou a simetria arquitetônica do corpo humano colocando-o dentro de duas figuras geométricas, criando um conjunto harmonioso (Figura 1.1). Leonardo baseou-se nos escritos do arquiteto e engenheiro militar Marco Vitruvius sobre proporcionalidade e, para estudar a relação de simetria arquitetônica com o corpo, Leonardo considerou o homem como centro do universo, desdobrando a figura humana em duas formas geométricas, uma em relação ao quadrado e a outra em relação ao círculo, sendo que a unidade harmoniosa seria dada pelo conjunto (Figura 1.1). Seu ponto de partida foram os escritos do arquiteto e engenheiro militar Marco Vitruvius, que deu origem ao nome *Homem Vitruviano* (Figura 1.1).

Figura 1.1 | O Homem Vitruviano



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/Da_Vinci_Vitruve_Luc_Viatour.jpg>. Acesso em: 31 out. 2016.

Diversas descobertas no campo da anatomia e fisiologia aconteceram no século XVII. Entre elas, a descrição detalhada do fígado, do estômago e do intestino e a diferenciação das glândulas digestivas, linfáticas e sexuais. A partir daí, aceleraram-se os estudos anatômicos relacionados a técnicas cirúrgicas e também a relação da morfologia dos órgãos e sua alteração por alguma patologia.

No século XX, foram intensificados os estudos e as descobertas de doenças e tratamentos, gerando qualidade de vida ao homem e também a muitos animais. Os estudos utilizando cadáveres conservados em formol nas faculdades ainda têm sua importância. No entanto, ainda existe o desconforto com relação ao cheiro e a preocupação com a toxicidade do formol.

Desde 1996, o médico anatomista alemão Gunther von Hagens vem exibindo a anatomia do homem e de animais conservados a partir de uma técnica chamada plastinização, que basicamente substitui substâncias orgânicas de corpos mortos por materiais plásticos (silicone, resina de epóxi e poliéster - Figura 1.2). O desenvolvimento da técnica permite o estudo dos cadáveres de forma seca e inodora e sem a mudança da tonalidade dos tecidos. A discussão ficou por conta da exposição dos corpos plastinizados ao público leigo.

Figura 1.2 | Plastinização de Gunther von Hagens



Fonte: <<https://www.pinterest.com/nicchisee/plastination/>>. Acesso em: 30 out. 2016.

Além da plastinização, técnicas modernas de imagem (radiografia, fotografia, imagem digital e computacional) tornam possível o estudo dos órgãos internos e externos com o organismo vivo, mostrando alterações morfológicas em tempo real, facilitando diagnósticos, tratamentos e até pesquisas.



Refleta

A utilização de cadáveres humanos e outros animais para estudo acadêmico é polêmica. Ano a ano, as universidades estão deixando de repor as peças anatômicas naturais e estão substituindo-as por peças artificiais ou aplicativos de computador. A discussão é em torno da real necessidade dos cadáveres e se os softwares realmente substituem as peças para os estudos de anatomia. Qual é a sua opinião? Você prefere estudar com peças anatômicas naturais ou com programas de computador?



Pesquise mais

Lei n. 8501, de novembro de 1992, dispõe sobre a utilização do cadáver não reclamado para fins de estudo ou pesquisas científicas. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8501.htm>. Acesso em: 30 out. 2016.

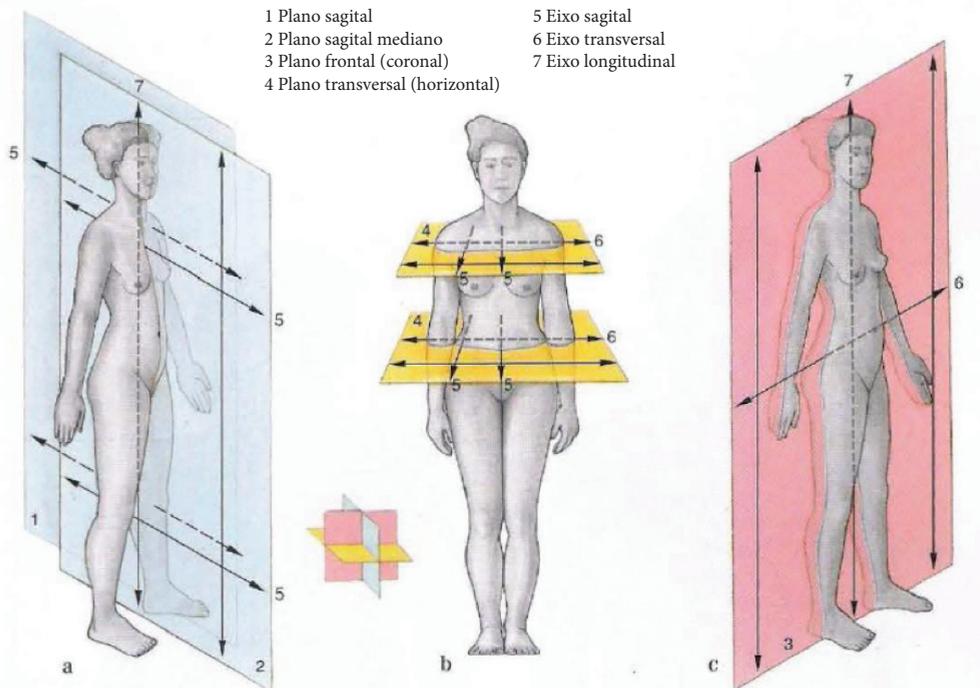
Terminologia anatômica

A parte da biologia que estuda a forma e a estrutura dos seres vivos, como descritos acima, é a anatomia (*ana* = partes; *tomia* = cortar). Nesta disciplina, abordaremos os animais vertebrados e invertebrados sob o ponto de vista da anatomia sistêmica, ou seja, estudaremos os sistemas que compõem os seres vivos (sistema esquelético, articular, muscular, nervoso, circulatório, respiratório, excretor e reprodutor).

Ao estudá-los, os pesquisadores entenderam que era necessária uma padronização na terminologia. Imagine dois estudiosos descrevendo a posição de um órgão do corpo humano. Eles precisavam de pontos de referência, além dos nomes das estruturas.

Hoje, para entender anatomia, há algumas terminologias importantes que você deve conhecer. Por exemplo, quando você estudar anatomia humana, o corpo deve estar em posição anatômica: olhar dirigido para o horizonte, face voltada para a frente, membros superiores estendidos com as palmas das mãos voltadas para a frente e membros inferiores unidos e com as pontas dos pés dirigidas para a frente (Figura 1.3).

Figura 1.3 | Posição anatômica associada aos planos de delimitação, secção e eixos



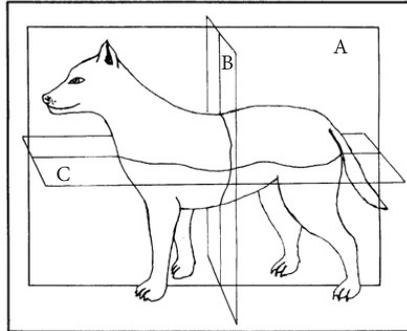
Fonte: <h<https://2.bp.blogspot.com/-ywUo-Snesul/VwcVMekbF4I/AAAAAAAAADU/dH1x2CPUWC8wwEBirjNebm qUPnRkQt8vg/s1600/Sem%2Bt%25C3%25ADtulo.png>>. Acesso em: 7 nov. 2016.

Em outras situações, o corpo humano pode estar em decúbito dorsal: deitado de costas com a face anterior do corpo para cima ou, ainda, em decúbito ventral, deitado de frente com a face anterior do corpo para baixo (a cabeça pode estar virada para um lado). Também podemos inclinar um corpo que já está em decúbito dorsal elevando a cabeça em um nível superior ao dos pés (posição de Fowler) ou colocar a cabeça em um nível mais baixo que o dos pés (Trendelenburg).

A construção do corpo humano segue quatro princípios fundamentais. A antimeria (1), plano mediano que divide o corpo em duas metades (antímeros): direita e esquerda, semelhantes em forma e função. Na metameria (2) ocorre a superposição no sentido longitudinal dos segmentos semelhantes, sendo que cada segmento corresponde a um metâmero, mais comum na fase embrionária. Na paquimeria (3), o princípio é que o segmento axial do corpo, ou seja, cabeça, pescoço e coluna vertebral são divididos em dois tubos, sendo um ventral ou visceral (com a maioria das vísceras, incluindo o coração) e outro dorsal ou neural (cavidade craniana e canal vertebral). Por último, a estratificação (4) é referente ao fato de o corpo humano ser formado por camadas, superficial ou profunda.

Para outros animais, como os cachorros, que não são bípedes, a posição anatômica é em pé com os quatro membros estendidos e apoiados no solo. O pescoço deve estar erguido, formando um ângulo de 145° com o dorso. As narinas devem estar voltadas para a frente e o olhar, para o horizonte, como se estivesse em posição de alerta (Figura 1.4).

Figura 1.4 | Plano anatômico animal associado aos planos anatômicos de seção. A. plano sagital; B. transversal; C. frontal



Fonte: <<http://www.scielo.br/img/revistas/cr/v22n1/a13fig02.gif>>. Acesso em: 6 nov. 2016.

A anatomia é uma ciência que estuda partes do corpo. Para isso, temos os planos anatômicos, que facilitam os estudos e as comparações.

Os planos anatômicos seccionais podem ser planos sagitais (ou medianos), que dividem o corpo em duas metades iguais (direita e esquerda), passando pelas vísceras, inclusive. Imagine aquele espetáculo de circo em que o homem separa a mulher em duas metades. Se as metades forem direita e esquerda, o mágico estaria realizando um corte sagital, dividindo o cérebro em dois hemisférios, passando pelo coração, esôfago e separando o intestino. No entanto, esse corte nunca é utilizado pelos mágicos! Eles preferem o corte transversal, que separa o corpo em parte superior e inferior.

Temos também os planos coronais ou frontais. Pense em uma linha imaginária passando através do corpo humano em ângulo reto com o plano mediano. Pensou? Notou que ele divide o corpo em partes anterior (frente) e posterior (de trás)? E nos animais de quatro patas? A terminologia é a mesma?

Vamos comparar o homem com um cachorro. Para o homem, a terminologia ventral ou frontal é utilizada quando nos referirmos à região anterior (no homem, quando o vemos de frente); e dorsal (no homem, quando o vemos de costas) quando nos referimos à região posterior. Entretanto, quando nos referimos aos animais de quatro patas, a terminologia não é tão clara. A região ventral é onde encontramos o abdômen (barriga) do animal, como no homem, mas não é onde

encontramos os olhos, o nariz e a boca, certo? No cachorro, encontramos essas estruturas na parte anterior, e não na região ventral. Notou a diferença?

O plano tangencial, que divide o corpo em regiões superior ou cranial (ou cefálico) e inferior ou caudal também pode causar confusão ao ser utilizado no homem ou no cachorro. Então, bastante atenção!

Os cortes anatômicos foram pensados de modo a possibilitar o estudo dos órgãos internos dos animais sob diferentes ângulos e também de modo que seja possível ver coisas diferentes. Na biologia, é importante conhecer os diferentes tipos de cortes. Não se preocupe, essa terminologia é muito similar à dos planos que você já conheceu anteriormente, nesta mesma seção. Veja só: corte mediano ou sagital é aquele em que o animal é dividido em lados direito e esquerdo; o corte frontal é aquele no qual o animal é dividido em plano dorsal e ventral; o corte transversal é aquele no qual o animal é dividido em parte cranial e caudal (no ser humano, corresponde às partes superior e inferior); e o corte longitudinal é aquele em que o animal é cortado em sua longitude. Lembre-se de associar os nomes dos planos aos cortes, pois o aprendizado ficará muito mais fácil.

Quanto à localização das estruturas ou órgãos, podemos dizer que está mais próxima de um determinado ponto ou mais distante. Quando essa estrutura está mais próxima de um determinado ponto ou origem, dizemos que está proximal. Se está mais longe ou distante, dizemos que está distal do ponto de origem.

Quando o corpo está em movimento, também precisamos de terminologia específica. Além disso, utilizamos linhas imaginárias que atravessam os planos do corpo perpendicularmente para possibilitar os movimentos. A essas linhas damos o nome de eixos. Um exemplo é o eixo longitudinal, que se estende de cima para baixo (ou vice-versa), perpendicular ao plano transversal, possibilitando os movimentos. No entanto, esse assunto será visto mais adiante na seção sobre articulações.

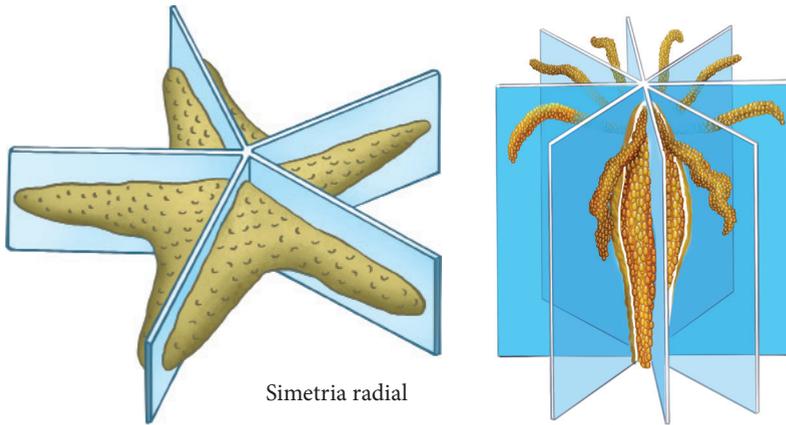
Simetria

Outra forma de estudar a anatomia dos animais é levando em consideração a simetria dos corpos. Você se lembra do Homem Vitruviano, de Da Vinci (Figura 1.1)? A figura representa a simetria do corpo humano. De forma geral, no reino animal, a simetria que predomina é a bilateral, na qual encontramos os lados direito e esquerdo; face ventral e dorsal; e extremidades anterior (localização da cabeça) e posterior (localização do ânus e orifícios reprodutores). Na realidade, não há simetria perfeita no homem e em muitos animais pelo fato de não existir correspondência exata de todos os órgãos.

Nos invertebrados, é possível passar planos verticais de simetria pelos seus corpos, passando pelo eixo central longitudinalmente, permitindo a separação do

animal em metades equivalentes. Em geral, fazemos isso em animais cilíndricos ou em forma de sino, que, em geral, são fixos ao substrato (esponjas adultas, pólipos e cnidários, por exemplo) ou com locomoção lenta (estrelas-do-mar, ouriços-do-mar etc.). Em comparação à simetria bilateral, esses são conhecidos como animais de simetria radial (Figura 1.5).

Figura 1.5 | Exemplos de simetria radial em estrela-do-mar e anêmona-do-mar



Fonte: adaptada de: <https://sites.google.com/site/universemuchmore009/curs-2013_2014/unitat-12-els-animals/simetries>. Acesso em: 7 nov. 2016.

A simetria radial na qual o corpo inteiro (como nas anêmonas-do-mar) ou alguma parte dele (como nas cracas) consiste de um eixo central ao redor do qual se arranjam simetricamente as partes semelhantes. Esse tipo de simetria é considerado uma vantagem para a existência de animais fixos a substratos (sésseis), pois permite que o animal responda aos desafios do seu ambiente a partir de todas as direções.

Os seres vivos apresentam níveis de organização que vão desde a estrutura mais simples até a mais complexa. A mais simples, mas nem tanto, são as células. Pensando assim, o conjunto de células com funções similares formam os tecidos. Os conjuntos de tecidos dão origem aos órgãos, que por sua vez formam os sistemas, e todos juntos formam o organismo. A divisão do corpo dos animais vertebrados é muito similar: cabeça (crânio e face), pescoço, tronco (tórax, abdômen e pelve), membros superiores (ombro, braço, antebraço e mão) e membros inferiores (quadril, coxa, perna e pé). Essas divisões serão estudadas com mais detalhes na próxima seção.



Assimile

Você notou que as diferenças morfológicas entre os animais são grandes? Apesar de o corpo humano ter um padrão na sua estrutura anatômica, encontramos diferenças entre os gêneros e as etnias. Em

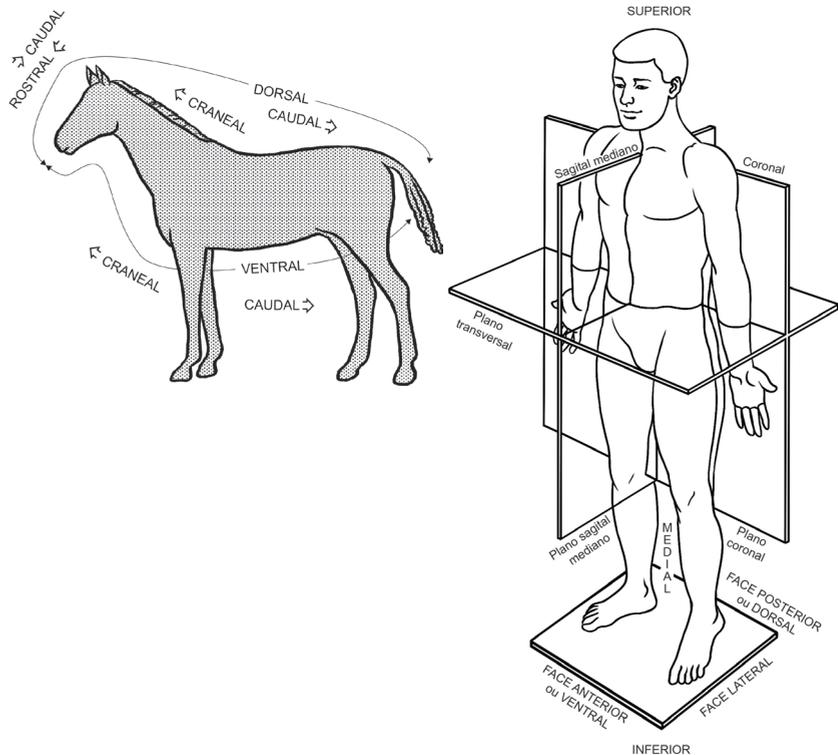
outros vertebrados, as diferenças são mais evidentes, como um cachorro doméstico e um elefante. Entre os invertebrados, podemos dizer o mesmo. A posição anatômica e a terminologia adequada serão ferramentas muito importantes para a correta identificação e estudo dos animais.



Exemplificando

Ao comparar planos e eixos de dois animais, um bípede e um quadrúpede, temos que ter atenção à posição anatômica de cada um. A parte frontal de um animal bípede equivale à parte ventral do animal quadrúpede.

Figura 1.6 | Planos e eixos no homem e no animal quadrúpede



Fonte: A. adaptada de: <<http://enciclopediaequestre.tumblr.com/image/131013110460>>. B. adaptada de: Jacob, Francone e Lossow (1990, pág 7). Acesso em: 7 nov. 2016.

Sem medo de errar

Agora que você já estudou terminologia anatômica, planos e eixos e simetria, vamos pensar na situação-problema sugerida a você! Primeiro, você tinha colocar um corpo na bancada em posição anatômica, adequada para estudos. Isso significa

arrumar o corpo de forma que a face fique voltada para a frente e o olhar, dirigido para o horizonte. Os membros superiores devem estar estendidos ao longo do corpo com as palmas das mãos voltadas para a frente. E os membros inferiores devem estar unidos e com as pontas dos pés dirigidos para a frente. Essa foi simples!

Outra tarefa era colocar na bancada uma perna com corte longitudinal. Que tal recordar o que é um corte longitudinal? É um corte ao longo de alguma coisa. Começa em um ponto e termina no outro, certo? Se nos referirmos aos animais, podemos dizer que inicia na região cranial ou plano cranial e vai ao encontro da região caudal ou plano caudal. Que tal fazer um esquema para não esquecer?

Outra situação sugerida foi o corte sagital. É sempre bom relacionar os nomes ou conhecer seu significado. Sagital deriva de uma palavra em latim que significa flecha, seta. Se relacionarmos a palavra ao objetivo de uma flecha, chegamos à conclusão de que o corte sagital divide um corpo ao meio. Um plano sagital divide o corpo em lados direito e esquerdo passando por diversos órgãos. Também podemos chamá-lo de corte sagital mediano ou corte vertical. Então, fazer um corte sagital num cérebro significa separá-lo em duas metades, ou seja, separar os hemisférios cerebrais e apresentar apenas uma metade.

Nos invertebrados, é possível passar planos verticais de simetria pelos seus corpos, passando pelo eixo central longitudinalmente, permitindo a separação do animal em metades equivalentes. Em geral, fazemos isso em animais cilíndricos ou em forma de sino, que em geral, são fixos ao substrato (esponjas adultas, pólipos e cnidários, por exemplo) ou com locomoção lenta (estrelas-do-mar, ouriços-do-mar etc.). Em comparação à simetria bilateral, esses são conhecidos como animais de simetria radial.

Avançando na prática

Trabalho de campo

Descrição da situação-problema

Em uma saída a campo, você coletou diversos animais, que devem ser identificados e catalogados. É um desafio, pois você está iniciando seus estudos e ainda não tem todos os conhecimentos para tal função. É possível organizar os animais segundo a descrição anatômica, comparando-se os animais segundo planos e eixos do corpo. Primeiro, separe os animais quanto à simetria bilateral e radial. Coloque aqueles que você considerou como bilateralmente simétricos em posição anatômica, prestando atenção aos bípedes e aos quadrúpedes. Descreva cortes (planos e eixos) que ajudariam no estudo dos órgãos internos desses animais.

Resolução da situação-problema

Entre os animais com simetria radial há os invertebrados, como poríferos, cnidários, equinodermos (ouriço e estrela-do-mar). Entre os de simetria bilateral, há os artrópodes (insetos, crustáceos, aracnídeos), peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos. Não se esqueça de organizá-los na bancada de acordo com sua posição anatômica.

Faça valer a pena

1. A nomenclatura anatômica pode divergir de um país para outro, apesar de os termos anatômicos serem os mesmos. Porém, sua escrita e leitura são traduzidas para cada nação conforme a sua língua de origem. No final do último século, foi criada uma comissão de eminentes autoridades de vários países da Europa, além dos Estados Unidos denominada BNA (Basle Nomina Anatomica) que foi substituída pela PNA (Paris Nomina Anatomica). A comissão é responsável pela nomenclatura anatômica que será utilizada em todo o mundo.

Fonte: <<http://anatomiaonline.com>>. Acesso em: 24 dez. 2016.

De acordo com as terminologias anatômicas, analise as questões a seguir e escolha a correta:

- a) Plano sagital mediano divide o corpo do animal em região dorsal e ventral.
- b) Eixo longitudinal é uma linha imaginária que une a região cranial à vertebral.
- c) Plano transversal é aquele que corta o corpo horizontalmente.
- d) Plano dorsal é aquele que tangencia o ventre do animal.
- e) Eixo sagital une o centro do plano dorsal ao centro do plano superior.

2. A teoria sobre a adoção da postura bípede atribuída a Robert Foley (2003) sustentou-se na ordem ecológica, ou seja, nas pressões seletivas e mudanças comportamentais para o homem encontrar alimento em ambiente adverso, com recursos escassos. Foley argumentou que os pequenos macacos se deslocavam entre as árvores de forma quadrúpede, enquanto os antropoides maiores realizavam esses deslocamentos

na postura vertical. Quando ambos se viram forçados a viver no solo, levaram consigo sua bagagem evolucionária, ou seja, os quadrúpedes continuariam quadrúpedes, mas os antropóides, adaptados à postura vertical e à marcha sobre as juntas dos dedos das mãos, optariam pelo bipedalismo como o caminho mais provável para seu êxito terrestre (VARISE, 2009).

Os estudos sobre bipedalismo foram baseados em achados fósseis muitas vezes incompletos. A forma correta de dispor as peças e os corpos foi e ainda é essencial para que se cheguem a conclusões.. A posição anatômica correta para estudos do corpo humano é:

- a) Membros superiores estendidos ao longo do tronco e palmas das mãos voltadas para cima; cabeça e pés apontados para cima e olhar direcionado ao horizonte.
- b) Quatro membros estendidos e apoiados no solo; pescoço erguido formando ângulo de 145° com o dorso; narinas voltadas para a frente; e olhar para cima.
- c) Postura ereta de forma a passar um eixo longitudinalmente, separando o corpo em duas metades, direita e esquerda.
- d) Dois membros estendidos e apoiados no solo; pescoço erguido formando ângulo de 45° com o dorso; narinas voltadas para a frente; e olhar para cima.
- e) Membros superiores estendidos ao longo do tronco, palmas das mãos voltadas para a frente; cabeça e pés apontados para a frente; e olhar direcionado ao horizonte.

3. No século II d.C., Galeno foi considerado o primeiro anatomista do mundo, mas nunca abriu um cadáver humano. Mesmo tendo escrito um tratado que por séculos foi a bíblia da anatomia humana, só tinha experiência em dissecar porcos, macacos e outros animais. Depois, aplicava na anatomia humana os resultados obtidos com os animais, quase sempre corretamente. No entanto, alguns erros foram inevitáveis devido a não confirmação dos resultados em cadáveres humanos.

Sobre a anatomia humana e a animal, analise as afirmativas a seguir:

- I. O osso esterno, que protege o coração, está localizado na parte ventral/anterior do coração.
- II. Um plano sagital passa através do esôfago, um órgão localizado na região mediana do corpo.
- III. O nariz de um cachorro localiza-se na região anterior do corpo.

IV. Animais sésseis (fixos a substratos) podem ser estudados a partir de eixos longitudinais, que dividem o corpo em metades equivalentes.

Quais das afirmativas dadas estão corretas?

- a) Apenas a afirmativa I.
- b) As afirmativas II e IV.
- c) As afirmativas I e II.
- d) As afirmativas II e III.
- e) As afirmativas I, II, III e IV.

Seção 1.2

Anatomia geral e comparada do sistema ósseo

Diálogo aberto

Ansiosos para conhecer o laboratório de anatomia humana, um grupo de alunos chega para a primeira aula. Em geral, essa aula inicia com a apresentação dos ossos e sua diversidade de formas. Anteriormente à chegada dos alunos, você foi o responsável por organizar todo o material da aula nas mesas, de forma a separá-los quanto a serem ossos longos, curtos, irregulares e chatos e nomeá-los. Cada grupo de aluno terá a sua disposição uma mesa com 20 ossos do esqueleto axial e 20 ossos do esqueleto apendicular, de um total de 206 que você encontrou nas caixas do laboratório. Você terá que descrever quais ossos você escolherá para a primeira mesa.

Nessa situação, você terá a oportunidade de conhecer os ossos do esqueleto humano comparando uns com os outros quanto à forma. Ao longo desta seção, você encontrará informações sobre o esqueleto de outros animais vertebrados, além da forma de sustentação dos invertebrados e daqueles que utilizam cavidades preenchidas por líquido para se sustentarem.

Pronto para mais uma aula? Vamos em frente!

Não pode faltar

Conceito e função do esqueleto

Anatomicamente, esqueleto é o conjunto de ossos do corpo dos vertebrados. Podemos dizer também que é uma estrutura análoga que suporta e protege o corpo dos invertebrados. E você está convidado a conhecer o esqueleto desses dois grupos de animais, começando pelos vertebrados.

Os vertebrados são animais que possuem coluna vertebral como eixo de sustentação. Além da coluna vertebral, há ossos e articulações que formam o sistema esquelético, classificado como endoesqueleto, por ser um sistema interno ao animal.

Nos vertebrados, incluindo o homem, o sistema esquelético protege os órgãos vitais, como o encéfalo (protegidos pelos ossos do crânio), coração e pulmões (protegidos pelas costelas e osso esterno que formam a caixa torácica) e a medula espinal (protegida pelas vértebras). Os ossos do esqueleto também têm papel na produção de células sanguíneas através da medula óssea, na reserva de minerais como o cálcio e fósforo e também na locomoção.

Tipos e classificação de ossos

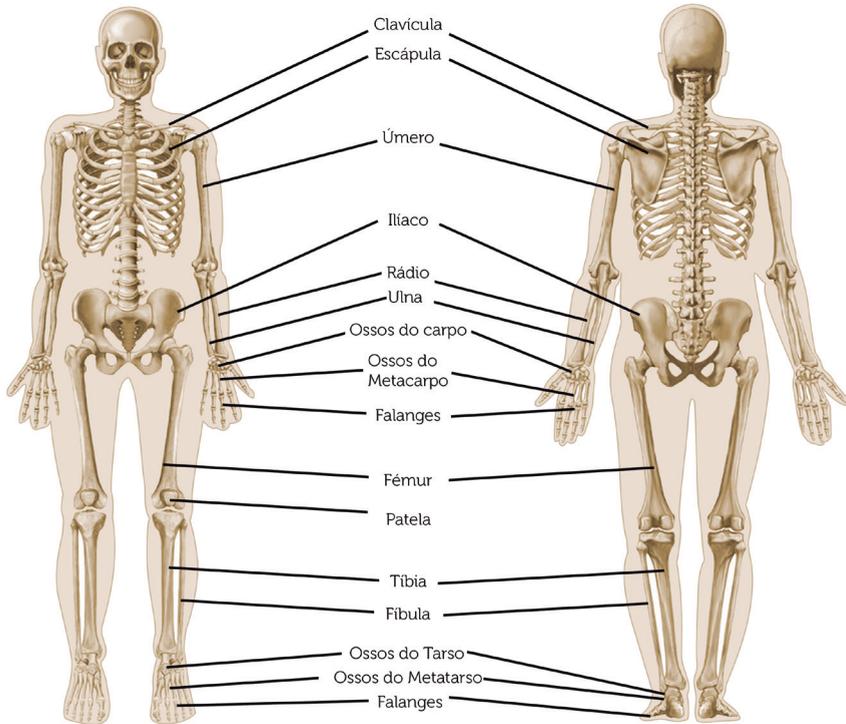
Mamíferos, aves, répteis, anfíbios e peixes são os grandes grupos de vertebrados. O esqueleto desses animais apresenta alterações de acordo com sua morfologia e habitat. De forma geral, podemos dividir um esqueleto em axial e apendicular.

O esqueleto axial forma o eixo do corpo que compreende a caixa craniana, a coluna vertebral (vértebras cervicais, torácicas, lombares e sacrais) e a caixa torácica. O esqueleto apendicular compreende a cintura escapular (escápulas e clavículas), a cintura pélvica (ossos ilíacos) e o esqueleto dos membros superiores/ anteriores (escápula, úmero, rádio, ulna, ossos do carpo, metacarpo, falanges proximais, médias e distais e ossos sesamoides) e inferiores/posteriores (fêmur, tibia, fíbula, patela, ossos do tarso, metatarso, falanges proximais, médias e distais e ossos sesamoides). Alguns desses ossos você pode conferir na Figura 1.7 A e B.

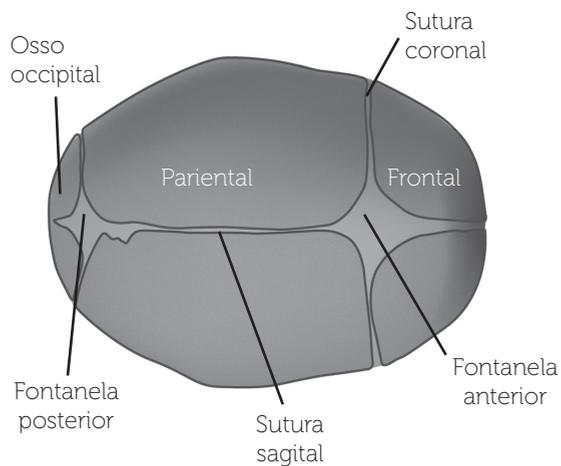
O esqueleto de um homem adulto compreende 206 ossos. Eles são ligados aos músculos através dos tendões. É possível diferenciar um homem de uma mulher pelo formato da pélvis. Na mulher, o formato favorece o parto. Pode ser que você já tenha assistido a filmes ou seriados em que usam esses ossos para esse tipo de identificação. Outro fato interessante sobre o nosso esqueleto é que ao nascer, temos mais ossos do que um adulto! Isso acontece porque os ossos do crânio têm espaços entre eles (fontanelas) para favorecer a saída no bebê pelo canal vaginal e o crescimento e desenvolvimento do encéfalo (Figura 1.7B). Depois do nascimento, há a ossificação dessas áreas.

Figura 1.7 | A. Vista anterior de um esqueleto e detalhe dos ossos da mão. B. Crânio fetal mostrando que a ossificação não está completa no nascimento

A)



B)



Fonte: Jabob, Francone e Lossow (1990, p. 96/104).

De acordo com o formato, os ossos são classificados como curtos, longos, planos etc. Veja os detalhes no Quadro 1.1 (quadro de classificação dos ossos de acordo com sua morfologia).

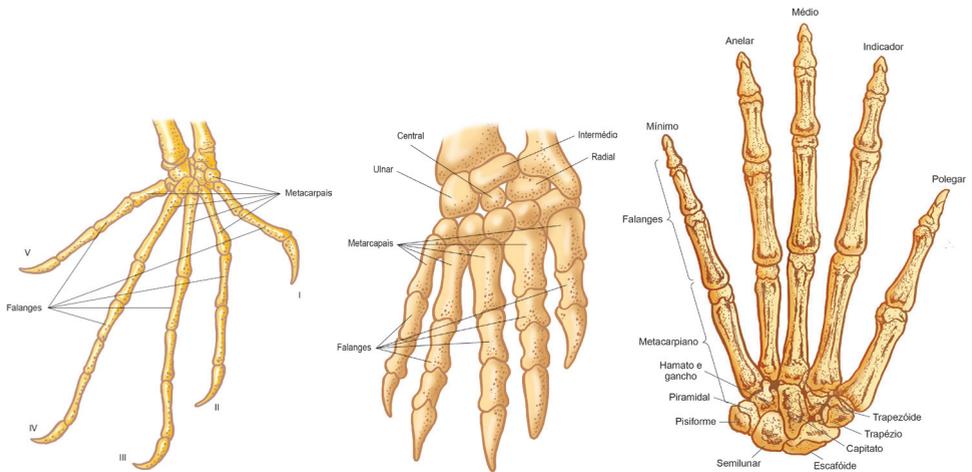
Quadro 1.1 | Quadro de classificação dos ossos de acordo com sua morfologia

Classificação	Descrição e exemplos
Curtos	Esponjosos e de dimensões proporcionais à sua localização e funções. Ex.: calcâneo, carpos e tarsos.
Longos	São maiores no comprimento do que na largura. Ex.: ulna, tíbia, rádio e fêmur.
Planos ou laminares	Têm formação quase achatada e protegem as partes moles do corpo. Ex.: íliaco, escápula, costelas.
Sesamoides	Pequenos e arredondados. Encontrados nas adjacências das articulações, como nos ossos suturais do crânio e entre tendões e ligamentos como a patela, que tem como principal função proteger o joelho. Ex.: patela, classificada como osso sesamoide e curto.
Alongados	Alongados de diâmetro pequeno, porém longos. Ex.: costelas.
Irregulares	Forma peculiar que não podem ser classificadas nos outros grupos. Ex.: vértebras.
Pneumáticos	Apresentam cavidades cheias de ar e são encontrados apenas no crânio e na face. Ex.: frontal.
Suturais	São pequenos e apresentam variação em cada indivíduo. Ex.: localizados nas articulações.

Fonte: Jabob, Francone e Lossow (1990, p. 89).

Entre os vertebrados, todos que apresentam quatro membros são chamados de tetrápodes, e o padrão de cinco dígitos é utilizado para discussão da evolução dos membros e as mudanças no seu desenho funcional. Na mão, um dígito é formado de várias falanges e o pulso apresenta ossos que articulam com o rádio e a ulna (radial e ulnar). Veja como isso ocorre no esqueleto da mão do humano, lagarto e tartaruga, e compare como são muito parecidos na morfologia e similares quanto à função (Figura 1.8). Compare também os ossos do corpo humano com os ossos da galinha (Figura 1.9) observando os ossos ílio, fêmur, esterno, entre outros.

Figura 1.8 | Esqueleto da mão do lagarto, tartaruga e humana



Fonte: adaptada de Palastanga, Field e Soames (2000, p. 61); Kardong (2016, p. 346).



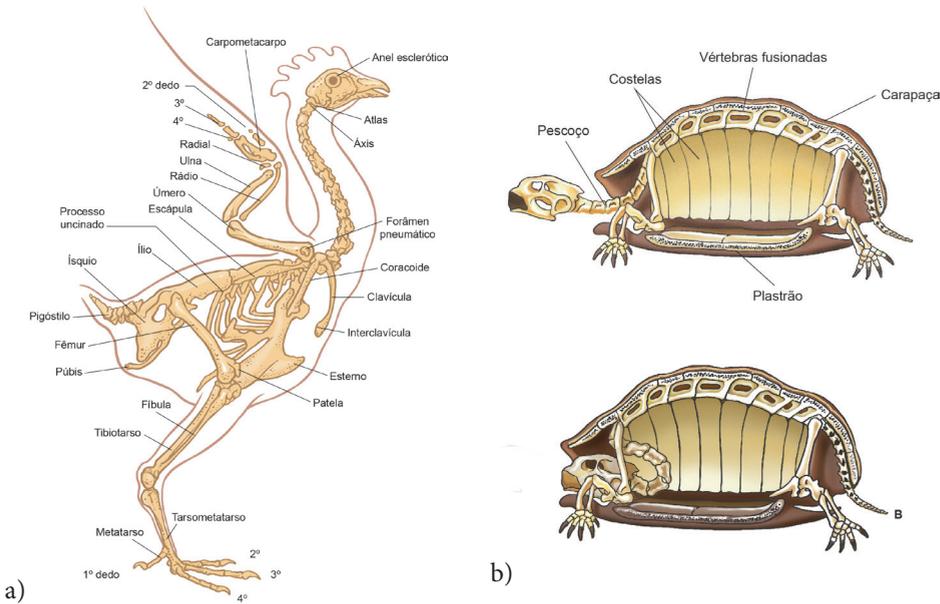
Exemplificando

Você aprendeu nesta seção que os ossos ou as estruturas similares são importantes para a identificação correta de um animal. O conhecimento de anatomia é fundamental para a taxonomia animal. Veja o caso dos répteis crocodylianos. Temos os jacarés, os crocodilos e os gaviais. Este último é bem característico por apresentar o focinho bem mais estreito que os outros dois. No entanto, como diferenciar dois animais tão parecidos, como os jacarés e os crocodilos? Utilizando a anatomia externa do animal! Os jacarés apresentam focinho largo e arredondado, enquanto os crocodilos têm a cabeça mais afilada. Também podemos considerar as escamas do ventre dos crocodilos, que são ausentes nos jacarés. E, por último, ainda podemos utilizar os dentes para a identificação. Os dentes superiores dos crocodilos são alinhados com os inferiores e apresentam o quarto dente do maxilar inferior maior e encaixado numa cavidade lateral na parte externa da boca, ficando exposto mesmo com a boca fechada. Os jacarés não têm os dentes alinhados e tampouco ficam com um dente exposto ao fechar a boca.

Depois dos mamíferos, vamos conhecer um pouco do sistema esquelético dos demais vertebrados. Temos as aves, os répteis, os anfíbios e os peixes.

Para dar mais leveza ao voo, as aves apresentam ossos pneumáticos e várias modificações no seu esqueleto. As vértebras do pescoço e da cauda são móveis. As vértebras cervicais (o número varia entre as espécies) possuem costelas cervicais, e as torácicas podem ser fundidas. As costelas são fusionadas ao osso esterno e este é ossificado em quilha, ponto de inserção dos músculos do voo. Os ossos da cintura pélvica também se fundiram, assim como os metacarpos, a ulna e o rádio, para formar as asas (Figura 1.9).

Figura 1.9 | A. Esqueleto de uma ave. B. Esqueleto e casco de uma tartaruga, mostrando a fusão das vértebras e costelas com a carapaça



Fonte: A. Adaptada de Kardong (2016, p. 317); B. Adaptada de Hickman, Roberts e Larson (2009, p. 536).

Os répteis (*réptil* = 'que se arrasta') são animais terrestres e com o corpo protegido por escamas de queratina ou casco. Entre os répteis, temos os crocilianos (crocodilos, jacarés e gavial), sphenodonta (tuataras), squamatas (serpentes e anfisbena), sauria (lagartos) e testudíneos (tartarugas, cágados e jabutis). Nesta seção, abordaremos somente o esqueleto desses animais.

O esqueleto dos répteis é totalmente ósseo, com quatro membros para locomoção (exceto as serpentes) e dedos terminando em garras, que facilitam andar em ambiente áspero ou subir em árvores. Com exceção dos crocodilos, as patas ficam dos lados, e não embaixo do corpo, o que possibilita a locomoção típica de rastejar.

Entre os répteis, os testudíneos têm seus corpos divididos em duas partes: superior (carapaça) e inferior (plastrão) (Figura 1.9.B). Ambas têm camada óssea interna e externa. A camada visível é feita de grandes placas ásperas e duras, mas ela cobre apenas uma grossa camada de segmentos ósseos, que formam o casco protetor. No local de encontro entre a carapaça e o plastrão, há uma abertura para a cabeça, as pernas e a cauda. A disposição das placas é utilizada para a identificação das espécies. São os únicos répteis com carapaça embutida no esqueleto e capazes de esconder o corpo dentro dele.



Refleta

Os ossos são materiais valiosíssimos para a paleontologia. Os fósseis ósseos trazem informações sobre como era a vida em um passado distante. Esses estudos são capazes de demonstrar que organismos atuais não são totalmente independentes uns dos outros quanto à sua origem. Os esclarecimentos sobre os mecanismos da evolução somente foram possíveis a partir de trabalhos como os de Charles Darwin (1809-1882). Ainda hoje, a discussão continua, e novos fósseis estão sendo encontrados e reescrevendo a história da evolução dos animais e do próprio homem. Você já ouviu falar do fóssil Lucy? Sabia que através de um osso da pélvis descobriram que os ossos encontrados eram de uma mulher? Outra característica de Lucy foi possuir um joelho virado, o que indicava andar ereto. Pense sobre a importância dos estudos dos ossos e como pequenos detalhes podem trazer grandes descobertas e reescrever toda uma história.

Já as serpentes não possuem membros e têm seu esqueleto formado por grande número de costelas flutuantes (ausência do osso esterno), o que permite uma dilatação considerável do corpo.

No grupo dos anfíbios, os mais conhecidos são os anuros, animais sem cauda e saltadores, como os sapos, as rãs e as pererecas. Comparados com os peixes, os anuros perderam a flexibilidade da coluna vertebral, que agora dá sustentação ao abdômen e aos membros. Os sapos apresentam nove vértebras e um uróstilo (fusão de várias vértebras caudais). O crânio é largo e achatado, com órbitas grandes. A região torácica é formada por sete vértebras cervicais e costelas muito curtas. Apresenta cintura escapular (escápula, clavícula e coracoide) e cintura pélvica (íleo, ísquio e púbis).

Os anfíbios, sem membros locomotores (ápodes), muitas vezes são confundidos com cobras (répteis) por terem o corpo alongado. Conhecidos como cecílias ou cobras-cegas (*Gymnophiona*), apresentam esqueleto com grande número de vértebras (até 285) e costelas alongadas. Temos ainda as salamandras e os tritões (*urodelos* ou

caudata), que apresentam corpo alongado, cauda longa e quatro patas curtas. São muitas vezes confundidos com lagartos, mas não possuem escamas e não têm unhas como os lagartos. Os peixes podem apresentar esqueleto cartilaginoso (tubarões, raias e quimeras) e ósseo (salmão, moreia, atum, cavalo marinho, piranha, carpa e muitos outros). De forma geral, o esqueleto é organizado para dar sustentação e forma hidrodinâmica aos peixes, favorecendo a natação. Uma característica típica dos tubarões é a presença de maxila protrátil (ação do arco hioideo) ligada ao crânio, o que facilita a captura da presa. Em alguns peixes ósseos, é possível observar uma maxila protrátil que cria sucção para capturar a presa.

Tipos de substâncias ósseas

O osso é um tipo de tecido conjuntivo constituído por uma matriz óssea e por três tipos de células: osteoblastos (atuam na formação óssea), osteoclastos (associados com a remodelação óssea) e osteócitos (presentes na matriz óssea). Microscopicamente, podemos distinguir uma substância compacta e outra esponjosa. Ambas têm os mesmos tipos de substâncias ósseas, mas organizadas de formas diferentes.

A substância óssea compacta apresenta as lamínulas fortemente unidas umas às outras, sem espaço livre. Por isso, é mais denso e duro. Na substância óssea esponjosa, as lamínulas são irregulares e seu arranjo deixa lacunas que permitem que umas se comuniquem com as outras. Essas lacunas são conhecidas como trabéculas ósseas.



Assimile

O cálcio para a formação dos ossos é proveniente de sua absorção pelo intestino a partir da nossa alimentação. Esse evento é dependente da vitamina D3. Sua ausência pode levar ao raquitismo (diminuição da mineralização óssea e alterações nas cartilagens das epífises). A absorção de cálcio, realizada pelo intestino, pode diminuir com a idade, podendo induzir o aparecimento da osteoporose.

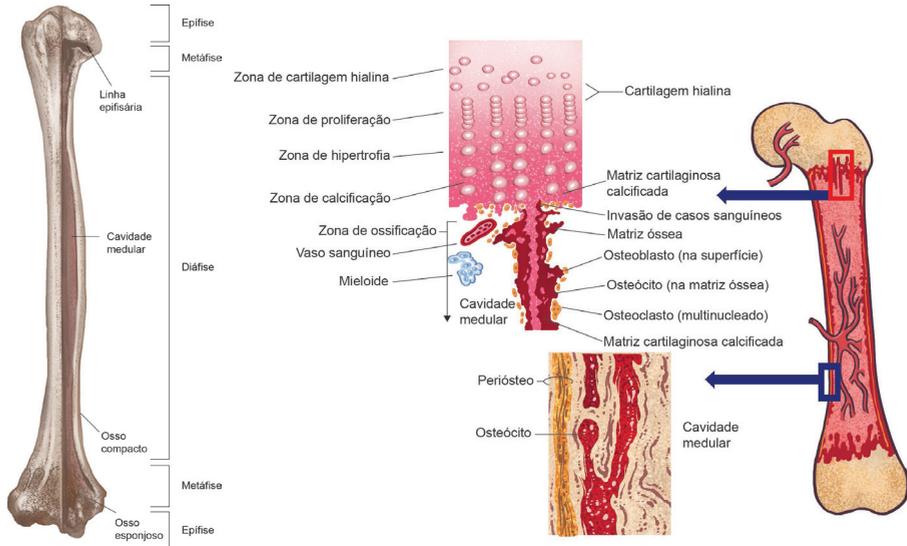
Os moluscos, animais de corpo mole, produzem suas conchas secretando carbonato de cálcio proveniente da água do mar e da sua alimentação. A ausência desse mineral impede a formação da concha, o que torna os animais vulneráveis à predação. Outro fator importante é a acidificação dos oceanos, o que diminui a disponibilidade de carbonato de cálcio para os animais.

A extremidade dos ossos longos é chamada de epífise e são compostos por ossos esponjosos envolvidos por uma fina camada de osso compacto. O comprimento do osso longo é chamado de diáfise e é composto externamente por osso compacto e, internamente, apresenta o canal medular. Já nos ossos planos, a substância esponjosa está entre duas camadas de substância compacta, enquanto os ossos curtos são formados por tecido esponjoso e revestidos por osso compacto (similar às epífises dos ossos longos- Figura 1.10).

Externamente, os ossos são revestidos por uma membrana conjuntiva chamada periósteo (exceto as superfícies das articulações), que é inervado e vascularizado por artérias que irrigam o tecido ósseo, distribuindo-se na medula óssea. É formado por tecido conjuntivo denso com fibroblastos e fibras colágenas, além de possuir osteoblastos; células formadoras de osso com importante papel para o crescimento ósseo e correção de fraturas. Sem periósteo, o osso morre por falta de nutrição (Figura 1.10).

A superfície interna nos ossos é revestida pelo endósteo, uma membrana fina e delicada que reveste as cavidades ósseas, incluindo os espaços medulares. Tem papel hematopoiético (formação de células sanguíneas) e osteogênico (formação de células ósseas).

Figura 1.10 | Anatomia de um osso mostrando suas estruturas



Fonte: adaptada de Kardong (2016, p. 183 e 185).

Faltaram os invertebrados! Vamos conhecer o esqueleto desses animais! Primeiro, precisamos saber que eles não possuem coluna vertebral para sustentação do corpo. Nesse grupo não encontramos ossos, mas muitos apresentam esqueleto calcário (exo e endoesqueleto) e até hidrostático com função estrutural.

Para organizar os estudos, vamos começar do grupo mais simples ao mais completo. Primeiro, temos os poríferos, que não apresentam tecido verdadeiro. São sésseis (vivem fixos ao substrato) e sustentam seu corpo através de um emaranhado de fibras proteicas chamado esponjina.

No grupo dos cnidários, famosos pela beleza e pelos acidentes, temos corais e medusas, ou águas-vivas. De forma geral, o corpo desses animais é formado por duas camadas de células (epiderme e gastroderme) e uma camada acelular intermediária (mesogleia), que sustentam seu corpo. E, por isso, têm o corpo meio gelatinoso.

Os vermes, conhecidos como platelmintos (achatados dorsoventralmente) e nematelmintos (corpo cilíndrico) têm o corpo formado por camadas musculares, que lhes dão sustentação. Alguns deles possuem cavidade interna com líquidos, que funciona como um esqueleto hidrostático, também com função de sustentação.

Você já ouviu falar dos anelídeos? Eles são conhecidos pelo seu representante mais ilustre: a minhoca! No entanto, os anelídeos não são só as minhocas. Nesse grupo temos também as sanguessugas e os poliquetos (marinhos). A sustentação do corpo desses animais dá-se por músculos e esqueleto hidrostático. Os poliquetos ainda podem formar tubos para seu refúgio.

Os vertebrados correspondem aproximadamente a 8% dos animais, o restante é invertebrado. Eles foram os primeiros animais a surgirem na Terra.

Os moluscos são animais de corpo mole, e alguns são protegidos por conchas, que funcionam como um esqueleto, dando-lhes sustentação e proteção. No ambiente terrestre, as conchas permitem que o corpo se sustente contra a ação da gravidade e servem de ponto de inserção dos músculos. A lula, também um molusco, ao longo do tempo, teve sua concha reduzida a uma pena translúcida interna ao seu corpo.

Chegamos ao grupo mais representativo dos invertebrados! Cerca de 70% das espécies conhecidas são artrópodes. Esses animais destacam-se pela presença de patas articuladas e exoesqueleto formado de quitina (polissacarídeo insolúvel). Esse esqueleto externo protege e dá sustentação ao animal, mas limita o seu crescimento. Ao longo da vida, os animais precisam trocá-lo por um maior, através de um evento chamado ecdise, ou muda.

Entre os artrópodes, encontramos os insetos (formiga, barata, mosca, joaninha, abelha, gafanhoto, entre outros), crustáceos (camarão, lagosta, siri, caranguejo, craca), aracnídeos (aranhas, escorpiões e carrapatos), diplópodes (piolho de cobra, também conhecido como embuá ou gongolo) e quilópodes (lacrãia e centopeia).

O último grupo de invertebrados são os equinodermos. Esses animais apresentam esqueleto interno com projeção de espinhos, daí o nome do grupo (*echinos* = espinhos; *derma* = pele).



Pesquise mais

Doação de medula óssea

Você sabia que alguns ossos do nosso corpo são responsáveis pela produção das nossas células sanguíneas? Esse evento ocorre na medula óssea, encontrada no interior dos ossos chatos, principalmente no osso do quadril, vértebras, costelas, esterno, crânio, entre outros. Para saber mais sobre a medula óssea e a importância da sua doação, acesse o site do Instituto Nacional do Câncer.

Disponível em: <http://www1.inca.gov.br/inca/Arquivos/publicacoes/folder_doacao_de_medula.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2016.

Sem medo de errar

Sobre o esqueleto humano, o adulto apresenta 206 ossos. No entanto, o mais interessante é saber que, quando criança, tivemos muito mais que isso, ou seja, tivemos 270 ossos. Quando nascemos, alguns ossos são pequenos e afastados um do outro, formando um espaço entre eles, como é o caso da moleira, que facilita o parto e o crescimento do cérebro. Ao longo dos anos, os ossos fundem-se para formar o crânio. Isso também ocorre com os ossos que formarão a bacia (ísqiuo, ílio e púbis): eles são separados ao nascimento e depois se fundem na adolescência.

Agora, conhecendo um pouco mais sobre a anatomia do esqueleto humano, vamos voltar àquela aula de anatomia humana que os alunos estavam aguardando ansiosos para conhecer o laboratório. Quais ossos você escolheu para colocar nas mesas? Foi muito difícil? Segue aqui uma sugestão:

Para o esqueleto axial (caixa craniana, coluna vertebral e caixa torácica), você pode escolher como ossos planos (laminares) o osso frontal, parietal, occipital. Com relação aos ossos irregulares, você pode escolher as vértebras cervicais, torácicas, lombares, sacrais ou coccígeas. No esqueleto apendicular, você pode escolher o fêmur, úmero, ulna, tibia como ossos longos; escápula, ísqiuo, ílio e púbis como ossos planos/laminares; como ossos curtos, os do carpo e tarso. Além desses, você pode também acrescentar os ossos pneumáticos, que apresentam

pequenas cavidades, que permitem a passagem de ar: são encontrados nos ossos da face, como o osso frontal, temporal, esfenoide e etmoide. Esses ossos são comuns nas aves que voam, já que a presença de ar dentro dos ossos dá mais leveza ao animal.

Avançando na prática

Estudando os fósseis

Descrição da situação-problema

Durante uma escavação para a construção de um grande empreendimento, os funcionários encontraram pedras com formatos estranhos. Alguém brincou que pareciam ossos de animais e tentou quebrá-las. Apesar de considerarem que as pedras não eram diferentes das pedras com as quais estavam acostumados a trabalhar, resolveram chamar a ajuda de alguém para tirar a dúvida. Quando o especialista chegou, não teve dúvidas, eram fósseis! E a obra teve que ser interrompida até o local ser estudado de forma adequada. Para agilizar os estudos, foram convocados alguns estudantes que gostavam de anatomia e poderiam colaborar. Durante a limpeza das peças, utilizando técnicas adequadas, foram encontradas muitas escamas e ossos de diversos tamanhos. A presença de escamas e ossos evidenciam que tipo de animais? Quais respostas essas descobertas podem trazer para a ciência?

Resolução da situação-problema

Uma escavação para estudos de fósseis sempre apresenta novidades. Com relação à anatomia dos animais, as escamas aparecem em peixes e répteis, e ambos os grupos apresentam ossos. No entanto, são animais morfologicamente diferentes. Portanto, não é difícil separar os materiais encontrados e classificá-los em um ou outro grupo. Caso as escamas e os ossos sejam característicos de peixes, podemos sugerir que aquele ambiente foi o fundo de um rio ou até mesmo do mar! Se forem encontrados ossos de grande porte e robustez, escamas duras e placoides, a sugestão muda para a presença de répteis. Sendo animais terrestres, seriam vestígios de animais que viveram ali há algum tempo. Em ambos os casos, seria muito interessante realizar a datação desses materiais, mas aí já é outra história!

Faça valer a pena

1. O sistema esquelético inclui todos os ossos do corpo humano, assim como as juntas contidas nele. Cada osso é um órgão complexo, feito de diversas células, fibras proteicas e minerais. O esqueleto age como uma estrutura para fornecer sustentação e proteção aos tecidos mais moles que formam o resto do corpo. Os ossos do corpo humano também produzem células hemácias, além de servirem como importantes depósitos para nutrientes, como cálcio e ferro.

Os ossos são classificados em esqueleto axial e apendicular. Escolha a alternativa que apresenta apenas ossos do esqueleto apendicular:

- a) Vértebra cervical, osso frontal, escafoide.
- b) Semilunar, fêmur, parietal, piramidal.
- c) Rádio, tíbia, occipital, pisiforme.
- d) Ílio, escafoide, ulna, escápula.
- e) Semilunar, clavícula, esterno, ísquio.

2. O reino animal é dividido em vertebrados e invertebrados. A estrutura corporal varia bastante entre os dois. Entre os invertebrados, temos em comum a ausência da coluna vertebral (eixo de sustentação do corpo). Nos vertebrados, o esqueleto interno possui um padrão comum, com variação no tamanho e forma. O esqueleto desses animais suporta o corpo, fornece pontos de inserção da musculatura e protege o encéfalo e a medula espinal.

Sabendo disso, analise as afirmações a seguir sobre os diversos tipos de estruturas de sustentação no reino animal:

- I. Ossos pneumáticos – equinodermos.
- II. Fibras proteicas de espongina – poríferos.
- III. Presença de plastrão – crocodilianos.
- IV. Exoesqueleto – crustáceos.

Quais das afirmações dadas estão corretas.

- a) A afirmação I.
- b) As afirmações II e III.
- c) As afirmações II e IV.
- d) As afirmações II, III e IV.
- e) As afirmações I, III e IV.

3. O cálcio é um mineral presente nas estruturas de diversos animais, e lhes confere rigidez e sustentação. A sua ausência ou diminuição pode comprometer, por exemplo, a formação das conchas de alguns animais e até mesmo os ossos de vertebrados. Em humanos, a osteoporose e o raquitismo são doenças relacionadas ao sistema ósseo, podendo levar a alterações no crescimento, perda óssea e fraturas.

Sabendo que a formação óssea é dependente de cálcio, analise as afirmações a seguir:

- a) A absorção do cálcio pode diminuir com a idade, provocando o enrijecimento do esqueleto.
- b) O cálcio para a formação dos ossos é produzido pelo próprio organismo.
- c) O estômago é responsável pela absorção do cálcio proveniente da nossa alimentação.
- d) Baixa ingestão de cálcio pode dificultar a manutenção e cicatrização óssea.
- e) A presença de vitamina D não interfere no metabolismo do cálcio.

Seção 1.3

Anatomia geral e comparada do sistema articular

Diálogo aberto

Nesta seção, você aprenderá que as articulações podem ter mobilidade restrita ou ser livres. Conhecerá as terminologias adequadas para classificar as articulações quanto ao material que une duas estruturas e também quanto à capacidade de movimentação. Vamos voltar à situação-problema que foi sugerida. Com certeza você será capaz de resolver a situação. Vamos lembrar: você encontrou pouco material sobre o sistema articular, mas você estudou que o crânio tem outras articulações além daquela que movimenta a mandíbula. Como você resolveria isso, se os ossos da cabeça parecem não ter movimentos? Além das articulações humanas, nesta aula também havia material animal para organizar. Quais animais não humanos podem ser representativos para uma aula sobre articulações?

Não pode faltar

Conceito de articulação do corpo humano e dos animais

Uma articulação é a união entre dois ou mais ossos, nos vertebrados. Entre os invertebrados, temos um grupo chamado artrópode (*arthron* significa "articulação" e *podos* significa "pé"). Apesar de não ter ossos, esse grupo articulações entre os artículos, conferindo movimento aos seus apêndices.

Classificação das articulações em vertebrados

Nos vertebrados, as articulações são classificadas de acordo com o grau de mobilidade oferecido pela junção. Nesse caso, temos as articulações do tipo sinartrose, consideradas de movimento restrito ou que não possibilitam movimento; e as diartroses, com movimentos livres. Você conseguiu imaginar um exemplo para cada tipo? As diartroses são simples. É só pensar nos joelhos e cotovelos. As semimóveis (ou de movimento restrito) podem considerar as articulações entre os corpos das vértebras da coluna vertebral e as articulações imóveis, como os ossos do crânio.

Cada tipo de articulação tem suas particularidades, por isso, veremos cada uma descrevendo sua anatomia e exemplificando-as. Preparado para mais uma aula?

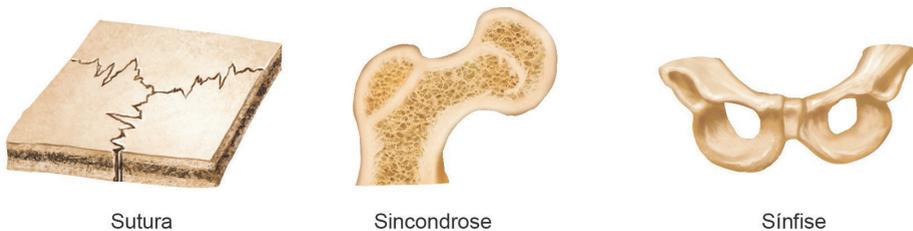
Estruturalmente, as articulações podem ser descritas de acordo com o tipo de tecido conjuntivo que as une (fibrosas, cartilaginosas e sinoviais) ou de acordo com o grau de movimento que elas permitem (sinartroses, anfiartroses, diartroses).

As articulações do tipo sinoviais (diartroses) são definidas pela presença de uma cápsula articular revestida por membrana e presença de líquido sinovial, o que permite movimentos livres devido ao deslizamento entre as superfícies. Nos outros dois grupos, o movimento ocorre entre os ossos unidos por tecido fibroso ou cartilagem.

Primeiro, vamos abordar as articulações fibrosas ou sinartroses. O material entre os ossos é uma fina camada de tecido conjuntivo fibroso (ligamento sutural), e o grau de movimentação é nenhum (imóvel). Essas camadas de tecido estão limitadas às articulações do crânio e a superfície de contato pode ser plana, escamosa ou serreada (suturas - Figura 1.11). Também encontramos as gonfoses, presentes entre cavidades e saliências, como entre os dentes e a maxila. E também há as sindesmoses, articulações fibrosas ligadas por fibras colágenas, encontradas, por exemplo, entre o rádio e a ulna ou tibia e fíbula.

As superfícies dos ossos podem ser unidas por cartilagem, o que permite pequenos movimentos. Quando a união é realizada por cartilagem hialina, são chamadas de sincondroses. Podem ter funções temporárias, sendo substituídas por osso com o passar do tempo, como em alguns ossos do crânio e entre a epífise e a diáfise dos ossos longos. Nas sínfises, há um disco fibrocartilaginoso entre os ossos, com função de absorver impactos. Exemplos são os discos intervertebrais e entre os ossos púbicos (Figura 1.11).

Figura 1.11 | Articulações fibrosas e cartilaginosas de movimento restrito



Fonte: adaptada de Lossow (1990, p. 126).

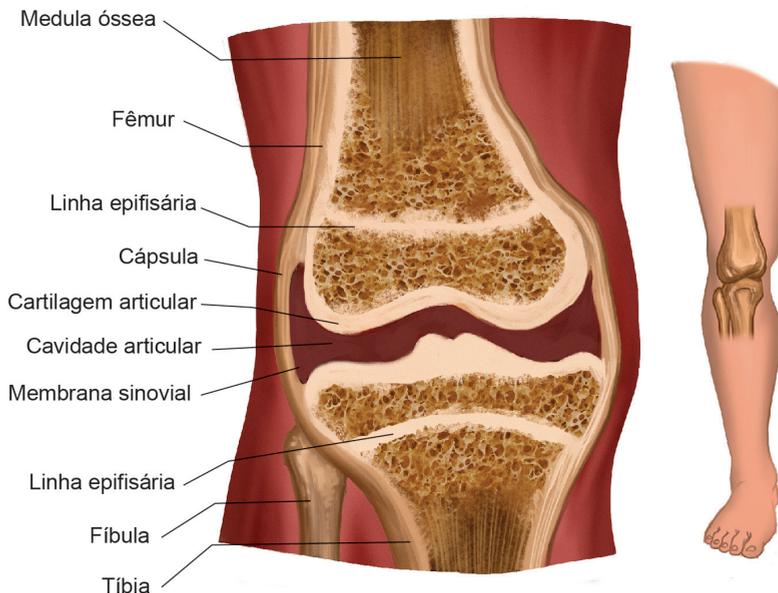
As articulações sinoviais, ou diartroses (Figura 1.12), geram movimentos amplos, de acordo com o eixo do corpo associado. Relacionando com o que você aprendeu na aula anterior, eixos são linhas imaginárias que atravessam os planos do corpo perpendicularmente. Então, quando falamos sobre movimento, os relacionamos aos eixos do corpo, à forma das superfícies que entram em contato e aos meios de união que podem limitá-los.



Assimile

As diversas articulações do corpo dos vertebrados geram movimentos sincronizados para o caminhar, saltar, voar e nadar. A locomoção ou a movimentação livre é dependente de articulações do tipo sinovial ou diartrose, como no caso dos movimentos amplos dos membros. Movimentos mais contidos são realizados pelas anfiartroses, como o movimento da coluna vertebral, através dos discos intervertebrais. Os ossos do crânio não possuem movimentos devido à ossificação que ocorre ao longo dos anos.

Figura 1.12 | Figura representativa da articulação do joelho (sinovial) mostrando a cápsula articular



Fonte: adaptada de Lossow (1990, p. 133).

O critério de classificação das articulações em estrutural e funcional baseia-se na maior parte nas articulações presentes em mamíferos. Em geral, os termos podem ser aplicados em outros animais, mas há exceções. Nas cobras, por exemplo, a sínfise mandibular pode não ter cartilagem e gera um movimento considerável dos ramos da maxila. Nas nadadeiras dos golfinhos, as articulações sinoviais entre as falanges (comum nos mamíferos) foram substituídas por sindesmoses firmes, que as tornam mais rígidas, ideais para a natação.

Entre os vertebrados mamíferos, encontramos as mesmas articulações do homem, mas com organização diferente, por exemplo: a localização do ombro do cão, quando comparado ao ombro humano. Os animais quadrúpedes têm seu peso distribuído em quatro apoios, enquanto o homem o tem em apenas dois. Dessa forma, compare outras articulações para entender as diferenças entre o homem, com postura ereta e andar bípede, e o cão, um animal que caminha em quatro patas.



Exemplificando

Há pouco tempo tivemos no Brasil os Jogos Olímpicos e nos surpreendemos com diversos movimentos que um corpo treinado é capaz de realizar. No salto em distância, por exemplo, os atletas precisam flexionar as pernas no ar e lançá-las para a frente para atingir a maior distância possível. Durante o movimento, verificamos a flexão dos joelhos (diminuição do ângulo da articulação) e depois a extensão (aumento do ângulo desta articulação). Isso só é possível com muito treino, mas principalmente porque está sendo usada uma articulação móvel.

O arremesso de peso também utiliza articulações móveis, assim como diversos outros esportes. Os ginastas, por sua vez, conseguem realizar a flexão plantar e ficar na ponta dos pés em alguns exercícios.

Os não atletas apresentam, por exemplo, movimentos de abdução ao distanciar os membros inferiores e superiores do corpo. Ao trazê-los de volta para próximos do corpo, realizam o movimento de adução. Tente realizar alguns movimentos e nomeie-os. É um ótimo exercício de aprendizado.

Os movimentos realizados pelo corpo através da junção dos sistemas articular, ósseo e muscular, podem ser classificados como uniaxial ou monoaxial, quando o movimento é realizado em torno de apenas um eixo (articulação em dobradiça, que gera a extensão e a flexão encontradas nas falanges e no cotovelo); biaxial, quando os movimentos acontecessem em torno de dois eixos (uma extremidade côncava em contato com outra convexa, como as carpometacárpicas do polegar; ou um encaixe recíproco com extremidades de igual curvatura, permitindo a circundução, adução e abdução, como a articulação do pulso).

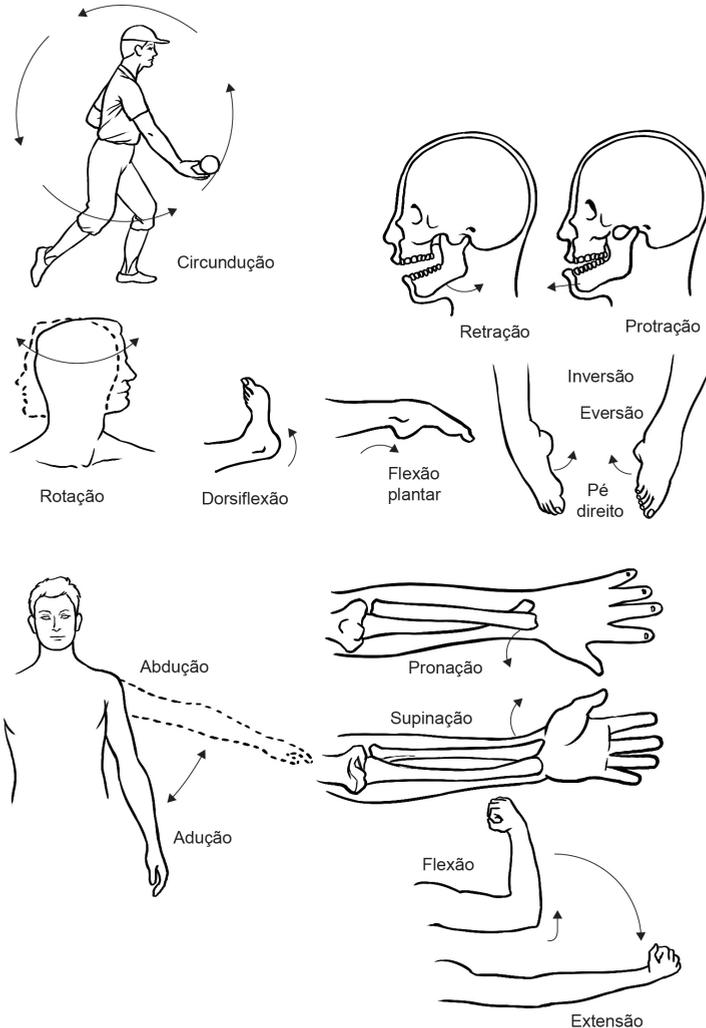
Esses movimentos também podem ser triaxiais, quando acontecem em torno de três eixos, permitindo flexão, extensão, abdução, adução e rotação, por exemplo os movimentos do quadril; e poliaxial, que é um movimento triaxial, mas com maior mobilidade encontrada na articulação do ombro. Há outro tipo de articulação, chamada de plana, que permite movimentos apenas de deslizamento, como nas articulações do carpo e tarso.

Na anatomia, sempre há terminologia específica. Para os movimentos não é diferente. Flexão é o movimento que se dá quando o ângulo da articulação diminui. Extensão é o nome do movimento quando o ângulo aumenta. Abdução é o movimento do membro superior ou inferior quando se distancia do corpo. Adução é o nome do movimento que os membros fazem em direção ao corpo.

Rotação é o movimento do osso em torno de um eixo central. Circundução é quando o osso se movimenta de modo que sua extremidade descreva um círculo e os lados descrevem um cone.

Veja esses e outros movimentos representados na Figura 1.13.

Figura 1.13 | Tipos de movimentos permitidos pelas articulações sinoviais ou diartroses



Fonte: adaptada de Lossow (1990, p. 128).

Estruturas das articulações móveis

Existem estruturas que colaboram com o movimento das articulações móveis ou também o limitam. Os ligamentos, por exemplo, são flexíveis, porém, fortes e resistentes para não ceder à ação das forças. São constituídos por fibras colágenas entrelaçadas umas às outras (Figura 1.14).

Figura 1.14 | Figura representativa do "tendão de Aquiles" e seu papel no movimento



Fonte: <<http://ebSCO.smartimagebase.com/getimage.php?K=5bdc8f0704c4892b2579ec5dae1a221e954e7b52>>. Acesso em: 17 nov. 2016.

A cápsula articular citada anteriormente é uma membrana de tecido conjuntivo fibroso denso que envolve as articulações sinoviais. Tem uma membrana externa fibrosa resistente (cápsula fibrosa), formando os ligamentos capsulares, que junto aos ligamentos, limitam a amplitude dos movimentos. Também possui uma membrana interna (sinovial), que delimita a cavidade sinovial, vascularizada e inervada, e tem a função de produzir o líquido sinovial viscoso, que mantém a pressão em pontos necessários dentro da articulação, para manter as superfícies separadas, como um acolchoamento.

As bolsas sinoviais, ou bursas (Figura 1.12), são "sacos" fechados de tecido conjuntivo. Localizadas entre os músculos, tendões, ligamentos e ossos, facilitam o deslizamento dos músculos e tendões sobre as estruturas ósseas ou ligamentares.

Na região intra-articular, encontramos formações fibrocartilaginêas, como os discos e os meniscos, com função de amortecer as pressões nas articulações e possibilitar encaixe adequado entre uma superfície articular e outra.



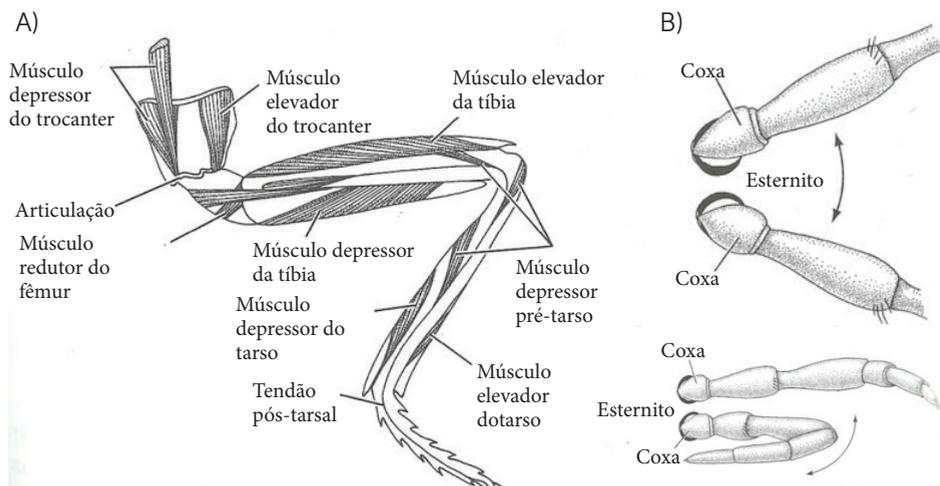
Refleta

Ao compararmos as articulações do homem com as de um cão, podemos verificar que toda a pressão exercida pelo peso do corpo do homem está sobre as cartilagens dos joelhos e tornozelos. Ao longo dos anos, dependendo do tipo de vida que uma pessoa leva (alimentação e esportes), essa pressão pode se transformar em desgaste ou em alguma patologia. Pensando nos animais quadrúpedes, seja um cão ou um cavalo, o peso do corpo desses animais é distribuído em quatro apoios: quatro articulações de joelhos e quatro de tornozelos. Devido ao fato de o peso ser melhor distribuído, será que esses animais, ao longo do tempo, podem sofrer os mesmos problemas que o homem? Pense nisso.

Até agora, falamos sobre as articulações nos vertebrados mamíferos, ou seja, focamos os estudos no grupo mais bem estudado até hoje. Mas é possível estudar as articulações dos anfíbios, répteis, aves e peixes. Vamos entender um pouco das articulações presentes em alguns invertebrados. No início desta seção, comentamos sobre os artrópodes. São animais com as patas e todos os outros apêndices articulados (antenas, peças bucais etc.) e com exoesqueleto (Seção 1.2).

O exoesqueleto é formado por tecido quitinoso e rígido. Porém, nas articulações, temos uma camada mais delgada, permitindo maior flexibilidade, da mesma forma que nos vertebrados, sendo que as articulações permitem diversos movimentos dos invertebrados (Figura 1.15).

Figura 1.15 | A. Articulação da perna de um inseto, mostrando tendão e músculos; B. Vistas ventrais de um apêndice locomotor de artrópodes: movimento de rotação da articulação entre a coxa e o carpo de forma a lançar o apêndice para a frente ou para trás; e extensão e flexão de um apêndice



Fonte: Brusca e Brusca (2007, pág. 502, 631)



Pesquise mais

O líquido sinovial presente nas articulações sinoviais pode sofrer pressão excessiva ou tensão, gerando um processo inflamatório, conhecido como bursite. É comum ocorrer na articulação do ombro, o que torna a movimentação limitada e dolorosa.

A degeneração das articulações móveis por deterioração da cartilagem e formação de um osso novo nas superfícies articulares é conhecido como artrose. Assim como a bursite, também compromete os movimentos articulares.

Leia mais no link indicado. Disponível em: <http://portalbiocursos.com.br/ohs/data/docs/34/274_-_DoenYas_degenerativas_no_quadril_ocasionada_por_bursite_importYncia_da_fisioterapia_para_o_tratamento.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2016.

Sem medo de errar

Agora que você já tem conhecimentos sobre o sistema articular, vamos retomar a situação-problema. Você conseguiu uma monitoria para ajudar a preparar as aulas práticas em um laboratório. Dessa vez, a aula é exatamente sobre o sistema articular. Porém, você encontrou pouco material sobre esse tema. O manual que você recebeu diz que o crânio tem diversas articulações, além daquela que movimenta a mandíbula. Antes, isso poderia parecer estranho, porque o crânio não tem movimentos, mas agora você já sabe que há articulações imóveis no crânio, chamadas sinartroses ou fibrosas. Elas são formadas de tecido fibroso e, no adulto, formam as suturas após a ossificação desse tecido. Além disso, você precisa propor outros materiais para a aula que não sejam articulações de humanos. Qualquer outro vertebrado pode ser utilizado, já que todos possuem articulações, mas temos também os invertebrados artrópodes, que apresentam articulações, como os siris e os caranguejos. Em grandes mercados são fáceis de serem adquiridos, e o manuseio para uma aula também é simples.

Avançando na prática

Articulações necessárias para sentar-se em uma cadeira

Descrição da situação-problema

Depois de aprender sobre o sistema articular, percebemos que no dia a dia utilizamos diversas articulações para nos movimentarmos. Você já reparou que os robôs dos filmes antigos têm um andar estranho justamente pela falta de estruturas

articulares? Com relação à vida cotidiana, podemos notar que o simples fato de sentarmos em uma cadeira já mostra como as articulações são importantes. Precisamos inclinar ligeiramente o corpo, dobrar os joelhos e realizar mais alguns movimentos. Que tal você descrever os movimentos e classificar articulações envolvidas no ato de sentar? Você ficará surpreso com a quantidade de informações!

Resolução da situação-problema

Sentar em uma cadeira parece simples, não é? No entanto, se você estiver com uma lesão qualquer nos joelhos, na coluna vertebral ou até mesmo no cotovelo, sabe que essa não é uma tarefa tão simples assim. Ao sentarmos, precisamos inclinar o corpo levemente para a frente, movimentando as articulações semimóveis da coluna vertebral. Precisamos das articulações sinoviais ou diartroses dos joelhos e quadris. Dobramos os joelhos para aproximarmos o corpo da cadeira e movimentamos os quadris para alinharmos o corpo à posição de sentar. Os quadris têm movimentos em torno de três eixos (triaxial) com os ossos ílio, ísquio e púbis, com as superfícies articulares lisas e recobertas por cartilagem. Não podemos esquecer os braços, que se movimentam para nos dar equilíbrio e, muitas vezes, para segurar a cadeira, também.

Faça valer a pena

1. Para manter as articulações saudáveis

[...] É preciso de uma substância já bem conhecida, mas sempre associada a questões estéticas de firmeza da pele e envelhecimento: o colágeno. Essa proteína é fundamental para o funcionamento adequado da cartilagem articular, tipo especial de tecido que reveste a extremidade de dois ossos justapostos, permitindo a execução dos movimentos do corpo. Sem as cartilagens articulares, um osso se chocaria com o outro e não seria possível semovimentar direito. (SACHS, 2013, s.p.).

Você aprendeu que as articulações podem ter classificações diferentes quanto à mobilidade. O texto descreve a importância da saúde nas articulações, mas refere-se apenas às articulações livres, também conhecidas como diartroses. Assinale a alternativa que contém somente regiões com articulações do tipo diartrose:

- a) Ombro, joelho, quadril.
- b) Quadril, crânio, cotovelo.
- c) Cotovelo, joelho, púbis.
- d) Tornozelo, intervertebrais, quadril.
- e) Crânio, intervertebrais, púbis.

2. No início desta semana, disposto a acabar com a especulação e os boatos de que sua filha teria alguma síndrome genética, o empresário Roberto Justus falou sobre o problema enfrentado pela pequena Rafaella, de 2 anos. Ela tem estenose craniofacial, uma alteração provocada pela fusão prematura dos ossos da face e do crânio. Apesar de raro, o problema de Rafaella está incluído no grupo das deformidades de cabeça, que, segundo um estudo norte-americano, acomete 12% dos bebês. (FAFÁ, 2012, s.p.)

Ao nascer, um bebê apresenta espaços entre os ossos do crânio que serão ossificados com o passar dos anos. O texto mostra uma situação em que isso ocorreu antes do nascimento. Assinale a alternativa que indica o tipo de articulação temporária existente entre os ossos do crânio ao nascimento:

- a) Anfiartroses, articulações móveis.
- b) Diartroses, articulações com pouca mobilidade.
- c) Bursas, bolsas com líquido que protege o cérebro.
- d) Sinoviais, articulações imóveis de tecido fibroso.
- e) Sincondrose, articulação de cartilagem hialina.

3. Os movimentos do corpo humano são classificados de acordo com o ângulo e a amplitude do movimento em relação ao eixo do corpo. Relacione a descrição do movimento com sua denominação:

- I. Movimento do osso em torno de um eixo central.
 - II. Aumento do ângulo entre os braços e o eixo do corpo.
 - III. Diminuição do ângulo do antebraço em relação ao braço.
 - IV. Extremidade do osso descreve um círculo durante o movimento.
- 1. Flexão.
 - 2. Rotação.
 - 3. Abdução.
 - 4. Circundução.

Assinale a alternativa que representa a associação correta:

- a) I.1; II.2; III.3; IV.4.
- b) I.2; II.3; III.4; IV.1.
- c) I.2; II.3; III.1; IV.4.
- d) I.3; II.4; III.1; IV.2.
- e) I.4; II.1; III.2; IV.3.

Referências

- BARNES, R. **Zoologia dos invertebrados**. 6. ed. São Paulo: Roca, 2015.
- BRASIL. **Lei n. 8.501, de 30 de novembro de 1992**. Dispõe sobre a utilização de cadáver não reclamado, para fins de estudos ou pesquisas científicas e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8501.htm>. Acesso em: 14 nov. 2016.
- BRUSCA, R. C.; BRUSCA, J. G. **Invertebrados**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.
- CARVALHO, A. L. S.; MEJIA, D. P. M. **Doenças degenerativas no quadril ocasionada por bursite**: importância da fisioterapia para o tratamento. Disponível em: <http://portalbiocursos.com.br/ohs/data/docs/34/274_-_DoenYas_degenerativas_no_quadril_ocasionada_por_bursite_importYncia_da_fisioterapia_para_o_tratamento.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2016.
- CHEREM, A. J. Medicina e arte: observações para um diálogo interdisciplinar. **Acta Fisiátrica**, Florianópolis, v. 12, n. 1, p. 26-32, 2005. Disponível em: <http://www.actafisiatrica.org.br/audiencia_pdf.asp?aid2=240&nomeArquivo=v12n1a06.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2016.
- FAFÁ, Lorena. **12% dos bebês têm alteração no crânio**. 2012. Disponível em: <http://gazetaonline.globo.com/_conteudo/2012/04/a_gazeta/indice/vida/1204304-12-dos-bebes-tem-alteracao-no-cranio.html>. Acesso em: 27 dez. 2016.
- HICKMNAN, C. P.; ROBERTS, L. R.; LARSON, A. **Princípios integrados de zoologia**. 13. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.
- INCA. **O que é medula óssea?** [s.d]. Disponível em: <http://www1.inca.gov.br/inca/Arquivos/publicacoes/folder_doacao_de_medula.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2016.
- JACOB, S. W.; FRANCONI, C. A.; LOSSOW, W. J. **Anatomia e fisiologia humana**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1990.
- LOSSOW, J. F. **Anatomia e fisiologia humana**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1990.
- KARDONG, V. K. **Vertebrados**: anatomia comparada, função e evolução. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

PALASTANGA, N.; FIELD, D.; SOAMES, R. **Anatomia e movimento humano**. 3. ed. São Paulo: Manole, 2000.

QUAILE, I. **Aumento de CO2 nos oceanos eleva nível de acidez e ameaça vida marinha**. Ciência e Saúde. Disponível em: <<http://www.dw.com/pt-br/aumento-de-co2-nos-oceanos-eleva-n%C3%ADvel-de-acidez-e-amea%C3%A7a-vida-marinha/a-17268912>>. Acesso em: 28 out. 2016.

RUPPERT, E. E.; BARNES, R. D. **Zoologia dos invertebrados**. 6. ed. São Paulo: Roca, 1996.

SACHS, Ana. **Colágeno é fundamental para a saúde das articulações; alimentação é principal fonte**. 2013. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/saude/ultimas-noticias/redacao/2013/01/07/colageno-e-fundamental-para-a-saude-das-articulacoes-veja-alimentos-que-fornecem-a-proteina.htm>>. Acesso em: 27 dez. 2016.

SOUZA, M. O.; SANSIOTO, S. M. L. Absorção intestinal de água e eletrólitos. In: Aires, M.M. **Fisiologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

VARISE, E. M. et al. Revisão dos conceitos sobre a evolução bípede e aplicação na fisioterapia. **Rev Neurocienc**, 17 (3): 246-54, 2009.

Anatomia geral e comparada dos sistemas muscular, nervoso e circulatório

Convite ao estudo

Caro aluno, estamos iniciando a Unidade 2 da disciplina de Anatomia Geral e Comparada. Você já conheceu a terminologia de anatomia e também estudou os ossos e as articulações. Continuaremos estudando esses temas, mas agora acrescentaremos novos tópicos. Nesta unidade, você conhecerá os sistemas muscular, nervoso e circulatório.

O sistema muscular, junto ao sistema esquelético e articular, é responsável pela movimentação e locomoção dos animais. Eles também são responsáveis por manter a postura numa situação de repouso. Imagine-se confortavelmente em pé ou sentado refletindo. Os músculos mantêm a nossa postura para evitar que o corpo tombe. Já pensou nisso? A ação desses músculos é estimulada pelo sistema nervoso, e a nutrição e a oxigenação dessas células são realizadas pelo sistema circulatório. Os sistemas vão se encaixando para o bom funcionamento do nosso corpo.

Os outros animais vertebrados e invertebrados também utilizam os músculos para a movimentação e a locomoção. O que muda é a disposição das fibras musculares para cada situação, como andar, saltar, voar e nadar.

Ao término dos estudos deste livro, você adquirirá a competência geral de conhecer os principais conceitos da anatomia geral e comparada e saberá identificar, nomear e descrever os órgãos e as estruturas orgânicas, macroscopicamente, quanto ao plano geral de construção e constituição do corpo humano e também dos animais. Com o estudo desta unidade, você atingirá os objetivos específicos, que correspondem a fazê-lo ser capaz de conceituar, identificar e conhecer a anatomia dos músculos do corpo humano e dos animais, além de conhecer a mecânica, a origem e a inserção dos músculos e sua classificação funcional. Sobre o sistema nervoso, você conhecerá o desenvolvimento evolutivo e a divisão

anatômica e as principais estruturas que o compõe. Você também estudará o sistema circulatório dos humanos e dos animais. Conhecerá os tipos de corações presentes nos vertebrados e invertebrados e como esses animais conduzem seus nutrientes através do corpo.

Agora, vamos pensar na seguinte situação: um estudante do curso de Ciências Biológicas está desenvolvendo uma pesquisa para comparar a locomoção de diversos animais. Ele escolheu espécimes/indivíduos de animais invertebrados e vertebrados e criou pequenos ambientes que simulam o habitat de cada um. Em uma das observações, o estudante percebeu algumas mudanças no comportamento de locomoção de alguns exemplares. Numa tabela, anotou que entre os invertebrados, as minhocas estavam com o corpo totalmente enrolado; um caranguejo, sem uma perna, com um líquido saindo da região onde deveria estar a perna; e os caramujos estavam na mesma posição que no dia anterior. Entre os vertebrados, um peixe estava nadando meio torto em relação aos outros e os camundongos estavam normalmente ativos. A partir dessa situação, convidamos você a resolver as situações com as quais deparará ao longo dos estudos desta unidade. Vamos começar. Mãos à obra e sucesso nos estudos!

Seção 2.1

Anatomia geral e comparada do sistema muscular

Diálogo aberto

Quando estudamos o sistema muscular, temos que pensar que os músculos têm a capacidade de se contrair e relaxar, provocando um determinado movimento ou a locomoção. Movimento é quando “mexemos” uma parte do corpo, mas sem mudar de lugar. Um exemplo é quando você estende o braço para pegar um copo de água em cima da mesa: você movimentou o braço, mas não saiu do lugar, ou seja, não se locomoveu, apenas se movimentou.

Na apresentação desta unidade foi proposta uma situação na qual um estudante do curso de Ciências Biológicas desenvolve uma pesquisa comparativa sobre a locomoção de animais. Para isso, criou pequenos ambientes que simulavam o habitat de diferentes espécies de animais invertebrados e vertebrados. Nessa observação, em suas anotações, as minhocas, que são invertebradas, estavam com o corpo totalmente enrolado, enquanto comparadas aos camundongos (vertebrados), que se mantinham normalmente ativos. Analisando estas informações dos registros desse trabalho, como o estudante poderia explicar a posição da minhoca (invertebrado - anelídeo), levando em consideração a anatomia muscular dessa espécie? E comparando as minhocas com os camundongos (vertebrados - mamíferos), você saberia comparar a constituição muscular para a locomoção dessas duas espécies animais?

Não pode faltar

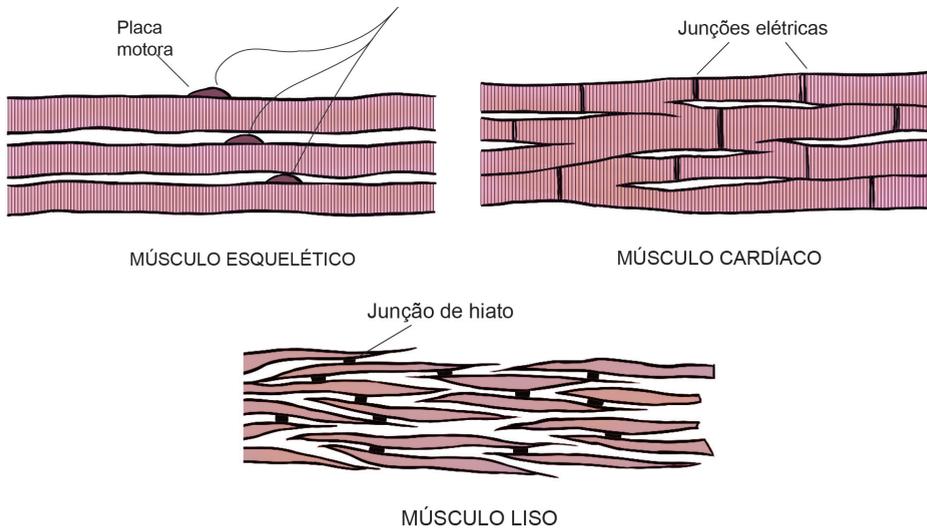
Conceito e tipos de músculos do corpo humano e dos animais

Os movimentos dos animais, como a locomoção, a ingestão de alimentos e o acasalamento, são gerados pela ação dos músculos. A maioria dos músculos se contrai quando neurônios (sistema nervoso, que será estudado mais adiante) enviam sinais a eles, iniciando uma série de eventos que causam o encurtamento dos músculos.

Os músculos são estruturas formadas por fibras contráteis (fibras musculares). Com base na morfologia e na funcionalidade, os músculos são classificados em lisos e estriados (Figura 2.1). O músculo estriado pode ainda ser dividido em músculo esquelético e músculo cardíaco. Quando estão relacionadas ao esqueleto (ancorados por tendões) são chamados de músculos esqueléticos, e quando fazem parte da estrutura dos órgãos internos (vísceras e parede de vasos sanguíneos), são chamados de músculos lisos, exceto o músculo do coração, que se restringe ao próprio coração (músculo estriado cardíaco), sendo denominado miocárdio. Os mecanismos de contração são muito parecidos, diferindo na organização celular.

Vale ressaltar que os músculos estriados esqueléticos têm ação voluntária, e os músculos lisos (órgãos internos, como esôfago, intestino, estômago e parede de vasos sanguíneos) e cardíaco têm ação involuntária.

Figura 2.1 | Representação da morfologia dos músculos esquelético, cardíaco e liso

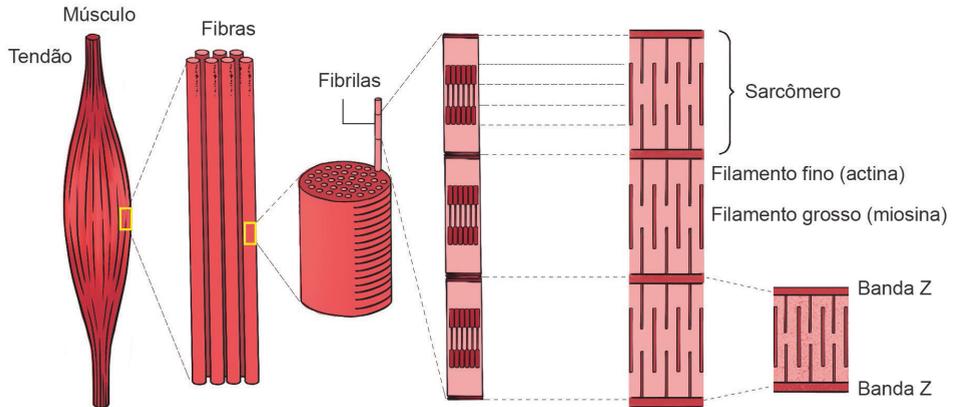


Fonte: adaptada de Schmidt-Nielsen (1999, p. 414).

Componentes anatômicos e mecânicos dos músculos estriados esqueléticos

Examinado ao microscópio, o músculo esquelético parece ter linhas ou estriações transversais. Geralmente, está fixado aos ossos e às cartilagens (assuntos que você já estudou anteriormente) e tem controle voluntário. Suas células são multinucleadas e podem unir-se pelas extremidades e formar fibras longas. Internamente, a célula muscular esquelética apresenta unidades denominadas miofibrilas. Cada miofibrila é formada por unidades repetidas (sarcômeros), que por sua vez, são constituídas por miofibrilas de dois tipos: filamentos grossos, denominados miosina, e finos, denominados actina. A organização geral de um tecido muscular esquelético está representada na Figura 2.2.

Figura 2.2 | Representação esquemática do músculo estriado de um vertebrado



Fonte: adaptada de Schmidt-Nielsen (1999, p. 400).

Os componentes mecânicos dos músculos são as estruturas que participam da contração muscular (Figura 2.2), com base no mecanismo de deslizamento dos filamentos, formando pontes transversais entre as moléculas de actina e miosina. Quando as pontes se formam, elas deslizam umas sobre as outras, encurtando os sarcômeros, que, em conjunto, encurtam toda a fibra muscular.

As propriedades de um músculo são influenciadas pelo comprimento ou pela orientação de uma fibra muscular, pela fisiologia, pelo tipo de inserção dos músculos no sistema de alavanca que movimentam e pela sequência de ações do músculo em relação aos outros.

Alguns músculos esqueléticos de vertebrados são especializados em atividades explosivas (curta duração e alta intensidade), e outros são adequados à atividade de resistência (longa duração e baixa intensidade). As propriedades contráteis de um músculo esquelético podem ser alteradas em resposta a modificações nas condições fisiológicas, mas isso é assunto para outra aula.



Refleta

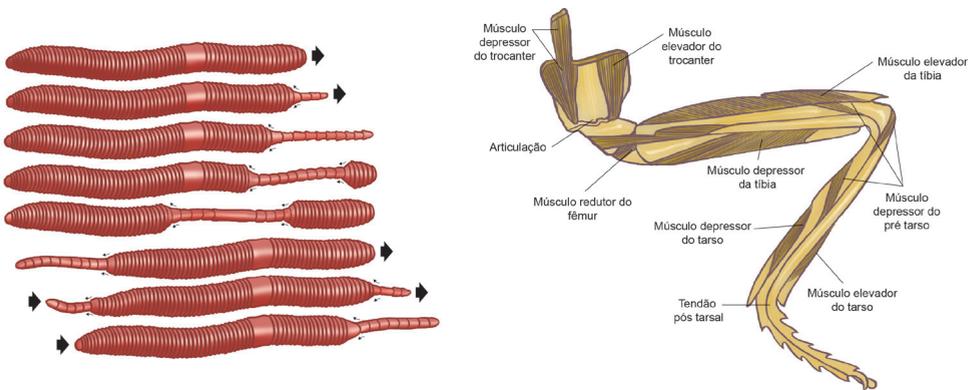
Tônus muscular é o estado de tensão do músculo mesmo em repouso (contração basal). Isso permite que o músculo inicie uma contração rapidamente após o estímulo dos centros nervosos. Sem essa tensão, o músculo levaria mais tempo para iniciar a contração e, numa situação de perigo, colocaria em risco a sobrevivência do animal. Em situação de diagnóstico, o tônus pode apresentar-se diminuído (musculatura flácida), conhecido como hipotonia. Se cortarmos o nervo que estimula um músculo, este perde o tônus e também se torna flácido. Em estados de

tensão emocional, em geral, aumentamos o tônus muscular, causando, em algumas situações a fadiga muscular.

Você já teve a experiência de carregar sacolas ou pacotes pesados por longo período e depois não ter força para segurar mais nada? Seus músculos gastaram tanta energia contraíndo e segurando o peso que entraram em fadiga. Será que um corredor de uma maratona (42 km) também poderia passar pela situação de fadiga muscular? Em quais outras situações você poderia ter fadiga muscular? Pense nisso!

Nos invertebrados, todos os músculos compartilham as características de filamentos finos e grossos (actina e miosina), mas a variação no arranjo dos filamentos e a regulação da contração podem ser diferentes. Os moluscos (ostras e mexilhões) possuem músculos capazes de gerar contrações de longa duração enquanto consomem pouca energia. Esses músculos têm função de sustentação, responsáveis por manter as conchas fechadas por longo período, protegendo o animal dos predadores e das rigorosas condições externas. Os artrópodes (insetos), por sua vez, dependem do exoesqueleto para a sustentação no ambiente terrestre. Seus membros fornecem o suporte necessário para manter o corpo elevado com relação ao solo durante a locomoção. Para isso, os membros devem ser longos, mas o suficiente para não comprometer sua estabilidade (Figura 2.3.B).

Figura 2.3 | A. Locomoção de uma minhoca: quando os músculos circulares contraem, os longitudinais são esticados pela pressão do fluido celomático e o animal alonga-se. Depois, alternando a contração e o relaxamento de ambos os músculos, provoca a locomoção para frente. Cerdas presentes na região ventral são utilizadas para ancorar o animal e evitar o deslizamento. B. Musculatura da perna de um inseto



Fonte: A. Adaptada de Hickman, Roberts, Larson (2009, p. 613); B. Adaptada de Brusca e Brusca (2007, p. 631).

Comparando vertebrados e invertebrados, vemos que a locomoção e a movimentação são dependentes da presença de músculos, em especial os músculos estriados. Nos vertebrados, os músculos estriados esqueléticos criam alavancas,

fixando os músculos aos ossos através de tendões. Nos invertebrados, a ausência de ossos, muitas vezes, é suprida por esqueleto hidrostático, como nas minhocas (Figura 2.3).

Classificação morfológica e funcional dos músculos estriados esqueléticos

Funcionalmente, temos músculos relacionados à produção do movimento do corpo, como andar, correr, nadar e voar. Temos aqueles que estabilizam as posições corporais, realizando a manutenção da postura, como ficar em pé ou sentar (imagine a ação desses músculos nos cavalos, vacas e girafas que não sentam ou deitam). Os músculos esqueléticos também favorecem a circulação sanguínea quando sua contração “massageia” os vasos sanguíneos, tendo função secundária na produção de calor do corpo. Você já deve ter tremido de frio, não é? Percebeu que os músculos ficam contraídos? Essa contração produz calor, e grande parte desse calor que é liberado pelo músculo é utilizado na manutenção da temperatura corporal.



Pesquise mais

No dia a dia, realizamos movimentos de forma tão rotineira que não percebemos a importância dos músculos até que eles falhem, ou mesmo em caso de amputação, por exemplo. Durante anos, os filmes de ficção científica mostraram a substituição de mãos, braços e pernas, criando o homem biônico. Hoje, as próteses são reais e funcionais. Ligadas ao sistema nervoso (cérebro), as próteses podem realizar movimentos, como fechar e abrir as mãos, além de realizar trabalhos mais delicados, como escrever. As próteses de membros inferiores são capazes de substituir de tal forma o membro amputado de modo que a pessoa pode vir a ser atleta com índices olímpicos.

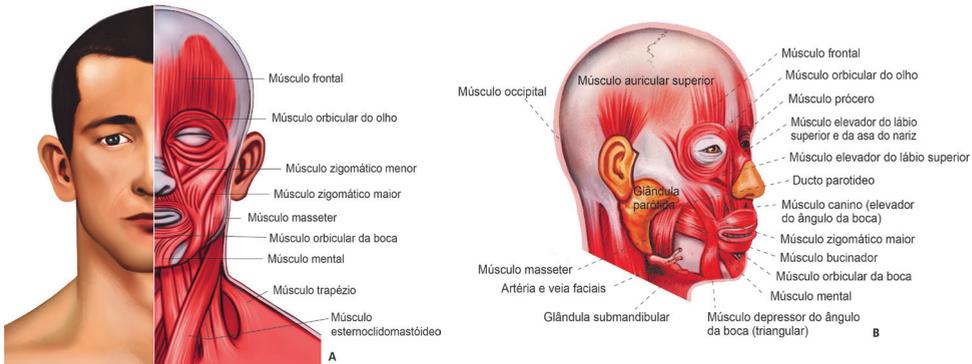
A utilização das próteses deu tão certo que estão sendo utilizadas em animais para melhorar e dar qualidade de vida àqueles que perderam algum membro. Conheça mais sobre as próteses nos links sugeridos.

Próteses mecânicas simulam movimento de pernas. Disponível em: <<http://redeglobo.globo.com/globocidadania/videos/v/proteses-mecanicas-simulam-movimento-de-pernas/3516804/>>. Acesso em: 27 nov. 2106.

Tecnologias revolucionárias que salvaram a vida de animais. Disponível em: <<http://www.techtodo.com.br/artigos/noticia/2012/06/tecnologias-revolucionarias-que-salvaram-a-vida-de-animais.html>>. Acesso em: 27 nov. 2106.

A classificação dos músculos depende muito do objetivo do estudo. Aqui vamos abordar uma das formas com as quais ela pode ser realizada. Podemos classificar os músculos quanto à situação: superficiais ou cutâneos (logo abaixo da pele com uma de suas inserções na camada mais profunda da derme); profundos ou subaponeuróticos (na maioria das vezes, têm inserção nos ossos) (Figura 2.4).

Figura 2.4 | Músculos da face: A. Camada superficial. B. Camada profunda



Fonte: adaptada de Jabob, Francone e Lossow (1990, p. 158).

Entre os músculos da face, podemos dar atenção especial àqueles que estão envolvidos na mastigação, como o masseter, o temporal, o pterigoideo médio e lateral, entre outros. Veja também na Figura 2.4 o músculo orbicular do olho, aquele que, quando estamos muito cansados após horas na frente do computador, começa a tremer. Isso ocorre por fadiga muscular, ou seja, o músculo ficou tanto tempo contraído que gastou muita energia.

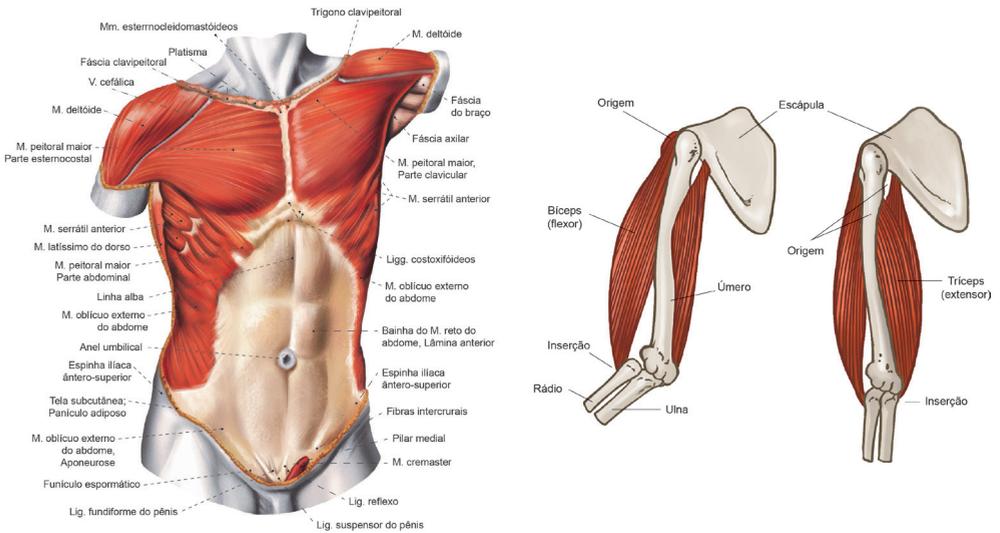
Quanto à forma, os músculos podem ser longos (presentes nos membros, como o bíceps braquial); curtos (presentes nas articulações de movimentos com pouca amplitude, como os músculos das mãos) e largos (forma laminar, encontrados nas grandes cavidades, como no tórax e abdome, exemplo: músculo diafragma).

Também podemos classificar os músculos à origem, quando se originam de mais de um tendão, como o bíceps e o quadríceps; e quanto à inserção, quando se inserem em mais de um tendão, como o flexor dos dedos.

Quanto à disposição das fibras, podem ser do tipo reto (fibra paralela à linha média, como o reto abdominal); transverso (fibra perpendicular à linha média, como o transverso abdominal) e oblíquo (fibra diagonal à linha média, como o oblíquo externo) (Figura 2.5.A).

Quanto à função, podemos encontrar músculos agonistas (ativam um movimento específico), antagonistas (músculos que se opõem à ação dos agonistas), sinergistas (estabilizam as articulações para que não ocorram movimentos indesejáveis) e fixadores (estabilizam a origem do agonista para melhor eficiência).

Figura 2.5 | A. Vista anterior do corpo humano (torso) mostrando os diversos músculos. Atenção à morfologia das fibras musculares dos músculos reto do abdome, transverso do abdome e oblíquo interno. B. Representação de como os músculos agonistas trabalham. Primeiro temos o bíceps contraído e o tríceps relaxado. Essa combinação flexiona o antebraço. Depois, o bíceps está relaxado e o tríceps, contraído. Esta combinação estende o antebraço



Fonte: adaptada de Jacob, Francone e Lossow (1990, p. 158).

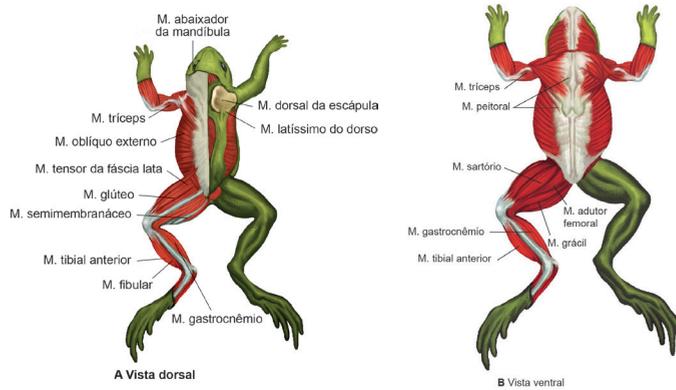
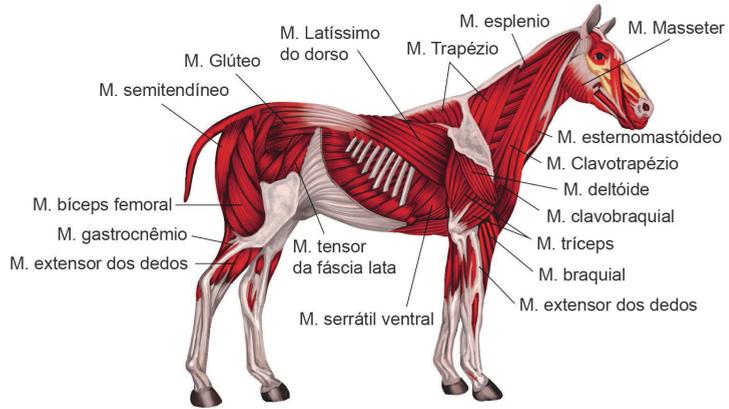


Exemplificando

A diversidade de músculos presentes nos animais favorece os diversos movimentos. Imagine uma rã e um cavalo. Parece que realizam movimentos bem diferentes. Ambos conseguem saltar, mas de formas muito diferentes. As rãs são anfíbios e os cavalos, mamíferos. Será que possuem grupos musculares parecidos? Analise a figura a seguir. Procure o músculo tríceps (famoso músculo do “tchauzinho” nos humanos). Localizou? Interessante como a localização no humano, cavalo e rã são distintas, não é?

Veja agora o músculo glúteo. Compare a localização dele no humano, cavalo e rã. Estude mais as figuras a seguir e analise a localização dos músculos estriados esqueléticos apresentados.

Figura 2.6 | Músculo glúteo nos animais

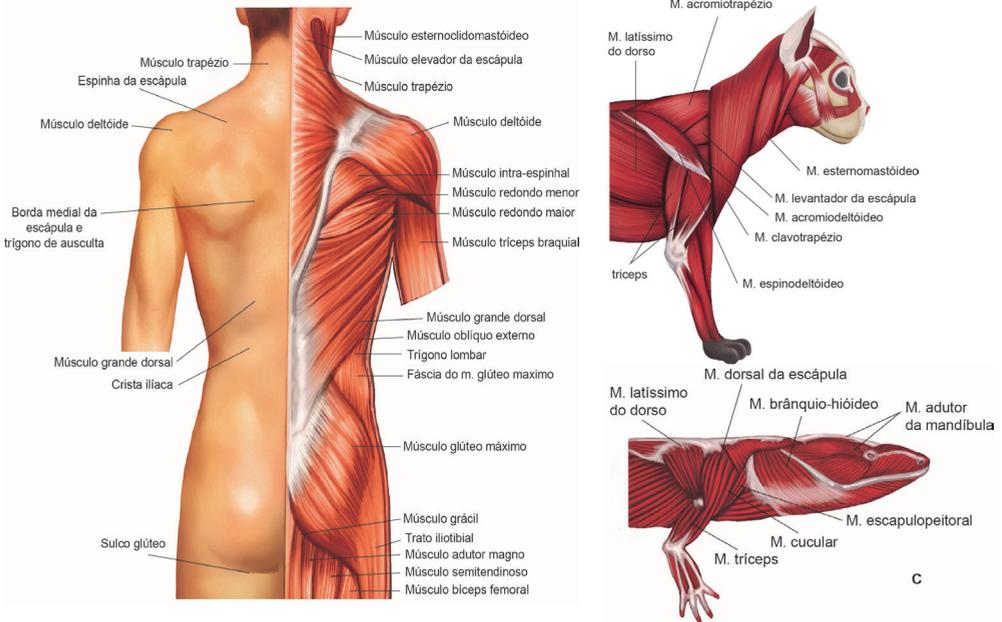


Fonte: adaptada de Kardong (2016, p. 404).

O nome dado aos músculos deve-se a diversos fatores, dentre eles, o fisiológico e o topográfico. Os músculos podem ser de ação (extensor dos dedos), ação associada à forma (pronador redondo e pronador quadrado), ação associada à localização (flexor superficial dos dedos), forma (músculo deltoide, letra grega delta), localização (tibial anterior), entre outros.

Comparando animais vertebrados, verificamos que a nomenclatura muscular é similar, com algumas modificações. Por exemplo, o músculo esternomastoideo é responsável pela movimentação do pescoço tanto no homem quanto nos felinos. Outro músculo que encontramos no homem, no felino e na salamandra é o tríceps (Figura 2.7).

Figura 2.7 | A. Figura representativa dos músculos dorsais humanos. B. músculos cranianos e dos ombros do felino e da salamandra (C)



Fonte: A. Adaptada de Jakob, Francone e Lossow (1990, p.164). B. Adaptada de Kardong (2016, p. 399).



Assimile

Os músculos estriados cardíacos têm ação voluntária pela inervação do sistema nervoso somático. Os músculos lisos e cardíacos têm ação involuntária pela inervação do sistema nervoso autônomo. Um animal que tenha seccionado os nervos somáticos terá comprometido os movimentos voluntários, mas não os involuntários. Essa situação, muitas vezes, é chamada de vegetativa.

O cálcio proveniente da alimentação, além de fazer parte da constituição dos ossos (visto anteriormente), também é importante na contração muscular. O deslizamento das fibras de actina e miosina são dependentes de cálcio. Portanto, a falta desse mineral na alimentação ou sua má absorção, pode comprometer a composição do sistema esquelético e o funcionamento do sistema muscular.

Sem medo de errar

Depois de estudar o sistema muscular, como os músculos são organizados nos animais, bem como sua importância para a locomoção e a movimentação, que tal voltarmos para a situação-problema proposta nesta seção? Será que agora, com toda essa bagagem, você será capaz de resolvê-la? Vamos lembrar. Você tem que analisar os registros de uma pesquisa comparativa de locomoção de animais, certo? O problema é comparar a constituição muscular para a locomoção da minhoca (anelídeo) e do camundongo (mamífero). As condições registradas foram que as minhocas estavam com os corpos totalmente enrolados, enquanto os camundongos estavam ativos. O estudante anotou que simulou o habitat para cada animal. A minhoca apresenta músculos circulares e longitudinais e esqueleto hidrostático, condições adequadas para enrolar o corpo. Os camundongos, como qualquer mamífero, apresentam organização muscular muito parecida. Músculos estriados esqueléticos são responsáveis pela locomoção e movimentação. Essa não foi difícil, não é? Então, continuemos nossos estudos!

Avançando na prática

Uso dos músculos pelos invertebrados

Descrição da situação-problema

Na natureza, encontramos animais com vida ativa, como os grandes mamíferos, aves e peixes. No entanto, também encontramos animais mais lentos, com locomoção muito restrita e também animais sésseis (falamos sobre eles na Seção 1.1 da Unidade 1).

Aos animais de grande porte é fácil associar os movimentos e a locomoção aos músculos esqueléticos, mas e com relação aos invertebrados? Como eles se movimentam e se locomovem? Volte ao texto e procure informações sobre isso. Você consegue descrever a ação dos músculos para o fechamento das conchas dos bivalves e da locomoção dos insetos?

Resolução da situação-problema

Retomando a situação-problema, você conseguiu responder como os músculos agem nos invertebrados para o fechamento das conchas e locomoção dos insetos? Vamos lá! O fechamento das conchas dos mexilhões (bivalves) é realizado através da contração dos músculos adutores, que podem ser um ou dois, conforme a espécie. A geometria e a distribuição das cicatrizes dos músculos adutores no interior da valva são um critério importante na classificação dos bivalves atuais e fósseis. Nos insetos,

as patas têm músculos, e seus membros fornecem o suporte necessário para manter seu corpo elevado com relação ao solo durante a locomoção. Os membros devem ser longos, mas o suficiente para não comprometer sua estabilidade.

Faça valer a pena

1. O movimento e a locomoção dos animais são realizados através do tecido muscular. Ao interagir com o ambiente durante a locomoção, os movimentos são voluntários, ou seja, dependem da vontade do animal. Já os movimentos dos órgãos internos, como coração ou intestino são involuntários, diferentemente da locomoção.

Assinale a alternativa em que a associação entre músculo e ação está correta:

- a) Músculo cardíaco – movimento voluntário.
- b) Músculo parede dos vasos sanguíneos – ação involuntária.
- c) Músculo masseter – ação involuntária.
- d) Músculo da parede do estômago – ação voluntária.
- e) Músculo esternomastoide – ação involuntária.

2. Os músculos estriados cardíacos presentes nos vertebrados podem ser classificados de diversas formas, seja quanto à forma (longos, curtos e largos), ou à disposição das fibras (paralelo, perpendicular e diagonal à linha média), entre outros.

Analise as duas colunas e associe a classificação ao músculo correto:

Coluna 1.

I. Função.

II. Forma.

Coluna 2

1. Extensor dos dedos.

2. Orbicular.

3. Adutor

4. Reto abdominal.

Escolha a alternativa que faz a associação correta entre as colunas:

- a) I.1; II.2; II.3; II.4.
- b) I.1; II.2; II.3; I.4.
- c) I.1; II.2; I.3; I.4.

- d) II.1; I.2; II.3; II.4.
- e) I.1; II.2; I.3; II.4.

3. A movimentação e a locomoção são ações distintas. É possível movimentarmos o corpo sem nos locomovermos. Isso ocorre, por exemplo, em uma situação em que não mudamos o corpo de lugar num determinado espaço de tempo, mas movimentamos o braço e mãos para digitar uma carta. Mesmo teoricamente parados, estamos nos movimentando. Várias ações do nosso corpo estão diretamente ligadas aos músculos.

Entre as ações no nosso corpo, temos a mastigação. Escolha a alternativa que apresenta somente músculos presentes nessa ação:

- a) Masseter, parietal, bucinador e zigomático maior.
- b) Masseter, bucinador, pterigoideo lateral e pterigoideo medial.
- c) Masseter, levantador do ângulo da boca, depressor do ângulo da boca.
- d) Masseter, pterigoideo medial, pterigoideo lateral e esternocleidomastoide.
- e) Masseter, temporal, pterigoideo medial e pterigoideo lateral.

Seção 2.2

Anatomia geral e comparada do sistema nervoso

Diálogo aberto

Caro aluno, estamos na Unidade 2 da disciplina de Anatomia Geral e Comparada e você já tem uma bagagem interessante sobre eixos e planos, além de sistemas esquelético, articular e muscular. Você aprendeu que os sistemas se integram para realizar funções complexas, como as diversas formas de locomoção. Parou para pensar em como os músculos estriados esqueléticos sabem que precisam se contrair ou relaxar? Nesta unidade, você entenderá que o sistema nervoso (SN), através de células específicas, reage a estímulos do ambiente e gera respostas, como a fuga de um predador. Através de impulsos nervosos, o SN leva informações aos músculos, fazendo com que eles contraiam e iniciem um movimento. De forma similar, o SN pode enviar outra informação para cessar esse movimento. Existem outras formas de perceber o ambiente, como através dos cheiros, sons, sabores e até da movimentação do ar ou da água ao redor do corpo. Para isso, cada grupo animal possui células especializadas para captar a informação gerada pelo ambiente. Os peixes são precisos ao receber informações sobre a movimentação da água, por exemplo. Eles recebem a informação através de receptores presentes ao longo do corpo e podem fugir ou continuar a sua atividade. Para isso, os animais, de forma geral, utilizam o sistema nervoso central e periférico. Por exemplo: para nadar em cardumes, peixes apresentam estruturas específicas para perceber os movimentos e manter a natação em sincronia com os outros. Quais estruturas estão envolvidas na natação e equilíbrio dos peixes? Voltando à situação do experimento do estudante do curso de Ciências Biológicas sobre a locomoção de animais, em que criou pequenos ambientes que simulavam o habitat de diferentes espécies de invertebrados e vertebrados, avalie a natação do peixe e descreva as estruturas que estão envolvidas na sua natação e equilíbrio.

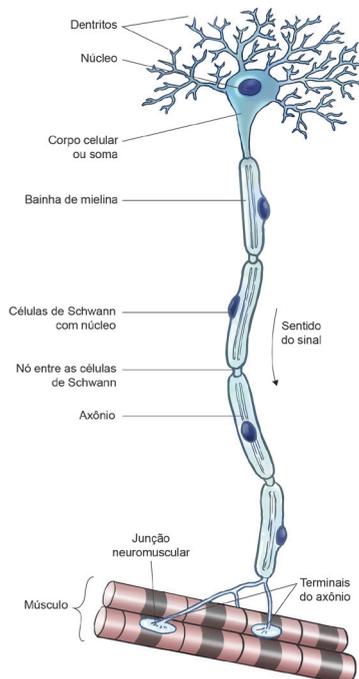
Não pode faltar

A interação com o ambiente exige que os animais produzam respostas rápidas e coordenadas. Para isso, o sistema nervoso conta com inúmeras células (neurônios e glias) capazes de exercerem essa função.

Os neurônios são especializados na transmissão de impulsos nervosos elétricos à longa distância por todo o corpo, e são considerados a unidade funcional do sistema nervoso. As glias ou neuroglias não transmitem impulsos, mas nutrem, sustentam e isolam os neurônios.

Anatomicamente, os neurônios, células especializadas na transmissão de impulsos nervosos, apresentam corpo neuronal, de onde partem diversas ramificações que recebem estímulos e são chamadas de dendritos. Do corpo, também parte um prolongamento único, o axônio, que pode ser envolto ou não por células lipídicas que conferem isolamento elétrico em algumas regiões (Figura 2.8). Esse envoltório, conhecido por bainha de mielina, quando presente, impede a propagação linear do impulso nervoso, fazendo com que ele seja saltatório e, portanto, mais rápido, ou seja, a presença da bainha de mielina confere maior rapidez nas regiões onde isso é necessário. Doenças desmielinizantes comprometem a propagação do impulso nervoso.

Figura 2.8 | Representação de um neurônio mostrando suas principais regiões: dendritos, axônio, bainha de mielina



Fonte: adaptada de Hickman, Roberts e Larson (2009, p. 687).



Pesquise mais

Neurogênese (produção de neurônios): na década de 1990, foi observada neurogênese em ratos, gatos e canários. A pergunta era: será que o homem também consegue sintetizar neurônios perdidos com a idade? Para isso, seria necessário realizar experimentos em humanos, o que sempre gera discussões éticas. Estudos em cadáveres de pacientes em que foi feito uso de corante para células de rápidas divisões (produção de novas células) mostraram que novas células tinham sido acrescentadas. Hoje, exercícios e algumas lesões estimulam a produção de novas células neuronais. No entanto, o estresse, a perda do sono e o envelhecimento inibem a neurogênese. O mais interessante é que os novos neurônios são originados a partir de células-tronco escondidas em diferentes regiões do encéfalo e prontas para serem ativadas. Se tivermos células-tronco guardadas para serem diferenciadas e gerarem novas células, será que inserir células-tronco em regiões específicas do sistema nervoso estimularia a neurogênese? Pessoas com doenças degenerativas do sistema nervoso, como Alzheimer, seriam imensamente beneficiadas, não é? Leia mais sobre esses estudos no trabalho de Ilton Santos da Silva: *Neurogênese no sistema nervoso adulto de mamíferos*. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/revista/node/27>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

Evolução do sistema nervoso

Desde os seres vivos mais primitivos, a principal função do sistema nervoso é oferecer a adaptação ao meio. Para isso, são necessárias as propriedades de irritabilidade, condutibilidade e contratilidade. Os seres unicelulares, como protozoários ou bactérias, reagem a estímulos de forma muito similar às respostas neuronais. Apesar de não apresentarem um sistema nervoso, conseguem resolver o problema com estruturas de superfície da membrana (receptores). Como exemplo, temos a alteração de batimento dos flagelos de protozoários, que mudam de direção quando estimulados por um feixe de luz. As pressões ambientais levaram a mudanças para adaptações ao meio. O nível de organização atingiu um ponto em que os seres unicelulares foram capazes de se dividirem e se reproduzirem.

Os primeiros organismos pluricelulares surgiram a partir de mecanismos de simbiose, e encontraram nos oceanos condições estáveis para a evolução. Com a evolução dos organismos unicelulares para pluricelulares, as funções foram tornando-se mais complexas e surgiram células especializadas para cada função, gerando coordenação e controle das respostas.

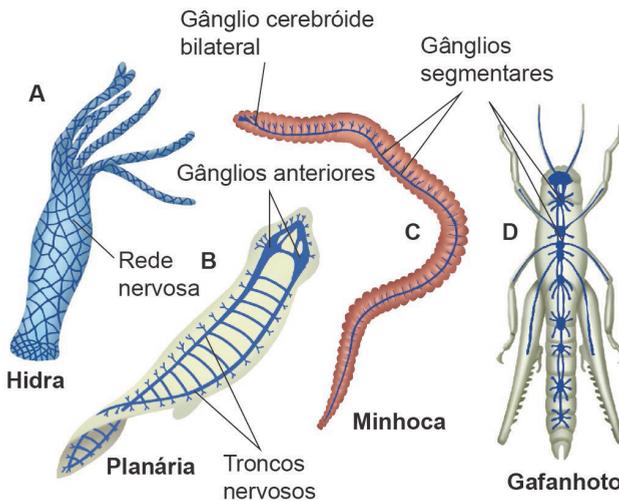
Os poríferos (esponjas) não apresentam tecido verdadeiro, então, respondem a estímulos de forma muito semelhante à dos seres unicelulares. Já nos cnidários, as

células especializadas em irritabilidade e condutibilidade passaram a responder como células nervosas, ou seja, esse é o primeiro grupo onde encontramos sistema nervoso. Por não apresentar centralização, dizemos que esse sistema nervoso é do tipo difuso ou em rede.

Nos vermes (platelmintos e nematelmintos) e anelídeos (oligoquetas - minhocas; aquetas - sanguessugas; poliquetas - organismos marinhos), o sistema de coordenação antes difuso (cnidários) passa a se agrupar em gânglios, caracterizando a centralização do sistema nervoso. Cordões nervosos são organizados para interligar as diversas regiões do corpo ao cérebro primitivo (gânglios) (Figura 2.9). Aliado a isso, há também o desenvolvimento de diferentes receptores sensitivos (estruturas de recebimentos de estímulos). Surgiram em seguida, evolutivamente, os neurônios de associação, em que um neurônio interage com outro através das sinapses (comunicação neuronal).

Os próximos grupos, como moluscos (bivalves, gastrópodes e cefalópodes) e artrópodes (insetos, aracnídeos, crustáceos), apresentam gânglios maiores e com funções especializadas, mostrando melhor interação entre estímulos e respostas.

Figura 2.9 | Representação do sistema nervoso de invertebrados: A. Sistema nervoso difuso de cnidários. B.C. e C. Sistema nervoso com presença de gânglios e cordões nervosos



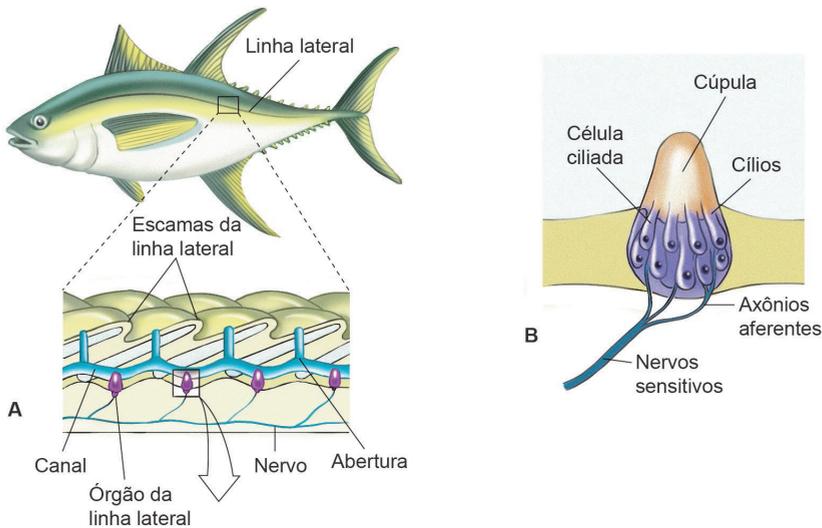
Fonte: adaptada de Hickman, Roberts e Larson (2009, p. 692).

Primeiro, as respostas eram geradas por estruturas da superfície das células. Depois, surgiram os neurônios organizados de forma difusa e, em seguida, tivemos a centralização pelo aparecimento dos gânglios. Mais tarde, a especialização dos neurônios levou a comunicação entre eles através das sinapses. A centralização pelo agrupamento de neurônios desenvolveu-se em centros nervosos que controlam o funcionamento do organismo e as relações com o meio externo. Enquanto os neurônios de associação passaram a integrar os diversos níveis do corpo, constituindo a medula espinal.

Em função dos eventos a que foram submetidos, as forças evolutivas desencadearam a continuidade do desenvolvimento do sistema nervoso, como a encefalização. O conglomerado de gânglios deu origem a centros nervosos mais especializados, com habilidades mais complexas.

No ambiente aquático, os peixes apresentam um sistema de recepção de estímulos de tato e distância que detectam a vibração das ondas e correntezas da água. Essas células receptoras são encontradas na superfície do corpo desses animais. A linha lateral (Figura 2.10) é um dos principais sistemas sensitivos que orienta os peixes nos seus movimentos e na localização dos predadores e presas.

Figura 2.10 | Figura representativa da linha lateral do peixe e as células receptoras



Fonte: adaptada de Hickman, Roberts e Larson (2009, p. 702).

Ambiente terrestre

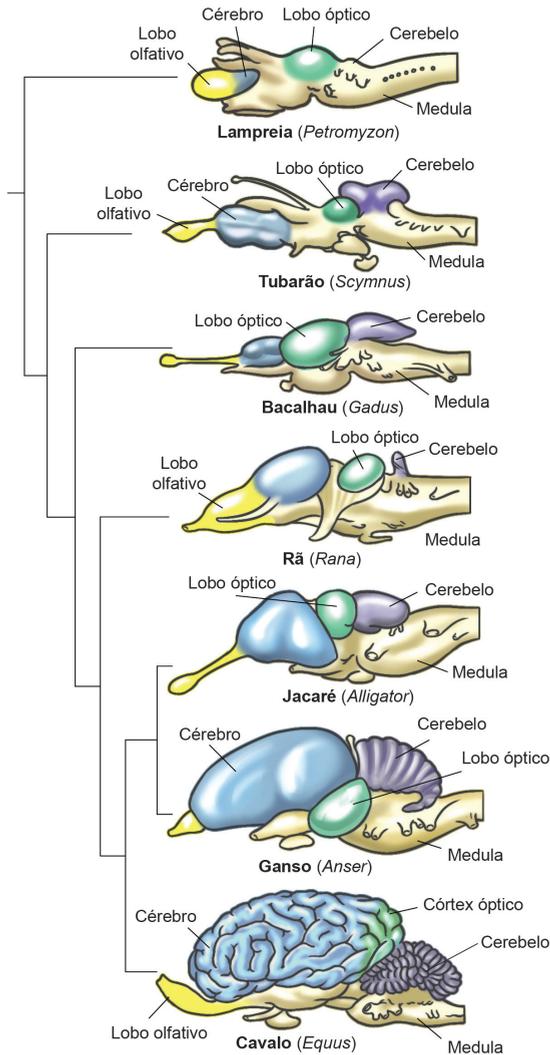
As incursões terrestres levaram ao surgimento dos anfíbios e répteis primitivos há aproximadamente 350 milhões de anos. O desafio do ambiente terrestre vai desde estruturar o sistema de sustentação para a gravidade terrestre (a água gera flutuabilidade) até evitar a desidratação, mudar a forma de respiração e reprodução e também as formas de perceber o mundo externo. Isso desencadeou, entre outras mudanças, o desenvolvimento dos lobos olfatórios e a memória olfativa nos vertebrados mais primitivos, o que permitiu a esses animais identificarem novos alimentos, substâncias venenosas, parceiros sexuais, presas e predadores.

Progressivamente, foram incorporadas novas estruturas e estabelecidas novas conexões com o aumento gradativo do número de células e do volume. As estruturas

do sistema nervoso central (SNC) foram sendo dobradas sobre si mesma, originando os giros, ou circunvoluções, e os sulcos. Veja na Figura 2.11 como o encéfalo dos vertebrados aumenta gradativamente de tamanho e surgem as dobras (giros) e espaços entre eles (sulcos).

Com a evolução dos vertebrados e o grande desenvolvimento do SNC (encefalização), tivemos tanto o aumento do volume encefálico quanto sua especialização progressiva em função das pressões evolutivas e consequente desenvolvimento de novas capacidades.

Figura 2.11 | Representação da evolução do encéfalo e outras estruturas do sistema nervoso



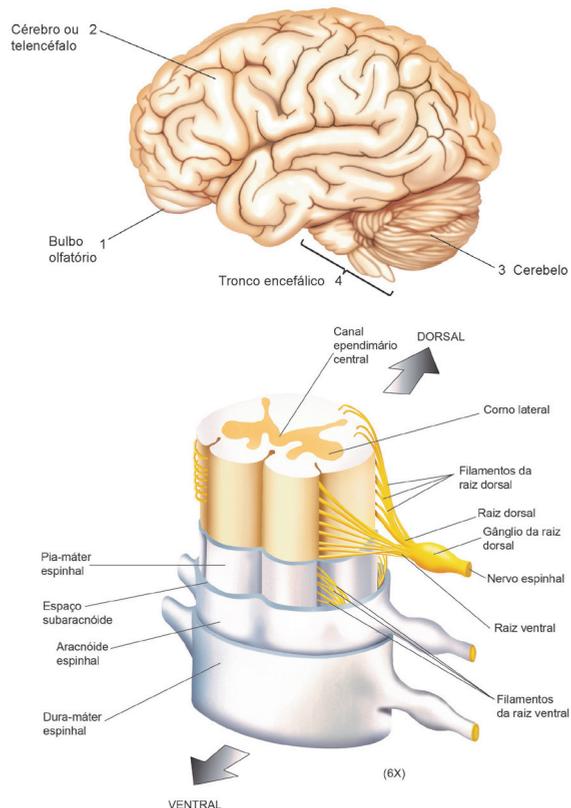
Fonte: adaptada de Hickman, Roberts e Larson (2009, p. 694).

Vertebrados

Convencionou-se dividir o sistema nervoso em SNC e SNP (sistema nervoso periférico). O primeiro é representado pelo encéfalo, protegido pela calota craniana, como estudamos em Anatomia do Sistema Ósseo, e medula espinal, protegido pelas vértebras no canal vertebral.

O encéfalo corresponde ao cérebro (porção cognitiva do SN), cerebelo (respostas motoras relacionadas ao equilíbrio) e tronco encefálico com o mesencéfalo, ponte e bulbo. (Figura 2.12). Além da proteção óssea, o SNC é protegido por um conjunto de membranas denominadas meninges. São estruturas que revestem e protegem o encéfalo e a medula espinal, formando três camadas: pia-máter (mais próxima ao tecido nervoso e irrigada), aracnoide (intermediária) e dura-máter (mais resistente e mais próxima da calota). No espaço subaracnoide, há o líquido cefalorraquidiano, ou líquor, com aparência aquosa, que protege mecanicamente as células cerebrais, fornece nutrientes essenciais e remove produtos de atividade do sistema nervoso.

Figura 2.12 | Representação do encéfalo (cérebro, cerebelo, tronco encefálico) e medula espinal, mostrando as meninges pia-máter, aracnoide (espaço subaracnoide) e dura-máter



Fonte: adaptada de Bear, Connors e Paradiso (2010, p. 236 e 246).



Assimile

O sistema nervoso pode ser acometido por diversas patologias. Quando um microrganismo consegue romper a barreira hematoencefálica (evita que substâncias atinjam o sistema nervoso central), ele pode causar doenças como a meningite. Nesse caso, ocorre a inflamação das meninges (membranas que revestem o encéfalo e a medula espinal), causada por vírus, bactérias, outro microrganismo ou até por drogas. Em função de atingir o SNC, a meningite pode colocar em risco a vida da pessoa ou deixar sequelas. A longo prazo, pode haver epilepsia, déficit cognitivo e hidrocefalia. O diagnóstico é realizado por punção do líquido na região lombar. O líquido cefalorraquidiano é transparente e aquoso. Se estiver leitoso, viscoso ou com alguma cor, já se inicia o tratamento. No entanto, o material deve seguir para o laboratório para que o causador seja identificado e para que o tratamento seja direcionado.

O sistema nervoso periférico consiste de todo o tecido nervoso fora do SNC, representado pelos nervos e seus respectivos gânglios, sensitivos e motores viscerais (autônomos). Os nervos que estimulam musculatura esquelética compõem o sistema nervoso periférico somático. A inervação dos órgãos internos ou vísceras é realizada pelo sistema nervoso periférico autônomo, que ainda se divide em simpático e parassimpático, de acordo com a comunicação química realizada no órgão.



Refleta

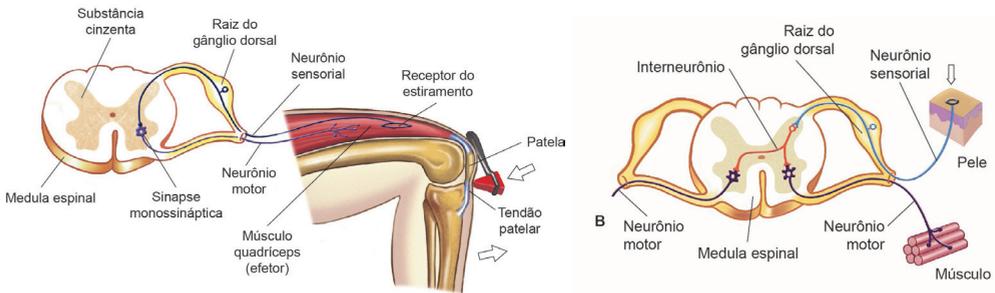
A hanseníase é uma doença crônica causada pelo bacilo *Mycobacterium leprae*, que destrói os nervos periféricos, ataca a pele e pode afetar outros órgãos, como o fígado, os testículos e os olhos. A manifestação consiste no aparecimento de manchas dormentes, avermelhadas ou esbranquiçadas em qualquer região do corpo. Com o avanço da doença, os nervos ficam comprometidos, podendo causar deformações e impedir determinados movimentos, como abrir e fechar as mãos. Também pode permitir determinados acidentes, em razão da falta de sensibilidade nas regiões afetadas. A insensibilidade é causada pela ação do bacilo sobre os nervos do sistema nervoso periférico, que levam informações dos receptores ao SNC. Você conhece outras doenças que podem afetar os nervos do sistema nervoso periférico? Já parou para pensar no impacto psicológico e social que isso pode causar? Pense nisso.

Algumas respostas precisam ser mais rápidas que outras para a sobrevivência do animal. Por exemplo, quando pisamos num prego, retiramos instantaneamente o pé

do local. Não ficamos pensando: "Nossa, pisei num prego, vai me machucar, acho que tenho que tirar o pé daqui." A mesma coisa acontece ao segurarmos uma panela quente e a soltamos sem pensar.

Nesses casos, o estímulo é recebido por um receptor que desencadeia um impulso nervoso conduzido por um neurônio sensorial (ou aferente), seguindo até o SNC (medula espinal) através de um neurônio de associação (ou interneurônio) e propagando até um neurônio motor (ou eferente) através do qual o animal reage ao estímulo. O trajeto da informação forma um arco, por isso o nome de arco reflexo (Figura 2.13). Lembrando que os neurônios se comunicam através de sinapses. Você percebeu que a informação não chegou até o cérebro, parte consciente do SNC? Nesse caso, acontece a resposta, mas sem consciência dela, você só se dá conta depois que já aconteceu.

Figura 2.13 | Representação do arco reflexo



Fonte: adaptada de Hickman, Roberts e Larson (2009, p. 694).



Exemplificando

Você já foi a um médico que usou um "martelinho" para estimular seu joelho e, sem querer, após o estímulo, sua perna esticou como um chute em resposta? Dizemos que agimos por reflexo. E é isso que acontece, já que um ato reflexo é a resposta a um estímulo que age sobre um arco reflexo. Esse tipo de teste é realizado para verificar se há alterações ou lesões em nervos que conduzem os impulsos nervosos. A resposta é involuntária, como o controle da respiração, dos batimentos cardíacos, das glândulas sudoríparas.

Sem medo de errar

Depois de estudar sobre o sistema nervoso, você já deve saber sobre a importância que ele tem na sobrevivência de um animal em um determinado ambiente. É através do sistema nervoso que qualquer animal recebe informações do seu entorno e responde de forma adequada, seja para fugir, alimentar-se ou reproduzir-se.

Retomando a situação-problema, o ambiente em questão é a água, que requer adaptações especiais dos animais para receber os estímulos. No caso dos peixes, as informações são recebidas através de receptores presentes ao longo do corpo. Para nadar em cardumes, eles apresentam em sua linha lateral um conjunto de receptores que detectam a vibração das ondas e correntezas da água. Assim, eles conseguem acompanhar os demais peixes. Se a linha lateral for lesionada de alguma forma, esse peixe não nadará mais em sincronia com os demais. O equilíbrio, assim como em outros vertebrados, é dado pela presença do cerebelo. Então, a natação dos peixes depende, além das suas nadadeiras e do formato do corpo, do sistema nervoso de forma geral. A linha lateral possui receptores ligados a nervos, que levam as informações até o SNC e o cerebelo, que fazem parte desse sistema.

Avançando na prática

Lesão no sistema nervoso central

Descrição da situação-problema

O cérebro é parte do encéfalo, que é parte do sistema nervoso central. Todas as respostas conscientes e voluntárias passam por essa região. Recebemos estímulos através de receptores que desencadeiam impulsos nervosos, que são propagados através de neurônios até o sistema nervoso central e, após serem decodificados, voltam na forma de resposta. Recentemente, o Brasil passou por um problema com um vírus que age na formação embriológica do cérebro, provocando microcefalia. Substâncias tóxicas na água também podem agir da mesma forma em vertebrados aquáticos. Você já aprendeu sobre a importância do SNC. No caso de uma lesão nesse sistema, seja por um acidente, por ação de uma droga ou por um microrganismo, quais são as consequências para a resposta a estímulos que esse animal terá?

Resolução da situação-problema

Depois de estudar a Seção 2.2 sobre sistema nervoso, esperamos que você tenha chegado à conclusão que qualquer que seja a lesão (drogas, microrganismos, acidente) que comprometa o sistema nervoso central, o animal terá a recepção do estímulo e sua resposta adequadas comprometidas. Se o problema foi causado na medula espinal, o estímulo não chegará ao encéfalo ou ao cérebro para ser reconhecido e decodificado para uma resposta específica. Se a lesão foi no cérebro, dependerá da área afetada para entender o problema. Áreas associadas à motricidade, à sensibilidade, à visão, ao olfato, ao tato, entre outras, podem ter suas respostas comprometidas. Muito interessante esse sistema, não é? Vamos testar os conhecimentos com as questões objetivas?

Faça valer a pena

1. Um estudo publicado na revista americana Science revela a estrutura do vírus da zika e identifica suas semelhanças e diferenças em relação aos outros vírus da mesma família, como o vírus da dengue [...]. O vírus da zika tem sido associado a problemas no sistema nervoso, como a microcefalia [...]. No entanto, a maioria dos vírus não invade o sistema nervoso ou o feto em desenvolvimento devido à proteção da placenta e da barreira que envolve o cérebro (RODRIGUES, 2016).

A respeito das divisões do sistema nervoso, assinale a alternativa correta:

- a) Sistema nervoso periférico é dividido em pia-máter, aracnoide e dura-máter.
- b) Sistema nervoso central é dividido em simpático e parassimpático.
- c) Sistema nervoso é dividido em central e periférico.
- d) Sistema nervoso não apresenta divisões anatômicas.
- e) Sistema nervoso é dividido em somático e autônomo.

2. Nos organismos pluricelulares, como os poríferos, não existe sistema nervoso. Começamos a encontrar esse sistema nos cnidários, e ainda de forma muito primitiva, sem centros nervosos. O estímulo tem respostas locais, sem atingir outras áreas do corpo do animal. Nos vermes, há o aparecimento de aglomerados de células neuronais, ou seja, um início de centralização.

Analise as alternativas a seguir sobre evolução do sistema nervoso e assinale a afirmação correta:

- a) A evolução do SN aconteceu diretamente nos organismos unicelulares para responder a estímulos, desde os primórdios da vida.
- b) Com as mudanças ambientais ocorridas desde o surgimento da vida, os seres vivos se adaptaram a responder aos estímulos ambientais através da superfície corporal.
- c) A passagem do ambiente aquático para o terrestre aconteceu estritamente devido ao fato de o sistema nervoso ser muito complexo para aquele ambiente.
- d) Os animais invertebrados apresentam sistema nervoso complexo com capacidade de memória e aprendizado decorrente da presença de encéfalo e medula espinal.

e) O desenvolvimento do sistema nervoso aconteceu de forma progressiva, segundo as pressões ambientais para adaptar os seres vivos ao seu ambiente.

3. Todas as nossas sensações, sentimentos, pensamentos, respostas motoras e emocionais, a aprendizagem e a memória, a ação das drogas psicoativas, as causas das doenças mentais, e qualquer outra função ou disfunção do cérebro humano não poderiam ser compreendidas sem o conhecimento do fascinante processo de comunicação entre as células nervosas (neurônios). Os neurônios precisam continuamente coletar informações sobre o estado interno do organismo e de seu ambiente externo, avaliar essas informações e coordenar atividades apropriadas à situação e às necessidades atuais da pessoa. (CARDOSO, 2000).

O nome que se dá à comunicação entre neurônios é:

- a) Neuróglia.
- b) Sinapse.
- c) Axônio.
- d) Bainha de mielina.
- e) Neurotransmissor.

Seção 2.3

Anatomia geral e comparada do sistema circulatório

Diálogo aberto

Nas seções estudadas, há sempre uma proposta de uma situação-problema, portanto, você deve se lembrar de que estamos considerando uma pesquisa realizada por um estudante do curso de Ciências Biológicas. Nesta situação, ele já analisou, por exemplo, a mudança de comportamento na locomoção de alguns animais, certo? Vamos continuar acompanhando a pesquisa. Ele estava observando um caranguejo (artrópode, crustáceo) e anotou no caderno que o animal estava perdendo um líquido na região onde perdeu uma das patas. No entanto, não anotou nada sobre sangue. Ele registrou apenas que era um líquido. Você saberia explicar com clareza o que era o líquido que escorria? Saberria caracterizar e descrever o sistema circulatório deste animal e comparar com o sistema circulatório dos caramujos?

Não pode faltar

Conceito e definição do sistema circulatório

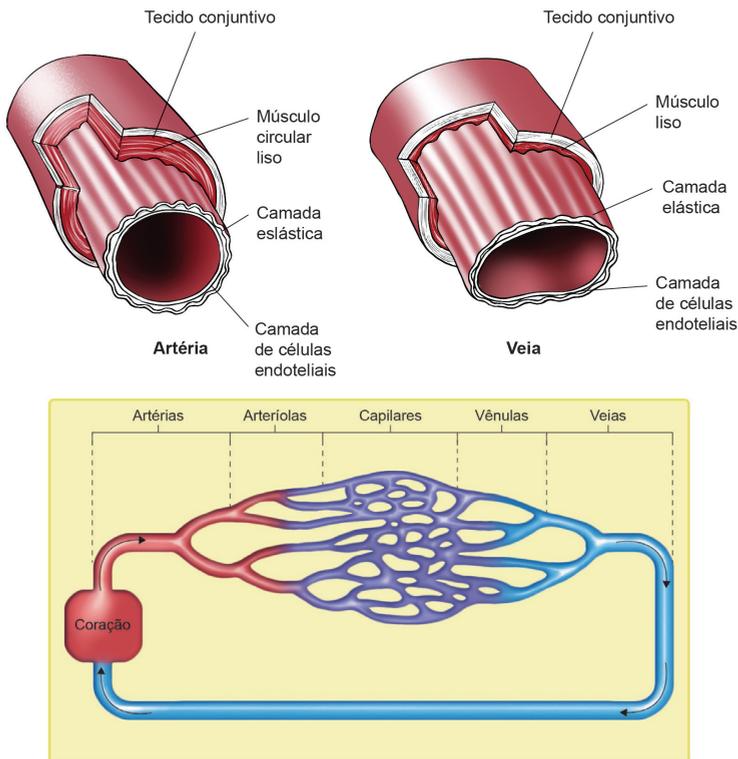
As células dos animais vertebrados e invertebrados precisam receber nutrientes e oxigênio. Além disso, também precisam excretar seus metabólitos. Para isso, existem sistemas de canais ou vasos que permitem essa circulação, impulsionada por contrações de bombas (coração ou vasos sanguíneos). Nos poríferos (esponjas) e cnidários, a água é o meio de transporte para os nutrientes, gases respiratórios e excretas. São movimentados pela ação de cílios, flagelos ou pela contração do próprio corpo. Animais maiores e mais ativos necessitam de um sistema circulatório, mas a forma do corpo deve ser levada em consideração. Os vermes platelmintos, por exemplo, são relativamente grandes, mas achatados dorsoventralmente, de forma que a distância de qualquer parte do corpo à superfície é muito pequena. Nesse caso, os gases respiratórios e excretas são transportados por difusão simples ao invés de por um sistema circulatório.

Os anelídeos apresentam sistema circulatório completo, com sistema de distribuição arterial, capilares e sistema venoso. Nas minhocas, existem dois vasos principais: um

dorsal, que transporta sangue até a cabeça, e um ventral, que distribui sangue por todo o corpo através de vasos ramificados. Sem coração verdadeiro, o vaso dorsal atua como se fosse um coração: impulsiona o sangue através de movimentos peristálticos. Cinco arcos aórticos, que conectam os vasos dorsal e ventral, também atuam como corações. Daí o porquê de dizer que as minhocas possuem cinco corações. Esse tipo de sistema circulatório é chamado de sistema circulatório fechado, porque o sangue fica confinado nos vasos ao longo de todo o sistema vascular. Esse sistema está presente em alguns invertebrados, como nos anelídeos oligoquetas (minhocas), moluscos cefalópodes (polvos) e em todos os vertebrados (peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos).

Você conhece os sistemas arterial e venoso? No primeiro, a circulação acontece através de artérias, vasos sanguíneos resistentes (para suportar as altas pressões dos batimentos cardíacos) e de grande calibre que se ramificam, formando as arteríolas. De forma geral, transportam sangue rico em oxigênio. O sistema venoso, por sua vez, é composto por veias e transporta sangue rico em gás carbônico (venoso), e os vasos têm parede mais elástica e de menor calibre. Também se ramifica, mas formando as vênulas (Figura 2.14).

Figura 2.14 | A. Diferença anatômica entre artéria e veia. B. Representação da circulação fechada mostrando os vasos sanguíneos e suas ramificações

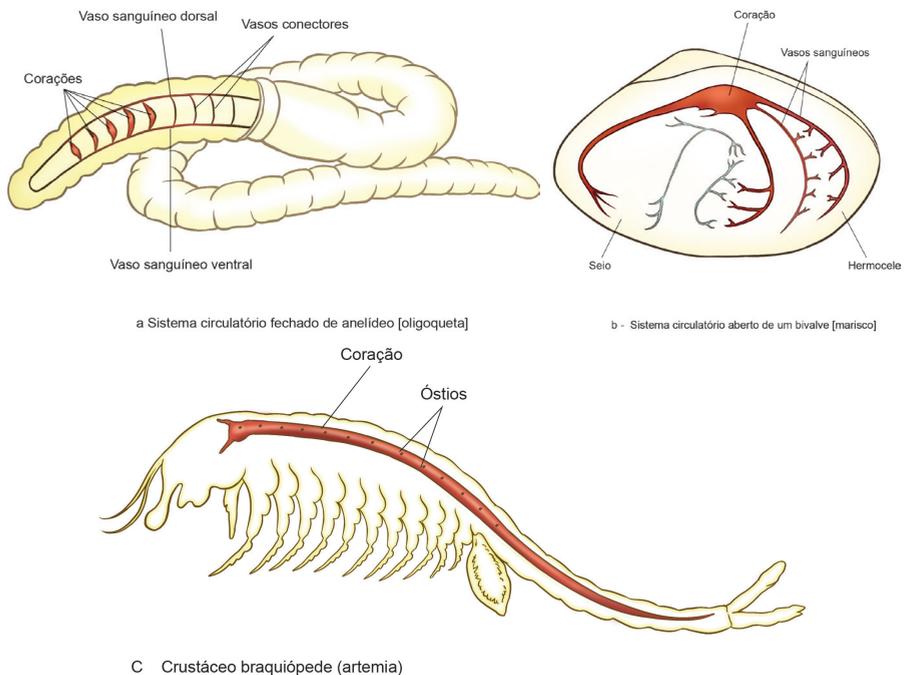


Fonte: A. Adaptada de Hickman, Roberts e Larson (2009, p. 656); B. Adaptada de Moyes e Schulte (2010, p. 357).

Entre os invertebrados podemos encontrar circulação aberta, quando não há capilares conectando as artérias às veias (Figura 2.15). As redes capilares são substituídas pela hemocele, uma cavidade do corpo através da qual o sangue (hemolinfa, mesma função do sangue, mas com características químicas diferentes) circula livremente. Nesse caso, o sangue entra no coração através de aberturas (óstios), e as contrações cardíacas impulsionam o sangue através de um sistema arterial, que distribui-se pela cabeça e outros órgãos e segue para a hemocele. Movimentos do corpo do animal ajudam a hemolinfa voltar ao coração através dos óstios.

O sistema circulatório aberto (ou lacunar) está presente nos anelídeos (sanguessugas e poliquetos), moluscos (mexilhões e caramujos - polvos e lulas apresentam circulação fechada) e artrópodes (crustáceos, insetos).

Figura 2.15 | Representação do sistema circulatório fechado de uma sanguessuga e circulação aberta em um marisco e uma artêmia



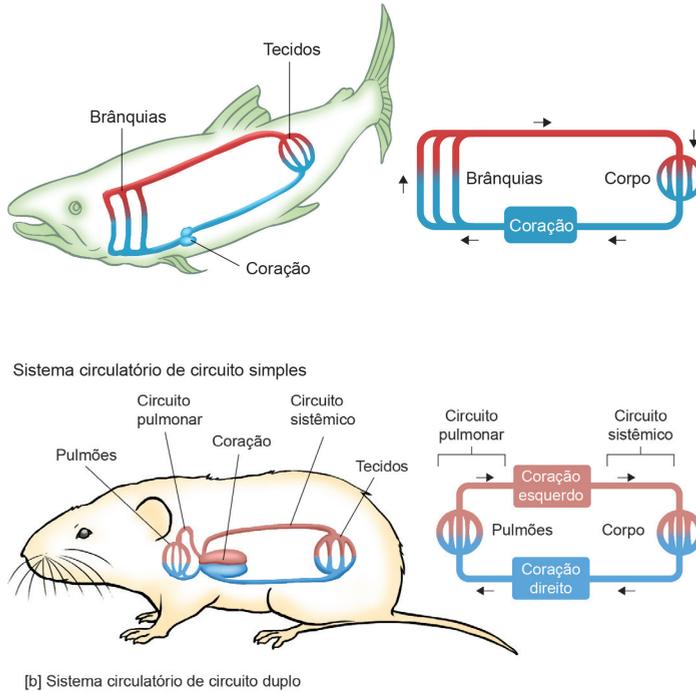
Fonte: adaptada de Moyes e Schulte (2010, p. 354).

Circulação fechada nos vertebrados

Nos vertebrados, a separação gradual do coração em duas bombas ocorreu durante a evolução da vida aquática (respiração branquial) para a vida terrestre (respiração pulmonar). Os peixes têm o coração com duas câmaras em série, classificado como circulação simples, no qual o sangue flui do coração (sangue venoso) para as brânquias e daí para os tecidos, e depois volta ao coração (Figura 2.16). Os demais vertebrados,

com a evolução da respiração pulmonar e eliminação das brânquias, desenvolveram dois circuitos dentro do sistema circulatório. O lado direito do coração impulsiona o sangue para os pulmões (onde ocorre a hematose, troca gasosa). O trajeto é conhecido como circulação pulmonar. O lado esquerdo impulsiona o sangue para os tecidos corporais, formando o sistema circulatório sistêmico.

Figura 2.16 | Esquematisação da circulação fechada simples dos peixes e fechada dupla dos mamíferos



Fonte: adaptada de Moyes e Shulte (2010, p. 360).

O sangue, impulsionado pelo coração, flui através da artéria aorta, que se ramifica sucessivamente em artérias menores, as arteríolas, que nutrem os tecidos. Dentro dos tecidos, temos uma rede de capilares com parede fina que, realizam difusão de materiais para os tecidos. Esses capilares se juntam formando as vênulas, que por sua vez, se unem para formar as veias que retornam o sangue ao coração (Figura 2.14.B).



Refleta

Você estudou a anatomia do sistema circulatório ou cardiovascular dos mamíferos. Aprendeu que durante a circulação sanguínea no coração, válvulas impedem o refluxo de sangue. Essas válvulas, ao se fecharem, provocam os sons do coração, o "tum tum". O primeiro "tum"

acontece pelo fechamento das válvulas mitral e tricúspide (válvulas átrio ventriculares). O segundo “tum” é produzido pelo fechamento das válvulas aórtica e pulmonar (impedem o refluxo para os ventrículos). Esses sons são chamados de bulhas cardíacas, e descrevemos o batimento cardíaco normal em dois tempos.

O sopro ocorre toda vez que há algum problema nas válvulas, impedindo o fluxo normal dentro do coração. Podem ser do tipo estenose, quando a válvula fica endurecida e não consegue abrir totalmente. Assim, o sangue tem dificuldade em passar de uma câmara para outra, produzindo o sopro (pelo turbilhonamento do sangue). O sopro também pode ser do tipo insuficiência valvar ou regurgitação, quando a válvula não se fecha totalmente e acontece o refluxo do sangue. Também produz turbilhonamento e, conseqüentemente, o sopro. O som seria algo parecido com “tuuuush-tum” ou “tum-tuuuush”. Você já ouviu o som do seu coração ou o de outras pessoas? Conhece alguém que tem sopro cardíaco? Que tal procurar saber e conhecer um pouco mais?

Nos anfíbios (rãs, sapos e salamandras), o átrio é dividido em dois por uma parede, em que o lado direito recebe sangue venoso do corpo e o lado esquerdo recebe sangue arterial dos pulmões. O ventrículo é único, mas o sangue venoso e o arterial ficam quase que completamente separados, devido ao arranjo dos vasos que deixam o coração. Nos répteis crocódilianos, aves e mamíferos, os ventrículos são separados, formando um ventrículo direito e um esquerdo. Temos agora dois circuitos distintos: o circuito pulmonar e o sistêmico, formados por um coração duplo. Por isso, dizemos que a circulação é dupla e completa, enquanto nos anfíbios e répteis não crocódilianos, classificamos a circulação como dupla e incompleta.

O coração com quatro câmaras dos mamíferos é um órgão musculoso localizado no tórax (mediastino) e revestido por um saco fibroso e resistente, o pericárdio. O refluxo do sangue entre átrios e ventrículos é impedido pelas válvulas tricúspide (lado direito do coração) e mitral ou bicúspide (lado esquerdo do coração). Outras válvulas presentes em vasos sanguíneos, conhecidas como semilunares, também evitam o influxo sanguíneo: a válvula pulmonar impede o refluxo do sangue que sai do ventrículo direito em direção aos pulmões e a válvula aórtica, do ventrículo esquerdo em direção aos órgãos (Figura 2.17).

A circulação do sangue pelas câmaras cardíacas deve-se à contração e ao relaxamento do miocárdio. A entrada de sangue ocorre através dos átrios durante o seu relaxamento (diástole atrial) (Figura 2.17). Os átrios contraem-se (sístole atrial) e as válvulas tricúspide e mitral abrem-se para o sangue fluir para os ventrículos durante a diástole ventricular. As válvulas fecham-se e ocorre a sístole ventricular, que impulsiona o sangue para fora do coração em direção aos pulmões e ao corpo. Lembrando que a sístole ventricular ocorre ao mesmo tempo que a diástole atrial.



Assimile

Você está estudando a anatomia do sistema circulatório de animais invertebrados e vertebrados. Entre os vertebrados, os répteis crocodilianos, aves e mamíferos apresentam quatro cavidades cardíacas, dois átrios e dois ventrículos. O sangue circula realizando a circulação pulmonar: o sangue venoso flui do ventrículo direito através da artéria pulmonar até os pulmões, onde ocorre a hematose e retorna agora como sangue arterial, através da veia pulmonar, chegando ao coração pelo átrio esquerdo. A partir daí, inicia a circulação sistêmica, trajeto que leva o sangue arterial para todos os tecidos do corpo. O sangue arterial que chegou no ventrículo esquerdo atravessa a válvula mitral e chega ao ventrículo esquerdo. Daí parte da artéria aorta, que transportará o sangue para todo o organismo.

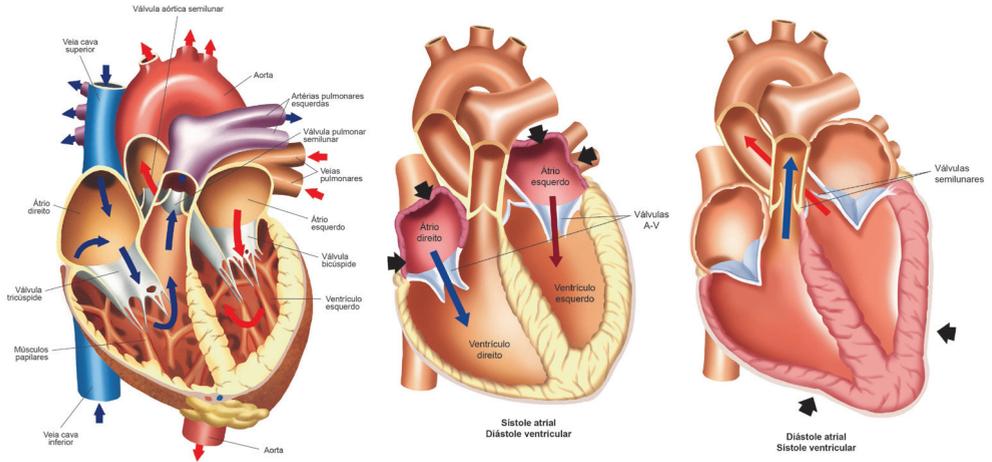
Durante todo o trajeto da circulação sistêmica, o sangue arterial, rico em oxigênio, vai se transformando em sangue venoso. O oxigênio é utilizado para o metabolismo das células e tem como produto o gás carbônico, que é levado através do sangue até o coração e bombeado aos pulmões para, através das trocas gasosas (hematose), voltar a ser sangue arterial e continuar o ciclo.

Durante a circulação sanguínea, o sangue venoso, rico em gás carbônico, é transportado pelas veias. Por sua vez, o sangue arterial, rico em oxigênio, é transportado pelas artérias. Devido à pressão exercida pela contração do músculo cardíaco (sístole ventricular), o sangue sai do coração através de artérias mais resistentes como já mencionamos. O sangue que retorna ao coração, ou pela circulação pulmonar ou sistêmica (durante a diástole atrial), o faz com pouca pressão, portanto, acontece através de veias que são vasos elásticos, mas menos resistentes à pressão.

Parece muito simples, não é? Sangue com pressão exercida pelo coração flui por artérias. Sangue com menor pressão flui por veias. No entanto, temos uma exceção quando pensamos que artérias transportam sangue arterial, e veias, sangue venoso. Vamos pensar: o sangue que sai do ventrículo direito em direção aos pulmões é sangue venoso, mas está saindo do coração, portanto, sob alta pressão e deverá ser transportado por artéria. Aqui está a nossa exceção: sangue venoso sendo transportado por artéria. Ao voltar dos pulmões, sob baixa pressão, o sangue, agora arterial, será transportado por veia.

O retorno sanguíneo ao coração dos animais acontece contra a força da gravidade, portanto, as veias apresentam válvulas para evitar que o sangue volte. Os músculos esqueléticos também influenciam o retorno sanguíneo através do 'massageamento' dos vasos. O mau funcionamento dessas válvulas pode acarretar nas varizes.

Figura 2.17 | Anatomia do coração de mamífero, circulação, sístole e diástole



Fonte: adaptada de Hickman, Roberts e Larson (2009, p. 654, 655).



Pesquise mais

A ponte de safena, ou revascularização do miocárdio, é uma cirurgia realizada para religar artérias do coração que estão obstruídas por placas de gordura. O médico retira parte da veia safena (localizada na perna) para desviar sangue da aorta (principal artéria do corpo, que sai do coração) para as artérias coronárias (que irrigam o coração). Com a nova ligação, é possível normalizar a circulação de sangue no local e evitar um infarto fatal.

Ponte de safena garante maior sobrevivência do que angioplastia, afirma maior pesquisa do gênero. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/saude/ponte-de-safena-garante-maior-sobrevivencia-do-que-angioplastia-afirma-maior-pesquisa-do-genero/>>. Acesso em: 2 jan. 2017.

Cirurgia de revascularização do miocárdio nas cardiopatias isquêmicas e suas complicações pós-operatórias. Disponível em: <http://www.wgate.com.br/conteudo/medicinaesaudefisioterapia/cardio/revascularizacao_fabiola/revascularizacao_fabiola.htm>. Acesso em: 2 jan. 2017.

Sistema linfático

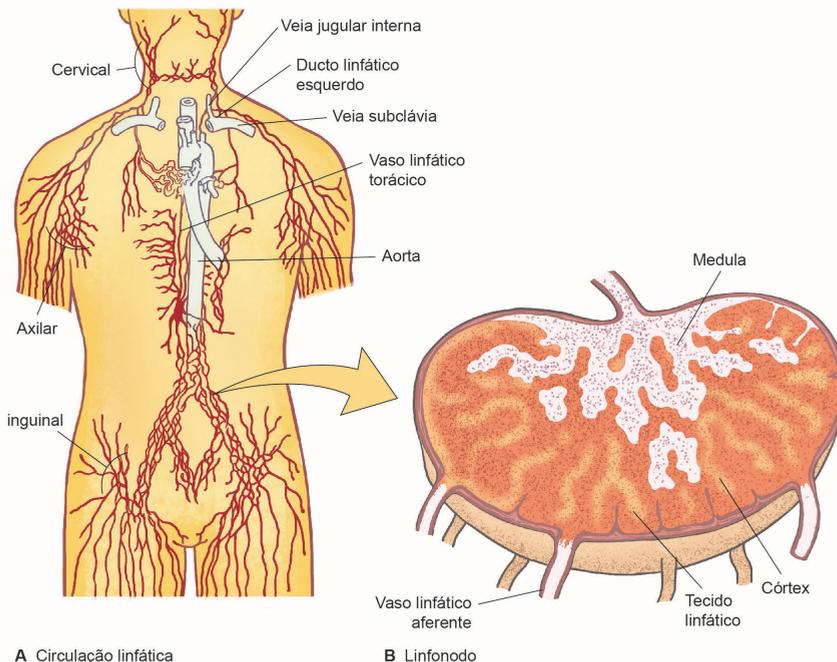
Paralelo ao sistema sanguíneo, temos o sistema linfático, que funciona como um sistema venoso acessório. Ele forma uma rede de vasos com paredes finas (capilares linfáticos) que filtram/absorvem os líquidos dos tecidos e os devolvem à circulação venosa, próximo à veia cava. Também absorvem lipídeos do sistema digestório.

A rede linfática é composta pelos vasos linfáticos jugulares (cabeça e pescoço), linfáticos subclávios (apêndices anteriores) e linfáticos torácicos (tronco, vísceras da cavidade do corpo, cauda). O fluido circulante é chamado de linfa e é semelhante ao plasma, mas com concentrações mais baixas de proteína, sem a presença de eritrócitos. As células livres, em sua maior parte, são os leucócitos, os plasmócitos e os macrófagos, que desempenham funções no sistema imune do corpo.

O baço é o maior órgão do sistema linfático, localizado abaixo do diafragma e atrás do estômago. É responsável pela defesa do organismo, produzindo anticorpos (linfócitos T e B) e hemácias (hematopoiese). O timo também produz anticorpos (linfócitos T) e está localizado na cavidade torácica próximo ao coração. Também temos as tonsilas palatinas (conhecidas como amígdalas). Estão localizadas na garganta. Elas selecionam os microrganismos que penetram no corpo (principalmente pela boca) e produzem linfócitos, atuando também na defesa do organismo.

Os tecidos linfáticos são encontrados em quase todas as partes do corpo, podendo ser encapsulados (linfonodos) ou não (nódulos linfáticos) (Figura 2.18). Estão envolvidos na remoção e na destruição do material estranho, como bactérias e outras partículas, colaborando com o sistema de defesa do corpo. Em algumas situações, os linfonodos ou nódulos linfáticos ficam maiores por estarem sobrecarregados de partículas estranhas (quando estamos doentes) ou após uma sessão de drenagem linfática.

Figura 2.18 | Representação do sistema linfático



Fonte: adaptada de Kardong (2016, p. 499).



Exemplificando

A circulação sanguínea nos adultos acontece em função de um sistema complexo, mas independente, diferentemente dos fetos: nessa etapa da vida, a placenta realiza o suprimento de oxigênio através de uma única veia umbilical. Os pulmões do feto ainda são inativos para sua função e, por isso, a circulação pulmonar acontece apenas para manutenção do tecido, e não para as trocas gasosas. O sangue que faria parte da circulação pulmonar é, na sua maior parte, desviado para a circulação sistêmica através de uma abertura interatrial, o forame oval. Essa abertura entre os átrios direito e esquerdo possibilita a entrada da maior parte do sangue no átrio direito para fluir diretamente para o átrio esquerdo, sem passar primeiro pelos pulmões, ou seja, o forame desvia a maior parte do sangue para a circulação sistêmica.

Sem medo de errar

Agora que você já conheceu o sistema circulatório dos animais, vamos voltar à situação-problema. Lembra do estudante e de sua pesquisa? Ele está estudando os diversos sistemas do corpo dos animais e, para isso, escolheu espécimes de animais invertebrados e vertebrados e criou pequenos ambientes que simulam o habitat de cada um. Em uma das anotações, escreveu que um caranguejo tinha um líquido escorrendo do local onde deveria ter uma das patas, mas ele não mencionou que era sangue. Agora, você já é capaz de dizer que, além do sangue, alguns animais podem ter como líquido circulante a hemolinfa. Tanto o caranguejo (artrópode crustáceo) como o caramujo (molusco gastrópode) apresentam sistemas circulatórios abertos, ou seja, não há vasos que ligam as veias e as artérias. Eles são substituídos por uma cavidade chamada hemocele. Movimentos do corpo do animal levam o sangue/hemolinfa de volta ao coração através dos óstios.

Avançando na prática

A falta que fazem as amígdalas e o baço

Descrição da situação-problema

Durante a vida, muitas vezes em função do incômodo de diversas infecções, as pessoas tomam a decisão de retirar cirurgicamente as amígdalas, que, na verdade, são as tonsilas palatinas. Em outras situações, principalmente acidentes automobilísticos, há a perda do baço, por ser um órgão frágil. Com os conhecimentos adquiridos

sobre o sistema linfático, quais são as consequências para as pessoas que retiram as tonsilas palatinas e o baço?

Resolução da situação-problema

Durante a década de 1980, era muito comum a retirada das amígdalas/tonsilas. As crianças gostavam porque, após a cirurgia, precisavam fazer refeições geladas para evitar o sangramento. As dietas pós-cirúrgicas incluíam muito sorvete! Hoje, os médicos são mais contidos na decisão por essa cirurgia. As tonsilas fazem parte do sistema linfático e têm como função a produção de anticorpos que atuam na defesa do nosso organismo. A ausência desse órgão faz com que o organismo aumente a produção das células de defesa em outras regiões do corpo. Isso também acontece com o baço: a perda não traz consequências graves, já que o organismo se readapta da mesma forma que no caso da falta das tonsilas. Entretanto, nosso corpo reage de forma diferente uns dos outros. Algumas pessoas podem ter seu sistema imunológico comprometido na falta das tonsilas e do baço.

Faça valer a pena

1. Nos animais, o sistema circulatório pode ser aberto ou fechado, com função de transportar gases respiratórios, nutrientes e excretas do metabolismo. O sangue (ou a hemolinfa) é transportado pelos sistemas venoso e arterial, impulsionado por um coração.

Sobre o sistema circulatório, assinale a alternativa correta:

- a) O sangue venoso é transportado apenas por veias em todo o organismo.
- b) O sangue venoso pode ser transportado por veias e, no coração, também por artérias.
- c) O sangue arterial é transportado apenas por artérias em todo o organismo.
- d) O sangue venoso e arterial flui através de veias.
- e) Tanto o sangue arterial como o venoso fluem somente através de artérias.

2. O coração dos mamíferos apresenta válvulas para impedir o refluxo sanguíneo. Os vasos sanguíneos, mais especificamente as veias, também apresentam válvulas com o mesmo objetivo. O seu mau funcionamento pode acarretar em sopro cardíaco e varizes.

As válvulas cardíacas que separam o átrio direito do ventrículo direito e o átrio esquerdo do ventrículo esquerdo são, respectivamente:

- a) Mitral e tricúspide.
- b) Pulmonar e aórtica.
- c) Aórtica e pulmonar.
- d) Mitral e aórtica.
- e) Tricúspide e mitral.

3. A transição do meio aquático para o terrestre e a perda das brânquias provocou a evolução do sistema circulatório dos animais. Quando comparamos os peixes, os anfíbios, os répteis, as aves e os mamíferos, encontramos diferenças anatômicas entre os corações, que geram um metabolismo adequado a cada um desses grupos animais.

A circulação sanguínea dos peixes, anfíbios e mamíferos acontece na seguinte sequência, respectivamente:

- a) Átrio, ventrículo, brânquias; átrio direito, ventrículo, pulmões, átrio esquerdo; átrio direito, ventrículo direito, pulmões, átrio esquerdo, ventrículo esquerdo.
- b) Átrio direito, ventrículo direito, pulmões, átrio esquerdo, ventrículo esquerdo; átrio direito, ventrículo, pulmões, átrio esquerdo; átrio, ventrículo, brânquias.
- c) Átrio direito, ventrículo, pulmões, átrio esquerdo; átrio, ventrículo, brânquias; átrio direito, ventrículo direito, pulmões, átrio esquerdo, ventrículo esquerdo.
- d) Átrio, ventrículo, brânquias; átrio direito, ventrículo direito, pulmões, átrio esquerdo, ventrículo esquerdo; átrio direito, ventrículo, pulmões, átrio esquerdo.
- e) Átrio, ventrículo, brânquias; átrio direito, ventrículo, pulmões, átrio esquerdo; átrio direito, ventrículo, pulmões, átrio esquerdo.

Referências

- BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociências**: desvendando o sistema nervoso. 3. ed. São Paulo: Artmed, 2010.
- BRUSCA, R. C.; BRUSCA, G. J. **Invertebrados**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.
- CARDOSO, S. H. Comunicação entre as células nervosas. **Cérebro e Mente**, 2000. Disponível em: <http://www.cerebromente.org.br/n12/fundamentos/neurotransmissores/neurotransmitters2_p.html>. Acesso em: 13 mar. 2017.
- CHACHA, J. J. et al. Sistema nervoso periférico e pressupostos da agressão neural na hanseníase. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, Rio de Janeiro, v. 84, n. 5, set./out. 2009.
- GLOBO CIDADANIA. **Próteses mecânicas simulam movimento de pernas**. [s.d.]. Disponível em: <<http://redeglobo.globo.com/globocidadania/videos/v/proteses-mecanicas-simulam-movimento-de-pernas/3516804/>>. Acesso em: 27 nov. 2016.
- HICKMAN, C. H.; ROBERTS, L. S.; LARSON, A. **Princípios integrados de zoologia**. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.
- JUNIOR, J. Tecnologias revolucionárias que salvaram a vida de animais. **Techtudo**, 26 jun. 2012. Disponível em: <<http://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2012/06/tecnologias-revolucionarias-que-salvaram-a-vida-de-animais.html>>. Acesso em: 27 nov. 2016.
- JACOB, S. W.; FRANCONI, C. A.; LOSSOW, W. J. **Anatomia e fisiologia humana**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1990.
- KARDONG, V. K. **Vertebrados**: anatomia comparada, função e evolução. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.
- MOYES, C. D.; SCHULTE, P. M. **Princípios de fisiologia animal**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- RODRIGUES, A. H. Estudo identifica a estrutura do vírus zika. Descoberta ajuda a chegar a antivirais. **Época**, 31 mar. 2016. Disponível em: <<http://epoca.globo.com/vida/noticia/2016/03/estudo-identifica-estrutura-do-virus-zika-descoberta-ajuda-chegar-antivirais.html>>. Acesso em: 13 mar. 2017.

SCHMIDT-NIELSEN, K. **Fisiologia animal**: adaptação e meio ambiente. 5. ed. São Paulo: Santos Livraria, 1999.

SILVA, I. S. Neurogênese no sistema nervoso adulto de mamíferos. **Revista da Biologia**, São Paulo, v. 3, 2009. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/revista/node/27>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

SILVA, L. G.; LIMA, F. M. R.; VIRGÍNIO, F. B. Cirurgia de revascularização do miocárdio nas cardiopatias isquêmicas e suas complicações pós-operatórias. 2008. Disponível em: <http://www.wgate.com.br/conteudo/medicinaesaude/fisioterapia/cardio/revascularizacao_fabiola/revascularizacao_fabiola.htm>. Acesso em: 17 dez. 2016.

SOBOTTA, J. **Atlas de anatomia humana**: tronco, vísceras e extremidades inferiores. v. 2. 21. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. v. 2.

VEJA. **Ponte de safena garante maior sobrevivência do que angioplastia, afirma maior pesquisa do gênero**. 2012. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/saude/ponte-de-safena-garante-maior-sobrevivencia-do-que-angioplastia-afirma-maior-pesquisa-do-genero/>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

Anatomia geral e comparada dos sistemas respiratório, digestório, excretor e reprodutor

Convite ao estudo

Caro aluno, você está estudando a disciplina de Anatomia geral e comparada. Na Unidade 1, você estudou a terminologia de anatomia, ossos e articulações. Na Unidade 2, estudou os sistemas muscular, nervoso e circulatório. Estamos iniciando a Unidade 3, e estudaremos o sistema respiratório, digestório, excretor e reprodutor.

O sistema respiratório difere nos animais aquáticos e terrestres em função das estruturas adequadas para a troca gasosa nos dois ambientes. Animais aquáticos apresentam brânquias, enquanto a maior parte dos animais terrestres apresentam pulmões. Os insetos respiram por uma árvore de tubos, e os anfíbios podem realizar troca gasosa através da pele.

A forma como os animais adquirem alimento e os digerem para obter nutrientes adequados é suficiente para o seu metabolismo, e isso será estudado nessa unidade quando abordaremos o sistema digestório. Você sabia que uma serpente pode ficar até um ano sem se alimentar e que as vacas precisam de quatro compartimentos para realizar parte da digestão? E ainda, que quando os animais se alimentam de proteínas, produzem excretas nitrogenadas como amônia, ureia e ácido úrico, que são tóxicas (em diferentes níveis) e precisam ser eliminadas através do sistema excretor na forma de urina, seja líquida ou pastosa?

Além disso, estudaremos como os animais vertebrados e invertebrados se reproduzem. Conheceremos as formas assexuadas e sexuadas, que podem gerar novos indivíduos e dar continuidade à vida na Terra.

Com o estudo desta unidade, você atingirá os objetivos específicos e será capaz de conceituar, identificar e conhecer a anatomia do sistema respiratório e digestório dos animais vertebrados e invertebrados, bem como entender o seu funcionamento. Também será capaz de identificar as estruturas do sistema

excretor, seu funcionamento e a importância para os animais, além de conhecer as formas de reprodução desses animais.

Para iniciarmos esta unidade, vamos considerar a seguinte situação: você é funcionário de um zoológico que precisa cuidar de diversos animais, tanto vertebrados quanto invertebrados. Precisa manter os recintos limpos e adequados para a boa saúde de cada animal. Numa instituição como essa, é comum haver berçários e estímulo para reprodução entre os animais, muitas vezes, fazendo intercâmbio com outras instituições. A cozinha de um zoológico deve ser muito bem organizada para disponibilizar os alimentos adequados a cada grupo de animais. A partir dessa situação, convidamos você a resolver as situações-problema ao longo dos estudos desta unidade. Então, vamos começar. Mãos à obra e sucesso nos estudos!

Seção 3.1

Anatomia geral e comparada do sistema respiratório

Diálogo aberto

Ao estudarmos o sistema respiratório, devemos levar em conta o ambiente em que o animal vive e as estruturas necessárias para as trocas gasosas. Cada ambiente e cada animal tem uma forma adequada e adaptada para respirar. Nem todo animal aquático depende de brânquias para respirar e nem todo animal terrestre depende de pulmões. Diante disso, propomos uma situação para você começar a pensar sobre o sistema respiratório.

Você, como funcionário no zoológico, terá que lidar com muitos animais diferentes. Como um aluno de Ciências Biológicas, terá algumas informações que podem colaborar com o seu sucesso. Em geral, zoológicos não têm aquários, mas possuem formigueiros e até cupinzeiros em estruturas transparentes para que os visitantes observe os seres. Também há anfíbios, répteis, aves e mamíferos. Você poderá trabalhar com funcionários que não conhecem a anatomia de todos os animais. Então, como você explicaria as diferenças do sistema respiratório das formigas, aves e mamíferos?

Não pode faltar

Ao conjunto de estruturas para a captação de oxigênio e eliminação de gás carbônico (produto do metabolismo) damos o nome de sistema respiratório.

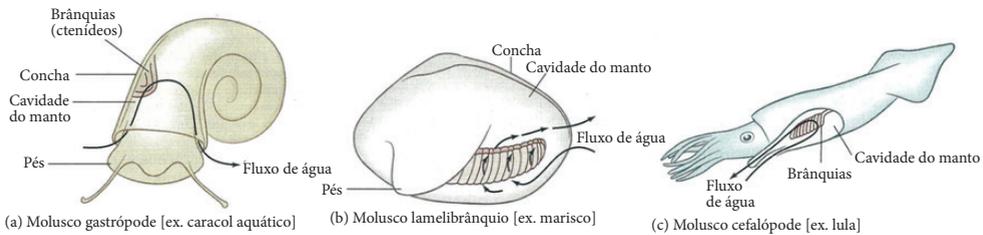
A produção de energia para o metabolismo animal é dependente de oxigênio e, por isso, a captação de oxigênio e eliminação de gás carbônico deve acontecer de forma adequada a cada animal e ambiente no qual ele vive. A troca gasosa ou hematose pode ocorrer através da pele (cutânea), brânquias (branquial), rede de tubos (traqueal) e pulmões (pulmonar).

Vamos começar conhecendo o sistema respiratório dos invertebrados e aproveitar para relembrar a organização dos animais em grupos (chamamos também de classificação).

Os poríferos, cnidários e platelmintos são organismos mais simples, com baixo nível de complexidade de diferenciação celular. Nesses casos, não apresentam sistema respiratório e a troca gasosa acontece nas células através do processo de difusão (transporte entre membranas).

Os anelídeos apresentam respiração através da pele ou cutânea. Entre eles, há as minhocas, as sanguessugas e os poliquetos. Estes últimos são marinhos e respiram através de brânquias. Os moluscos também apresentam-se na forma de animais terrestres e aquáticos, e a troca gasosa é diferente em cada caso. Esse grupo é dividido em grupos menores, e os principais que estamos estudando são os bivalves (mexilhões, ostras), os gastrópodes (animais de uma concha única, como os caramujos terrestres e aquáticos) e os cefalópodes (polvos, lulas) (Figura 3.1). Os animais aquáticos realizam as trocas gasosas (respiração) através de brânquias, enquanto os terrestres utilizam pulmões para esse processo.

Figura 3.1 | Representação do sistema respiratório dos moluscos: A. Gastrópode. B. Bivalve. C. Cefalópode



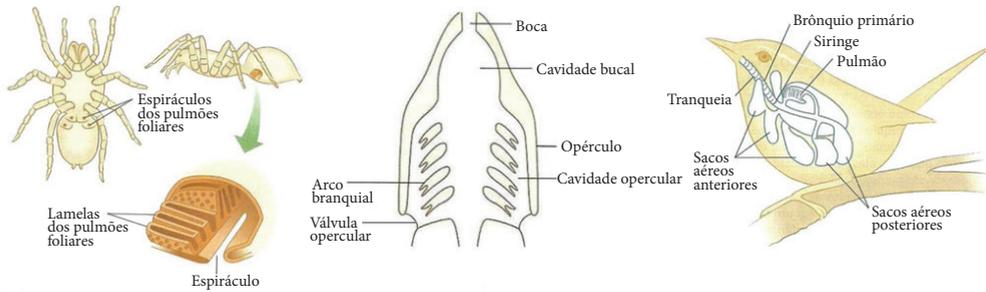
Fonte: Moyes e Schulte (2010, p. 431).

Os artrópodes são animais invertebrados muito diversificados, assim como os insetos, os crustáceos, os aracnídeos, entre outros. Nos aquáticos, como os crustáceos, a respiração é branquial. Caranguejos terrestres e semiterrestres apresentam brânquias firmes de forma a não colapsarem no ar e são ricamente vascularizadas. Aranhas e escorpiões apresentam pulmões foliares dentro da cavidade corporal. São uma série de lamelas extremamente finas numa cavidade repleta de ar que se projeta para fora por um espiráculo (abertura) (Figura 3.2). Em algumas aranhas e insetos, há a presença de sistema traqueal, e consistem de uma série de tubos preenchidos de ar que penetram por todas as partes do corpo. Nos equinodermos, por exemplo ouriço, estrela, bolacha, pepino e lírio-do-mar, o sistema respiratório é ausente ou reduzido. Quando presente, ocorre através de brânquias.

Nos peixes cartilaginosos, tubarões e raias, as brânquias localizam-se lateralmente ao arco branquial, e cada brânquia consiste de uma divisão central recoberta por filamentos (lamelas). Nos peixes ósseos, o opérculo pode ser ósseo ou cartilaginoso e tem a função de proteger os arcos branquiais (quatro arcos branquiais em cada cavidade opercular), e colabora para a ventilação das brânquias (Figura 3.2). E ainda

existem os peixes dipnoicos. São peixes que apresentam pulmões. A piramboia, presente no Brasil, é um exemplo.

Figura 3.2 | Representação do sistema respiratório das aranhas (do tipo foliáceo); dos peixes ósseos (branquial com presença de opérculo); e das aves com presença de sacos aéreos



Fonte: Moyes e Schulte (2010, p. 427; 429; 435).

Agora, vamos conhecer o sistema respiratório dos vertebrados. É sempre interessante saber que apesar de alguns deles viverem na água, como as tartarugas marinhas e as baleias, sua respiração é pulmonar. Os peixes, ósseos e cartilagosos, apresentam respiração exclusivamente branquial. Os anfíbios são animais que passam por transformações: têm uma parte da sua vida na água, na forma de girinos, com respiração branquial, e outra fase terrestre, com respiração pulmonar e cutânea.



Assimile

Em geral, classificamos os animais de acordo com a respiração, como: pulmonar, traqueal, cutânea ou branquial. No entanto, no grupo dos anfíbios, temos uma situação interessante, que é a metamorfose. Em uma fase da vida, logo que eclodem do ovo, são chamados de girinos, e passam essa etapa na água, ou seja, têm respiração branquial. Após o processo da metamorfose, o animal passa por diversas modificações anatômicas e fisiológicas. As brânquias transformam-se em pulmões e o animal que respirava por brânquias passa a respirar por pulmões. O adulto ainda tem uma respiração complementar através da pele, conhecida como respiração cutânea.

Os répteis, em geral, apresentam dois pulmões, ou seja, sua respiração é pulmonar, mesmo que alguns dos seus representantes vivam muito tempo submersos. A tartaruga marinha, por exemplo, apresenta pulmões, mas vive a maior parte da sua vida na água e precisa vir à superfície para respirar. Jacarés e crocodilos podem ficar submersos por longos períodos, mas também vêm à superfície para respirar. Nas cobras, um dos

pulmões pode estar reduzido ou ausente. Nos animais mais ativos, como tartarugas e crocodilos, os pulmões são divididos em várias câmaras (multicamerais), aumentando a área de superfície para trocas gasosas.



Pesquise mais

Quando visitamos zoológicos ou locais com crocodilos e jacarés, muitas vezes não os vemos porque estão submersos. São animais com respiração aérea, utilizam pulmões para respirar, como nós. Como eles conseguem ficar tanto tempo embaixo d'água? Algumas espécies apresentam uma estrutura chamada válvula palatal, que cobre a garganta do jacaré para isolar a água dos pulmões e do estômago enquanto estão submersos. O sistema respiratório desses animais também atua para controlar a submersão, funcionando como boias. Conheça mais sobre isso em: JUSTE, M. **Jacarés mudam pulmões de lugar para controlar mergulho, diz cientista**. 2008. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Ciencia/0,,MUL384073-5603,00-JACARES+MUDAM+PULMOES+DE+LUGAR+PARA+CONTROLAR+MERGULHO+DIZ+CIENTISTA.html>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

As aves apresentam exclusivamente respiração pulmonar, mas seu sistema respiratório apresenta sacos aéreos que ajudam a aquecer o ar e tornar o corpo mais leve para o voo (Figura 3.2). O pulmão é rígido e sofre pequenas mudanças de volume durante a respiração. Então, os sacos aéreos flexíveis atuam para resolver esse fato. Após passar pelas narinas, o ar passa pela traqueia (órgão cartilaginoso formado por anéis), que se ramificam em dois brônquios primários, um para cada pulmão. Já dentro dos pulmões, o brônquio primário ramifica-se em brônquios secundários e novamente em tubos chamados parabrônquios. Suas paredes formam estruturas muito pequenas com fundo cego, chamadas capilares aéreos, altamente vascularizados, que atuam como local de trocas gasosas.

Entre os mamíferos, também temos aqueles que vivem na água, submersos por muito tempo, mas precisam vir à superfície para respirar. Você já deve ter visto em filmes as baleias, os botos e os golfinhos na superfície da água. A área de captação de ar, ou o "nariz" desses animais, fica na região dorsal, para que eles não precisem tirar todo o corpo para fora da água para respirarem.



Exemplificando

A história nos traz relatos sobre a caça de baleias para o uso da sua carne, mas principalmente da sua gordura, que foi utilizada para preparação de

cosméticos, combustível para iluminação, lubrificante e sabão. No Brasil, há a afirmação de que o óleo de baleia foi utilizado também para produzir argamassa no assentamento de tijolos.

Para a caça desses animais, aproveitava-se justamente quando elas vinham à superfície para respirar. Ficava alguém na parte mais alta do barco e quando viam a sopro da baleia, arpoavam-na.

A estrutura de respiração ou narinas das baleias é chamada de espiráculo, formando uma concavidade na região dorsal do animal. Durante o mergulho, ela fica fechada, abrindo-se somente na superfície. Essa concavidade fica cheia de água e, ao subir, o animal primeiro expira, provocando um borrito característico, criando o mito de que baleias respiram “água”. Como elas têm pulmões, como nós, é como se antes de respirarmos precisássemos tirar a água das nossas narinas. Se inspirássemos primeiro, morreríamos afogados. Por isso, no caso das baleias, primeiro elas expiram para depois inspirarem.

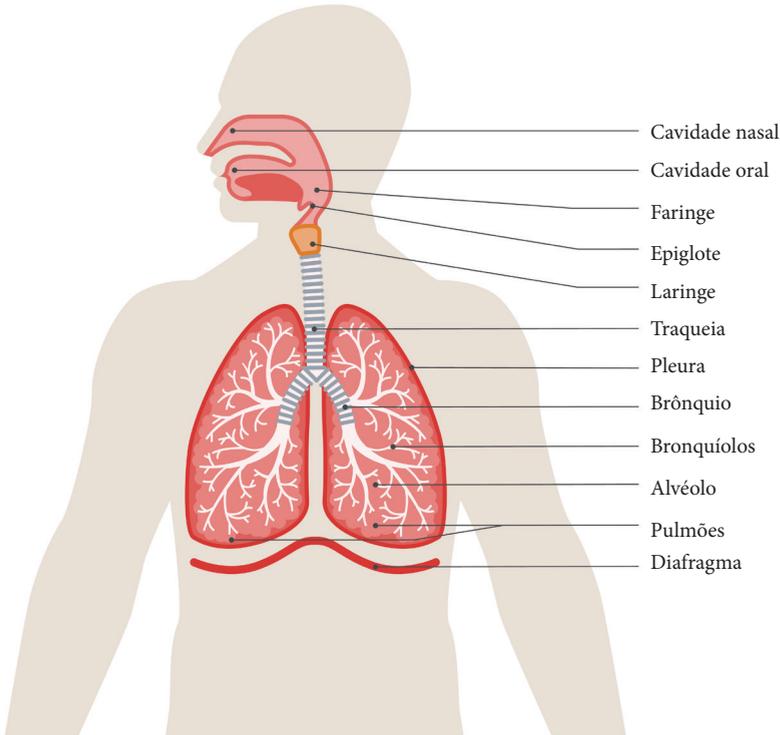
O sistema respiratório é dividido em trato respiratório superior e inferior. O superior compõe-se de estruturas para a entrada, a filtração e o aquecimento do ar. O ar entra através de duas aberturas, chamadas narinas, e flui para as cavidades nasais, revestidas por mucosa. É nessa região altamente vascularizada que o ar é filtrado (fica preso ao muco), umedecido e aquecido. O septo nasal separa essas cavidades, na qual encontramos células receptoras para o olfato e as coanas (concha superior, média e inferior), que fazem a comunicação com a faringe (Figura 3.3).

As paredes da faringe são compostas por músculos e revestidas por muco. São divididas em três regiões anatômicas: nasofaringe, orofaringe e laringofaringe. A primeira porção comunica as cavidades nasais; a segunda porção tem comunicação com a boca e serve de passagem tanto para o ar como para o alimento; e a terceira porção conecta-se com o esôfago (canal do alimento) e anteriormente com a laringe (passagem de ar). A laringe é um órgão curto que se comunica com a traqueia, tubo cartilaginoso e anelado, que se bifurca em dois brônquios principais, direito e esquerdo (ponto de bifurcação - carina). Ao entrarem nos pulmões, subdividem-se bronquíolos ou brônquios segmentares, subdividindo-se cada vez mais em tubos menores, dando origem aos ductos alveolares (Figura 3.3), que terminam em estruturas chamadas alvéolos pulmonares, em que ocorre a troca gasosa com os capilares sanguíneos. Lembrando que os bronquíolos não contêm músculo liso e não possuem cartilagem. Internamente, a traqueia é revestida por mucosa, epitélio ciliado para facilitar a expulsão de corpos estranhos.

A partir da traqueia, com os brônquios e os pulmões, já estamos nos referindo à parte inferior do sistema respiratório. Os pulmões não têm fixação na caixa torácica, exceto no local onde é suspenso por seu hilo, no mediastino. Eles praticamente flutuam

na cavidade torácica, envoltos por uma membrana dupla (pleuras) com um espaço entre elas, o espaço pleural. O espaço pleural contém pequena quantidade de líquido lubrificante, que reduz o atrito, permitindo que elas deslizem facilmente uma sobre a outra. O pulmão direito é formado por três lobos, enquanto o esquerdo apresenta dois lobos.

Figura 3.3 | Representação do sistema respiratório humano, mostrando a porção superior e inferior



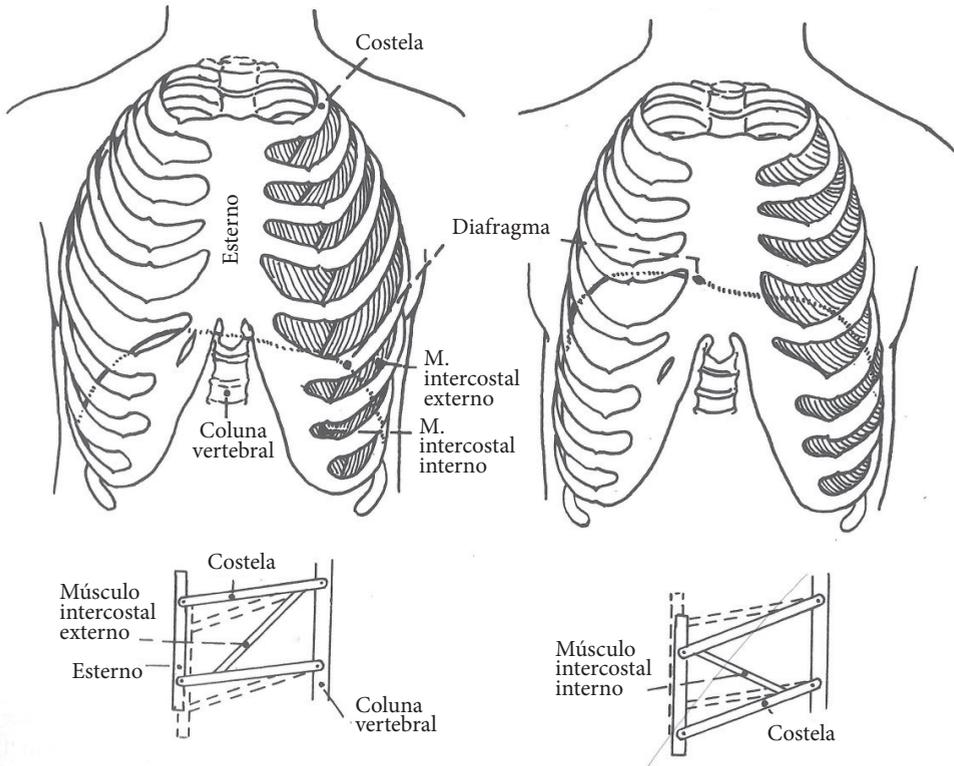
Fonte: <<http://www.istockphoto.com/br/vetor/o-sistema-respirat%C3%B3rio-gm485210370-71967173>>. Acesso em: 18 maio 2017.

Músculos respiratórios

A ventilação ou respiração dos mamíferos é bidirecional, e envolve a caixa torácica, os músculos intercostais e o músculo diafragma. Na inspiração, os músculos intercostais externos contraem-se, movimentando as costelas e o osso esterno para a frente. Como consequência, há o aumento do espaço delimitado pela caixa torácica ao redor dos pulmões. A contração do músculo diafragma aumenta ainda mais o volume torácico. Os pulmões se expandem e o ar é inspirado para dentro.

Na expiração, os músculos intercostais internos inclinam-se na direção oposta à dos músculos intercostais externos relaxados e puxam as costelas de volta. O músculo diafragma relaxa, diminuindo o volume do tórax, forçando o ar para fora dos pulmões (Figura 3.4.)

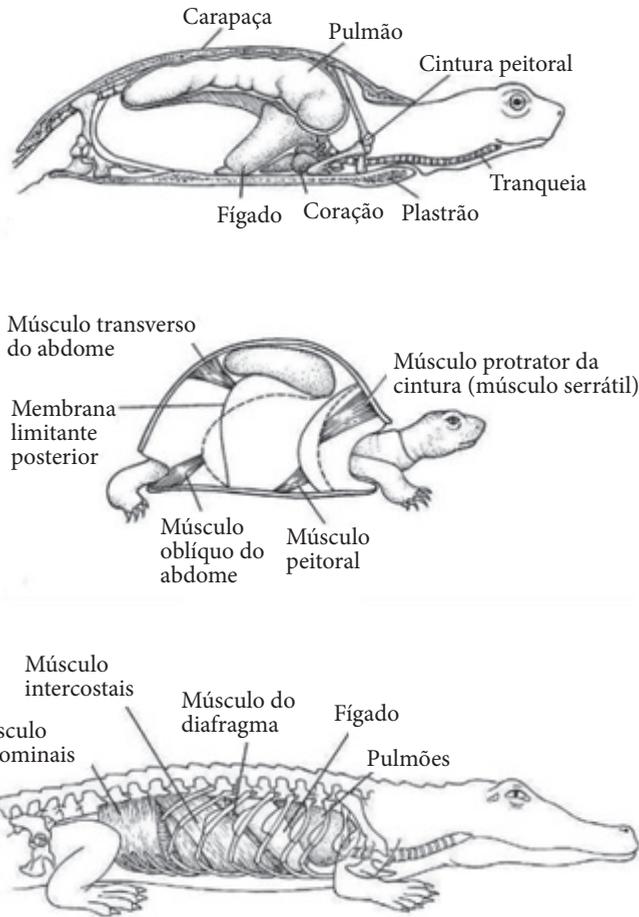
Figura 3.4 | Expiração e inspiração do homem mostrando os músculos envolvidos



Fonte: Jacob, Francone e Lossow (1990, p. 391).

Os répteis utilizam alguns mecanismos para alterar o volume da cavidade torácica durante a respiração. Nas tartarugas e nos jabutis, a caixa torácica é fundida em uma carapaça rígida, não podendo mover-se. Então, esses animais apresentam um par de músculos abdominais que expandem e comprimem os pulmões. Movimentos dos membros também auxiliam na ventilação (Figura 3.5). Nos jacarés e nos crocodilos, o fígado tem papel importante no processo respiratório. Na inspiração, as costelas movimentam-se para a frente e para fora, expandindo a cavidade torácica. O fígado, localizado imediatamente atrás dos pulmões, é puxado posteriormente pela ação dos músculos do diafragma, derivados da musculatura abdominal interna. A contração dos músculos do diafragma puxa o fígado para trás, aumentando o volume da cavidade pulmonar, provocando a entrada do ar atmosférico. A expiração reverte os movimentos.

Figura 3.5 | Músculos respiratórios dos répteis



Fonte: Kardong (2016, p. 435-436).



Refleta

Os diversos órgãos do nosso corpo são revestidos por membranas para sua proteção ou mesmo para facilitar o seu movimento junto aos outros órgãos. Os pulmões apresentam as pleuras, que os envolvem e apresentam líquido na cavidade pleural, que colabora no deslizamento dessas membranas durante os ciclos respiratórios. Traumas, cirurgias e algumas doenças podem provocar acúmulo de gás ou líquido na cavidade pleural, provocando um colapso pulmonar e insuficiência respiratória. Em animais, isso também pode acontecer. Em geral,

realiza-se uma drenagem pleural. Você conhece outras situações que afetam o sistema respiratório? Já parou para dar atenção ao funcionamento do seu sistema respiratório, da qualidade do ambiente em que você está realizando troca gasosa? Já pensou que a sua postura pode comprometer a posição dos órgãos internos e interferir inclusive na sua respiração? Pense nisso!

Sem medo de errar

Depois de conhecer um pouco mais sobre o sistema respiratório dos animais vertebrados e invertebrados, vamos retomar a proposta que fizemos a você no início desta seção. Vamos lá?

Você, como funcionário do zoológico, terá muitos animais diferentes. Como um aluno de Ciências Biológicas, terá algumas informações que podem colaborar para o seu sucesso. Em geral, zoológicos não têm aquários, mas possuem formigueiros e até cupinzeiros em estruturas transparentes para que os visitantes observem os seres. Também há anfíbios, répteis, aves e mamíferos. Você poderá trabalhar com funcionários que não conhecem a anatomia de todos os animais. Então, como você explicaria as diferenças do sistema respiratório das formigas, aves e mamíferos?

Como já foi dito, ao estudarmos o sistema respiratório, devemos levar em conta o ambiente em que o animal vive e as estruturas necessárias para as trocas gasosas. Quando pensamos nas formigas, sabemos que são terrestres mas, agora, sabemos que elas têm uma respiração diferente da maioria dos animais terrestres. Esses animais apresentam respiração traqueal e têm uma série de tubos espalhados pelo corpo e que se abrem para fora através de espiráculos. As aves têm pulmões pequenos com sacos aéreos que auxiliam no processo da respiração. E os mamíferos são tipicamente pulmonares, inclusive os mamíferos aquáticos, que precisam ir à superfície para respirar.

Avançando na prática

Criando um sistema respiratório artificial

Descrição da situação-problema

O sistema respiratório dos mamíferos é relativamente simples. Temos uma entrada de ar que segue até uma cavidade (umidificação e aquecimento do ar). Depois, o ar é levado até os pulmões por uma sequência de tubos: faringe, laringe e

traqueia, que se ramificam em brônquios direito e esquerdo, entrando nos pulmões. Os pulmões são estruturas elásticas que se contraem e relaxam em função da entrada e saída de ar, através da alteração da pressão interna. Você precisa ministrar uma aula demonstrativa sobre o sistema respiratório humano. Para isso, você deve construir uma maquete ou algo similar com materiais simples. Como você faria isso?

Cite os materiais e como eles seriam organizados para simular esse sistema.

Resolução da situação-problema

A proposta é montar um sistema respiratório utilizando materiais simples. A ideia é ter uma entrada de ar que seja contínua até os pulmões. Isso pode ser conseguido utilizando um canudo ou qualquer tubo plástico que você encontre. Uma garrafa plástica transparente pode simular a caixa torácica. Passe o tubo ou o canudo através de um buraco na tampa da garrafa. Dentro da garrafa, precisa haver uma bifurcação dos tubos, que pode ser realizada juntando-se dois tubos/canudos com fita adesiva. Na extremidade dos tubos, prenda duas bexigas (balão de aniversário), que farão o papel dos pulmões. A garrafa deve ter a parte de baixo cortada e fechada com um balão. Prenda esse balão à garrafa com barbante ou fita adesiva. Esse vai ser o nosso diafragma. Para finalizar, faça a vedação do tubo/canudo na tampa da garrafa. Vamos testar. Puxe com delicadeza bem no meio o balão que está fazendo o papel do músculo diafragma. O que aconteceu? As bexigas-pulmão inflaram? Se sim, parabéns. Entretanto, se não inflaram, alguma coisa está errada. Você deve ter deixado alguma entrada a mais de ar, ou seja, seu sistema respiratório está com problemas. Você terá que realizar o diagnóstico e resolver o problema até que ele esteja saudável. É um material muito interessante para construir com os alunos e demonstrar as partes anatômicas e o funcionamento do sistema respiratório.

Faça valer a pena

1. O sistema respiratório tem a função de captar oxigênio do ambiente (aquático ou terrestre) para produção e energia durante o metabolismo animal e eliminar gás carbônico, produto do metabolismo. Para isso, apresenta estruturas anatômicas específicas, seja para a respiração traqueal, branquial, cutânea ou pulmonar.

A sequência correta de estruturas da respiração humana é:

- a) Narinas, cavidade nasal, laringe, faringe, traqueia, brônquios, bronquíolos, alvéolos pulmonares.
- b) Narinas, laringe, faringe, cavidade nasal, traqueia, brônquios, bronquíolos, alvéolos pulmonares.

- c) Narinas, cavidade nasal, faringe, laringe, traqueia, brônquios, bronquíolos, alvéolos pulmonares.
- d) Narinas, cavidade nasal, laringe, faringe, traqueia, bronquíolos, brônquios, alvéolos pulmonares.
- e) Narinas, cavidade nasal, traqueia, laringe, faringe, brônquios, bronquíolos, alvéolos pulmonares.

2. A diversidade animal trouxe uma diversidade de estruturas respiratórias adequadas a cada ambiente, como morfologia, tamanho e outras características desses animais. Animais aquáticos podem apresentar respiração branquial, como os peixes e os crustáceos. Há também mamíferos e répteis que vivem em ambiente aquático, mas apresentam respiração pulmonar.

Assinale a alternativa que apresenta a relação animal-tipo de respiração correta:

- a) Inseto - foliáceo.
- b) Baleia - brânquias.
- c) Crustáceo - pulmões.
- d) Golfinho - pulmões.
- e) Sapo - brânquias.

3. O processo respiratório consiste de uma troca de gases com o meio ambiente, seja terrestre ou aquático. Músculos estão envolvidos na inspiração e expiração de animais vertebrados, principalmente o diafragma. Com relação às fases da respiração, analise as seguintes afirmações:

I. Durante a inspiração, o diafragma se contrai, aumentando o volume da caixa torácica.

II. Durante a expiração, o volume torácico aumenta devido ao relaxamento do diafragma.

III. Quando o diafragma relaxa, ele reduz o volume torácico e empurra o ar usado para fora dos pulmões.

É correto o que se afirma em:

- a) I e II.
- b) I e III.
- c) II e III.
- d) I, II e III.
- e) Nenhuma das afirmações é correta.

Seção 3.2

Anatomia geral e comparada do sistema digestório

Diálogo aberto

Caro aluno, estamos na Unidade 3 da disciplina de Anatomia geral e comparada e você já conheceu alguns sistemas dos animais vertebrados e invertebrados. Você já deve ser capaz de identificar os sistemas esquelético, muscular, nervoso e respiratório. Agora vamos conhecer o sistema digestório, cujas estruturas e funções tornam possível que o alimento seja transformado em nutrientes que geram energia para o metabolismo animal. Na introdução desta unidade, foi proposta uma situação em que você trabalharia em um zoológico. Vamos considerar que em um dos dias, você ficará somente ajudando na alimentação. O funcionário explica para você que, além da dentição, os animais diferem pela estrutura do sistema digestório e, por isso, os animais herbívoros comem maior quantidade de alimentos que os carnívoros. Qual a diferença anatômica dos sistemas digestivos desses animais explicaria isso? O funcionário também fala para você que os camelos e os bois mastigam o tempo todo e chegam a regurgitar o alimento e mastigá-lo de novo. Para você, esta informação faz sentido? Explique utilizando a anatomia do estômago desses animais.

Não pode faltar

Um animal, para produzir energia, precisa essencialmente de oxigênio e nutrientes. O oxigênio depende de estruturas que estudamos na Unidade 3, Seção 3.1. Começaremos a estudar agora as estruturas necessárias para aquisição de nutrientes.

Os animais são heterotróficos, ou seja, não produzem seu próprio alimento, tendo que de alguma forma buscá-lo na natureza. Em alguns, a presença de organismos simbiotes colabora com a digestão. O consumo do alimento requer estruturas específicas para cortar, triturar e deglutir e ainda realizar a digestão, transformando-o em partículas pequenas o suficiente para serem aproveitadas pelas células.

Animais vertebrados apresentam mandíbula. Na maioria das espécies, a maxila superior é imóvel, integrada ao crânio, e a mandíbula é móvel. Exceção à regra, as

serpentes podem desarticular a maxila, permitindo-lhes, por exemplo, engolir um ovo sem quebrá-lo.

Alguns invertebrados, como os platelmintos, possuem estruturas simples, por onde o alimento entra e sai por uma única abertura, formando um intestino com uma única via. Outros apresentam estruturas acessórias na região da boca, como a rádula dos gastrópodes (molusco, Figura 3.6), utilizada para moer, raspar ou cortar alimentos, e a probóscide de alguns insetos, que é desenrolada e inserida no interior das flores para coletar o néctar.

Invertebrados

Os poríferos, animais sem tecido verdadeiro, dependem da digestão intracelular (fagocitose). A água entra através dos poros do corpo desses animais e células flageladas (coanócitos), provocam a circulação da água na cavidade do corpo, trazendo partículas alimentares microscópicas. Células específicas capturam essas partículas e, por fagocitose, (englobamento de partículas sólidas que formam vacúolos digestivos) digerem-nas. A pinocitose é utilizada para absorver matéria orgânica dissolvida diretamente da água. Por essas características, os poríferos são classificados como filtradores.

A presença do tentáculo em algumas espécies de cnidários facilita a captura e o transporte do alimento até a boca. Os nematocistos presentes ao longo dos tentáculos são sistemas de defesa e captura que possuem substâncias que paralisam a presa. O início da digestão é extracelular, na gastroderme, com ação de enzimas que geram um caldo com polipeptídeos, gorduras e carboidratos, que serão fago ou pinocitados, finalizando a digestão em vacúolos alimentares (digestão intracelular). Os dejetos são expelidos através da boca. Alguns corais usam uma rede de muco para capturar partículas de alimento que são levadas até a boca por cílios. Esse método os classifica como suspensívoros.

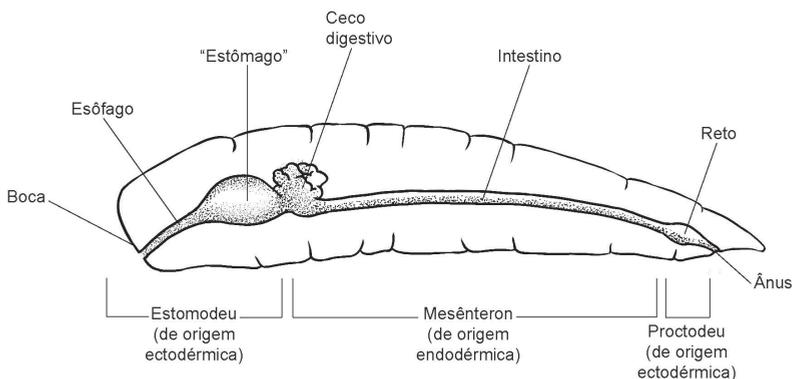
Os vermes platelmintos de vida livre têm sistema digestório incompleto, com boca e faringe ciliada, que conduz alimento a um intestino incompleto (também chamado de cavidade gastrovascular). Parasitas adultos alimentam-se dos tecidos ou fluidos do hospedeiro utilizando uma faringe muscular, que leva o alimento para a boca ou, na ausência de um sistema digestório, os nutrientes são levados para o corpo através do tegumento. Os vermes nematelmintos apresentam sistema digestório completo, com abertura de entrada de alimentos (boca), podendo apresentar estruturas para perfurar tecidos de outros seres vivos e abertura de saída de dejetos (ânus). Uma faringe musculosa ajuda a esmagar os alimentos e conduzi-los ao intestino. A ação de enzimas digere o alimento que será distribuído para as células. Podem ser carnívoros ou parasitas.

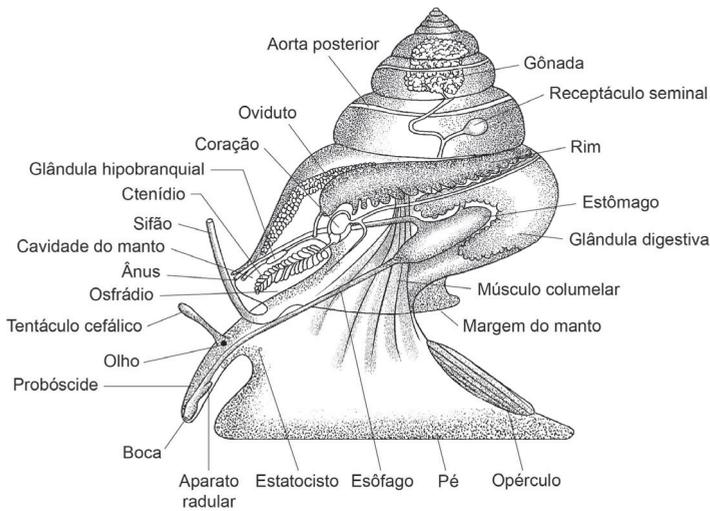
Agora, vamos conhecer as estruturas utilizadas pelos anelídeos. Todos apresentam sistema digestório completo e ação enzimática. As minhocas alimentam-se de matéria orgânica em decomposição (saprófagas) e, para isso, utilizam o protostômio, uma espécie de lábio, e uma faringe musculosa para movimentar o alimento que segue pelo esôfago, que é armazenado temporariamente no papo, é triturado na moela e é levado ao intestino. Uma prega intestinal, conhecida como tiflosole, aumenta a superfície de contato e absorção do alimento. As sanguessugas podem ser hematófagas, predadoras ou saprófagas, utilizando probóscide para ingerir pequenos vertebrados ou para sugar o sangue de vertebrados. Os poliquetas (marinhos) são predadores ou saprófagos, podendo alimentar-se de partículas em suspensão.

Animais de corpo mole, os moluscos têm sistema digestório completo, mas têm comportamentos alimentares diferentes. Os bivalves são filtradores e dependem da movimentação da água provocada pelos cílios das brânquias para recolher o material em suspensão. Os gastrópodes utilizam a rádula, uma espécie de língua áspera, para raspar e remover partículas de substratos duros. Os cefalópodes são carnívoros predadores com presença de bico córneo para rasgar a presa. Podem apresentar glândulas salivares modificadas com produção de neurotoxina para imobilizar uma presa.

Os artrópodes correspondem a uma diversidade muito grande de animais e, conseqüentemente, de comportamento alimentar. No entanto, todos apresentam sistema digestório completo, estendendo-se da boca até o ânus. Apêndices bucais estão associados ao processamento do alimento e seu transporte até a boca. O sistema digestório, de forma geral, é formado por estomodeu para a ingestão, o transporte, o armazenamento e a digestão mecânica dos alimentos; o mesentérior é responsável pela digestão química, com a produção de enzimas e absorção; e o proctodeu, para a absorção de água e formação do material fecal (Figura 3.6).

Figura 3.6 | Representação do sistema digestório mostrando as regiões estomodeu, mesentérior e proctodeu; representação do sistema digestório completo de um gastrópode mostrando o aparato radular (rádula)





Fonte: adaptada de Brusca e Brusca (2007, p. 507, 740).

As quelíceras, primeiro par de apêndices, estão presentes em várias espécies de aranhas e escorpiões, com modificações adequadas para perfurar, dilacerar ou agarrar o alimento. As aranhas são predadoras, imobilizam suas presas inoculando veneno através das quelíceras, liquefazendo os tecidos com um fluido digestivo e sugando o caldo resultante. Os escorpiões capturam suas presas com pedipálpos, segundo par de apêndices, e dilaceram o alimento com as quelíceras.

O último grupo de invertebrados que estudaremos é o dos equinodermos, também com grande variedade de estratégias alimentares. Os crinoides, ou lírios-do-mar, ficam com a superfície oral voltada para cima e alimentam-se de partículas em suspensão. A boca abre-se em um esôfago curto seguido de um intestino longo terminado em um cone canal, próximo à base de um dos braços. As estrelas-do-mar são predadoras ou comedoras de matéria animal em decomposição. Seu sistema digestório compõe-se da boca, localizada na superfície oral, que conduz o alimento através de um esôfago curto até o estômago no disco central. O estômago dá origem a ductos pilóricos, que se estendem para dentro de cada braço. É possível uma eversão do estômago sobre o alimento com liberação de enzimas, formando um caldo parcialmente digerido. Um intestino curto termina no ânus, na região aboral. Os ouriços-do-mar dependem de um aparato mastigador chamado de lanterna de Aristóteles, composto de placas duras e músculos, que controlam os movimentos executados por cinco dentes. Os pepinos-do-mar distendem seus tentáculos que circundam a boca para capturar alimento em suspensão. Podem eviscerar parte ou todo o sistema digestório (talvez como mecanismo de defesa), e as partes perdidas são regeneradas.

Vertebrados

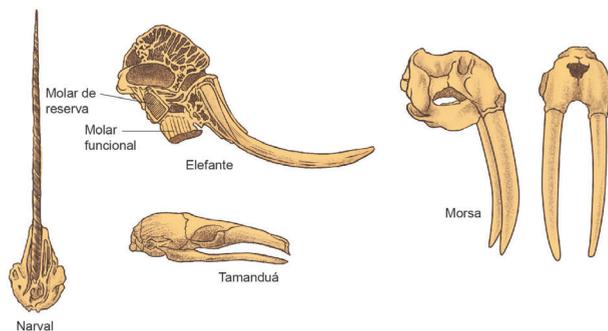
Os vertebrados, por seu comportamento alimentar, podem ser classificados como herbívoros, carnívoros e onívoros. Para cada comportamento, há especialização do sistema digestório. O homem, por sua alimentação mista, é classificado como onívoro. Você conhece outros animais onívoros? Já pensou na alimentação dos ratos, ursos, gambás, lobos-guarás, jabutis, porcos, chimpanzés, gaivotas? Todos esses animais têm alimentação mista, como nós! Quais outros animais você conhece que são onívoros? Vamos conhecer o sistema digestório dos vertebrados?



Refleta

Os mamíferos apresentam dentes especializados, como a dentição heterodonte, em que os dentes são anatômica e funcionalmente diferentes, como os incisivos, os caninos, os pré-molares e os molares. O número e a disposição de cada tipo diferem entre os grupos de mamíferos. As presas surgem a partir de diferentes dentes em diferentes espécies. A narval apresenta uma presa única a partir do dente incisivo, assim como nos elefantes (presas pareadas). Nas morsas, as presas pareadas são a partir dos caninos superiores, como em outros mamíferos carnívoros. A anatomia é evidente, mas a discussão fica em torno da função dessas presas para alguns animais. Especulações dizem que a presa da narval tem a função de capturar peixes, fazer buracos no gelo polar e até agitar o fundo do oceano para assustar o alimento enterrado. No entanto, somente algumas fêmeas apresentam essa presa, enquanto todos os machos a possuem, configurando a eles a característica sexual secundária, e não há relação alguma com a alimentação. Você já conhecia as narvais? Já parou para pensar nas presas dos animais como dentes especializados? Acredita que realmente essas estruturas facilitam a alimentação? Pense nisso!

Figura 3.7 | Narvais



Fonte: adaptada de Kardong (2016, p. 517).

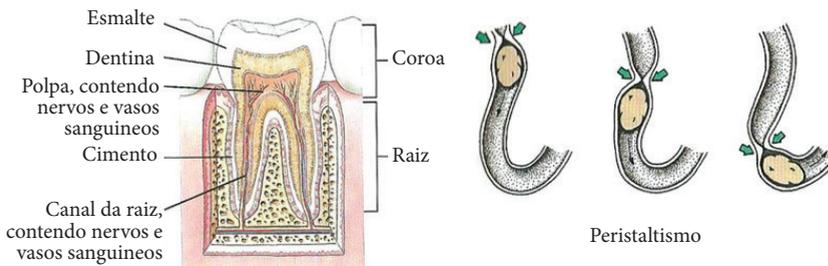
O sistema digestório é uma passagem tubular que se estende pelo corpo do animal desde a boca até o ânus ou cloaca. Identificamos as seguintes estruturas: cavidade bucal, esôfago, estômago, intestino delgado, intestino grosso e ânus. Glândulas na parede que revestem o trato digestório liberam secreções para a digestão. A cloaca é uma câmara terminal que pode receber o material fecal e o produto do sistema urogenital.

Glândulas digestivas acessórias, localizadas fora do sistema digestório, secretam enzimas no lúmen por meio de ductos. As principais são as glândulas salivares, o fígado e o pâncreas.

Vamos conhecer cada estrutura do sistema digestório comparando os vertebrados. Começando pela cavidade bucal, você já deve ter visto diversos animais, como peixes, sapos, jacarés, aves e mamíferos e, comparando essa região, notamos que são bem diferentes e adequadas para cada tipo de comportamento alimentar. A cavidade bucal é composta por dentes (nem sempre), língua e palato (conhecido como céu da boca). Temos glândulas salivares, que ajudam a umedecer o alimento e produzem enzimas para iniciar a digestão química.

Os dentes são exclusivos dos vertebrados para capturar e segurar a presa e também oferecem superfície para as maxilas esmagarem conchas duras das presas. Anatomicamente, a parte do dente que se projeta acima da linha da gengiva é chamada de coroa, e a região abaixo é a base (Figura 3.8). Quando a base se encaixa dentro de uma cavidade (alvéolo), é denominada raiz. Dentro da coroa forma-se a cavidade pulpar, que se estreia ao entrar na raiz formando o canal da raiz, abrindo na ponta, formando o forame do ápice do dente.

Figura 3.8 | Representação das estruturas de um dente e representação do movimento peristáltico presente do tubo digestivo



Fonte: Hickman, Roberts e Larson, (2009 p. 673-675).



Pesquise mais

Cada estrutura do sistema digestivo tem uma função específica. O não funcionamento de uma delas pode comprometer o processo digestório de forma sequencial. Imagine quando não mastigamos adequadamente um alimento. Os pedaços muito grandes não terão a ação efetiva das enzimas, não aproveitando completamente o valor nutricional daquele alimento. A perda de dentes nos animais selvagens pode comprometer a captura de uma presa e comprometer inclusive a sua sobrevivência. Há casos de felinos atropelados com sequelas como comprometimento da dentição. Esses animais são tratados e avaliados quanto à segurança em voltar à natureza. A preocupação é se o animal conseguirá seu próprio alimento após o acidente.

Leia o caso que aconteceu no interior de São Paulo: CRUZEIRO DO SUL. **Onça-pintada passa por tratamento dentário**. 2013. Disponível em: <<http://www.jornalcruzeiro.com.br/materia/478120/onca-pintada-passa-por-tratamento-dentario>>. Acesso em: 21 jan. 2017.

O dente é formado por três tecidos duros: o esmalte, a dentina e o cimento, e estão fixados aos ossos de três formas diferentes. Répteis e mamíferos apresentam dentes tecodontes, inseridos em alvéolos dentro do osso; outros vertebrados apresentam acrodonte, com alvéolos superficiais ou pleurodonte, com dentes fixados no lado medial do osso.

A língua de muitos tetrápodes (animais com quatro membros) tem receptores gustativos e, em alguns mamíferos carnívoros, a superfície da língua é áspera, com projeções espinhosas e queratinosas, que ajudam a raspar a carne dos ossos. A faringe é como um corredor para a passagem do alimento e do ar. Ao engolir o alimento, o esôfago se dilata e, com contrações (movimentos peristálticos, Figura 3.10), leva o alimento até o estômago. Entre o esôfago e o estômago há um anel, ou cárdia (esfíncter), que se abre e se fecha para a passagem dos alimentos. Nas aves, a expansão do esôfago forma o papo, utilizado para armazenamento temporário dos alimentos.

O estômago, na maioria dos vertebrados, tem função de agitar, misturar o alimento mecanicamente (movimentos peristálticos) e acrescentar suco gástrico, que é uma mistura de muco, enzimas e ácido clorídrico liberado pela parede do estômago.

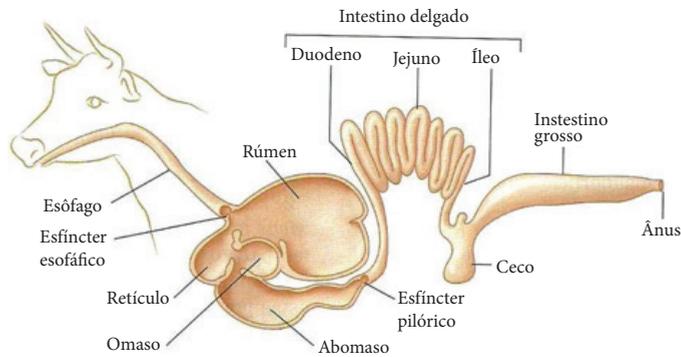


Exemplificando

Animais herbívoros apresentam especializações para a digestão, como a presença de simbiontes para a digestão da celulose e regiões dilatadas para o melhor aproveitamento do alimento. Aves podem apresentar

papo para fermentação (ação química da celulose) do alimento. Os mamíferos ruminantes (bois, bisões, búfalos, cabras, veados, camelos, girafas) são especialistas na fermentação com a presença de câmaras que são dilatações do esôfago. Primeiramente, o alimento se acumula no rúmen, onde há fermentação e armazenamento e, posteriormente, é regurgitado, voltando à boca. Novamente, o alimento é mastigado e deglutido, repetindo o processo até que o alimento esteja degradado mecanicamente. Contrações geram movimentação do alimento do rúmen para o retículo, misturando-o com microrganismos. O alimento passa para o omaso, onde a água e os alimentos solúveis são absorvidos e o restante segue para o abomaso, estômago químico (estômago verdadeiro), onde são secretadas enzimas e a digestão química acontece.

Figura 3.9 | Sistema digestório nos mamíferos ruminantes

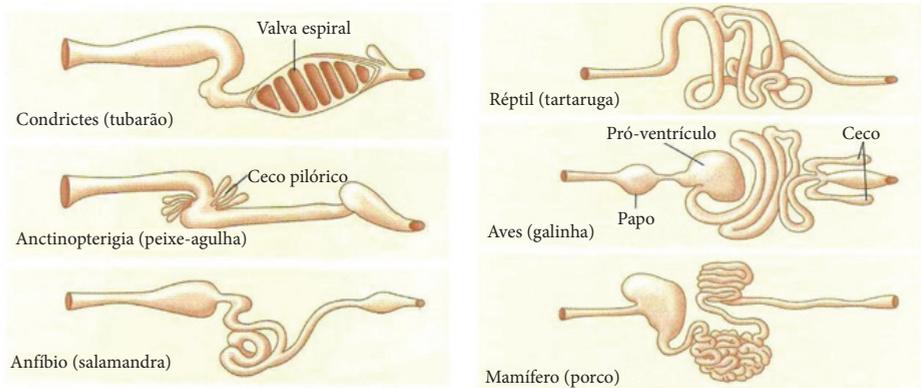


Fonte: Moyes e Schulte (2010, p. 551).

Com a saída do bolo alimentar do estômago, ainda empurrado por movimentos peristálticos, ocorre a abertura do esfíncter pilórico, que separa o estômago do intestino. O bolo alimentar segue para o intestino delgado. Lá, na região do duodeno, é lançado o produto do fígado (bile) e pâncreas (glândulas acessórias). Esse momento corresponde ao final da digestão. A absorção dos nutrientes ocorre no jejuno-íleo, onde há a presença de microvilosidades, que aumentam a superfície de contato com o alimento e ampliam a eficiência da absorção. No intestino grosso, os restos não digeridos formarão as fezes, que serão removidas pelo corpo através da defecação.

A morfologia do intestino difere nas espécies em comprimento e complexidade. O ceco é uma expansão que pode aparecer no intestino a partir de uma evaginação, localizado na junção do intestino delgado com o grosso, onde o alimento circula como parte do processo digestório.

Figura 3.10 | Representação da diversidade morfológica do sistema digestório em vertebrados



Fonte: Moyes e Schulte (2010, p. 550).

Nos peixes cartilaginosos (tubarões), o intestino delgado apresenta uma prega ou válvula espiral, que aumenta a superfície de absorção. Entre os anfíbios, as vilosidades intestinais estão ausentes em algumas espécies de rãs, e o intestino grosso termina em uma cloaca.



Assimile

O estômago e o intestino têm morfologias diferentes entre as espécies. O estômago pode estar ausente; em formato de J; alongado e dobrado em espiral; em forma de saco etc. A região do intestino delgado pode ser muito comprida, mas seu diâmetro é menor que o do intestino grosso, e possui vilosidades. Nos mamíferos, o intestino delgado pode apresentar três regiões: duodeno, jejuno e íleo. O intestino grosso é assim chamado em virtude do seu grande diâmetro. É geralmente um tubo reto que segue até a cloaca ou ânus, podendo formar alças. Nos mamíferos herbívoros, encontramos intestinos muito grandes por causa da dieta, que precisa de processos de absorção mais lentos e eficientes para extrair a maior parte dos nutrientes, diferentemente dos carnívoros, que apresentam intestinos menores.

Sem medo de errar

Depois de conhecer e estudar sobre o sistema digestório, você já deve ter percebido a importância que esse sistema tem para a sobrevivência de um animal. As especializações dos dentes, do estômago, do intestino e do comportamento alimentar são essenciais para a sobrevivência e a perpetuação de uma espécie. Então, vamos retomar a situação-problema proposta no início desta seção. O ambiente é um zoológico e você está ajudando na área de alimentação. Agora você já sabe que, além da dentição, os herbívoros também apresentam outras especializações para aproveitar melhor o alimento, já que a celulose é um carboidrato de difícil digestão e pobre em nutrientes, sendo necessária a ingestão dela em grandes quantidades. Então, esses animais apresentam simbiose com microrganismos capazes de quebrar a celulose e torná-la disponível como nutriente. O esôfago dilatado, formando câmaras de fermentação, é uma das formas das especializações. Outra é o tamanho do intestino delgado, maior nesses animais, para aumentar a superfície de contato com o alimento, aumentando sua absorção.

Bois, camelos e outros animais conhecidos como ruminantes ainda regurgitam, ou seja, o alimento depois de deglutido, o alimento volta à boca para ser mastigado novamente, para quebrá-lo mecanicamente e facilitar a ação de microrganismos na fermentação nas câmaras estomacais. Lembrando que eles não possuem quatro estômagos, mas, sim, câmaras, que são dilatações do esôfago, e um estômago verdadeiro, onde ocorre a digestão química, como nos demais animais.

Avançando na prática

Vivendo sem estômago ou intestino

Descrição da situação-problema

Você estudou as estruturas que compõem o sistema digestório dos animais e suas funções. Considere um animal que perdeu seu estômago ou intestino por alguma razão. As estrelas-do-mar, por exemplo, evisceram seu estômago para alimentarem-se e podem vir a sofrer um ataque e perdê-lo. Os pepinos-do-mar podem eviscerar todo o sistema digestório, o que poderia também deixá-lo vulnerável a um ataque. O homem pode passar por uma cirurgia de retirada de estômago (parcial ou total) ou de intestino. Nesses casos, quais as consequências da perda dessas estruturas na vida do animal?

Resolução da situação-problema

Como vimos, o estômago tem papel importante na digestão química dos alimentos. A sua perda compromete o aproveitamento adequado dos nutrientes, no caso da estrela e do pepino-do-mar. O pepino-do-mar consegue regenerar todo o sistema digestório, por isso, sobreviverá, diferentemente da estrela-do-mar. O homem sem estômago também terá comprometida sua digestão, mas, alterando o modo de ingestão de alimentos, conseguirá sobreviver, bem como se tiver a retirada do intestino de forma parcial ou total. A falta do intestino compromete a absorção dos nutrientes, ou seja, se ele ingerir outros alimentos, em quantidade e qualidade adequadas, é possível manter a vida.

Faça valer a pena

1. Você sabia que seres microscópicos presentes no organismo de ruminantes, como bovinos e caprinos, influenciam na produção de gases poluentes? Algumas iniciativas, como melhorar a eficiência da digestão podem reduzir essa emissão. Pesquisadores do mundo todo se dedicam a essa causa, visando a minimizar os impactos ambientais. Parte dessa rede de investigação, uma equipe da UFJF do Laboratório de Protozoologia (LabProto/UFJF) se tornou a única equipe especializada no Brasil em identificar e analisar em profundidade os protozoários ciliados presentes no rúmen, primeiro compartimento do estômago dos ruminantes. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/noticias/2015/03/13/melhorar-a-eficiencia-digestiva-de-ruminantes-pode-impactar-o-meio-ambiente/>>. Acesso em: 21 jan. 2017.

Assinale a alternativa correta sobre o sistema digestório dos ruminantes:

- a) Os ruminantes apresentam quatro estômagos.
- b) Microrganismos presentes no rúmen agem sobre a celulose.
- c) O alimento presente no abomaso retorna à boca para ser remastigado.
- d) O fígado é um órgão do sistema digestório dos vertebrados.
- e) O intestino delgado apresenta grande calibre.

2. A diversidade animal, seja ele invertebrado ou vertebrado, gerou também diversidade de comportamento e de padrões alimentares. Para a captura e a alimentação, os animais desenvolveram estruturas especializadas a cada tipo alimentar e a cada ambiente. Cavidade bucal com presença de dentes, língua, mandíbulas fortes para quebrar e triturar alimentos são algumas especializações encontradas no reino

animal.

Assinale a alternativa correta sobre estruturas especializadas do sistema digestório:

- a) O tiflosole é uma prega intestinal com função de armazenamento.
- b) O papo das aves funciona como um estômago químico.
- c) A rádula é uma espécie de língua áspera para retirar alimento do substrato.
- d) As presas são modificações dos ossos do crânio.
- e) Os vertebrados apresentam dentes iguais morfológicamente.

3. Diferentemente dos vertebrados, que apresentam um sistema digestório mais homogêneo, os invertebrados apresentam diferenças bem marcantes entre um grupo e outro. Com base nesse contexto, analise as afirmações a seguir:

I. A rádula é utilizada pelos gastrópodes (moluscos) para moer, raspar ou cortar alimentos.

II. A probóscide é utilizada por alguns insetos, e eles desenrolam-na para capturar presas.

III. Os poríferos dependem da digestão intracelular conhecida como fagocitose.

Analise as afirmações e escolha a alternativa correta:

- a) As afirmações I e II estão corretas.
- b) As afirmações II e III estão corretas.
- c) As afirmações I e III estão corretas.
- d) As afirmações I, II e III estão corretas.
- e) Nenhuma alternativa está correta.

Seção 3.3

Anatomia geral e comparada dos sistemas excretor e reprodutor

Diálogo aberto

Caro aluno, estamos finalizando a Unidade 3 da disciplina de Anatomia geral e comparada e você já conheceu alguns sistemas dos animais vertebrados e invertebrados. Você já deve ser capaz de identificar os sistemas esquelético, muscular, nervoso, respiratório e digestório. Agora, vamos conhecer o excretório e o reprodutor, cujas estruturas e funções tornam possível a eliminação de metabólitos secundários tóxicos ao organismo e à perpetuação da espécie. Na introdução desta unidade, foi proposta uma situação em que você trabalharia em um zoológico. Esse zoológico precisa cuidar de diversos animais, tanto vertebrados quanto invertebrados. Precisa manter os recintos limpos e adequados para a boa saúde de cada animal. Em uma instituição como essa, é comum haver berçários e estímulo para reprodução entre os animais. Muitas vezes, há intercâmbio com outras instituições. Em um final de tarde, observando os animais, um dos visitantes conta para você que já viu vários animais "prontos para acasalar", mas nunca viu uma ave na mesma situação. Os mamíferos, como a maioria das pessoas sabem, apresentam órgão copulador, mas as aves não. Você é capaz de explicar as diferenças entre as estruturas reprodutoras de mamíferos e aves?

Não pode faltar

Durante o metabolismo dos animais ocorre a produção de substâncias que precisam ser eliminadas por serem tóxicas ao organismo. A fisiologia e a anatomia das estruturas envolvidas na excreção estão ligadas à evolução. Cada grupo animal apresenta estruturas para excreção adequadas ao seu tipo de vida.

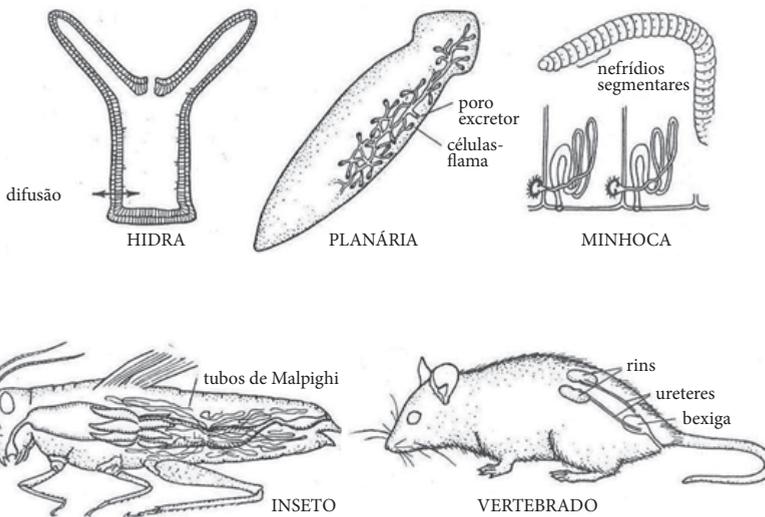
Nesta seção, também estudaremos o sistema reprodutor, responsável pela perpetuação das espécies. Alguns animais reproduzem-se assexuadamente, de forma rápida, o que gera organismos idênticos geneticamente. Outros se reproduzem sexuadamente com produção de gametas com custo energético alto e variabilidade genética.

Sistema excretório

Nos invertebrados marinhos, cada grupo apresenta uma forma específica de eliminação de excretas (resíduos metabólicos). Poríferos e cnidários não apresentam sistema excretor. Eles eliminam seus resíduos por difusão. Os vermes platelmintos apresentam protonefrídeos com células-flama. A célula-flama (solenócito) é terminal, com formato de cálice, com um conjunto de flagelos que captam excretas do espaço intracelular e as lançam em canais excretores, que, por sua vez, se abrem em poros excretores dorsais (Figura 3.11). Moluscos e anelídeos contam com um par de rins (nefrídeos), apresentam ductos com uma abertura voltada para o interior do organismo (em forma de funil ciliado - nefróstoma) e outra voltada para fora, para eliminação dos resíduos. Em muitos moluscos, os dutos dos rins servem como via para liberação de ovos e espermatozoides.

Entre os artrópodes, aranhas e insetos apresentam túbulos de Malpighi, que recolhem e liberam os resíduos metabólicos no intestino, diferentemente dos anelídeos, que os liberam na superfície corporal. Muitas aranhas também possuem glândulas coxais, que são nefrídeos modificados que se abrem nas coxas dos membros locomotores. A maioria dos crustáceos possui órgãos excretores do tipo nefrídeos, que se diferenciam quanto à forma dos poros, associada às antenas, às glândulas antenais, ou às maxilas e às glândulas maxilares. Nos decápodos, os órgãos excretores estão associados às antenas, e são chamados de glândulas verdes.

Figura 3.11 | Representação dos tipos de sistema excretório nos animais vertebrados e invertebrados



Fonte: Storer et al. (1989, p. 112).

Nos equinodermos, o sistema excretor está ausente, e seus resíduos metabólicos são difundidos pela água circulante no sistema hidrovascular.

Os vertebrados apresentam sistema excretor semelhante, com presença de rins – em que a unidade filtradora são os néfrons e os túbulos associados. A presença da bexiga, órgão oco e muscular para armazenamento da urina, é verificada na maioria dos animais.



Assimile

As aves, assim como os répteis, têm como resíduo metabólico o ácido úrico em vez de ureia. No ovo, os produtos de excreção devem permanecer dentro da casca, como auxílio no crescimento do embrião. Se fosse ureia, acumularia em solução até níveis tóxicos. O ácido úrico cristaliza-se fora de solução, podendo ser estocado dentro da casca de forma inofensiva. O rim das aves é muito menos eficiente que o rim dos mamíferos na remoção de solutos e, para compensar, algumas aves, especialmente as marinhas, excretam o excesso de sal da alimentação através de glândulas de sal, extrarrenais. São localizadas acima de cada olho das aves marinhas, e podem excretar soluções altamente concentradas de sal (cloreto de sódio).

Os rins dos vertebrados contribuem com a manutenção do ambiente interno, montando o equilíbrio ou homeostase, ou seja, mantendo as condições ideais para o metabolismo celular através da excreção e osmorregulação. A eliminação de água e subprodutos do metabolismo pode ser realizada pela secreção dos constituintes nos túbulos ao longo do seu percurso (rins de secreção – maioria dos insetos e alguns invertebrados) ou pela formação do filtrado glomerular a partir da filtração de líquidos e solutos no glomérulo (rins de filtração - vertebrados).

O sistema excretor pode ser dividido em órgãos secretores, que produzem a urina, e órgãos excretores, aqueles que conduzem a urina para fora do corpo. Os órgãos desse sistema são: rins, ureteres, bexiga e uretra. Os ureteres, a bexiga e a uretra não alteram a urina, têm como função direcionar e armazenar os fluidos. Os rins têm como unidades funcionais os néfrons, onde a urina será formada a partir da filtração dos fluidos corporais.

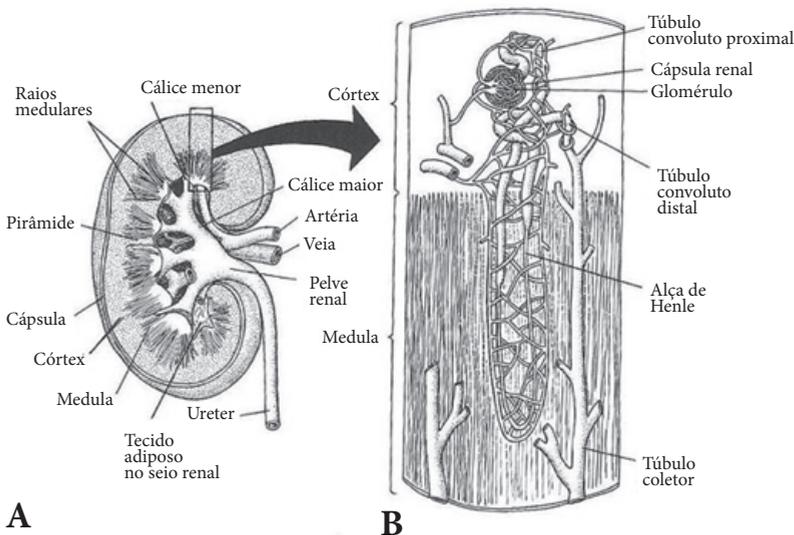
Os rins são órgãos pares, localizados logo acima da cintura, entre o peritônio e a parede posterior do abdome. Apresentam cerca de 11,25 cm de comprimento, 5 a 7,5 cm de largura e um pouco mais que 2,5 cm de espessura. O rim direito normalmente situa-se ligeiramente mais baixo quando comparado ao rim esquerdo, devido ao grande tamanho do lobo direito do fígado. O peso do rim do homem adulto varia entre 125 e 170 g; o da mulher adulta, entre 115 e 155 g. Em corte transversal, o

rim apresenta uma área central, que é a medula, e uma área periférica, o córtex (Figura 3.12). Com coloração vermelho-parda, são descritos como órgãos retroperitoneais, por estarem posicionados posteriormente ao peritônio da cavidade abdominal. O peritônio é uma membrana serosa de parede dupla que forra a parede abdominal (peritônio parietal) e também alguns órgãos (peritônio visceral), como os rins, à semelhança do que a pleura faz no tórax.

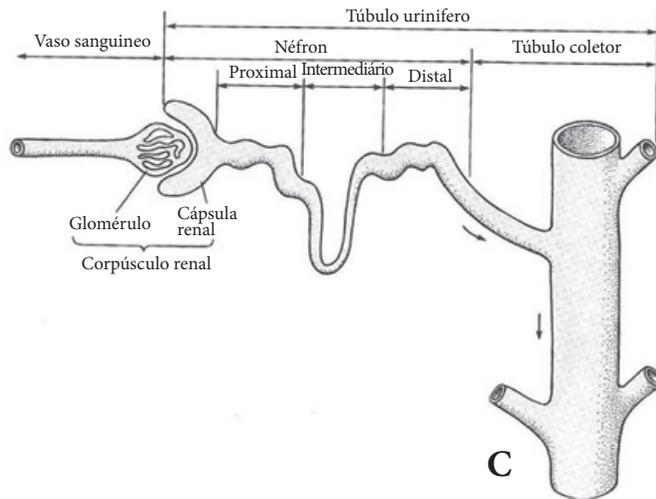
A estrutura do néfron é formada pelo glomérulo onde ocorre a filtração do sangue. O filtrado produzido segue para a cápsula de Bowman, que se estende para o túbulo proximal, intermediário (alça de Henle), distal e túbulo coletor (Figura 3.12). Durante o trajeto, o filtrado tem sua composição modificada por processos fisiológicos (secreção seletiva que adiciona certos constituintes ao filtrado e reabsorve outros), chegando ao túbulo coletor com a composição final da urina. Nos vertebrados, à medida que o filtrado se move ao longo dos túbulos, a maior parte da água é absorvida de volta aos capilares sanguíneos.

O filtrado no túbulo coletor já é chamado de urina, e é levado à bexiga através dos ureteres. Da bexiga, a urina é eliminada pela uretra, que, no homem, é utilizada também para liberação do sêmen e, por isso, muitos autores dão ao órgão o nome de sistema urogenital.

Figura 3.12 | Estrutura de um rim: A. Corte mostrando as principais estruturas e a saída do ureter. B. O túbulo começa no córtex, forma uma alça através da medula, retorna ao córtex e se une ao túbulo coletor. C. Representação das estruturas do néfron



Fonte: Storer et al. (1989, p. 112).



Fonte: Kardong (2016, p. 554).

Sistema reprodutor

A reprodução está diretamente ligada ao ambiente. Animais aquáticos, em geral, utilizam-se de fertilização externa, liberando gametas na água. No ambiente terrestre, isso ficaria inviável pela dessecação dos gameta. Nesse caso, a fecundação interna é o padrão utilizado.



Exemplificando

Alguns animais, como artrópodes e moluscos, produzem uma cápsula com espermatozoides chamada de espermatóforo. O macho coloca o espermatóforo no substrat, que depois é transferido para o corpo da fêmea. O exemplo mais interessante é o dos escorpiões. Com uma dança de acasalamento, o macho segura a fêmea enquanto caminha para a frente e para trás, direcionando a fêmea até o espermatóforo, que é capturado pelo seu poro genital. Vale lembrar que os escorpiões podem ser ovovíparos (desenvolvimento de ovos dentro do corpo da fêmea) ou vivíparos (embrião desenvolve dentro do corpo da fêmea dependendo nutricionalmente del). Em ambos os casos, os embriões desenvolvem-se dentro do trato reprodutor das fêmeas.

A reprodução assexuada por brotamento, fissão e fragmentação é encontrada nos invertebrados marinhos: esponjas (poríferos), pepinos-do-mar (equinodermos) e anêmonas (cnidários). Geram indivíduos idênticos (clones) sem variabilidade genética, mas é uma forma rápida de reprodução. Algumas espécies de cnidários realizam alternância de gerações. Na forma de pólipos, realizam reprodução assexuada, e; na forma de medusa, reprodução sexuada.

A reprodução sexuada é realizada por gametas feminino e masculino, que podem ser liberados na água para a fertilização externa, com formação de larvas, ou com a presença de órgão reprodutor. O macho introduz espermatozoides dentro do corpo da fêmea. A união dos gametas feminino e masculino pela fecundação/fertilização gera indivíduos geneticamente diferentes, o que chamados de variabilidade genética, apesar de ter um custo energético elevado.

Alguns animais podem apresentar estruturas reprodutoras masculinas e femininas no mesmo corpo. São chamados de monoicos ou hermafroditas. Podem ou não se autofecundar. Aqueles que apresentam órgãos reprodutores separados são conhecidos como dioicos.

O sistema reprodutor inclui gônadas (ovários e testículos), hormônios, gametas (óvulos e espermatozoides) e ductos que transportam os gametas. O ovário encontra-se suspenso a partir da parede dorsal por um mesentério. Na maioria dos vertebrados, os ovários são pareados. Todavia, em alguns répteis, morcegos e na maioria das aves, existe um único ovário funcional.

Depois da liberação do óvulo, a fimbria movimenta o óvulo para dentro do oviduto, onde ocorre o encontro do óvulo e do espermatozoide (fecundação). Na fecundação externa, o músculo liso e os cílios direcionam o óvulo para fora, onde será fertilizado. O oviduto pode adicionar camadas de membrana ou casca ao óvulo fertilizado de alguns vertebrados, como de aves e alguns répteis.

O útero é a porção terminal do oviduto, no qual os embriões e os ovos com casca completam seu desenvolvimento. Nos mamíferos, as paredes do útero e as membranas do embrião realizam associação vascular com a placenta. As extremidades terminais do oviduto podem fundir-se em um único útero e uma vagina ao longo da linha média do corpo. A vagina recebe o pênis do macho ou órgão introdutor durante a cópula.

No macho, com algumas exceções, os testículos são pareados e suspensos na parede dorsal por um mesentério. Têm como função a produção de espermatozoides e hormônios. Nos ductos, os espermatozoides são transportados por líquidos produzidos por glândulas acessórias. A glândula bulbouretral libera um muco antes da ejaculação. A próstata secreta uma substância alcalina para proteger os espermatozoides da acidez da urina remanescente no ducto. É a glândula seminal produz secreção espessa, rica em frutose, como fonte nutricional para os espermatozoides.

Em muitos vertebrados, a cópula envolve o encontro de cloacas do macho e da fêmea para a transferência de espermatozoides. No entanto, em geral, o macho possui órgãos introdutores especializados na liberação de espermatozoides. Nos tubarões e nas raias, as nadadeiras pélvicas são especializadas em cláspes. Durante a cópula, um deles é introduzido na cloaca da fêmea. Nas rãs, a fertilização é externa, a partir de um abraço nupcial (amplexo). O macho agarra a fêmea por cima e libera os espermatozoides à medida que a fêmea libera os óvulos.



Pesquise mais

A fertilização artificial ou in vitro (FIV) é uma tecnologia utilizada para casais que têm dificuldade em engravidar pelas vias naturais. Entretanto, também é utilizada para a perpetuação de espécies em risco de extinção, em que o número de animais não é suficiente para realizar o acasalamento em condições naturais. Outra situação na qual a fertilização in vitro é utilizada é no melhoramento genético de alguns animais. A escolha de sêmen de touros selecionados aumenta a qualidade do rebanho. Leia mais sobre a FIV: disponível em: <<http://www.bioteconlogiaanimal.com.br/fecundacao-in-vitro-fiv/tecnicas-e-procedimentos>>. Acesso em: 6 fev. 2017. E sobre a FIV em gado de corte e leite, disponível em: <<http://www.invitrobrasil.com.br/fiv-bovinos.php>>. Acesso em: 6 fev. 2017.

Vale lembrar que a cloaca é uma câmara comum que recebe produtos dos rins, intestinos e, com frequência, das gônadas.

Alguns machos de aves, de tartarugas, de crocodilos e de mamíferos têm um único pênis, localizado na linha média do corpo. Nos lagartos e nas cobras, os machos possuem um par de órgãos introdutores, o hemipênis, áspero e espinhoso em sua extremidade, para assegurar o encaixe seguro na cloaca das fêmeas.

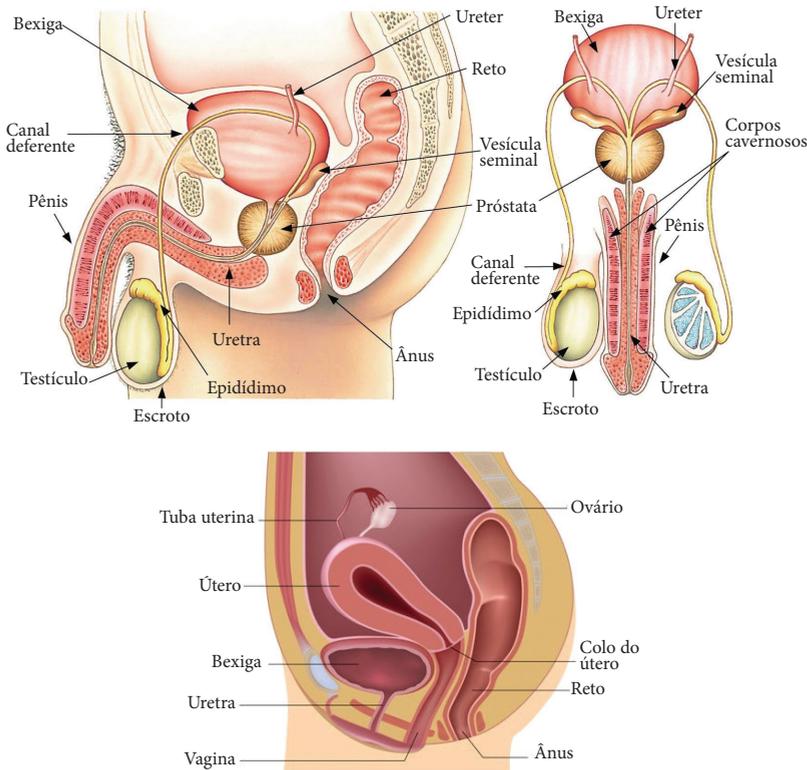
Nas aves, são encontrados dois tipos de órgãos introdutores. A margem da cloaca sofre entumescimento durante a cópula, e elas são pressionadas uma contra a outra durante a cópula (coito). Assim, o sêmen flui para a cloaca da fêmea, como no caso dos perus domésticos. Já os avestruzes e algumas outras espécies possuem pênis verdadeiro, com corpo erétil, que o macho introduz na cloaca da fêmea. Quando relaxado, o pênis é enrolado e guardado na parede ventral da cloaca.

Todos os mamíferos copulam com um pênis, que apresenta o corpo esponjoso, que se torna entumescido pelo sangue. Os mamíferos insetívoros, morcegos, roedores, carnívoros e primatas (exceto o homem) apresentam um báculo (osso do pênis), localizado dentro do tecido conjuntivo, para endurecê-lo.

As estruturas do sistema reprodutor e parte do sistema excretor estão localizadas na cavidade abdominal pélvica. No homem, temos como órgãos reprodutores o saco escrotal, onde estão localizados os testículos (para produção de espermatozoides e do hormônio testosterona), seguido pelo epidídimo, onde os espermatozoides passam por maturação e seguem pelo ducto deferente, que passa pelas glândulas acessórias acrescentando os líquidos seminais e chega à uretra para a liberação do sêmen (Figura 3.13). Atenção à uretra, que é um órgão tanto do sistema excretório quando do sistema reprodutor, o que não ocorre nas mulheres.

Nas mulheres, há a presença dos ovários (produção de óvulos e hormônios progesterona e estrogênio). Os óvulos são liberados e capturados pelas fímbrias (estruturas em forma de dedos) até as tubas uterinas, onde pode ocorrer a fecundação. O óvulo segue até o útero, onde é formada uma camada de tecido - endométrio -, onde ocorrerá a nidação do embrião (se ocorrer a fecundação) ou será eliminado com o óvulo na forma de menstruação através da vagina (Figura 3.13). Note a separação total entre sistema excretório e reprodutor, diferentemente dos homens.

Figuras 3.13 | Representação do sistema reprodutor masculino e feminino, e a localização de suas principais estruturas na cavidade abdominal pélvica



Fonte: <<https://goo.gl/cILuOA>> e <<https://goo.gl/J8qyUV>>. Acesso em: 19 maio 2017.



Refleta

Mudanças no habitat dos animais têm levado algumas espécies ao risco de extinção. O número de indivíduos na natureza, muitas vezes, não é suficiente para a manutenção da espécie e, os que estão em cativeiro, muitas vezes, são irmãos ou parentes próximos, o que muitas vezes inviabiliza a reprodução. A biotecnologia poderia ser uma ferramenta para evitar a extinção de algumas espécies. No entanto, a pesquisa e a realização das técnicas têm custo alto. Nesta seção, você conheceu a técnica de fertilização in vitro que poderia ser utilizada para este fim. Você, como futuro biólogo, já pensou na utilização da biotecnologia, como a FIV, para evitar a extinção de uma espécie? concorda em direcionar recursos para esse fim? Pense nisso!

Sem medo de errar

Depois de conhecer o sistema excretório e o sistema reprodutor, vamos voltar à situação-problema sugerida. Um visitante diz que já viu vários animais “prontos para acasalar”, mas nunca viu uma ave na mesma situação. Isso ocorre porque mamíferos, de forma geral, ficam com o pênis ereto exposto, enquanto as aves que apresentam pênis os têm localizados dentro da cloaca. Quando estão relaxados, ficam enrolados na parede da cloaca, e quando eretos, são de difícil visualização, como é o caso das avestruzes. E existem também as aves sem pênis, em que a cópula ocorre pelo contato entre as cloacas, diferentemente dos mamíferos.

Avançando na prática

Anatomia e reprodução

Descrição da situação-problema

Considere um mamífero, macho, de cativeiro, do qual será coletado sêmen para fecundação in vitro. O animal fica doente e, após curar-se, você percebe que, apesar de ele ter ereção após estimulação, não libera sêmen ou libera uma pequena quantidade de líquido. Pensando na anatomia do animal estudada nesta seção, o que você sugere que possa ter acontecido?

Resolução da situação-problema

O animal não passou por nenhuma cirurgia, ou seja, todos os órgãos estão presentes. A ereção continua a acontecer, mas falta o líquido ejaculatório ou o sêmen. Lembre-se de que os líquidos dependem das glândulas acessórias bulbouretrais, próstata e vesícula seminal. Podemos, então, sugerir que a doença pode ter comprometido uma delas e, por isso, a ausência de líquidos.

Faça valer a pena

1. Os componentes do sistema excretor estão diretamente relacionados ao ambiente em que o animal vive. Eles têm como função retirar e eliminar compostos do metabolismo que podem ser tóxicos ao organismo. Analise as estruturas a seguir, listadas na Coluna 1, com os animais, listados na Coluna 2.0

Coluna I.

1. Célula-flama.
2. Glândula antenal.
3. Nefrídeos.
4. Rim.

Coluna II.

- a) Minhoca.
- b) Rato.
- c) Aranha.
- d) Platelmino.

Escolha a alternativa que apresenta a associação correta:

- a) 1a, 2b, 3c, 4d.
- b) 1d, 2c, 3a, 4b.
- c) 1c, 2b, 3a, 4d.
- d) 1d, 2c, 3d, 4a.
- e) 1b, 2c, 3d, 4a.

2. Os animais vertebrados e invertebrados podem reproduzir-se de forma sexuada (com presença de gametas) ou assexuada (bipartição, brotamento). A reprodução sexuada pode ser com fecundação interna, quando o sêmen é depositado dentro do corpo da fêmea, ou externa, com a liberação de gametas na água, muitas vezes com formação de larvas.

Sobre reprodução, escolha a alternativa correta:

- a) A reprodução assexuada gera grande variabilidade genética.
- b) A bipartição e o brotamento geram indivíduos diferentes entre si.
- c) A fecundação interna precisa necessariamente de órgão copulador.
- d) Na reprodução sexuada, há grande gasto energético.
- e) A fecundação externa pode ocorrer em qualquer ambiente.

3. A fecundação interna e a presença do ovo com casca possibilitaram a vida no ambiente terrestre. A proteção dos gametas dentro do corpo da fêmea e o desenvolvimento do embrião fora do corpo, sem a dessecação ou desidratação, possibilitou o desenvolvimento da vida nos mais diferentes ambientes, inclusive desertos.

Assinale a alternativa correta sobre o desenvolvimento do embrião:

- a) Desenvolvimento do embrião dentro do ovo: ovovivíparo.
- b) Desenvolvimento do embrião dentro do corpo da fêmea: ovíparo.
- c) Desenvolvimento do embrião dentro do ovo e dentro do corpo da fêmea: ovovivíparo.
- d) Desenvolvimento do embrião dentro do corpo da fêmea: vivíparo.
- e) Desenvolvimento do embrião dentro do ovo: vivíparo.

Referências

- BIOTECNOLOGIA ANIMAL. **Técnicas e procedimentos**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.biotecnologiaanimal.com.br/fecundacao-in-vitro-fiv/tecnicas-e-procedimentos>>. Acesso em: 6 fev. 2017.
- BRUSCA, R. C.; BRUSCA, J. G. **Invertebrados**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.
- CRUZEIRO DO SUL. **Onça-pintada passa por tratamento dentário**. 2013. Disponível em: <<http://www.jornalcruzeiro.com.br/materia/478120/onca-pintada-passa-por-tratamento-dentario>>. Acesso em: 21 jan. 2017.
- GUYTON, A. C. **Fisiologia e mecanismos de doenças**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993.
- HICKMAN, C. H.; ROBERTS, L. S.; LARSON, A. **Princípios integrados de zoologia**. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.
- IVB. **A fertilização in vitro em bovinos**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.invitrobrasil.com.br/fiv-bovinos.php>>. Acesso em: 6 fev. 2017.
- JACOB, S. W.; FRANCONI, C. A.; LOSSOW, W. J. **Anatomia e fisiologia humana**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1990.
- JUSTE, M. **Jacarés mudam pulmões de lugar para controlar mergulho, diz cientista**. 2008. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Ciencia/0,,MUL384073-5603,00-JACARES+MUDAM+PULMOES+DE+LUGAR+PARA+CONTROLAR+MERGULHO+DIZ+CIENTISTA.html>>. Acesso em: 16 jan. 2017.
- KARDONG, V. K. **Vertebrados: anatomia comparada, função e evolução**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.
- MOYES, C. D.; SCHULTE, P. M. **Princípios de fisiologia animal**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- STORER, T. I. et al. **Zoologia geral**. 2. ed. São Paulo: Nacional, 1989.
- UFJF. **Melhorar a eficiência digestiva de ruminantes pode impactar o meio ambiente**. 2015. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/noticias/2015/03/13/melhorar-a-eficiencia-digestiva-de-ruminantes-pode-impactar-o-meio-ambiente/>>. Acesso em: 21 jan. 2017.

Anatomia geral e comparada dos sistemas tegumentar, sensorial e endócrino

Convite ao estudo

Caro aluno, estamos iniciando a Unidade 4 da disciplina de Anatomia geral e comparada. Neste ponto, você já estudou alguns sistemas dos animais e já está mais familiarizado com a anatomia. Você se lembra da Unidade 1, quando estudou a terminologia anatômica, os ossos e as articulações? Notou como ao longo das outras unidades resgatamos muitas informações dessa unidade? Notou como a linguagem, no início difícil, foi se tornando mais tranquila e compreensível? No dia a dia, é possível usar os conhecimentos anatômicos para entender o que está acontecendo no seu próprio corpo ou mesmo com um animal de estimação. Os animais, sejam vertebrados ou invertebrados, nos cercam o tempo todo e o conhecimento sobre eles é fundamental na profissão do biólogo. Fique sempre atento às novas informações, aos documentários que aparecem nas mídias e às chances de interagir com o meio ambiente e ampliar seus conhecimentos.

Na Unidade 1, estudamos anatomia geral e comparada e sistemas ósseo e articular; na Unidade 2, os sistemas muscular, nervoso e circulatório; na Unidade 3, os sistemas respiratório, digestório, excretor e reprodutor; e agora iniciaremos os estudos sobre os sistemas tegumentar, sensorial e endócrino.

Você já ouviu falar sobre tegumento? Não é uma palavra usual. Em geral, falamos de pele e suas características, como a pele da cobra, que é lisa e gelada, ou a pele do elefante, que é grossa e seca. Temos uma variedade de tegumentos que estão adaptados a condições específicas. O sistema sensorial é o conjunto de estruturas que os animais apresentam para perceber o ambiente ao redor dele e também o ambiente interno do organismo. A visão, a audição, o paladar e o tato são sentidos especiais que colaboram para a sobrevivência dos animais na forma de perceber perigos, alimento e até parceiro sexual.

Já o sistema endócrino tem como função produzir substâncias que serão lançadas na corrente sanguínea para realizar a comunicação entre os diversos órgãos e provocar uma ação específica.

Viu como ainda temos novidades para aprender? Convidamos você a começar mais uma unidade de informações muito interessantes. Para facilitar o estudo, segue uma situação hipotética que tem o objetivo de aproximar o estudo teórico à prática profissional. Vamos começar!

Para estudar e conhecer a pele, em uma feira de ciências, alunos do curso de Ciências Biológicas criaram sessões nas quais os visitantes pudessem conhecer diversos animais. Eles separaram alguns animais que pudessem ser manuseados, sem serem estressados, com uma brincadeira na qual os visitantes deveriam reconhecê-los somente utilizando o tato.

Seção 4.1

Anatomia geral e comparada do sistema tegumentar

Diálogo aberto

O tegumento dos animais, também chamado de pele, tem como função principal a proteção do organismo. Para tal, pode apresentar especializações, como unhas, pelos, penas, escamas, entre outros. Você já deve ter observado um animal com os pelos eriçados em um dia frio ou mesmo por estar com medo. O pelo isola o corpo do animal da troca de calor com o ambiente. Outros animais produzem muco para manter a umidade da pele ou mesmo criar uma película com veneno para não ser predado.

Vamos retomar a situação da feira de ciências dos alunos do curso de Ciências Biológicas, em que criaram sessões com diversos animais para que os visitantes pudessem manuseá-los através de uma brincadeira na qual deveriam reconhecer os animais somente utilizando o tato. Um visitante descreveu que sentia uma pele gelada e úmida em um dos testes; outro descreveu escamas secas, pontiagudas e duras; outro ainda descreveu corpo peludo e quente. Usando seus conhecimentos sobre o sistema tegumentar dos animais, como você classificaria esses animais com base nas descrições? Ainda utilizando o sistema tegumentar, por que alguns animais foram descritos como quentes e outros como frios e úmidos? Ainda, como uma pessoa consegue perceber tantas características utilizando somente as mãos? Quais características estão presentes na pele das mãos que nos fornecem tantas informações?

Não pode faltar

Todos os seres vivos são revestidos externamente, sejam vertebrados ou invertebrados. Para isso, existe um conjunto de estruturas que fornece proteção, como a pele e derivados: pelos, cerdas, escamas, penas e cornos. Tudo isso precisa ser flexível, resistente e proporcionar proteção mecânica contra perfurações e desgaste, além de formar uma barreira contra invasão de microrganismos.

A pele também é classificada como tecido epitelial de revestimento, age como proteção aos raios ultravioletas e tem importantes funções reguladoras, como em animais endotérmicos. Na pele, também encontramos os receptores sensoriais, a função excretora (suor - termorregulação; feromônios - atração sexual), a pigmentação, entre outros.

Os receptores sensoriais estão ligados aos nervos que levam informações do meio interno e externo ao sistema nervoso central, que analisará e responderá da forma adequada. Temos os mecanorreceptores, que respondem a estímulos mecânicos, levando a informação ao sistema nervoso central. A resposta ao frio pode ser as penas ou pelos eriçados, formando um bolsão de ar por meio dos pelos e das penas, impedindo a troca de calor com o ambiente externo.

Invertebrados

Nos protozoários, a proteção tegumentar pode ser apenas uma delicada membrana plasmática como revestimento externo. Entretanto, na maioria dos organismos multicelulares, o revestimento externo é mais complexo, com uma camada de células que forma a epiderme, que pode ter uma cutícula acescentada (acelular, inerte) como proteção extra.

A cutícula varia em espessura e complexidade, e é formada por diversas camadas de quitina, proteína ou outras substâncias. Essa estrutura pode ser reforçada pela formação de ligações cruzadas internas e pela adição de cálcio. Nos insetos, a camada mais externa pode conter cera, o que confere impermeabilidade à água. Também podem ser ornamentadas com espinhos, tubérculos, escamas e serem divididas em segmentos ou anéis.

Os moluscos, por exemplo, têm pele delicada e mole, com glândulas mucosas que podem secretar carbonato de cálcio para a formação da concha. Polvos e lulas (cefalópodes) não apresentam concha externa e, por isso, desenvolveram um tegumento mais complexo, com epiderme simples, cutícula, camadas refletoras e mais uma camada densa de tecido conjuntivo.

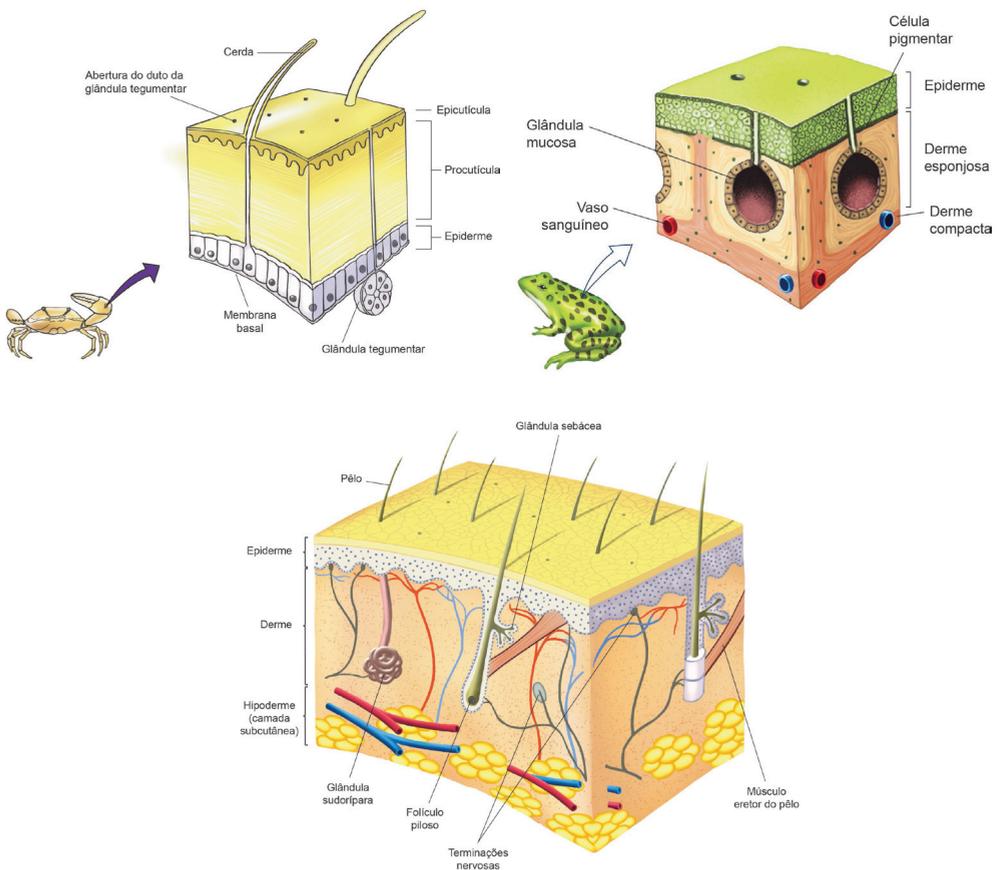
Os artrópodes apresentam o tegumento mais complexo entre os invertebrados, que oferece proteção e também suporte esquelético (o exoesqueleto foi estudado na Unidade 1, Seção 1.2). O tegumento, que forma um exoesqueleto articulado, apropriado para a inserção de músculos, é a característica mais marcante dos artrópodes.

Nos artrópodes, o tegumento é formado por uma epiderme simples (hipoderme), uma camada interna densa, chamada procutícula (proteína e quitina) e uma camada externa da procutícula, a epicutícula (proteína e lipídeo), que oferece uma barreira contra a perda de água (Figura 4.1).

Nos crustáceos decápodos (caranguejos e lagostas), a cutícula é enrijecida pela deposição de carbonato de cálcio (calcificação) da procutícula. Nos insetos, a esclerotização (ligações cruzadas entre as moléculas proteicas na procutícula) forma a esclerotina, uma proteína resistente e insolúvel, que confere o endurecimento do tegumento.

A cutícula dos artrópodes é fortemente resistente à pressão, ao rompimento e à ebulição, além de ser leve. Essa estrutura é trocada por um evento chamado ecdise ou muda, dependente de ação hormonal. O rompimento do exoesqueleto velho ocorre por aumento da pressão sanguínea em pontos específicos do corpo. Antes disso, enzimas secretadas pela epiderme digerem a maior parte da procutícula (material absorvido e reutilizado) o que forma novas epicutícula e procutícula. Após a perda do exoesqueleto velho, o novo torna-se espesso e calcificado ou esclerotizado.

Figura 4.1 | A. Sistema tegumentar de um crustáceo mostrando a cutícula e a epiderme; B. Sistema tegumentar de um anfíbio e C. Estrutura do tegumento humano



Fonte: adaptada de Hickman, Roberts e Larson (2009, p. 610).

Vertebrados

Considerado um dos maiores órgãos do corpo (no caso dos humanos, possui até 15% do peso corporal), o tegumento composto pela epiderme e derme forma uma estrutura bem variada nos vertebrados. A epiderme é encontrada na superfície. Abaixo, encontramos a derme e, entre ambas, a membrana basal.

A epiderme produz pelos, penas, barbatanas, garras, unhas, chifres, bicos e alguns tipos de escamas. A derme dá origem aos ossos dérmicos e osteodermos dos répteis. Entre suas funções, a pele das diferentes espécies de vertebrados, juntamente com outros sistemas, realiza algumas funções. Entre elas, pode estar a regulação osmótica e o movimento de gases e íons para dentro e fora da circulação; a captação do calor necessário ou irradiação do excesso; o isolamento do calor através de pelos; a presença de chifres para a defesa; pigmentos que bloqueiam a luz solar prejudicial e exibem cores durante o corte. Por fim, a barreira formada pela pele impede a entrada de patógenos que nos humanos poderiam causar infecções sérias, como acne, eczema, entre outras.



Assimile

Você já deve ter ouvido falar em chifres, cornos e galhadas, certo? Você sabe diferenciá-los? No texto, está descrito que essas estruturas são parte do tegumento, mas cada um tem uma origem diferente. A pele, com o osso vizinho, forma os cornos e as galhadas verdadeiras. Ao serem formados, o osso se eleva, levando com ele o tegumento subjacente (acima dele). A pele, denominada “veludo”, adquire forma e fornece o suprimento vascular do osso em crescimento. Em determinado momento, o veludo cai, deixando o osso sem revestimento, e a galhada se ramifica. Ocorre nos cervos e alces e, em geral, nos machos. No entanto, caribus e renas de ambos os sexos têm galhadas sazonais. Nos cornos, o tegumento associado produz uma bainha cornificada dura, que se adapta sobre o núcleo ósseo nunca ramificado. No macho, o corno tem função de suportar o impacto durante as lutas entre eles. Nas espécies maiores, as fêmeas geralmente também têm cornos: são menores e nem tão curvos quanto os dos machos. A bainha cornificada externa mais antiga, mas não o osso, que é eliminado anualmente. Os cornos verdadeiros são encontrados em bovinos, antílopes, carneiros, caprinos, bisões, gnus. A girafa apresenta chifres que se desenvolvem a partir de processos cartilagosos separados que se ossificam no alto do crânio, cobertos por pele viva não cornificada.

Derme e epiderme

A derme funciona como suporte da epiderme (fica logo abaixo da epiderme). A presença de colágeno e elastina determina a tensão e a elasticidade da pele que, com a idade, perde essa função, gerando as rugas.

A derme também produz placas ósseas diretamente pela ossificação intramembranosa (ossos dérmicos). Placas dérmicas foram comuns nos ostracodermos (peixes da era Paleozoica), e hoje são encontradas em alguns peixes atuais, como os esturjões.

As escamas dos peixes modernos são estruturas dérmicas flexíveis, delgadas, cobertas por secreção mucosa da epiderme. Os anfíbios não possuem ossos dérmicos na pele (Figura 4.1), mas os répteis os têm, e eles formam a armadura dos crocodilos, dos lagartos e a carapaça das tartarugas. Os ossos dérmicos também dão origem aos chifres e ao osso central dos cornos.

A epiderme de muitos vertebrados produz muco para umedecer a superfície cutânea. Nos peixes, o muco pode dar proteção contra bactérias e colabora com o fluxo da água para a locomoção. Nos anfíbios, o muco desempenha funções semelhantes e ainda ajuda contra o ressecamento da pele em ambiente terrestre.

O ambiente terrestre requer uma proteção extra, e a epiderme forma uma camada externa queratinizada (ou cornificada: estrato córneo), que promove proteção no ambiente seco e abrasivo. Em áreas expostas ao atrito ou uso contínuo (calos, solas dos pés de mamíferos e escamas de répteis e aves), essas regiões se tornam mais espessas. Todas as células do estrato córneo são células mortas que são renovadas pela queratinização (Figura 4.2).

A porção basal da epiderme é constituída por células que sofrem mitose para renovar as camadas superiores. A camada mais externa de células é deslocada para cima por novas gerações de células das camadas inferiores. A queratina (proteína fibrosa dura) se acumula no interior das células, substituindo o citoplasma. A célula morre e é eliminada.



Refleta

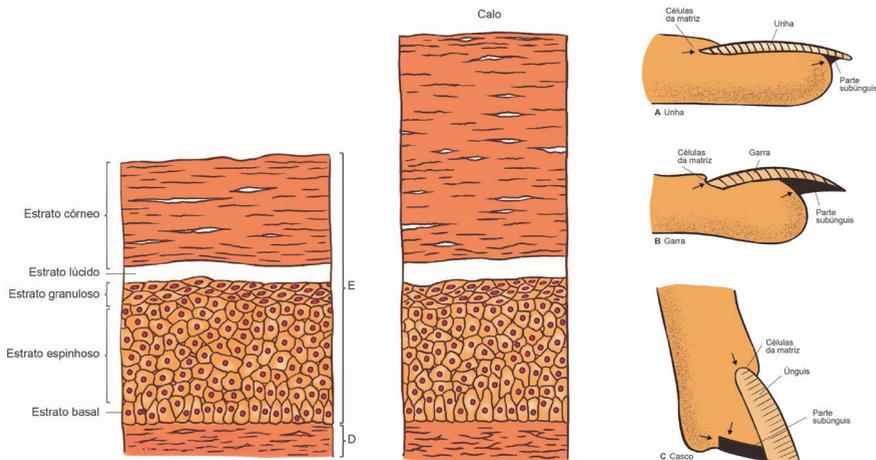
Unhas são placas de células epiteliais cornificadas na superfície dos dedos ou artelhos, produtos do sistema de queratinização da pele. A matriz ungueal forma nova unha na base da unha existente, empurrando-a para a frente, para substituir a que esteja gasta ou quebrada na margem livre. As unhas protegem as pontas dos dedos de lesão mecânica e ajudam a estabilizar a pele na ponta dos dedos e artelhos. Unhas estão presentes nos primatas. Os demais apresentam garras ou talões, que são projeções queratinizadas encurvadas, comprimidas lateralmente a partir dos dedos (anfíbios, aves, répteis e mamíferos). Há casos que são retiradas as garras dos animais para evitar que machuquem ou ataquem seus alimentadores. Entretanto, a retirada pode deixar expostas áreas que podem infeccionar e ainda comprometer a locomoção e a alimentação do animal. As garras mantêm a aderência entre a superfície e o solo, facilitando o deslocamento.

A queratinização extensa produz uma camada cornificada externa, podendo ser acrescentados lipídeos durante o processo, o que aumenta a resistência da pele dos tetrápodes ao ressecamento. Glândulas multicelulares são comuns na pele dos tetrápodes, formando aberturas no estrato córneo, favorecendo a lubrificação.

Nos anfíbios, a pele tem estruturas especializadas na respiração cutânea. Durante a estação reprodutiva, pode formar almofadas nupciais nos dedos ou membros dos machos de salamandras ou rãs. São calos (Figura 4.2) elevados de epiderme cornificada que ajudam o macho a segurar a fêmea durante o acasalamento. Também podem apresentar glândulas de veneno na derme que se abrem na superfície por ductos conectantes.

Peixes, anfíbios e répteis são animais pecilotérmicos, ou seja, não produzem calor de forma ativa e apresentam temperatura similar à do meio ambiente. Os crocodilianos, por terem o tegumento espesso, muitas vezes têm que regular a temperatura mantendo a boca aberta para perder calor ou entrar na água em dias quentes ou após ficar muito tempo ao sol.

Figura 4.2 | Representação da queratinização que ocorre nos lugares de maior atrito mecânico, mostrando o espessamento do estrato córneo (E=epiderme, D=derme); na figura da direita, a representação da unha, garra e casco, derivados dérmicos; placa do epitélio cornificado que cresce para fora a partir de um leito de células da matriz



Fonte: adaptada de Kardong (2016, p. 234).

Nos répteis, a queratinização é mais extensa e as glândulas cutâneas, menos numerosas que nos anfíbios. As escamas dos répteis não têm suporte ósseo ou qualquer contribuição estrutural da derme. É uma dobra na epiderme, portanto, uma escama epidérmica com junção adjacente formando uma articulação flexível. Podem ser modificadas em cristas, espinhos ou processos semelhantes a chifres.

O osso dérmico, presente nos répteis, não está associado a escamas, pode estar na área abdominal (gastrália) ou sustentando a epiderme (osteodermas), sob as escamas epidérmicas. São encontrados em crocodilianos, alguns lagartos e provavelmente em alguns ossos da carapaça de tartaruga.

A muda ou ecdise com desprendimento na camada cornificada pode acontecer nas cobras, resultando na remoção de partes externas da epiderme. O estrato basal duplica as camadas mais profundas, empurrando-as sob as camadas mais antigas.

A presença de glândulas tegumentares em répteis está associada ao comportamento reprodutivo ou para desestimular predadores.

As penas das aves foram consideradas escamas de répteis elaboradas. Ao longo das pernas e pés, as aves apresentam escamas epidérmicas, similares à dos répteis. A derme das aves é altamente irrigada, apresentam terminações nervosas sensoriais e músculos lisos. Sazonalmente, a derme do peito de algumas aves fica mais vascularizada, de forma que o sangue quente fique mais próximo dos ovos incubados.

A epiderme das aves é formada pelo estrato basal e o estrato córneo, e entre elas está a camada de transição. A pele apresenta poucas glândulas, entre elas, a uropigiana (base da cauda) secreta um produto lipídico e proteico que é coletado pelo bico e a ave o espalha sobre as penas, tornando-as impermeáveis à água. Outra glândula presente em algumas aves é a glândula de sal, que excreta o excesso de sal obtido na alimentação através da água do mar.

As penas são produtos cutâneos que não têm vascularização nem inervação. Têm origem epidérmica e do sistema de queratinização. A partir de folículos, invaginações da epiderme, a raiz do folículo associada à derme forma a pena. As penas podem ser de contorno, formando a superfície aerodinâmica da ave; mais próximas à pele, com função de isolamento térmico; especializadas para exibição (filoplumas); ou especializadas para o voo.

A presença de cromatóforos dentro da epiderme leva os pigmentos até as penas para colori-las. A refração da luz também cria algumas cores iridescentes.

Da mesma forma que em outros vertebrados, a pele dos mamíferos é formada pela epiderme e derme unidas pela membrana basal (Figura 4.1). Logo abaixo está a hipoderme, composta por tecido conjuntivo e tecido adiposo (gordura). O tecido adiposo pode produzir gordura (sebo), que é liberada para a epiderme, fazendo sua lubrificação. Na epiderme há especializações, como pelos, unhas e glândulas. Também há queratinócitos, que formam a camada superficial cornificada morta da pele e cromatóforos, que secretam grânulos de melanina, resultando na cor da pele.



Exemplificando

A pelagem ou cobertura espessa de pelos é composta por pelos de guarda (ásperos e maiores) na superfície do corpo e pelagem inferior (fina e curta) que fica abaixo dos pelos de guarda. Por funcionar como isolamento (junto do tecido adiposo) nos animais marinhos, a pelagem inferior é reduzida. A posição do pelo pode ser assentada em uma direção específica para resistir a choques ou, no caso das toupeiras, que precisam ir e voltar pelos túneis, o pelo pode se inclinar para a frente e para trás sem muita diferença na posição. Os pelos também promovem a proteção da pele contra os raios ultravioletas. O homem é considerado um “macaco nu”, pois lhe falta a proteção da pele observada na maioria dos demais mamíferos.

A derme dos mamíferos tem a camada papilar externa com projeções denominadas papilas dérmicas e a camada reticular mais profunda, com tecido fibroso, que ancora a derme à fáscia. Na derme, encontramos vasos sanguíneos (que nutrem a epiderme), nervos e músculos lisos que não chegam à derme. O osso dérmico está presente no crânio e na cintura escapular.

A haste do pelo é projetada na superfície da pele, mas é produzida dentro do folículo piloso enraizado na derme. Durante o crescimento do pelo, há proliferação de células na papila pilosa na base do pelo. Essas células tornam-se inativas e morrem, e o pelo entra na fase de degeneração. Em seguida, o folículo entra na fase de repouso (semanas ou meses), a papila forma um novo folículo. A haste do pelo antigo cai e é substituída pela haste nova. O músculo eretor do pelo ancorado na derme está inserido no folículo e faz o pelo se eriçar em resposta ao frio, medo ou raiva.

A presença dos pelos, penas e glândulas sudoríparas tem papel fundamental na termorregulação. Os mamíferos e as aves são animais endotérmicos, produzem calor de forma ativa, com gasto de energia. Também são classificados como homeotérmicos, capazes de manter a temperatura e, para isso, criam camadas que protegem contra a perda de calor. A hipoderme com tecido lipídico também faz parte do isolamento térmico.

De forma geral, nossa pele é dinâmica, sendo renovada constantemente pela ação das células basais. A atividade da epiderme é influenciada em grande parte pela derme subjacente. As células queratinizadas da superfície são constantemente esfoliadas e substituídas por células da camada mais profunda da epiderme, o estrato basal. À medida que elas passam para níveis mais altos, passam por estágios de queratinização. Os queranócitos produzidos pela camada basal vão sendo levados à superfície, passando pelas diversas camadas: estrato espinhoso, estrato granuloso, estrato lúcido e estrato córneo (tecido cornificado).



Pesquise mais

As glândulas tegumentares nos mamíferos são: **glândulas sebáceas** - produzem oleosidade ou o sebo da pele, eliminando sua secreção no folículo pilossebáceo (não estão presentes nas palmas das mãos e plantas dos pés); **glândulas sudoríparas** - produzem suor e regulam a temperatura corporal, podem ser écrinas (produzem suor diretamente na pele) e apócrinas (presente nas axilas, região genital e ao redor dos mamilos, sendo responsáveis pelo odor característico do suor). As glândulas odoríferas, sudoríparas e mamarias são derivadas delas. A liberação de odores tem diversas funções no reino animal. Pode estar relacionada à defesa (gambás) ou à reprodução (feromônios). Outras funções estão sendo estudadas, como a liberação de odores de tumores, que podem ser percebidos tanto pelo homem quanto pelos animais. Estudos mostram que é possível, através do cheiro, realizar pré-diagnósticos de tumores. Saiba mais no link a seguir, disponível em: <<http://exame.abril.com.br/tecnologia/pesquisa-tenta-confirmar-diagnostico-de-parkinson-pelo-odor/>>. Acesso em: 1 mar. 2017. Outro trabalho sobre a habilidade de cachorros em detectarem tumores precoces, discutido por pesquisadores, está disponível em: <<http://exame.abril.com.br/tecnologia/cachorros-que-farejam-cancer-oferecem-novas-opcoes-de-testes/>>. Acesso em: 1 mar. 2017.

Sem medo de errar

No início desta unidade, foi proposta uma situação-problema. Para estudar e conhecer a pele, em uma feira de ciências, alunos do curso de Ciências Biológicas criaram sessões nas quais os visitantes pudessem conhecer diversos animais. Eles separaram alguns animais que pudessem ser manuseados, sem estressá-los, através de uma brincadeira em que os visitantes deveriam reconhecê-los somente utilizando o tato. Durante o evento, um visitante descreveu que, ao manusear o animal, sentia uma pele gelada e úmida, e outro descreveu escamas secas, pontiagudas e duras. Outro ainda descreveu corpo peludo e quente. Agora que você já conhece o tegumento de alguns animais, podemos sugerir aqueles que foram utilizados na feira de ciências.

1. Corpo com pele gelada e úmida - se o visitante acrescentar pele lisa, descartamos os peixes e podemos ficar com os anfíbios, animais de pele lisa, úmida e corpo frio por serem pecilotérmicos (não produzem calor de forma ativa). Outro animal com características semelhantes seria um réptil lacertílio ou cobra.

2. Corpo com escamas secas, pontiagudas e duras - como são escamas secas, descartamos novamente os peixes. Pele seca, sugerimos os répteis, como um lagarto, um jacaré (dificilmente estaria em uma feira de ciências) ou uma tartaruga.

3. Corpo peludo e quente - os mamíferos de forma geral apresentam pelos e têm corpo quente (endotérmicos - produzem calor de forma ativa), podendo ser um cachorro, um gato, um camundongo ou qualquer outro de fácil acesso para uma feira.

A última situação a ser respondida é como uma pessoa consegue perceber tantas características utilizando somente as mãos? Quais características estão presentes na pele das mãos que nos fornecem tantas informações? A presença de receptores no corpo dos animais faz com que eles percebam o ambiente. No homem, receptores (ligados ao sistema nervoso) de tato fazem com que consigamos identificar objetos sem precisar visualizá-los.

Avançando na prática

Queratinização

Descrição da situação-problema

Os animais de médio e grande porte podem desenvolver calosidades no corpo pelo atrito constante da pele com superfícies duras. São chamados de calos de apoio ou de decúbito. Os fatores que levam a isso são o piso e o peso do animal. Quanto mais rugoso, maior o atrito ou a fricção com a pele. É comum ocorrer em cachorros, coelhos e gado. Imagine que você foi chamado por um grupo de donos de animais para explicar e resolver o problema de calosidades em diversos animais. Explique como ocorre a formação dos calos e sugira formas para evitá-los.

Resolução da situação-problema

Com relação ao tegumento dos animais, às camadas que o formam e ao processo de queratinização, os calos acontecem pelo atrito da pele (epiderme) do animal com uma superfície dura.

A superfície da pele chamada de epiderme é constituída por queranócitos, produzidos pela camada basal pelo processo de queratinização (corneificação), sendo levado à superfície, dando origem à camada córnea responsável pela proteção da pele, onde ocorre o atrito e a formação do calo. Estas células são constantemente substituídas por outras. Para evitar a formação das calosidades, deve-se evitar o atrito constante em determinadas áreas do corpo animal, controlando o peso e o piso onde esses animais são criados.

Faça valer a pena

1. A pele, integrante do sistema tegumentar, é considerada o maior órgão do corpo humano, recoberto cerca de 7500 cm² de um indivíduo adulto. Com funções reguladoras e de proteção, protege os tecidos do atrito mecânico, está relacionada à regulação térmica, além de apresentar terminações sensoriais ligadas ao sistema nervoso.

Sobre a pele, assinale a alternativa correta:

- a) Mecanorreceptores levam informações sobre a temperatura ambiente ao sistema nervoso.
- b) O tecido adiposo é encontrado abaixo da derme, na hipoderme, com o tecido conjuntivo.
- c) A derme e a epiderme são tecidos sem vascularização, mas com presença de nervos.
- d) A epiderme é a parte mais superficial da pele, separada da derme pela hipoderme.
- e) Os queratinócitos formam a camada superficial da pele, dando vida ao tecido exposto ao ambiente.

2. A pele passa por diversas tensões ao longo do dia, atritos mecânicos, alteração de temperatura, entre outros. Entretanto, ao fazer uma tatuagem, a pele sofre danos que permanecem para sempre. A tinta penetra na epiderme, parte superficial da pele, e se deposita na derme, camada abaixo da epiderme. Nos demais animais, a derme pode apresentar funções diferentes, além das apresentadas no ser humano.

Assinale a alternativa correta sobre a derme:

- a) Na derme, encontramos o tecido córneo, que dá sustentação à epiderme.
- b) As glândulas sudoríparas, presentes na derme, são responsáveis pela lubrificação da pele.
- c) Os estratos espinhoso, granuloso e lúcido são camadas da derme.
- d) A derme dá origem aos ossos dérmicos e osteodermos dos répteis.
- e) A localização superficial da derme facilita a ação das substâncias no tecido epitelial.

3. Todos os seres vivos são revestidos externamente, sejam vertebrados ou invertebrados. Para isso, há um conjunto de estruturas para dar-lhes proteção, como a pele e estruturas derivadas: pelos, cerdas, escamas, penas e cornos. Tudo isso precisa ser flexível, resistente e proporcionar proteção mecânica contra perfurações e desgaste, além de formar uma barreira contra invasão de microrganismos.

Sobre o tegumento dos invertebrados, assinale a alternativa correta:

- a) O tegumento mais delicado que encontramos entre os animais é a membrana plasmática.
- b) A cutícula é formada por diversas camadas de proteína e lipídeos.
- c) Nos insetos, uma camada proteica reveste o tegumento, conferindo-lhe impermeabilidade.
- d) Entre os moluscos, animais de corpo mole, todos apresentam glândulas mucosas que secretam carbonato de cálcio para a formação da concha.
- e) Alguns invertebrados produzem ligações cruzadas entre moléculas lipídicas que são insolúveis em água e conferem proteção ao animal.

Seção 4.2

Anatomia geral e comparada do sistema sensorial

Diálogo aberto

Caro aluno, na Seção 4.1, você conheceu o sistema tegumentar e viu que ele está presente principalmente na superfície dos animais, atua como proteção e proporciona contato com o meio externo. Esse contato pode ser realizado pelos receptores do sistema sensorial, que será estudado nesta seção. Você já pensou em como os animais percebem o ambiente ao redor deles? Ou como você toma decisões baseadas na sua visão, olfação, audição e paladar? Muitas vezes, colocamos a mão dentro de uma bolsa ou mochila para encontrarmos algo baseando-nos apenas no tato, sem usar a visão. Pensando nisso, propomos uma situação para você resolver. Retomando o tema da feira de ciências dos alunos do curso de Ciências Biológicas, que criaram sessões nas quais os visitantes pudessem conhecer diversos animais. Além da brincadeira de reconhecer os animais somente utilizando o tato, eles também podiam tentar reconhecê-los pelos cheiros e sons emitidos por eles, sem o auxílio da visão. Os cheiros e os sons disponíveis eram os mesmos que os animais utilizam para se reconhecer, desconhecidos para nós, humanos. Você, como um estudante de Biologia, como explicaria para os visitantes sobre os órgãos que os animais utilizam para reconhecer uns aos outros e o ambiente que os cercam? Você saberia explicar por que as serpentes colocam a língua, bifurcada, para fora da boca constantemente? Ou qual a função dos barbilhões presentes em alguns peixes? E como alguns animais enxergam à noite?

Não pode faltar

Mesmo na ausência de sistema nervoso, todas as células respondem a algum tipo de estímulo, conduzem informações, mesmo que seja por pequenas distâncias. Organismos unicelulares ou sem tecido verdadeiro, como os protistas e os poríferos (esponjas), respondem a estímulos de luminosidade, mudança de temperatura, hipóxia e pH, por exemplo, com alteração de batimento ciliar ou flagelar mesmo sem um sistema nervoso típico.

A integração dos sinais recebidos com a resposta a um estímulo, mais o processamento de informações, estão relacionados ao sistema nervoso e à presença de neurônios (tema estudado na Unidade 2, Seção 2.2). Células receptoras no corpo do animal recebem estímulos (externos ou internos) que geram um impulso nervoso conduzido por um nervo (sensorial) a um centro de integração. A informação é processada e uma resposta apropriada é conduzida por um nervo (motor) até o órgão efetor, que responderá ao estímulo.

Os receptores podem ser muito simples, como um único neurônio sensorial, ou podem ser órgãos sensoriais complexos, como os olhos, com múltiplas células receptoras e estruturas acessórias. São células especializadas para vários tipos de estímulos e são estruturais e funcionalmente diferentes. Receptores sensoriais monitoram o ambiente externo e interno de forma a gerar respostas para o organismo reagir ao perigo, por exemplo.



Assimile

Os receptores sensoriais atuam como transdutores, um aparelho que traduz uma forma de energia em outra. Transformam estímulos luminosos, mecânicos ou químicos em impulsos elétricos (impulsos nervosos). Um neurônio sensorial está ligado ao receptor para iniciar a propagação do impulso até o sistema nervoso, que decodificará a informação. As sensações conscientes constituem a interpretação subjetiva do organismo sobre o ambiente, como os sabores e as cores. Diferentes sensações resultam em diferentes interpretações.

Invertebrados

Nos invertebrados, encontramos uma variedade muito grande de estruturas receptoras, que são estimuladas pelo ambiente interno e externo, gerando comportamentos e reações de acordo com essas informações. A taxia é um exemplo disso. Os animais tendem a aproximarem ou afastarem-se da luz clara, e são chamados de fototáticos negativos quando fogem dessa luz.

Os receptores são classificados quanto ao tipo de estímulo a que respondem. Os mecanorreceptores ou receptores táteis são sensíveis ao contato, e geralmente associados a células epiteliais. Além de detectar tato, os mecanorreceptores também percebem pressão, localização dos membros e estão envolvidos com os sentidos de equilíbrio e audição.

O sentido do equilíbrio envolve a detecção da posição do corpo com relação à gravidade e a audição permite perceber e interpretar ondas sonoras. São sensíveis a vibrações que se propagam na água, através de substratos sólidos e em outros materiais.

A resposta a um estímulo é diferente de um animal para outro. Mecanorreceptores em poliquetas (anelídeos marinhos) detectam movimentações sutis na água que provocam a retração rápida do animal para dentro do tubo.



Exemplificando

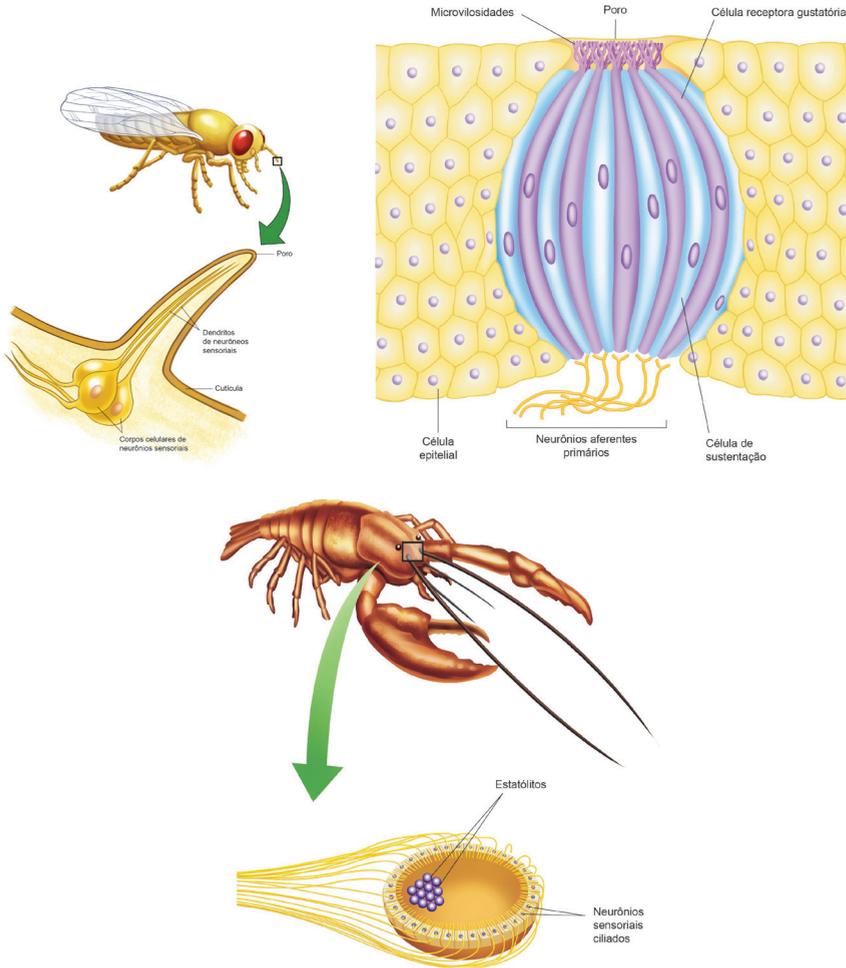
Você já parou para pensar como um animal “sabe” que está de cabeça para baixo? No texto, falamos sobre mecanorreceptores relacionados ao equilíbrio do corpo. Nos invertebrados, os estatocistos são órgãos capazes de detectar a orientação dos seus corpos com relação à gravidade, ou seja, o animal consegue reconhecer se está de cabeça para baixo ou não. Os estatocistos são cavidades ocas preenchidas com líquidos e forradas com neurônios mecanossensoriais com pequenas partículas de carbonato de cálcio (estatólitos) (Figura 4.3). Quando o animal altera sua posição, os estatólitos se movimentam, estimulando os neurônios e enviando sinais sobre a posição do corpo para o sistema nervoso. Se a posição não for adequada, o estímulo provoca uma resposta para o animal voltar à posição inicial.

Receptores auditivos ou fonorreceptores são conhecidos somente em alguns insetos e poucos outros invertebrados. Gafanhotos, grilos e cigarras possuem órgãos timpânicos, que vibram quando estimulados por ondas sonoras, provocando a formação de impulsos nervosos em neurônios ligados a essa estrutura.

A capacidade de perceber a luz está presente em quase todos os animais e está associada a receptores sensíveis à luz, ou seja, fotorreceptores. Poucos, de fato, formam imagens. Em geral, os fotorreceptores variam na percepção da intensidade e direção da luz até a formação de imagens com alto grau de resolução. Os ocelos são estruturas mais simples, sensíveis à luz. E há também os olhos compostos formados por unidades denominadas omatídeos (Figura 4.4), que podem variar em quantidade entre as espécies. As formigas operárias de uma determinada espécie possuem somente um omatídeo em cada olho, e as libélulas, por sua vez, possuem 25.000. Artrópodes, moluscos e alguns outros invertebrados apresentam olhos muito sensíveis, com resolução espacial (Figura 4.4).

Invertebrados também podem ser sensíveis a substâncias químicas nocivas ou irritantes que induzem respostas quando estimulam os quimiorreceptores. Esses quimiorreceptores estão localizados em muitas partes do corpo, mas, em geral, concentrados na região anterior, próximos à cabeça. Os artrópodes (insetos e crustáceos), em geral, também têm quimiorreceptores (associados à mecanorreceptores), como órgãos olfatórios presentes nas antenas ou antênulas, com estruturas semelhantes à dos pelos, chamados sensilas (Figura 4.3).

Figura 4.3 | Estrutura de uma sensila quimiorreceptora (relacionada na olfação, detecção de feromônios, gustação e tato nos insetos); estrutura de um botão gustatório (poro contendo células receptoras sensoriais, microvilosidades que detectam substâncias dissolvidas na saliva ou outros líquidos); estrutura de um estatocisto de lagosta mostrando a cavidade com os estatólitos ligados a neurônios sensoriais



Fonte: adaptada de Kardong (2016, p. 234).

Vários grupos de invertebrados produzem e detectam feromônios, substância para reconhecimento de parceiro sexual. As estruturas, altamente seletivas e sensíveis, diferem em número e distribuição entre machos e fêmeas. Os animais aquáticos parecem usar o mesmo tipo de mecanismo. Na água, os receptores também são importantes para analisar água, alteração de pH, reconhecimento de alimentos, entre outros.

Nos artrópodes, encontramos também sensilas gustativas similares às olfatórias e também distribuídas pelo corpo do animal.

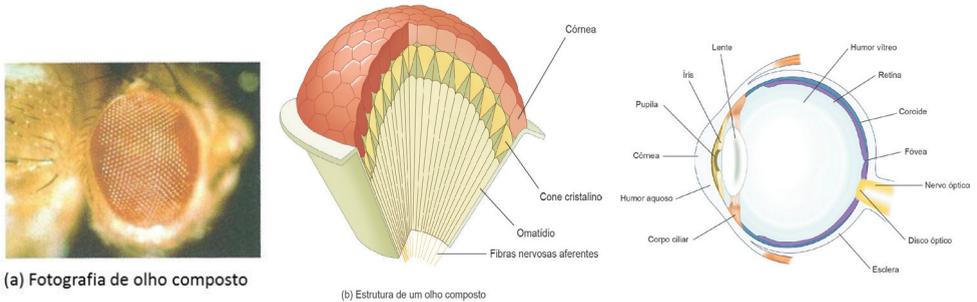
Vertebrados

No homem, as sensações podem ser chamadas de percepção. A forma como percebemos o ambiente se dá através dos receptores sensoriais, desenvolvidos em órgãos complexos, com muitas células e estruturas acessórias.

A diferença entre um fotorreceptor e um olho é a capacidade de determinar a direção do raio luminoso que penetrou no órgão. Os ocelos fornecem a direção da luz que incide em algumas direções, mas os olhos podem fornecer a direção da luz, contraste de claro e escuro e foco de imagens (acomodação visual). Os fotorreceptores apresentam sensores para baixos níveis de luz (bastonetes) e sensores para cores (cones). O sistema nervoso interpreta as imagens por diferenças na intensidade de luz e também dentro do espectro visível dos diferentes comprimentos. Analisando esses eventos o sistema nervoso os interpreta como cores diferentes.

O olho dos mamíferos é formado por camadas: a esclerótica (mais externa, branco dos olhos), a coróide (intermediária, adjacente à retina, pigmentada e vascularizada) e a retina (interna, fotossensível e formada por três camadas).

Figura 4.4 | A.e B. Representação do olho composto e C. olho humano e suas estruturas



(a) Fotografia de olho composto

(b) Estrutura de um olho composto

Fonte: adaptada de Moyes e Schulte (2010, p. 288-289).

A superfície mais externa do olho, além da esclera, apresenta a córnea, que permite a entrada dos raios luminosos no olho. Internamente à córnea há a íris (com músculos pigmentados responsáveis pela contração e dilatação, controlando a luz que penetra no olho) (Figura 4.4). E há uma câmara preenchida por um líquido (humor aquoso) entre a íris e o corpo ciliar. O humor vítreo é uma substância gelatinosa que ajuda na estabilização do olho, fornecendo sustentação à retina, onde estão localizadas as células fotorreceptoras e interneurônios do processamento do sistema visual.

A coroide de animais de hábitos diurnos absorve os raios luminosos que chegam até o fundo do olho para que eles não sejam refletidos. Nos gatos e animais de hábitos noturnos, a coroide tem uma camada (tapetum) que promove a reflexão dos raios luminosos e não a absorção, o que amplifica os raios luminosos e permite uma melhor visão quando comparados aos animais de hábitos diurnos.



Refleta

De forma geral, os mamíferos apresentam a pior visão colorida entre os vertebrados e muitos não distinguem cores. Os primatas são exceção. Humanos, gorilas e macacos apresentam visão colorida tricromática. Outros macacos (novo mundo) têm visão dicromata e somente os bugios são tricromatas. Nos tricromatas, estudos mostram a presença de três genes, cada um responsável pela codificação de um fotopigmento particular: azul, verde e vermelho. O macaco da noite (*Aotus sp.*), animal de hábitos noturnos, possui visão monocromática, e não colorida.

Analisando essa característica, é possível relacionar um caráter genético (evolutivo) da capacidade de enxergar cores ao comportamento animal, ou seja, a capacidade de distinguir cores pode influenciar na alimentação do animal. Você já pensou que enxergar as cores verde e vermelha facilitaria ao animal encontrar um fruto maduro entre as folhas verdes? Pense em outras situações em que a distinção entre uma cor e outra torna possível a sobrevivência de uma espécie.

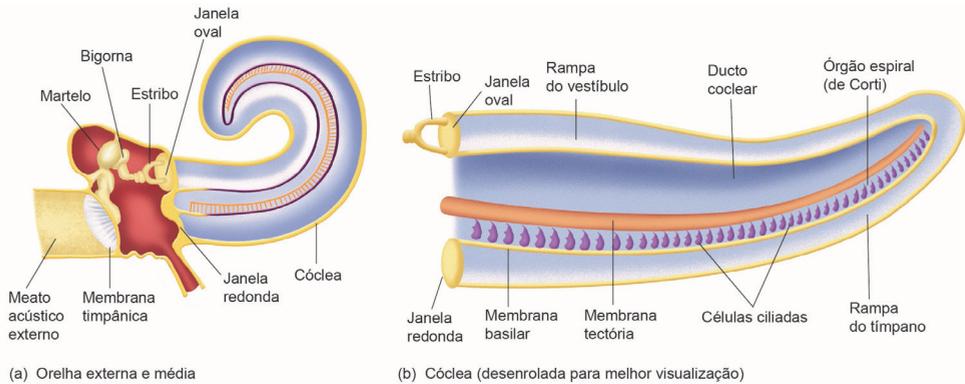
De forma geral, os vertebrados diferem na forma de perceber os estímulos. Morcegos e cães ouvem sons de frequências acima da capacidade dos ouvidos do homem. Cascavéis podem caçar em ambientes com luz tão fraca que o homem seria incapaz de enxergar. Entretanto, nós somos capazes de ver cores diferentes daquelas que a maioria dos mamíferos veem.

Os órgãos envolvidos na audição e no equilíbrio nos vertebrados são formados por células mecanossensoriais (com presença de cílios - longo, cinocílio; curto, estereocílio) e estruturas acessórias. Células ciliadas são encontradas em diversas situações de mecanorrecepção. Peixes e alguns anfíbios aquáticos apresentam essas células na linha lateral do corpo, de forma a permitir ao animal detectar alterações na pressão da água, como a movimentação de outros peixes. Também encontramos células ciliadas nas orelhas de vertebrados, que participam dos sentidos de audição e equilíbrio. Nos mamíferos, essas células estão na orelha interna, dentro do crânio, na qual encontramos diversos sacos membranosos preenchidos por líquidos e canais. Essas estruturas facilitam a transferência do som do ar para o espaço preenchido por líquidos em animais terrestres. Os sons se propagam melhor em meio líquido. Além

disso, animais vertebrados apresentam orelha externa, a pina, que age como um funil, que coleta as ondas sonoras aéreas em direção ao meato acústico (canal auditivo).

A orelha média está separada da orelha externa pela membrana timpânica, e da orelha interna (preenchida por líquido) pela janela oval. Dentro da orelha média encontram-se os ossículos - martelo, bigorna e estribo. O som propaga-se pelo meato acústico, vibra a membrana timpânica, que provoca as vibrações dos ossículos. Essa vibração dos ossículos é transmitida para a janela oval, que transfere o estímulo para a orelha interna, cheia de líquido. A cóclea, estrutura prolongada e enrolada e com células ciliadas, está preenchida por um líquido chamado endolinfa (Figura 4.5). A vibração provoca ondas na endolinfa, e as células ciliadas se doblam em resposta gerando estímulo nos nervos associados. A informação é levada ao sistema nervoso na forma de impulsos nervosos.

Figura 4.5 | Representação da anatomia das orelhas média e interna dos mamíferos



Fonte: adaptada de Moyes e Schulte (2010, p. 278).

O sistema olfatório de vertebrados apresenta uma enorme capacidade de distinguir odorantes (substâncias químicas). Humanos podem perceber pequenas mudanças na estrutura de um odorante, o que provoca percepções subjetivas, como diferenciar um odor rançoso e de suor. O sistema olfatório dos mamíferos está localizado no teto da cavidade nasal. Quando uma molécula odorante entra em contato com os receptores olfatórios, neurônios bipolares transportam as informações na forma de impulsos nervosos até o bulbo olfatório encefálico.

Vertebrados terrestres utilizam o órgão vomeronasal para detectar feromônios, sinais químicos que afetam o comportamento do outro animal da mesma espécie. Tem papel na hierarquia social de um grupo e na estimulação da reprodução. O vomeronasal é uma estrutura olfatória acessória, pareado nos mamíferos e localizado lateralmente na base da cavidade nasal. Em répteis, é denominado órgão de Jacobson, e também está localizado no palato. As serpentes usam a língua para levar feromônios até o órgão vomeronasal quando as colocam na boca.

Diferentemente do sistema olfatório, o sistema gustatório (paladar) não distingue diversos tipos de substâncias, mas os agrupam em sabores, modalidades: salgado, doce, amargo, ácido e umami (umai = delicioso e mi = essência, corresponde à sensação agradável ou de carne). Cada um envia padrões de informações diferentes para o sistema nervoso a partir de células receptoras diferentes. Nos anfíbios, répteis e aves, as células receptoras gustatórias (papilas gustativas) estão localizadas na boca e faringe. Já nos mamíferos, tendem a se distribuir na língua na forma de botões gustatórios (Figura 4.3).

Nos vertebrados aquáticos, os botões gustatórios também estão na parte externa do corpo. Peixes podem apresentar esses botões nos barbilhões (projeções similares a vibrissas, na mandíbula) e, em alguns casos, nas barbatanas.

Em conjunto, as papilas gustativas percebem os estímulos químicos (presença de microvilosidades), iniciando os sinais elétricos que serão propagados por nervos cranianos até o sistema nervoso central.



Pesquise mais

Você já parou para pensar no porquê de não sentir cheiros quando está resfriado? Depois de estudar sobre o olfato, você sabe que os quimiorreceptores precisam ser estimulados pelas substâncias odorantes. No caso de estar resfriado ou gripado, o muco impede o contato dos odorantes com os receptores, impedindo o estímulo e, conseqüentemente, a capacidade de perceber o cheiro. Parece simples, o cheiro é detectado por receptores de cheiro, certo? Entretanto, existem situações em que há uma contaminação dos sentidos em que um único estímulo pode desencadear a percepção de dois eventos sensoriais diferentes e simultâneos. Por exemplo, toda vez que se sente um odor (real) escuta-se um som imaginário. Interessante, não é? Leia a reportagem "Ouvindo cores", de Massimo Barberi, do ano de 2007. Disponível em: <http://www2.uol.com.br/vivermente/reportagens/ouvindo_cores.html>. Acesso em: 6 mar. 2017.

Sem medo de errar

Conhecendo o sistema sensorial e estudando a importância dos receptores para percebermos o mundo ao nosso redor, você já pode voltar à situação-problema e resolvê-la. Vamos lá? Estamos na feira de ciências e os visitantes devem tentar reconhecer cheiros e sons emitidos pelos animais, sem utilizar a visão,

pois para nós, seres humanos, “ver” é muito simples para reconhecer tudo ao nosso redor. Os cheiros e os sons disponíveis são os mesmos que aqueles que os animais utilizam para se reconhecer, que são desconhecidos para nós, humanos. No papel de estudante de Biologia, como você explicaria para os visitantes sobre os órgãos que os animais utilizam para reconhecer uns aos outros e o ambiente que os cercam?

Esperamos que você já seja capaz de responder que uma infinidade de receptores específicos está presente nos animais e que captam informações na forma de estímulos e os convertem em sinais nervosos, que são propagados até o sistema nervoso, que analisará a informação, gerando uma resposta. Exemplos são os receptores de luz - ocelos, olhos compostos ou olho complexo. Também temos os quimiorreceptores envolvidos no paladar e no olfato. No caso das serpentes, elas colocam a língua, bifurcada, para fora para perceberem substâncias no ar, inclusive feromônios e, ao levar a língua para dentro da boca, levam essas substâncias até o palato, onde encontramos o órgão vomeronasal, capaz de ser estimulado por essas substâncias. Os barbilhões são extensões na região da mandíbula do peixe com grande quantidade de receptores capazes de detectar alimento na água. Os fotorreceptores são sensíveis à luz e apresentam estruturas específicas para a percepção de claro e escuro. Por sua vez, animais com hábitos noturnos não enxergam cores, mas têm estruturas capazes de aproveitar melhor a pouca luz existente.

Avançando na prática

Análise sensorial

Descrição da situação-problema

Durante o desenvolvimento do homem, desde o nascimento até a fase adulta, passamos por experiências sensoriais das mais diversas. Experimentamos muito com a visão, a audição, o tato e o paladar. Muitas vezes, decidimos se gostamos de algo usando somente a visão e, quando alguém insiste, experimentamos outras sensações da mesma situação para verificar se realmente não gostamos. Compare a reação de um cachorro, uma criança e um adulto diante de um prato de comida, levando em consideração os órgãos dos sentidos e o comportamento de cada um.

Resolução da situação-problema

Quando experimentamos um alimento ou passamos por uma experiência sensorial, essa informação é analisada pelo sistema nervoso central, que gera uma resposta específica. Da próxima vez que passarmos pela mesma experiência, é como se já tivéssemos uma resposta pronta, porque já conhecemos a situação. No caso dos cachorros, eles utilizam o olfato principalmente para reconhecer um alimento.

Se for algo que estão acostumados a comer, eles já têm uma resposta do sistema nervoso central predeterminada, como o homem adulto, mas, com relação ao humano, apesar de o estímulo olfatório estar adequado, se o estímulo visual não for compatível, a decisão pode ser diferente. Por exemplo, uma comida que gera um estímulo olfatório delicioso (segundo a experiência prévia do adulto), mas ao olhar (visão) não corresponde a algo delicioso, o homem pode simplesmente decidir não comer. A criança ainda está aprendendo com as experiências e, muitas vezes, provam sabores estranhos, através do ato de colocar fezes, areia e outros corpos estranhos na boca. A criança ainda está analisando o ambiente. Por isso, com relação à comida, devemos mostrar o que é bom para ela de acordo com a cultura culinária de onde ela vive.

Faça valer a pena

1. O homem, ao longo da sua história, criou culturas nas quais um dos fatores mais interessantes é a culinária. A forma de preparar cada alimento é transmitida através das gerações e esses alimentos são reconhecidos, muitas vezes, pelo paladar e olfato peculiares. Muitas culturas prezam pela beleza dos pratos, como os japoneses. Muitos dizem que comemos primeiro com os olhos, devido à apresentação dos pratos. Os europeus introduziram no Brasil o sal, o açúcar e diversos temperos ou especiarias que variam o paladar do nosso cardápio. Sobre a percepção dos sabores, analise as afirmativas a seguir:

- I. A percepção acontece na língua e direcionada ao sistema nervoso.
- II. A percepção é transmitida ao sistema nervoso através de neurônios.
- III. A percepção é reconhecida por estruturas do sistema nervoso periférico.
- IV. A percepção é detectada por estruturas conhecidas como receptores.

É correto o que se afirma em:

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

2. Os animais vertebrados e invertebrados apresentam fotorreceptores sensíveis à luz, como os ocelos ou olhos mais complexos, como os olhos compostos dos insetos e os olhos dos mamíferos. A luz incide na retina e estimula os neurônios, que levarão as informações ao sistema nervoso central. Mesmo com intensidades baixas de luz, alguns animais, como aqueles de hábitos noturnos, são capazes de enxergar. Sobre o exposto, classifique as sentenças a seguir enquanto verdadeiras (V) ou falsas (F):

- () O olho dos mamíferos é formado pela esclerótica, coróide e retina.
- () A córnea é um músculo que controla a entrada de luz no olho.
- () Os neurônios presentes na retina são responsáveis por transportar as informações da visão ao sistema nervoso.
- () Os fotorreceptores para baixos níveis de luz são chamados de cones.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência CORRETA:

- a) V – F – F – V.
- b) F – V – V – V.
- c) V – V – F – F.
- d) V – F – V – F.
- e) V – F – V – V.

3. Os animais apresentam uma diversidade muito grande de receptores para perceber o ambiente que os cercam. Células sensoriais são capazes de captar informações e gerar respostas adequadas a cada situação. Os quimiorreceptores captam informações de substâncias químicas que estão no meio aéreo ou aquático, gerando percepções e compreensão de um estímulo.

Assinale a alternativa correspondente aos sentidos gerados pelo estímulo a quimiorreceptores:

- a) Visão e paladar.
- b) Tato e paladar.
- c) Paladar e olfato.
- d) Visão e olfato.
- e) Equilíbrio e paladar.

Seção 4.3

Anatomia geral e comparada do sistema endócrino

Diálogo aberto

No início da Unidade 4, propusemos uma situação na qual você estaria trabalhando em uma feira de ciências. Você já discutiu sobre a feira sob o ponto de vista do sistema tegumentar e sensorial. Agora, vamos pensar na feira sob o ponto de vista do sistema endócrino. Imagine os animais que foram levados à feira para os experimentos sensoriais. Se nós ficamos cansados e estressados em meio à multidão, imagine os animais que, muitas vezes, estão acostumados à vida da gaiola e nada mais. Segundo o organizador da feira, os animais precisam dormir para desestressar, e isso necessariamente deveria acontecer em um ambiente escuro. Falou também que tanto o estresse como o sono são dependentes de hormônios produzidos pelos animais. Entretanto, não explicou exatamente quais são esses hormônios e como isso acontece. Você seria capaz de citar quais são os hormônios envolvidos no sono e no estresse e associá-los aos órgãos em que são produzidos?

Não pode faltar

O sistema endócrino é constituído por um conjunto de glândulas que liberam sua secreção na corrente sanguínea. Essas glândulas, por essa razão, são chamadas de glândulas endócrinas. Outras glândulas podem lançar suas secreções em cavidades ou fora do corpo, como as glândulas sudoríparas, salivares e mamárias e, por isso, são denominadas glândulas exócrinas.

Nos organismos vertebrados e invertebrados encontramos glândulas endócrinas, exócrinas e mistas, cada uma com suas secreções e funções definidas. A sinalização celular tem papel importante na manutenção da homeostase e na coordenação da reprodução, crescimento e desenvolvimento de todos os animais. Diferentemente do sistema nervoso, o sistema endócrino surge somente após a evolução do sistema circulatório para transportar os hormônios. A ação dos hormônios ocorre pela afinidade aos receptores específicos e pelas vias de transdução e sinal. Vale ressaltar

que os hormônios podem ser considerados mensageiros químicos que agem em um tecido-alvo.

Nos invertebrados há poucas glândulas endócrinas, e a maioria utiliza neuro-hormônios ao invés de hormônios. Em cnidários e platelmintos, os neuro-hormônios estão envolvidos na regulação do crescimento e desenvolvimento. Em invertebrados mais diferenciados, como anelídeos, moluscos e artrópodes, com os vertebrados, apresentam vias endócrinas complexas que regulam quase todos os processos fisiológicos. Isso se dá de acordo com o aumento da complexidade do sistema circulatório.

O hormônio mais estudado nos invertebrados é a ecdisona, que está diretamente associada ao processo de crescimento dos artrópodes. A muda, troca do exoesqueleto para o crescimento desses animais, ocorre pela ação da ecdisona secretada pela glândula endócrina, "órgão Y" nos crustáceos, localizada na base das antenas e próxima às peças bucais. No período de intermuda, um hormônio inibido de muda (MIH) é secretado no sangue. Enquanto a presença de MIH for suficiente no sangue, a produção de ecdisona fica inibida.



Exemplificando

Muitos inseticidas têm como foco interferir no desenvolvimento dos insetos, particularmente rompendo o processo da metamorfose, impedindo que o animal chegue à fase adulta. Hoje, os inseticidas são largamente utilizados no controle de pragas em várias situações urbanas e na agricultura. Podem ser de origem inorgânica, vegetal, química, biológica, entre outras. O objetivo é bloquear processos fisiológicos ou bioquímicos do alvo. Para isso, estudos são desenvolvidos para que as substâncias sejam mais ativas, mas que permaneçam por menos tempo no meio ambiente. Outro foco dos estudos é que essas substâncias não provoquem efeitos nos organismos não alvos. Uma das ações de inseticidas é provocar um distúrbio entre a concentração do hormônio juvenil nos estágios de desenvolvimento do inseto (larva, pupa e adulto). Eles agem impedindo que o animal passe para outro estágio de desenvolvimento. Nesse caso, ele não chega à fase adulta, não se reproduz e pode causar diminuição da população e até mesmo a sua extinção.

Nos insetos, aparentemente não há inibidor de muda. Quando há estímulo adequado no sistema nervoso central, massas neurais produzem hormônio toracotrópico, que será transportado até as glândulas protorácicas, estimulando-as a produzirem ecdisona.

No processo da metamorfose dos insetos, além da ecdisona há também o hormônio juvenil sintetizado por estruturas associadas ao cérebro. A alta concentração de hormônio juvenil garante a muda de larva para larva. Quando sua concentração diminui, resulta em uma muda de larva para pupa. E quando está totalmente ausente na hemolinfa, resulta uma muda de pupa para adulto.

É bom lembrar que o sistema nervoso e o endócrino são reguladores do organismo. O primeiro com respostas rápidas (milésimos de segundos) e o segundo com respostas mais duradouras e através de longas distâncias.

Em alguns vertebrados, a glândula pineal (epífise não pareada) está localizada logo abaixo da pele, abaixo do crânio ósseo. A presença de células fotossensíveis indica que esta glândula está envolvida na detecção de fotoperíodos sazonais ou diários. Também já foi estudada sua relação com a regulação dos ciclos reprodutivos em alguns vertebrados, como em répteis e aves. A remoção da pineal em mamíferos mostra evidências da relação dessa glândula à liberação de ACTH pela adeno-hipófise, no aumento da secreção de vasopressina, inibição da atividade da tireoide e na estimulação do sistema imune.



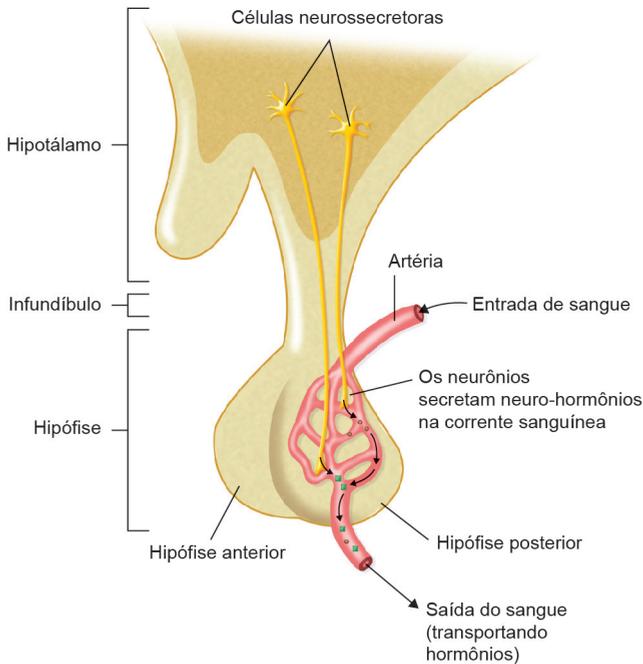
Pesquise mais

A glândula pineal está associada à produção do hormônio melatonina. Estudos mostram a relação da melatonina com o ciclo circadiano ou sazonal, reprodução, sono e vigília. A secreção de hormônio é sensível à luminosidade, tendo sua concentração aumentada no início da noite. Vias sinalizadoras agem no nervo ótico e hipotálamo, mediando o sono. Outros estudos relacionam a produção de melatonina a alterações do sono em trabalhadores noturnos e alteração na reprodução de alguns animais.

Saiba mais sobre o assunto no link a seguir, disponível em: <http://www.sbpnet.org.br/livro/57ra/programas/CONF_SIMP/textos/veralicebruin.htm>. Acesso em: 19 mar. 2017.

Nos vertebrados, a hipófise (estimulada pelo hipotálamo) secreta hormônios importantes para a regulação de várias funções. A hipófise posterior ou neuro-hipófise é praticamente uma extensão do hipotálamo (Figura 4.6). Este sintetiza ocitocina e vasopressina (neuro-hormônios), que serão armazenadas na hipófise posterior, que os secretarão na corrente sanguínea.

Figura 4.6 | Representação da ligação estrutural entre a glândula hipotálamo e hipófise



Fonte: adaptada de Moyes e Schulte (2010, p. 278).

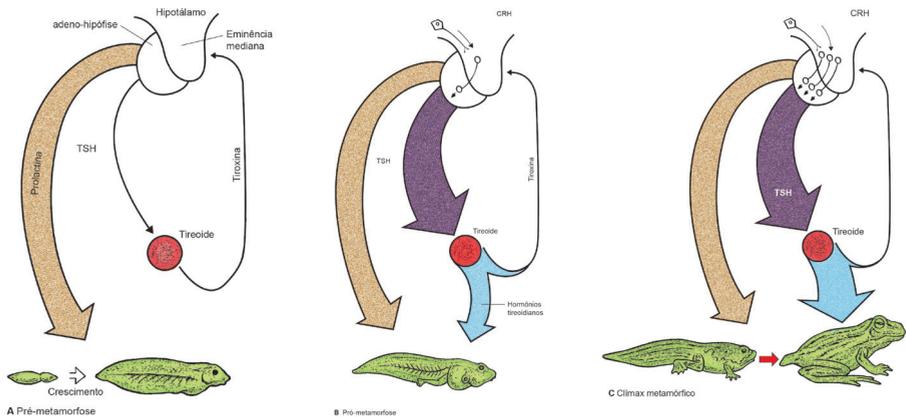
Em mamíferos, a ocitocina está envolvida no trabalho de parto na expulsão do feto, agindo na musculatura lisa do útero e provocando sua contração. Já a vasopressina atua sobre o músculo liso das paredes das arteríolas, causando sua contração, o que eleva a resistência ao fluxo sanguíneo e provoca alteração da pressão arterial. A vasopressina também é conhecida como hormônio antidiurético (ADH) por agir nos túbulos coletores renais, aumentando a reabsorção de água em situações de desidratação. Em insetos, a ação hormonal nos túbulos de Malpighi provoca excreção da urina diluída em situação de excesso de água, como após a ingestão de uma porção de sangue, ou seja, age como hormônio diurético.

Os hormônios da hipófise anterior ou adeno-hipófise participam do estímulo de outras glândulas para a produção de outros hormônios, sendo por isso chamados de hormônios trópicos. Por exemplo, o hormônio liberador de corticotropina (CRH) liberado pelo hipotálamo estimula a hipófise anterior a liberar o hormônio adrenocorticotrófico (ACTH), que agirá nas glândulas adrenais, estimulando a liberação dos hormônios glicocorticoides pelo córtex adrenal.

Apoiada sobre as cartilagens da traqueia, a glândula tireoide armazena e secreta dois hormônios, a tiroxina (tetraiodotironina ou T4) e a tri-iodotironina (T3). A liberação desses hormônios é estimulada pelo hormônio hipofisário tireotropina (hormônio tireoestimulante, TSH). A ação dos hormônios tiroidianos é mais bem conhecida em mamíferos e aves, e nesses animais endotérmicos provocam a elevação do consumo de oxigênio e a produção de calor pelos tecidos. Em répteis, ectodérmicos, a ação dos hormônios tiroidianos é sensível à temperatura, agindo quando esta se eleva a 30 °C.

Os estágios da metamorfose em rãs são mediados pelo sistema endócrino. Durante a pré-metamorfose, a adeno-hipófise produz prolactina, que induz o crescimento do corpo, mas inibe a metamorfose. Na pró-metamorfose, o aumento da liberação de tiroxina (adeno-hipófise libera hormônio tireoestimulante (TSH) e estimula a secreção de tiroxina pela tireoide) leva ao desenvolvimento dos membros posteriores, estimulando a metamorfose, mas inibindo o crescimento (Figura 4.7).

Figura 4.7 | Representação da ação dos hormônios prolactina e tiroxina na metamorfose de rãs. TSH = hormônio tireoestimulante; CRH = hormônio liberador de corticotropina



Fonte: adaptada de Kardong (2016, p. 626).

Em aves e mamíferos, níveis normais de hormônios tiroidianos favorecem o crescimento. A produção deficiente desses hormônios pode levar ao hipotireoidismo, que resulta no retardo do crescimento do animal, ou ao hipertireoidismo (produção excessiva de hormônios tiroidianos), que gera o aumento da atividade, nervosismos, olhos salientes e rápida perda de peso. A perda de pelos e penas e sua reposição também são dependentes de hormônios tiroidianos.

A glândula tireoide também produz calcitonina, que controla a concentração sanguínea de cálcio. Age inibindo a remoção de cálcio dos ossos e sua saída para o plasma, estimulando sua incorporação pelos ossos. De forma antagônica, as glândulas paratireoides produzem o hormônio paratormônio (PTH), que estimula a

remoção de cálcio da matriz óssea para o plasma sanguíneo. A glândula age também na reabsorção de cálcio pelos túbulos renais, aumentando a concentração de cálcio no sangue. Nos camundongos, gatos e humanos, as paratireoides estão imersas na tireoide. Nos coelhos e cabras, por exemplo, elas estão próximas à tireoide. Em anfíbios, répteis e aves, as paratireoides podem estar dispersas ao longo das veias principais no pescoço, contudo, são ausentes nos peixes.

As glândulas suprarrenais ou adrenais apresentam duas áreas de síntese de hormônios. Uma é a região cortical, que produz hormônios corticosteroides (esteroides). Temos os mineralocorticoides, envolvidos na reabsorção de água e transporte de sódio pelos rins; os glicocorticoides, que atuam no metabolismo dos carboidratos; e aqueles que atuam na reprodução, como os estrógenos, os andrógenos e os progestágenos. A outra área de síntese de hormônios das adrenais é a região medular ou cromafim, que produz as catecolaminas, como a epinefrina (adrenalina) e a norepinefrina.



Refleta

Estudos realizados com tartarugas marinhas mediram a concentração de hormônios corticosteroides no sangue desses animais. Conhecendo a relação entre o cortisol e o estresse, níveis mais altos mostravam o estresse do animal. O resultado mostrou que tartarugas fêmeas adultas em idade reprodutiva apresentam menos estresse à captura do que as juvenis. E ambas apresentam níveis de estresse menores que os machos adultos. A discussão fica em torno do comportamento desses animais. Os machos raramente voltam ao continente e, na captura, seu nível de cortisol aumenta muito, mostrando o estresse, assim como na fêmea jovem, que ainda não teve a experiência do continente. As fêmeas reprodutoras já foram ao continente e, por isso, seu nível de estresse é menor, mas existe. Vale sempre pensar que, muitas vezes, capturamos animais pela pura curiosidade de conhecê-los. Os colocamos em recintos fechados, jaulas e afins. Mesmo sem quantificar os hormônios relacionados ao estresse, é possível analisá-los pelo comportamento inquieto, agressivo ou até apático. Vamos pensar nisso?

Uma das funções mais importantes das glândulas adrenais é a coordenação de respostas do organismo ao estresse. A presença de predadores ou a competição territorial desencadeia reações fisiológicas imediatas. O animal apresenta uma alteração nas vias cérebro-hipófise-adrenal, que ajusta fisiologicamente o corpo do animal para situações que ameaçam a sua sobrevivência, o que chamamos de preparação de "luta ou fuga". As catecolaminas e os glicocorticoides estão envolvidos,

promovendo alteração na irrigação sanguínea dos músculos esqueléticos através do aumento do ritmo cardíaco e respiratório e também no metabolismo da glicose no sangue.

Em animais de cativeiro e em humanos, o estresse pode ser mais intenso e prolongado, o que pode levar a condições patológicas que afetam os sistemas imune, cardiovascular, digestório e o metabolismo geral. No cativeiro, essa tensão fisiológica afeta a reprodução.

No início do texto, classificamos as glândulas em endócrinas e exócrinas. No entanto, o pâncreas apresenta as duas funções. A parte exócrina secreta enzimas digestivas em ductos e a parte endócrina apresenta conjuntos celulares (ilhotas pancreáticas) que secretam hormônios na corrente sanguínea.

Nas células B das ilhotas é produzida a insulina, envolvida no metabolismo geral dos carboidratos, lipídeos e proteínas. Sua ação mais importante é ligar-se às membranas celulares e promover a entrada de glicose nas células, principalmente nas musculares esqueléticas e cardíacas. Nas células A das ilhotas pancreáticas é produzido o glucagon, que estimula a conversão de glicogênio armazenado em glicose, efeito antagônico à insulina.

A reprodução também é mediada por hormônios, tanto hipofisários quanto gonadais. As gônadas produzem gametas (espermatozoides e óvulos) e hormônios responsáveis pelas características sexuais secundárias. Nos machos, as células intersticiais dos túbulos seminíferos produzem a testosterona. Nas fêmeas, os tecidos endócrinos dos ovários produzem os estrógenos (estradiol) e os progestágenos (progesterona).

A coordenação endócrina para a reprodução acontece a partir da liberação dos hormônios hipofisários luteinizante (LH) e folículo estimulante (FSH). O hormônio LH atua em células intersticiais do testículo e dos ovários, estimulando a síntese de hormônios sexuais, enquanto o hormônio FSH atua no controle da espermatogênese e ovogênese.



Assimile

A castração refere-se à retirada das gônadas dos animais, sejam eles machos ou fêmeas. Nos mamíferos, a remoção das gônadas impede a produção de gametas e também de hormônios sexuais, ou seja, causa infertilidade irreversível. Dependendo da idade na qual é realizada a castração, as consequências fisiológicas e comportamentais são diferentes. De forma geral, quanto mais cedo, maiores serão as consequências posteriores. Na história, temos a castração de animais para impedir cruzamentos

indesejados e também a castração humana, nos casos de guardas de haréns. Também temos registros de castração como forma de punição a ladrões e traidores. Na Europa, no século XVII, a técnica de castração em meninos jovens virou moda. Perceberam que a técnica produzia homens com vozes diferentes (a falta de testosterona impede o desenvolvimento sexual e do osso hioide, afetando cordas vocais). Essa moda gerou os meninos *castrati*, cantores com vozes distintamente próprias.

Sem medo de errar

Finalizando a Seção 4.3 da Unidade 4, depois de estudar o sistema endócrino, você já é capaz de responder algumas situações. Vamos lembrar da feira de ciências e dos animais que foram necessários para estudarmos o sistema sensorial. O organizador da feira disse que os animais precisam dormir para desestressar e isso necessariamente deveria acontecer em um ambiente escuro. Ele falou também que tanto o estresse como o sono são dependentes de hormônios produzidos pelos animais. Entretanto, não explicou exatamente quais são esses hormônios e como isso acontece. Você seria capaz de citar quais são os hormônios envolvidos no sono e no estresse e associá-los aos órgãos em que são produzidos? Os hormônios associados ao estresse são os corticosteroides, produzidos nas glândulas adrenais, e liberados na corrente sanguínea. O hormônio associado ao sono é a melatonina, produzido pela glândula pineal.

Avançando na prática

Hormônios hipofisários na reprodução dos peixes

Descrição da situação-problema

Na Seção 4.3 da Unidade 4, estudamos as glândulas, seus hormônios e suas ações. Agora você é capaz de discutir sobre como a ação hormonal pode alterar o funcionamento de um órgão. O biólogo pode usar esse conhecimento em diversas áreas de trabalho, uma delas é a produção de peixes em cativeiro. Essa atividade pode ser desenvolvida produzindo-se somente alevinos (filhotes jovens), a serem vendidos para outros produtores que farão a parte de engorda e abate. O problema da produção de alevinos é a necessidade de cruzar os peixes machos e fêmeas ou realizar a fecundação em laboratório. Cada peixe tem um tempo natural de reprodução e este está associado à produção de hormônios sexuais e hipofisários. Um produtor, como não tinha como comprar hormônios sintéticos, resolveu

macerar cabeças de peixe e jogar o conteúdo nos tanques para estimular os peixes a entrarem em estágio reprodutivo. Baseado nos seus conhecimentos do sistema endócrino e reprodução, como você explica a atitude do produtor?

Resolução da situação-problema

Os peixes, como muitos outros vertebrados, têm sua reprodução dependente de hormônios. As gônadas, os testículos e os ovários produzem hormônios sexuais e gametas para a fecundação. Tanto os peixes machos quanto as fêmeas precisam estar sincronizados com a liberação dos gametas (espermatozoides e óvulos), para que a fecundação ocorra. Em cativeiro, a estimulação é realizada, muitas vezes, de forma artificial, através de hormônios sintéticos. Na situação-problema, o produtor não poderia arcar com esses custos. Então, ele macerou cabeças de peixe e jogou o conteúdo nos tanques dos peixes. Ele fez isso porque já se sabe que na cabeça dos peixes existe uma glândula chamada hipófise, que produz os hormônios luteinizantes e folículos estimulantes, que têm sua ação nas gônadas, provocando a produção dos hormônios sexuais e gametas. Ou seja, a maceração da cabeça dos peixes libera os hormônios hipofisários, que serão misturados à água para estimular a reprodução dos peixes nos tanques.

Faça valer a pena

1. As glândulas são órgãos produtores de secreções que podem mediar diversas funções no corpo dos animais vertebrados e invertebrados. Elas podem liberar seu material em cavidades ou na circulação sanguínea. Nesse caso, temos os hormônios que serão transportados pelo sangue até o tecido-alvo, onde desencadeará eventos fisiológicos.

Assinale a alternativa que apresenta somente glândulas endócrinas:

- a) Glândulas salivares, tireoide, hipófise.
- b) Glândulas adrenais, hipotálamo, gonadais.
- c) Glândulas adrenais, mamárias, tireoide.
- d) Glândulas adrenais, hipotálamo, sudoríparas.
- e) Glândulas salivares, tireoide, sudoríparas.

2. A glândula tireoide, estimulada por hormônios hipofisários, tem papel importante no metabolismo geral do corpo dos animais e na produção de energia para funções gerais. Nas rãs, tem papel essencial na metamorfose, transformando o girino em animal adulto. Além dos hormônios tiroidianos, a prolactina também age no desenvolvimento das rãs.

Assinale a alternativa em que a associação entre hormônio e função está correta:

- a) Prolactina – estimula crescimento; tiroxina – inibe metamorfose.
- b) Prolactina – inibe crescimento; tiroxina – estimula metamorfose.
- c) Prolactina – inibe metamorfose; tiroxina – inibe crescimento.
- d) Prolactina – estimula crescimento; tiroxina – estimula metamorfose.
- e) Prolactina – estimula metamorfose; tiroxina – estimula metamorfose.

3. A glândula hipófise é formada por porções com características diferentes de síntese e liberação de hormônios. A região posterior da hipófise é considerada uma continuação do hipotálamo e, por isso, chamada de neuro-hipófise. Por essa continuidade, o hipotálamo libera seus hormônios para serem armazenados na hipófise posterior, sendo classificados como neuro-hormônios.

Assinale a alternativa que menciona os neuro-hormônios da hipófise posterior:

- a) Melatonina e ocitocina.
- b) Tiroxina e vasopressina.
- c) Esteroides e tiroxina.
- d) Tiroxina e melatonina.
- e) Vasopressina e ocitocina.

Referências

BARBERI, M. **Ouvindo cores**. 2007. Disponível em: <http://www2.uol.com.br/vivermente/reportagens/ouvindo_cores.html>. Acesso em: 6 mar. 2017.

BRUIN, V. M. S. **Importância da melatonina na regulação do sono e do ritmo circadiano**: uma abordagem clínica. Disponível em: <http://www.sbpnet.org.br/livro/57ra/programas/CONF_SIMP/textos/veralicebruin.htm>. Acesso em: 19 mar. 2017.

EXAME. **Pesquisa tenta confirmar diagnóstico de Parkinson pelo odor**. 2015. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/tecnologia/pesquisa-tenta-confirmar-diagnostico-de-parkinson-pelo-odor/>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

HICKMAN, C. H.; ROBERTS, L. S.; LARSON, A. **Princípios integrados de zoologia**. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.

KARDONG, V. K. **Vertebrados**: anatomia comparada, função e evolução. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

MOYES, C. D.; SCHULTE, P. M. **Princípios de fisiologia animal**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

ZIMM, A. **Cachorros que farejam câncer oferecem novas opções de testes**. 2014. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/tecnologia/cachorros-que-farejam-cancer-oferecem-novas-opcoes-de-testes/>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

ISBN 978-85-522-0028-4



9 788552 200284 >