



BIOLOGIA

ÍNDICE

CAPÍTULO 01: HOMEOSTASE E NUTRIÇÃO.....	97
CAPÍTULO 02 : TROCAS GASOSAS.....	106
CAPÍTULO 03 : TECIDOS CONJUNTIVOS E IMUNIDADE.....	109
CAPÍTULO 04 : CIRCULAÇÃO.....	116
CAPÍTULO 05 : EQUILÍBRIO HIDROSSALINO E EXCREÇÃO.....	121
CAPÍTULO 06 : SISTEMA NERVOSO E ÓRGÃOS DOS SENTIDOS	124
CAPÍTULO 07 : REVESTIMENTO, SUSTENTAÇÃO E MOVIMENTOS	134
CAPÍTULO 08 : SISTEMA ENDÓCRINO E HOMEOTERMIA.....	137

PROFESSOR :

CAPÍTULO 01: HOMEOSTASE E NUTRIÇÃO

1. MEIO INTERNO E HOMEOSTASE

"O corpo é um edifício de substância intercelular, que as células habitam como residentes."

Arthur Ham, histologista canadense

o corpo de um animal pluricelular inclui o espaço intracelular, onde ocorre a maioria das reações químicas que mantêm a vida, e o espaço extracelular (ou interstício). Esse interstício, meio com o qual as células interagem, tende a tornar-se pobre em nutrientes e oxigênio, absorvidos pelas células, e mais "poluído" por gás carbônico e outros produtos descartados por elas.

Diversos mecanismos, entretanto, mantêm o equilíbrio dinâmico do meio interno, o que se conhece por homeostase, que inclui a estabilidade do pH, da composição química, da pressão osmótica, da quantidade de água e, em aves e mamíferos, da temperatura. Um ambiente interno estável é fundamental para a atividade enzimática, influenciada por fatores como o pH e a temperatura.



Figura 1 Mesmo submetidos a condições ambientais adversas, muitos animais conseguem manter o meio interno estável.

A homeostase implica o fornecimento contínuo, para o interstício, de recursos requeridos pelas células e a permanente remoção dos resíduos liberados. Aves e mamíferos, que são homeotermos, conservam o interior mais estável, com pequenas variações.

A homeostase é mantida por permanente monitorização e ajuste das condições fisiológicas (pH, temperatura, composição química etc.), graças à ação de:

- sensores - estruturas que avaliam permanentemente o meio interno e o ambiente;
- controladores - estruturas que interpretam as informações recolhidas pelos sensores e desencadeiam mecanismos de ajuste;
- efetores - estruturas comandadas pelos centros controladores, as quais operam as mudanças necessárias para que as condições internas se mantenham estáveis.

Para todas as condições monitorizadas, há um ponto de ajuste: o centro controlador, ao ser informado da ocorrência de desvios, desencadeia mecanismos que os corrigem.

Freqüentemente, o ajuste depende de um balanço entre ações antagônicas: há mecanismos geradores de calor e mecanismos que provocam perda de calor; há os que aumentam a concentração de glicose no sangue e os que a diminuem; o valor do pH do plasma pode ser elevado ou diminuído. Essas ações antagônicas são comandadas por retroindução (retroalimentação *ou feed-back*), que pode ser positiva ou negativa.

Um exemplo de retroindução negativa é o controle da glicemia (concentração de glicose no sangue). No intervalo entre duas refeições, a glicemia diminui, estimulando a secreção de glucagon pelo pâncreas. Esse hormônio estimula a mobilização do estoque de glicogênio do fígado, liberando glicose para o sangue. Com a elevação da glicemia, a produção de glucagon pelo pâncreas diminui. Trata-se, portanto, de um mecanismo de retroindução negativa, pois a resposta provocada (liberação de glicose pelo fígado) diminui a intensidade do estímulo desencadeante (a produção de glucagon).

A retroindução positiva ocorre, por exemplo, durante o trabalho de parto. A hipófise secreta ocitocina, hormônio que provoca contrações da musculatura do útero. A pressão exercida pelo bebê contra a região do orifício do útero estimula receptores ali localizados, que enviam a informação ao cérebro, estimulando a liberação de mais ocitocina pela hipófise e aumentando a intensidade das contrações. Com isso, os receptores do útero são ainda mais fortemente estimulados.

Tecidos animais

Os tecidos de um animal adulto originam-se de uma única célula-ovo (ou zigoto). No embrião, as células dividem-se por mitose, mas as células-filhas não permanecem idênticas, embora tenham o mesmo material genético. Surgem linhagens diferentes de células quanto à forma e à função, caracterizando a diferenciação celular.

Há quatro grandes categorias de tecidos animais, que diferem quanto ao tipo de células e à proporção entre o volume total de células e o volume de material existente entre elas.

- Tecidos epiteliais. São tecidos de revestimento, que recobrem a superfície do corpo e os órgãos internos. Têm células justapostas, ou seja, aderidas entre si, com pouco material intercelular, o qual funciona como cimento entre elas.
- Tecidos conjuntivos. São tecidos de preenchimento, com substância intercelular abundante e grande diversidade de tipos celulares. Ocupam espaços entre outros tecidos, mantendo a arquitetura dos órgãos e garantindo-lhes nutrição e defesa. Formam, também, estruturas de sustentação, como ossos e cartilagens.
- Tecidos musculares. São formados por longas

células contráteis (as fibras musculares), responsáveis por movimentos. Encontram-se ligados aos ossos ou na parede de órgãos ocos, como o intestino e o coração.

• **Tecido nervoso.** É composto de células da glia e de neurônios, cujos prolongamentos, numerosos e longos, percorrem o corpo dos animais, propagando rapidamente informações. Quando estimulados, os neurônios podem transmitir impulsos nervosos.

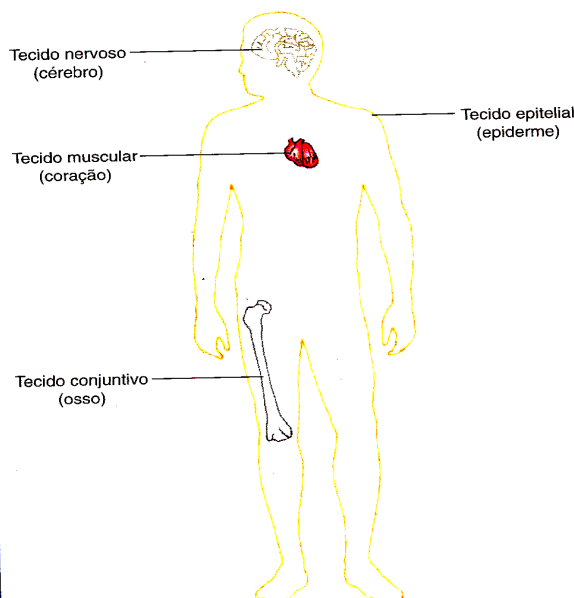


Figura 2: Tipos de tecidos no ser humano.

2. NUTRIÇÃO

As substâncias que os animais recolhem do meio externo, por meio da alimentação (glicose e aminoácidos, por exemplo) ou da respiração (o oxigênio do ar), são distribuídas pelo sangue para os tecidos, onde são empregadas nos processos metabólicos (figura 3).

Os animais obtêm substâncias orgânicas ingerindo tecidos ou fluidos de outros seres vivos. Com exceção dos poríferos, a quebra dos alimentos ocorre, pelo menos em parte, dentro de uma cavidade digestiva.

Os alimentos possuem macromoléculas. Uma refeição constituída por batata frita e bife, por exemplo, contém o amido da batata e as proteínas da carne. O amido e as proteínas são moléculas grandes e não podem ser absorvidas.

Não temos amido em nossas células, e as proteínas do boi são diferentes das nossas. Embora essas macromoléculas difiram das encontradas em células humanas, suas unidades formadoras são as mesmas: a glicose do amido é nosso principal combustível celular, e os aminoácidos das proteínas da carne são os mesmos usados na montagem de nossas proteínas.

As macromoléculas dos alimentos, portanto, são fragmentadas em moléculas menores - processo

chamado digestão - e posteriormente absorvidas e transportadas pela corrente sanguínea aos tecidos, onde serão usadas nas etapas do metabolismo.

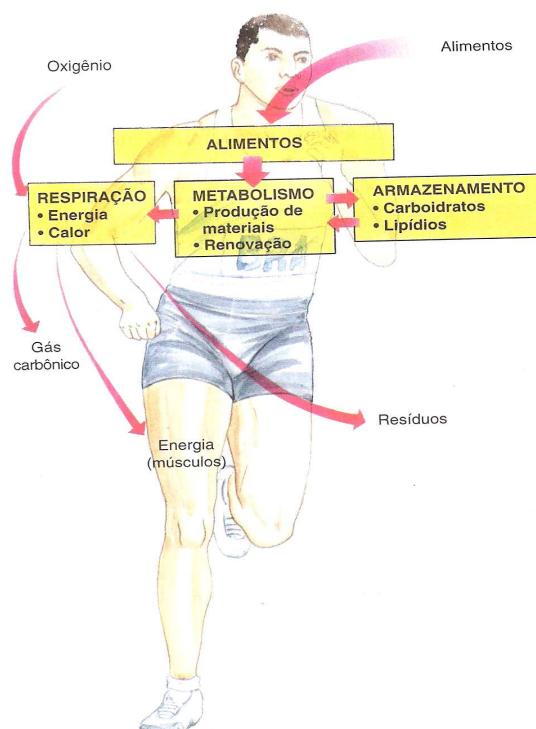


Figura 3: Principais processos metabólicos de um ser humano.

Necessidades nutricionais

Os alimentos habitualmente consumidos por um animal constituem sua **dieta**, que pode ser restrita ou diversificada. As substâncias ingeridas e usada no metabolismo são os **nutrientes**.

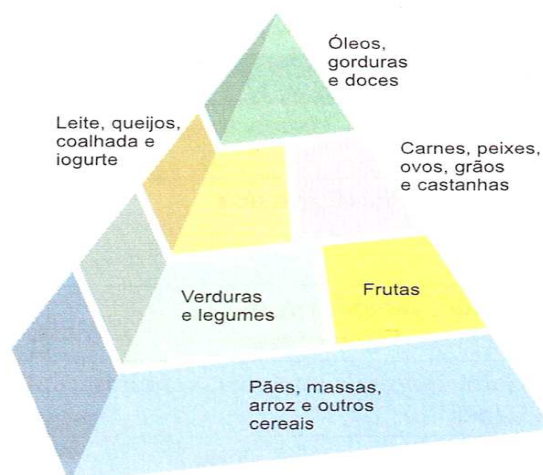
Nutrientes requeridos em grandes quantidades, como carboidratos, proteínas e gorduras, são **macronutrientes**; aqueles requeridos em pequenas quantidades, como íons inorgânicos (ou minerais) e vitaminas, são **m micronutrientes**.

Quanto à função no corpo, os nutrientes são classificados em:

- **energéticos** - usados como fonte de energia para as atividades metabólicas. São os carboidratos e os lipídios. Arroz, macarrão, margarina e óleos vegetais são alguns exemplos de alimentos ricos em nutrientes energéticos;
- **reguladores** - nutrientes imprescindíveis à regulação do metabolismo. São as vitaminas e os sais minerais, presentes em alimentos como frutas, verduras, fígado bovino e gema de ovo.
- **plásticos ou construtores** - utilizados essencialmente como constituintes estruturais das células. São as proteínas. Carne e ovos são exemplos de alimentos ricos em proteínas.

Podem-se estimar as quantidades adequadas de

cada tipo de nutriente pela observação da **pirâmide alimentar**.



Na pirâmide alimentar, a quantidade requerida de cada categoria de alimento é proporcional à sua área.

Alimentos e energia

A manutenção da vida, por incluir inúmeras atividades, consome muita energia, fornecida pelos alimentos. A quantidade de energia necessária varia de uma espécie animal para outra e de acordo com a atividade executada. Diferentes atividades envolvem diferentes consumos de energia.

Tabela 1 Consumo energético em algumas atividades humanas (em kcal/hora).

Atividades	Consumo energético	Atividades	Consumo energético
Dormir	65	Exercício pesado	450
Permanecer acordado, deitado	77	Natação	500
Permanecer sentado, descansando	100	Corrida leve	570
Vestir-se	120	Exercício muito pesado	600
Exercício leve	170	Caminhada rápida	650
Caminhada lenta	200	Subir escadas	1.100

Um adulto de vida sedentária consome cerca de 2.200 kcal/dia, enquanto um trabalhador, em atividade física intensa, pode necessitar de 6.000 a 8.000 kcal/dia. Do total calórico da dieta humana, cerca de 50% provêm dos carboidratos, 30 a 35% das gorduras e 15 a 20% das proteínas.

Caso a oferta calórica seja inferior à necessidade, o organismo utiliza as reservas de

glicogênio e de gordura; se estas chegarem próximo do final, as proteínas passam a ser usadas como fonte de energia, levando ao consumo da massa muscular e dos constituintes celulares.

Vitaminas

Necessárias em doses pequenas, as vitaminas são essenciais a muitos processos, nos quais geralmente atuam como coenzimas. As vitaminas do complexo B e a vitamina C são **hidrossolúveis** (solúveis em água), facilmente excretadas pela urina. Sua ingestão em altas doses geralmente não traz efeitos adversos. As vitaminas A, D, E e K são **lipossolúveis** (solúveis em gorduras). Em quantidade excessiva, podem trazer problemas, pois, como sua excreção é lenta, depositam-se nos tecidos, tendo efeito cumulativo.

As principais vitaminas, suas fontes, seus papéis metabólicos e os distúrbios resultantes de deficiências vitamínicas são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 Vitaminas: classificação, fontes, papéis metabólicos e distúrbios.

Vitaminas	Fontes	Papéis metabólicos	Distúrbio
Hidrossolúveis B, (tiamina)	Carnes, fígado, cereais integrais, leguminosas	Coenzima da respiração celular	Beribéri (deficiência cardíaca, neurite)
B ₂ (riboflavina)	Amplamente distribuída	Componente do FAD e de outras coenzimas do metabolismo energético	Lesões de epitélios
B ₃ (niacina)	Fígado, carnes, cereais integrais, leguminosas	Componentes do NAD e do NADP	Pelagra (diarréia crônica, dermatite e alterações neurológicas)
B ₆ (piridoxina)	Carnes, cereais integrais, verduras, fígado	Coenzima do metabolismo dos aminoácidos	Alterações neurológicas, dermatite, fraqueza muscular
B ₁₂ (cianocobalamina)	Fígado, ovos, carnes, leite e derivados	Coenzima do metabolismo dos ácidos nucleicos, divisão celular	Anemia perniciosa, alterações neurológicas
Ácido fólico ⁹	Folhas verdes, cereais integrais, fígado	Coenzima do metabolismo dos ácidos nucleicos e dos aminoácidos	Anemia, diarréia

Ácido pantotênico	Amplamente distribuído na dieta	Componente da coenzima A	Fadiga, distúrbios do sono, incoordenação motora
Biotina	Verduras, leguminosas, carnes	Coenzima do metabolismo dos aminoácidos	Fadiga, depressão, náusea, dermatite, dor muscular
C* (ácido ascórbico)	Frutas cítricas, acerola, kiwi, tomate, folhas verdes	Importante para a manutenção da matriz intercelular	Escorbuto (lesões da pele, sangramento nasal e gengival, lesões nas articulações)
Lipossolúveis (A) retinol	Ovos, leite e derivados, vitamina (caroteno) de vegetais amarelos e vermelhos	Componente de pigmentos visuais, manutenção da integridade dos epitélios	Cegueira noturna, espessamento da córnea, lesões de pele
D (calciferol)	Ovos, leite e derivados	Participa da mineralização dos ossos, facilita a absorção do cálcio dos alimentos	Raquitismo (descalcificação e deformidades ósseas)
E (tocoferol)	Sementes oleaginosas, folhas verdes	Antioxidante, previne lesões das membranas celulares	Anemia (questionável) esterilidade e (em roedores, apenas)
K (naftoquinona)	Síntese pelas bactérias da flora intestinal (principal fonte no adulto)	Produção de fatores da coagulação pelo fígado	Hemorragias graves, sangramentos internos

As vitaminas assinaladas são termolábeis. ou seja, não resistem ao cozimento.

A deficiência de vitamina C provoca o escorbuto, conhecido como "doença dos marujos", porque, durante as longas viagens marítimas, eles se alimentavam basicamente de carne-seca, grãos e farinha. É termolábil, inativando-se com o cozimento dos alimentos, e também não resiste muito tempo ao contato com o ar, oxidando-se.

Os precursores da vitamina D são ativados na pele dos mamíferos pela radiação ultravioleta. Sua deficiência leva ao raquitismo, que pode aparecer em crianças que não se expõem à radiação solar.

Minerais

Minerais são compostos inorgânicos, geralmente

encontrados nos alimentos na forma de íons. As principais fontes, seus papéis no metabolismo e os distúrbios relacionados com suas deficiências estão assinalados na tabela 3.

Tabela 3 Minerais: fontes, papéis metabólicos e distúrbios

Minerais	Fontes	Papéis metabólicos	Distúrbios
Sódio	Sal de cozinha	Equilíbrio osmótico e do pH, ação dos neurônios	Espasmos musculares, apatia, perda de apetite
Potássio	Carnes, leite, frutas	Equilíbrio osmótico e do pH, ação dos neurônios	Fraqueza muscular, paralisia, arritmia cardíaca
Cálcio	Leite e derivados, alguns vegetais e leguminosas	Formação dos ossos e dentes, contração muscular, coagulação	Osteoporose, convulsões, fraqueza muscular
Fósforo	Leite e derivados, carnes, peixe e cereais	Formação dos ossos e dentes, equilíbrio do pH, síntese do ATP	Desmineralização óssea, perda de cálcio, fraqueza
Cloro	Sal de cozinha	Equilíbrio do pH, produção de suco gástrico	Câimbras, apatia, perda de apetite
Ferro	Carnes, ovos, cereais integrais, leguminosas	Componente da hemoglobina, de numerosas enzimas do metabolismo energético e da digestão (Lactase)	Anemia, baixa resistência a infecções
Iodo	Frutos do mar, sal iodado	Componente do hormônio tireoideano	Bócio endêmico
Flúor	Frutos do mar, água tratada	Formação dos ossos e dentes	Maior frequência de cáries dentárias
Zinco	Amplamente distribuído na dieta	Componente de numerosas enzimas	Retardo no crescimento
Magnésio	Cereais integrais, folhas verdes	Co-fator de numerosas enzimas	Distúrbios de crescimento, distúrbios de comportamento
Cobre	Carnes e leguminosas	Co-fator de numerosas enzimas	Anemia, alterações ósseas
Manganês	Cereais integrais, ovos, folhas	Co-fator de numerosas enzimas	Nunca relatados em seres humanos

	verdes		
Cobalto	Carnes, leite e derivados	Componente da vitamina B ₁₂	Nunca relatados em seres humanos
Enxofre	Amplamente distribuído nas proteínas da dieta	Formação de cartilagens e tendões, síntese de aminoácidos	Relacionado à deficiência de aminoácidos

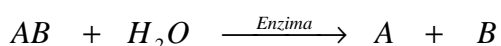
3. DIGESTÃO

Parte da diversidade entre os animais deve-se às adaptações relacionadas com a obtenção e a digestão dos alimentos. Em representantes dos principais grupos animais, existem estruturas anatômica e funcionalmente especializadas, que lhes permitem satisfazer suas necessidades nutricionais e ocupar com sucesso os mais diversos nichos ecológicos.

Em quase todos os animais, o alimento sofre tratamento mecânico e químico antes de ser assimilado.

• **Tratamento mecânico.** Grandes blocos de alimento, quebrados em pedaços menores, expõem uma superfície maior e auxiliam a ação das enzimas, por aumentar sua área de atuação. A fragmentação do alimento pode ser feita pela ação das peças bucais dos artrópodes (como as da libélula e as da lagosta), por raspagem (pela rádula de moluscos ou pela lanterna-de-aristóteles de equinodermos), por mastigação (pelos dentes dos vertebrados) ou, ainda, por contração de órgãos musculares internos (como a moela de minhocas e aves).

A digestão e a absorção se processam enquanto o alimento percorre o tubo digestivo, impelido pelas contrações dos músculos de sua parede.



• **Tratamento químico.** As grandes moléculas dos alimentos são quebradas em moléculas menores por **hidrólise**, catalisada pelas enzimas digestivas genericamente chamadas hidrolases.

4. DIGESTÃO HUMANA

O sistema digestório humano (figura 4), em sua porção tubular, possui quatro camadas: a mucosa, a submucosa, a camada muscular e o peritônio.

A camada muscular realiza contrações ondulatórias, os chamados **movimentos peristálticos**, que impelem o alimento ao longo do tubo digestivo.

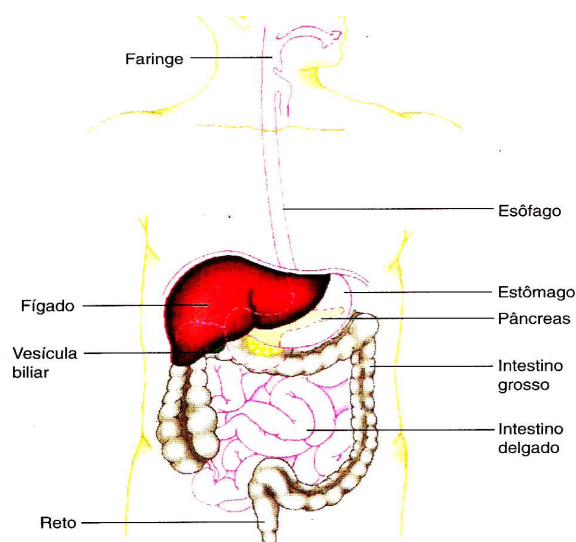


Figura 4: Sistema digestório humano.

A camada mucosa secreta substâncias (enzimas, por exemplo) e absorve nutrientes. Nessa camada existem **glândulas anexas** (salivares, fígado e pâncreas) que lançam produtos na luz (cavidade interna) do tubo digestivo.

Na **boca**, os alimentos são fragmentados com a ajuda dos dentes. A **saliva**, produzida por glândulas salivares (parótidas, submandibulares e sublinguais), tem **pH** de aproximadamente 6,8.

Além de auxiliar, com seus movimentos, a mistura do alimento com a saliva, a língua também é útil na **deglutição**, forçando contra o palato (ou céu da boca) porções de alimento, que se deslocam para a faringe, ao mesmo tempo em que a epiglote fecha a abertura da laringe, impedindo a penetração dos alimentos nas vias aéreas. Os alimentos deglutidos passam, então, pelo esôfago, um tubo de 25 cm de comprimento, chegando ao estômago.

O **estômago** tem volume de 1 a 2 L e a forma de um J.

Na mucosa gástrica, há três tipos de células: produtoras de enzimas, secretoras de ácido clorídrico e produtoras de muco. O **suco gástrico** tem **pH** ácido e potente ação bactericida. No estômago há duas estruturas que funcionam como válvulas: a **cárdia**, que evita o retorno dos alimentos do estômago para o esôfago, e o **píloro**, que impede o refluxo do conteúdo do intestino para o estômago.

O **intestino delgado** é um tubo com 3 cm de diâmetro e 7 a 8 m de comprimento. Seus primeiros 30 cm representam o duodeno; o restante inclui o jejuno e o íleo. No intestino delgado, os alimentos entram em contato com a **bile**, produzida pelo fígado, o qual pesa cerca de 1.400 g. O sangue que recolhe substâncias no intestino é drenado pela veia porta, que se ramifica no fígado em capilares especiais, chamados sinusóides hepáticos.

O **fígado** armazena substâncias, como glicose (convertida em glicogênio), ferro e vitaminas; sintetiza proteínas (albumina, fatores da

coagulação etc.); inativa produtos tóxicos (por exemplo, álcool e medicamentos); metaboliza e elimina resíduos gerados no próprio corpo (como a uréia, o ácido úrico e o ácido láctico).

O **pâncreas** também lança secreções no interior do intestino delgado, além de produzir hormônios, como a insulina e o glucagon.

O **intestino grosso** é um tubo em formato de U invertido, com 6 cm de diâmetro e 1,5 m de comprimento. Sua primeira porção é uma região sacular, chamada ceco, onde se abre o apêndice cecal ou vermiforme. O intestino grosso é colonizado por uma rica flora bacteriana,

Tabela 4 Secreções digestivas: produção e ação.

produtora de vitaminas (como a vitamina K e algumas do complexo B) e que dificulta o crescimento de bactérias patogênicas.

A porção final do tubo digestivo é o **reto**, que se abre no ânus.

Etapas da digestão química

No tubo digestivo, o alimento entra em contato, sucessivamente, com cinco secreções digestivas: saliva, suco gástrico, bile, suco pancreático e suco entérico (tabela 4).

Secreção digestiva	pH	Órgão produtor	Local de atuação	Enzima	Ação
Saliva	Neutro	Glândulas salivares	Boca	Amilase salivar (ptialina)	Amido - 7 maltose
Suco gástrico	Ácido (ácido clorídrico)	Estômago	Estômago	Pepsina (pepsinogênio - pepsina)	Proteínas - 7 peptídeos menores
Bile (armazenada na vesícula biliar)	Básico (bicarbonato de sódio)	Fígado	Intestino delgado	Nenhuma (apenas sais biliares)	Emulsificação das gorduras (converte gotas de gorduras em gotículas, aumentando a área de atuação das enzimas)
Suco pancreático	Básico (bicarbonato de sódio)	Pâncreas (ácinos pancreáticos)	Intestino delgado	Tripsina (tripsinogênio - 7 tripsina)	Proteínas - 7 peptídeos menores
				Amilase pancreática	Amido - 7 maltose
				Lipase pancreática	Triacilgliceróis - 7 glicerol + ácidos graxos
				Ribonuclease	RNA - 7 ribonucleotídeos
				Desoxirribonuclease	DNA - 7 desoxirribonucleotídeos
Suco entérico	Neutro	Intestino delgado	Intestino delgado	Enteroquinase	Tripsinogênio - 7 tripsina
				Maltase	Maltose - 7 glicose + glicose
				Sacarase	Sacarose - 7 glicose + frutose
				Lactase	Lactose - 7 glicose + galactose
				Peptidases	Peptídeos - 7 aminoácidos

A saliva é uma solução aquosa que, misturada aos alimentos, facilita sua deglutição e a propagação pelo tubo digestivo.

A ptialina (ou amilase salivar) inicia a hidrólise do amido, resultando em moléculas de maltose, um dissacarídeo. Apenas pequena parte do amido é digerida na boca. No estômago, o pH ácido do suco gástrico inativa a ptialina.

O suco gástrico, secretado pela mucosa do

estômago, é constituído por água, sais, enzimas e ácido clorídrico. Esse ácido mantém o pH do interior desse órgão entre 1 e 2 e dissolve o cimento intercelular dos tecidos dos alimentos, auxiliando a fragmentação mecânica iniciada pela mastigação. O ácido clorídrico também destrói a maioria das bactérias ingeridas com os alimentos. A pepsina é uma enzima proteolítica (ou protease), pois hidrolisa proteínas. Como nem

todas as ligações peptídicas são quebradas por ela, o resultado da ação dessa enzima são pequenos polipeptídeos. A pepsina é secretada na forma de pepsinogênio, que, por ser inativo, não digere as células que o produzem. O ácido clorídrico converte o pepsinogênio em pepsina, a qual passa a catalisar a conversão de mais pepsinogênio em pepsina.

A mucosa gástrica é coberta por uma camada de muco, que a protege da agressão do suco gástrico, bastante corrosivo. Ocasionalmente ocorre inflamação difusa da mucosa (gastrite) ou mesmo o aparecimento de lesões dolorosas que sangram (úlceras gástricas).

Depois de três a quatro horas no estômago, os alimentos transformam-se em uma massa cremosa (o quimo), que passa para o intestino delgado.

No duodeno, o quimo entra em contato com a bile, secreção produzida pelo fígado e cujo pH oscila entre 8 e 8,5. Possui bicarbonato de sódio e sais biliares, cuja ação detergente reduz as gotas de gorduras a gotículas (emulsificação), aumentando a superfície exposta à ação das enzimas digestivas. Das secreções digestivas, a bile é a única que não contém enzimas.

No duodeno, o quimo recebe também o suco pancreático, que contém água, enzimas e grande quantidade de bicarbonato de sódio. O pH do suco pancreático é básico, variando entre 8,5 e 9. As enzimas do suco pancreático hidrolisam carboidratos, proteínas, gorduras e ácidos nucléicos.

A amilase pancreática fragmenta o amido em moléculas de maltose. A lipase pancreática hidrolisa as moléculas de triacilgliceróis, originando glicerol e ácidos graxos. A ribonuclease e a desoxirribonuclease atuam sobre o RNA e o DNA, respectivamente, separando seus nucleotídeos.

O suco pancreático contém, ainda, o tripsinogênio e o quimotripsinogênio, formas inativas em que são secretadas as enzimas proteolíticas tripsina e quimotripsina. Na forma inativa, elas não digerem as células secretoras.

A tripsina e a quimotripsina rompem ligações específicas ao longo dos polipeptídeos, convertendo-os em polipeptídeos menores. Na luz do duodeno, a enteroquinase, enzima secretada por células intestinais, converte o tripsinogênio em tripsina que, por sua vez, contribui para a conversão de tripsinogênio e quimotripsinogênio em enzimas ativas.

Células da mucosa do intestino delgado secretam o **suco entérico**, rico em enzimas, uma das quais a enteroquinase. Outras são as dissacaridasas, que hidrolisam dissacarídeos e originam monossacarídeos: a sacarase hidrolisa a sacarose; a lactase fragmenta a lactose; a maltase digere a maltose.

No suco entérico, existem também as peptidasas,

enzimas que completam a hidrólise das proteínas, resultando em aminoácidos. Finalmente, encontram-se enzimas que hidrolisam os nucleotídeos, separando seus componentes: bases nitrogenadas, pentoses e fosfato.

Absorção e distribuição de nutrientes

A digestão produz moléculas pequenas e solúveis (glicose, aminoácidos, glicerol etc.), que são absorvidas. A mucosa do intestino delgado apresenta **vilosidades** (projeções) (figura 5a), enquanto as células da mucosa possuem **microvilosidades** (figura 5b), formadas por dobras da membrana plasmática. Graças às vilosidades e às microvilosidades, a superfície interna do intestino é seiscentas vezes maior do que se fosse um tubo liso, o que aumenta a eficiência da absorção de nutrientes. O intestino delgado absorve 90% da água ingerida; os 10% restantes são absorvidos no intestino grosso. Os íons minerais e as vitaminas não são submetidos à hidrólise, sendo absorvidos no intestino delgado. Carboidratos e proteínas são hidrolisados, respectivamente, em monossacarídeos e aminoácidos, absorvidos também no intestino delgado. Os ácidos nucléicos sofrem hidrólise, sendo absorvidos os produtos de sua digestão: o fosfato, as pentoses e as bases nitrogenadas.

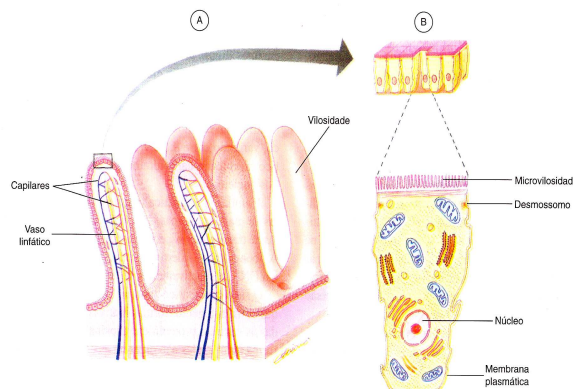


Figura 5 Vilosidades (a) e microvilosidades (b) do intestino humano.

Água, sais minerais, vitaminas, monossacarídeos e aminoácidos são recolhidos por capilares sanguíneos das vilosidades intestinais. O sangue drenado por esses vasos segue pela veia porta para o fígado, onde muitos nutrientes (como glicose, aminoácidos, ferro e vitaminas) são armazenados.

Os produtos da digestão de gorduras são absorvidos principalmente como glicerol e ácidos graxos. Nas células da mucosa, tais substâncias são reagrupadas em triacilgliceróis e envelopadas por uma camada de proteínas, formando-se os quilomícrons, transferidos para os vasos linfáticos das vilosidades intestinais.

Hormônio	Órgão produtor	Estímulo desencadeante	Órgão alvo	Atuação
Gastrina	Estômago	Presença do alimento	Mucosa gástrica	Estimula a secreção de suco gástrico
Secretina	Duodeno	Presença do alimento (principalmente quimo ácido)	Pâncreas	Estimula a secreção de suco pancreático rico em bicarbonato de sódio, que neutraliza a acidez do quimo no intestino
Colecistocinina (CCK)	Duodeno	Presença do alimento (principalmente quimo gorduroso)	Pâncreas	Estimula a secreção de suco pancreático, rico em enzimas digestivas
			Vesícula biliar	Estimula a contração da vesícula biliar e a liberação da bile no duodeno
Enterogastrona	Duodeno	Presença de quimo gorduroso	Estômago	Inibe a secreção de suco gástrico e retarda o esvaziamento do estômago

As fibras vegetais, principalmente a celulose, não são digeridas nem absorvidas. Elas passam inertes por todo o tubo digestivo e constituem porcentagem significativa das fezes. Como retêm água, as fibras tornam as fezes macias e fáceis de eliminar. Pessoas cuja alimentação é pobre em verduras, frutas ou cereais integrais apresentam fezes ressecadas, que dificultam a defecação e podem causar hemorróidas, divertículos, fissuras anais e câncer de intestino grosso.

5. CONTROLE DA ATIVIDADE DIGESTIVA

A produção de saliva pode ser estimulada pela presença dos alimentos na boca ou mesmo em sua ausência: basta vermos os alimentos, sentirmos seu cheiro ou apenas pensarmos neles.

Enquanto o alimento ainda está na boca, o sistema nervoso envia estímulos ao estômago, que se antecipa à sua chegada, iniciando a liberação de suco gástrico.

Além do sistema nervoso, a produção de secreções digestivas também é controlada por hormônios (figura 6).

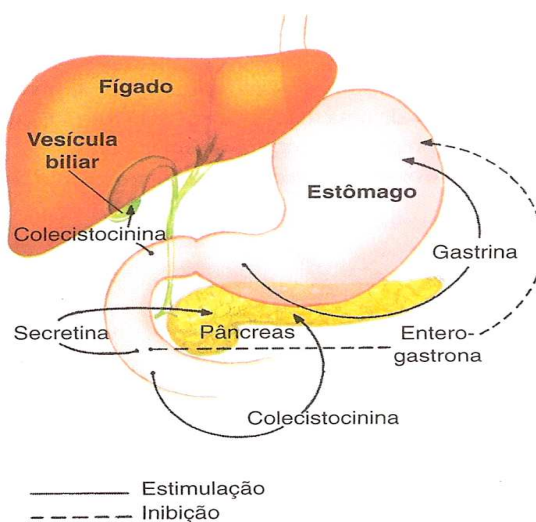


Figura 6 Ação dos hormônios envolvidos no controle da atividade digestiva. **6. ASPECTOS COMPARATIVOS DA DIGESTÃO DE VERTEBRADOS**

o intestino de condrites tem uma prega helicoidal interna - a **válvula espiral** (figura 7) -, que aumenta a superfície de absorção de nutrientes.

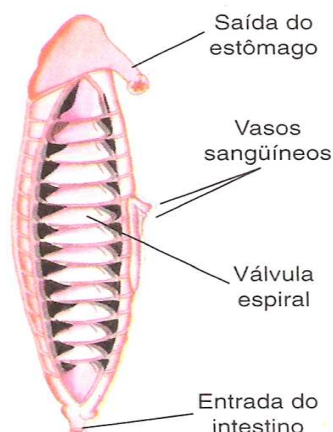


figura 7 Intestino aberto de tubarão, mostrando a válvula espiral.

As aves (figura 8) não possuem dentes. No esôfago, há uma região dilatada, chamada **papo**, que serve de reservatório temporário de alimentos e não produz secreções digestivas. O estômago divide-se em **proventrículo** (estômago químico), onde os alimentos são misturados com enzimas digestivas, e **moela** (estômago mecânico), que tritura os alimentos enquanto eles sofrem a ação das enzimas digestivas.

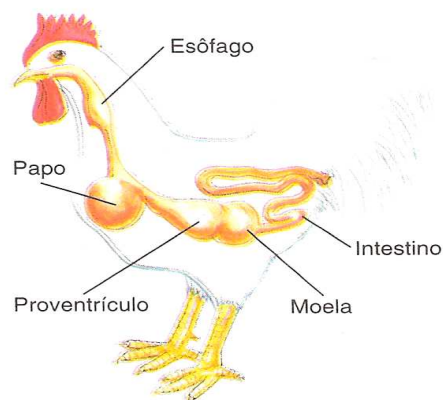


Figura 8 Sistema digestivo de ave.

O intestino grosso é curto ou ausente. A capacidade de absorção de água é limitada, sendo elevado o conteúdo líquido das fezes. Trata-se de uma adaptação evolutiva ao voo, já que as aves não acumulam fezes.

Nos mamíferos, verificam-se adaptações na dentição. Os dentes diferenciam-se em incisivos, caninos, pré-molares e molares, especializados em prender, roer, cortar, rasgar, perfurar e moer alimentos. Mamíferos onívoros, como os seres humanos, possuem dentição pouco especializada, segundo o padrão de sua dieta. Em geral o intestino de carnívoros é mais curto, quando comparado com o de herbívoros de porte semelhante.

Onívoros são os animais que incluem, na dieta, animais e plantas. Os seres humanos, o chimpanzé, o porco e o urso-pardo são onívoros.

Nenhum vertebrado produz **celulase**, a enzima digestora da celulose. Entretanto vários **mamíferos herbívoros** aproveitam a celulose graças à presença, no tubo digestivo, de microrganismos produtores daquela enzima. Em geral os herbívoros têm tubos digestivos longos, em que se encontram câmaras de fermentação microbiológica.

Os cavalos têm um longo apêndice cecal, colonizado por imensa flora de bactérias produtoras de celulase. Como a digestão da celulose ocorre em uma região terminal do tubo

digestivo, o aproveitamento do material digerido é baixo. Os coelhos possuem apêndice cecal longo e colonizado por grande quantidade de bactérias fermentadoras de celulose. Eles comem as próprias fezes e aproveitam nutrientes sintetizados pelas bactérias.

A mais eficiente forma de digestão mutualística da celulose é observada em **ruminantes** (como bois, carneiros, cabras, camelos, girafas e veados), cujo estômago (figura 9) é habitado por grande quantidade de bactérias e protozoários ciliados, fermentadores de celulose.

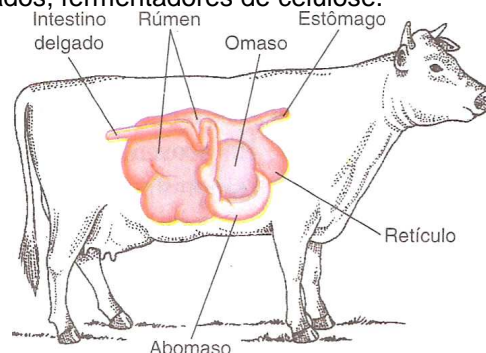


Figura 9 Os alimentos sólidos são mastigados apenas parcialmente. No rúmen (ou pança) e no retículo (ou barrete), os alimentos sofrem a ação de protozoários e bactérias. Do retículo o alimento retorna à boca, sofrendo mastigação mais vagarosa; redeglutido, retorna para outra temporada de ação dos microrganismos. Quando os alimentos adquirem consistência semilíquida, são impulsionados para o omaso (ou folhoso), passando, a seguir, para o abomaso (ou coagulador), onde irão sofrer a ação das enzimas digestivas, principalmente de proteases. O abomaso é o único compartimento que secreta enzimas. Depois os alimentos seguem para o intestino delgado, onde, em linhas gerais, a digestão tem as mesmas etapas dos demais mamíferos.

CAPÍTULO 02 : TROCAS GASOSAS

1. HOMEOSTASE E TROCAS GASOSAS

Os animais contam com mecanismos de trocas gasosas (obtenção de oxigênio e eliminação de gás carbônico) adaptados a seu ambiente. Há diversas formas de trocas gasosas: respiração por difusão, traqueal, cutânea, branquial e pulmonar.



Figura 1: Durante uma corrida, a demanda de oxigênio é suprida por trocas gasosas que ocorrem nos pulmões.

A respiração branquial é adequada à vida aquática.

Se retirarmos da água um animal dotado de brânquias, os filamentos branquiais irão aderir uns aos outros, diminuindo consideravelmente a área efetiva de trocas.

A respiração pulmonar ocorre em pulmões, que são invaginações revestidas internamente por uma membrana delgada, úmida e ricamente vascularizada, em que ocorrem trocas gasosas. Hematose é a oxigenação do sangue resultante das trocas gasosas com o ambiente (água ou ar). Em animais dotados de respiração cutânea, branquial ou pulmonar, há nítida associação funcional entre os sistemas respiratório e circulatório. Isso não se verifica em animais com respiração por difusão ou traqueal, nos quais as trocas gasosas ocorrem sem a participação do sangue.

2. RESPIRAÇÃO DE VERTEBRADOS TERRESTRES

Os pulmões dos anfíbios (figura 2a) são lisos, com pequena área de trocas gasosas. A oxigenação do sangue é complementada em sua passagem pela pele delgada e ricamente vascularizada. Os pulmões dos répteis (figura 2b) são segmentados e a área de trocas é proporcionalmente maior que a dos anfíbios. Os répteis não têm respiração cutânea e sua superfície corporal é recoberta e impermeabilizada por queratina abundante. Os pulmões dos mamíferos (figura 2c) apresentam grande área interna e são constituídos por unidades de trocas gasosas, denominadas alvéolos. Os pulmões das aves não possuem alvéolos, mas túbulos, denominados parabronquíolos, em que ocorrem as trocas gasosas.

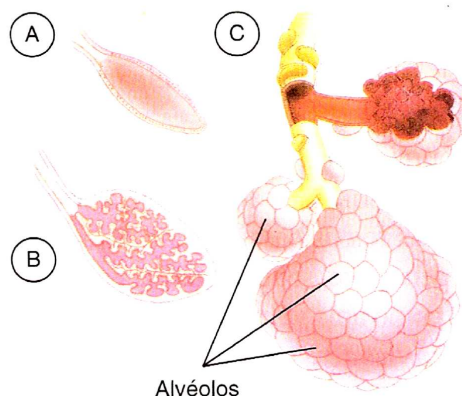


Figura 2 Pulmões de (a) anfíbios, (b) répteis e (c) mamíferos. Evolutivamente, nota-se aumento progressivo da área total de trocas gasosas.

3. VIAS AÉREAS HUMANAS

No sistema respiratório humano, a entrada e a saída do ar normalmente ocorrem pelas narinas, as quais se comunicam com as fossas ou cavidades nasais (figura 3a), em cujo interior há dobras, chamadas cornetos nasais, que forçam o ar a turbilhonar. O revestimento das cavidades nasais apresenta células produtoras de muco e células ciliadas, cujos cílios batem em direção à faringe, varrendo a camada de muco. Esse revestimento é o epitélio mucociliar (figura 3b), encontrado também em porções inferiores das vias aéreas, como a traquéia e os brônquios.

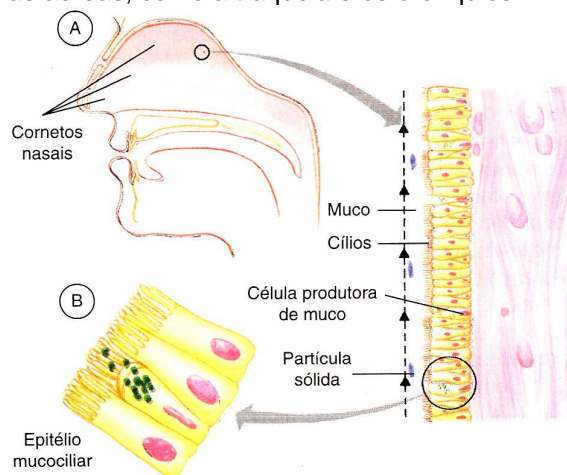


Figura 3: A cavidade nasal (a) é revestida pelo epitélio mucociliar (b). Na camada de muco que o recobre, ficam aderidas partículas sólidas, que penetram nas vias aéreas junto com o ar inalado. Levadas pelo batimento dos cílios em direção à faringe, essas partículas são deglutidas ou eliminadas.

A limpeza das vias aéreas, que depende do bom funcionamento dos cílios e das características do muco produzido pelo epitélio mucociliar, pode ser afetada por alterações ambientais, infecciosas ou hereditárias. A inalação de ar frio, por exemplo, diminui a velocidade dos batimentos ciliares, com prejuízo para a remoção de partículas sólidas. A

fumaça de cigarros diminui a eficiência dos batimentos ciliares, o que se traduz na maior frequência de doenças respiratórias entre os fumantes e seus filhos. A incidência de pneumonia é três vezes maior nos filhos de mulheres fumantes que nos filhos das não-fumantes.

Além do epitélio mucociliar, as vias aéreas contam com outros mecanismos contra a entrada de microrganismos e de outros materiais: anticorpos (proteínas de defesa) e macrófagos (células que fagocitam partículas estranhas, como bactérias), além da tosse e do espirro (que eliminam partículas sólidas inaladas).

Além de **filtrado**, o ar que passa pelas cavidades nasais é **aquecido e umidificado**, tomando-se saturado de vapor de água. Após atravessar as fossas nasais, passa para a faringe e entra na laringe pela glote, sobre a qual se encontra a epiglote, que funciona como uma válvula, impedindo que os alimentos penetrem nas vias aéreas durante a deglutição.

Na laringe estão as cordas vocais, que vibram com a passagem do ar e emitem sons. A **fala** (ou **fonação**) deve-se aos movimentos sincronizados da língua, dos lábios e das cordas vocais.

A traquéia, um tubo mantido aberto por anéis cartilagosos, bifurca-se e origina dois brônquios que penetram nos pulmões. Ramificando-se em brônquios progressivamente menos calibrosos, chegam aos bronquíolos, que se abrem nos alvéolos pulmonares, cuja parede contém uma única camada de células.

Os pulmões (figura 4a), órgãos de consistência esponjosa e coloração vermelha, são revestidos externamente pela pleura, constituída por dois folhetos justapostos. Nos alvéolos pulmonares, as trocas entre o ar e o sangue dos capilares ocorrem por difusão (figura 4b).

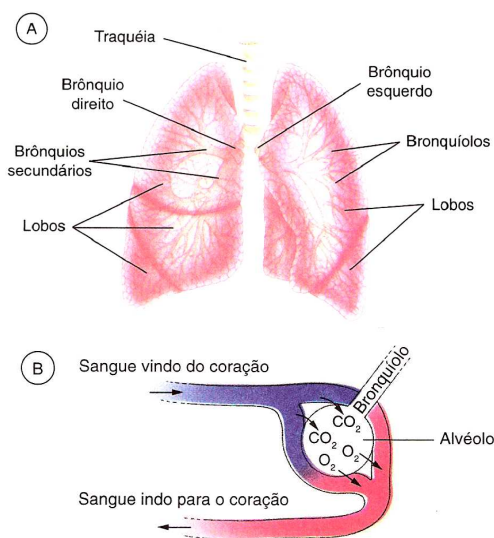


Figura 4 (a) O pulmão direito tem três lobos; o esquerdo, dois. O volume do pulmão esquerdo é menor que o do direito, pois parte do lado

esquerdo da cavidade torácica é ocupada pelo coração. (b) O sangue venoso (indicado em azul) que chega aos alvéolos é rico em gás carbônico e pobre em oxigênio. Depois de efetuar trocas gasosas com o ar alveolar, o sangue torna-se arterial, rico em oxigênio e pobre em gás carbônico (indicado em vermelho), e retoma ao coração.

4. BIOMECÂNICA E CONTROLE DA RESPIRAÇÃO

Os peixes (figura 5) têm, em suas brânquias, detalhes que as tornam mais eficientes que as brânquias dos invertebrados.

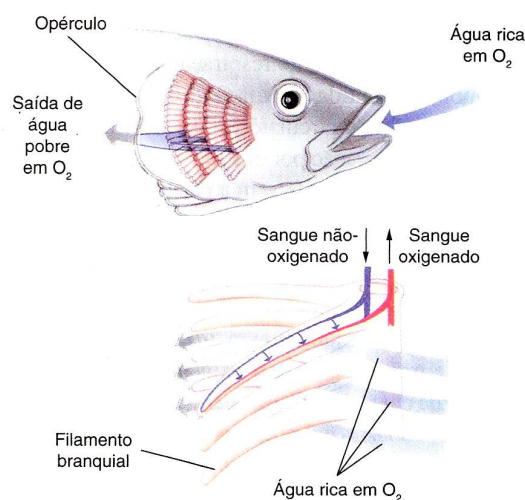


Figura 5 Graças aos movimentos sincronizados da boca e do opérculo, estabelece-se um fluxo de água, que penetra pela boca, passa pelas brânquias e sai pela abertura lateral. Dessa forma, a água em contato com as brânquias é permanentemente renovada.

A maioria dos peixes cartilaginosos não tem opérculo; suas câmaras branquiais comunicam-se com o exterior por meio de cinco a sete pares de fendas branquiais.

Vertebrados pulmonados possuem "pulmões de ventilação", porque contam com mecanismos ativos de substituição do ar contido em seu interior. Nos anfíbios, depois de enchi da a cavidade oral de ar, os músculos da boca e da faringe forçam sua passagem contra a glote, e o ar é "empurrado" para dentro dos pulmões. Com a abertura da glote e o relaxamento da faringe, o ar é eliminado.

Os outros grupos de vertebrados pulmonados (répteis, aves e mamíferos) enchem e esvaziam os pulmões por modificações no volume da cavidade torácica (figura 6). Entre as costelas, existem **músculos intercostais** que, ao se contraírem, tracionam as costelas para a frente e aumentam o volume da cavidade. Com o

aumento de volume, a pressão interna torna-se menor que a pressão atmosférica, forçando a entrada de ar pelas vias aéreas (**inspiração**). Com o relaxamento da musculatura, a elasticidade dos pulmões e da cavidade do corpo força a diminuição de seu volume, aumentando a pressão, que se torna superior à pressão atmosférica; o ar dos pulmões é, então, eliminado (**expiração**).

Somente os mamíferos têm o músculo **diafragma**, que separa a cavidade torácica da abdominal. Ao se contrair, o diafragma desloca-se em direção ao abdome; o volume do tórax aumenta, determinando a entrada de ar nos pulmões. Portanto, nos mamíferos, a inspiração ocorre pela contração simultânea dos músculos intercostais e do diafragma.

Nas aves, a renovação do ar dos pulmões conta com a participação dos **sacos aéreos** (figura 7). Em cada ciclo respiratório, a quantidade de ar novo que penetra nos pulmões das aves é muito maior que a quantidade que penetra nos pulmões dos mamíferos; além disso, as aves fazem hematose tanto na inspiração como na expiração.

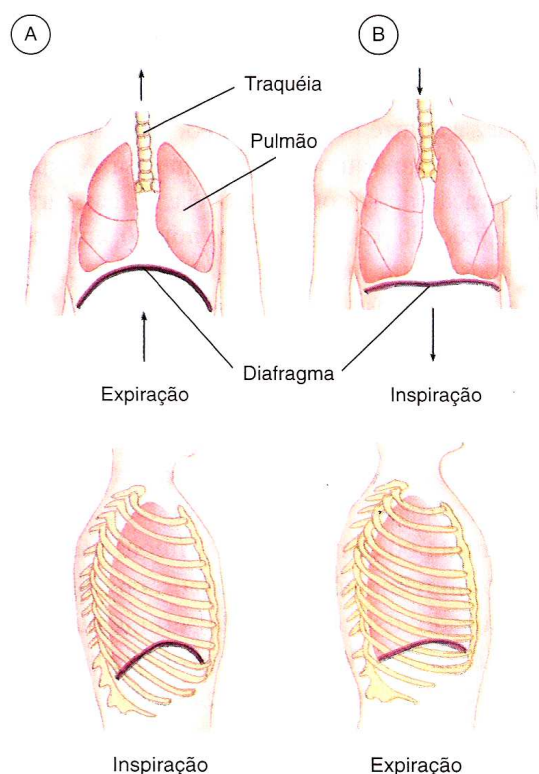


Figura 6 Ciclo respiratório: (a) expiração e (b) inspiração.

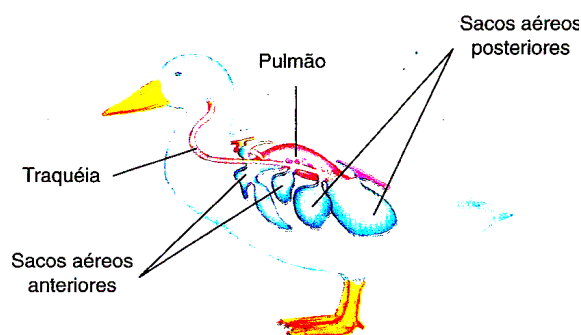


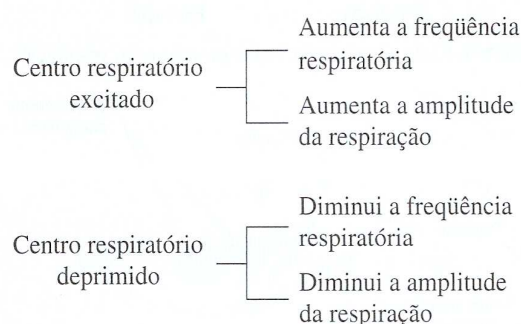
Figura 7 Os sacos aéreos não realizam trocas gasosas. Sua função é aumentar a renovação do ar pulmonar em cada movimento respiratório e permitir a hematose nos parabronquíolos, tanto na inspiração quanto na expiração

Controle da respiração

Em repouso, a frequência respiratória em seres humanos é de dez a quinze movimentos por minuto e aumenta bastante durante uma atividade física intensa. A capacidade de renovação do ar contido nas vias aéreas varia amplamente, podendo passar de 5 e por minuto, em um adulto em repouso, para mais de 120 e por minuto, durante atividade física intensa.

No **bulbo**, parte do sistema nervoso central, há um centro controlador da respiração - o **centro respiratório** (C R) - que recebe informações sobre parâmetros respiratórios e os processa. Do CR partem nervos responsáveis pela contração dos músculos respiratórios (diafragma e músculos intercostais).

O CR aumenta ou diminui tanto a frequência como a amplitude dos movimentos respiratórios, ou seja, o volume de ar renovado. Essa capacidade permite que os tecidos recebam a quantidade de oxigênio de que necessitam, além de remover adequadamente o gás carbônico.



O controle sobre a atividade respiratória é tão preciso que, mesmo diante de grandes variações nas concentrações ambientais de gás carbônico e de oxigênio ou durante atividades físicas intensas, as concentrações desses gases no sangue permanecem praticamente constantes.

A respiração é, ainda, um mecanismo controlador do pH do sangue. Eis a reação entre a água e o gás carbônico:



O aumento na concentração de gás carbônico no sangue provoca aumento na liberação de íons H^+ e o plasma tende ao pH ácido. Se a concentração de gás carbônico diminui, o pH do plasma sanguíneo tende a se tornar mais básico.

- Se o pH do plasma está abaixo do normal (o que se chama **acidose**), o centro respiratório é excitado, aumentando a frequência e a amplitude dos movimentos respiratórios. O aumento na ventilação pulmonar determina a eliminação de maior quantidade de gás carbônico, elevando-se o pH do plasma até o valor normal.

- Caso o pH esteja acima do normal (**alcalose**), o centro respiratório é deprimido, diminuindo a frequência e a amplitude dos movimentos respiratórios. Com a diminuição da ventilação pulmonar, há retenção de gás carbônico e maior produção de íons W , determinando a queda do pH plasmático até seu valor normal.

Os **quimiorreceptores** do centro respiratório são bastante sensíveis ao pH do plasma e à concentração de gás carbônico. Aumentos na concentração de gás carbônico causam aumento na frequência respiratória, enquanto a diminuição em sua concentração tem efeito contrário. Na parede da artéria aorta e nas artérias carótidas, existem quimiorreceptores sensíveis à concentração de oxigênio no sangue. Se essa concentração diminui, eles enviam estímulos ao centro respiratório, que determina elevação da ventilação pulmonar.

pH do sangue		Concentração de CO_2		Concentração de O_2	
Acidose (pH <7,36)	Alcalose (pH >7,44)	Alta	Baixa	Alta	Baixa
Excita CR	Deprime CR	Excita oCR	Deprime oCR	Deprime oCR	Excita oCR

CAPÍTULO 03 : TECIDOS CONJUNTIVOS E IMUNIDADE

1. MANUTENÇÃO DA INFRA-ESTRUTURA

Os tecidos conjuntivos (ou conectivos) ligam outros tecidos entre si: a derme liga a epiderme aos músculos e à gordura subjacente; os tendões unem os músculos aos ossos. Além disso, participam da sustentação, do transporte de substâncias e da defesa do organismo contra agentes infecciosos. São tecidos ricamente vascularizados e apresentam diversos tipos de células esparsas, entre as quais existe abundante interstício, em que se encontram fibras de proteínas (principalmente de colágeno). As células mais numerosas do tecido conjuntivo são os fibroblastos, que produzem as fibras protéicas e a substância amorfa.

Funções dos tecidos conjuntivos

- Preenchimento e sustentação. Os tecidos conjuntivos formam as cápsulas que envolvem muitos órgãos e as malhas internas que sustentam as células, mantendo a arquitetura dos órgãos. Formam, ainda, os esqueletos ósseos ou cartilaginosos, que dão sustentação ao corpo e facilitam a execução de movimentos.

- Nutrição. Substâncias que vão do sangue para as células atravessam os tecidos conjuntivos. Os epitélios, por exemplo, não recebem vasos sanguíneos e são nutridos e oxigenados a partir do tecido conjuntivo subjacente.

- Defesa orgânica. Os tecidos conjuntivos possuem células produtoras de anticorpos e células que fagocitam agentes infecciosos.

Tipos especiais de tecidos conjuntivos

- Sistema mononuclear fagocitário (ou sistema retículo-endotelial). Inclui as células fagocitárias de todo o organismo, principalmente os macrófagos.

- Tecido adiposo. Maior reserva energética dos animais, suas células típicas são os adipócitos. Contribui para manter a temperatura corporal e ocupa espaços entre os órgãos, sustentando-os e protegendo-os contra choques mecânicos.

- Tecido hematopoético. Responsável pela hematopoese, que é a produção de células do sangue, esse tecido se encontra na medula óssea vermelha, no espaço interno dos ossos achatados (esterno, costelas, vértebras, ossos da bacia e do crânio). Nos adultos, a medula óssea vermelha de ossos longos (como fêmur, tíbia e úmero) é substituída pela medula óssea amarela, rica em gordura.

2. SANGUE

O plasma - solução que contém água, proteínas, glicose, sais minerais, aminoácidos, gorduras e vitaminas é a parte líquida do sangue e representa, em uma pessoa adulta, cerca de 55% do volume; os 45% restantes são constituídos por elementos figurados.

Os elementos figurados são os leucócitos (ou glóbulos brancos), as hemácias (também chamadas glóbulos vermelhos ou eritrócitos) e as plaquetas.

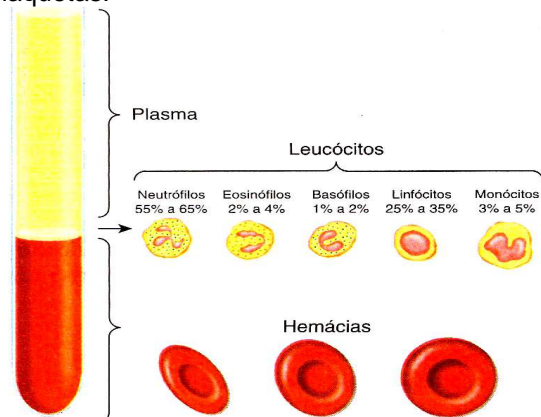


Figura 1: Por centrifugação, separa-se o plasma dos elementos figurados.

Os leucócitos são células cujo diâmetro varia entre 8 e 12 μm . Estão presentes, em um adulto humano, em quantidades que variam de cinco mil a dez mil por milímetro cúbico de sangue. Associam-se com a defesa do organismo contra agentes infecciosos ou toxinas. Há cinco tipos de leucócitos: neutrófilos, basófilos, eosinófilos, linfócitos e monócitos.

As plaquetas são fragmentos citoplasmáticos anucleados de células da medula óssea, denominadas megacariócitos, cujos prolongamentos se rompem e passam para a circulação. Têm forma de disco e diâmetro de 3 μm . Participam da coagulação do sangue e são encontradas somente nos mamíferos, enquanto as demais células sanguíneas estão presentes em todos os vertebrados. No sangue humano, encontram-se de duzentas mil a quatrocentas mil plaquetas por milímetro cúbico. A diminuição na quantidade de plaquetas predispõe a hemorragias.

À medida que um eritroblasto (célula que dá origem à hemácia) se enche de hemoglobina, seu núcleo é expulso. As hemácias dos mamíferos são anucleadas e apresentam a forma de discos bicôncavos, com diâmetro de 7-11 μm . Transportam o oxigênio dos órgãos respiratórios até outros órgãos do corpo. Os homens têm cerca de 5,5 milhões de hemácias por mm^3 de sangue; nas mulheres, são 4,5 milhões por mm^3 .

A hemoglobina, presente nas hemácias, transporta o oxigênio. A molécula da hemoglobina possui quatro cadeias protéicas (duas alfa e duas beta), cada uma ligada a um grupo heme, que apresenta um íon ferro.

As hemácias permanecem na circulação por cerca de 120 dias, sendo destruídas principalmente no baço. A parte protéica e os átomos de ferro da hemoglobina são reaproveitados, enquanto o grupo heme é transformado em bilirrubina, excretada com a bile.

Quando em excesso, a bilirrubina deposita-se na pele e nas mucosas, que ficam com coloração amarelada, condição conhecida por icterícia, observada em algumas doenças, como a hepatite.

Embora o baço seja um órgão importante, sua ausência não é incompatível com a vida. Na falta dele, células presentes no fígado, nos gânglios linfáticos e na medula óssea vermelha realizam a remoção de células sanguíneas envelhecidas ou defeituosas.

3. DEFESAS ORGÂNICAS CONTRA INFECÇÕES

Compartilhamos o ambiente com vírus, bactérias, fungos, protozoários e outros patógenos (organismos causadores de infecções), mas contamos com barreiras mecânicas (pele e mucosas, por exemplo) e com um vigilante exército de defesa, que combate e destrói agentes infecciosos. Esse exército é o sistema imunológico (ou sistema imune).

A pele é uma barreira espessa, relativamente seca e coberta por uma camada de células mortas impregnadas com queratina. É ácida (pH entre 4 e 5) e lubrificada por secreções com ação antimicrobiana, como a secreção sebácea e o suor. Ferimentos na pele, porém, podem ser a porta de entrada para agentes infecciosos, como a bactéria causadora do tétano (*Clostridium tetani*).

Nos tecidos internos, existem células que liberam substâncias vasoativas, capazes de provocar dilatação das arteríolas, com saída de líquido, causando vermelhidão, inchaço, aumento da temperatura e dor, características da inflamação. Essas substâncias atraem neutrófilos e macrófagos para a área afetada. Por intermédio do sangue, substâncias liberadas no local da inflamação alcançam o centro termorregulador localizado no cérebro, causando a febre, que é desfavorável à sobrevivência dos microrganismos e estimula muitos mecanismos de defesa.

O movimento das células para fora dos vasos sanguíneos, através da parede dos capilares, chama-se diapedese (figura 2).

A ação conjunta de proteínas plasmáticas de ação bactericida e de neutrófilos frequentemente impede a progressão da infecção. O combate entre neutrófilos e bactérias geralmente resulta na morte de ambos, formando-se o pus, que contém, ainda, restos de tecidos lesados.

Se a inflamação, que é inespecífica (pois surge em resposta aos microrganismos em geral), não contiver a infecção, a reação à infecção passa a depender da resposta imune, que envolve mecanismos específicos e mais sofisticados.

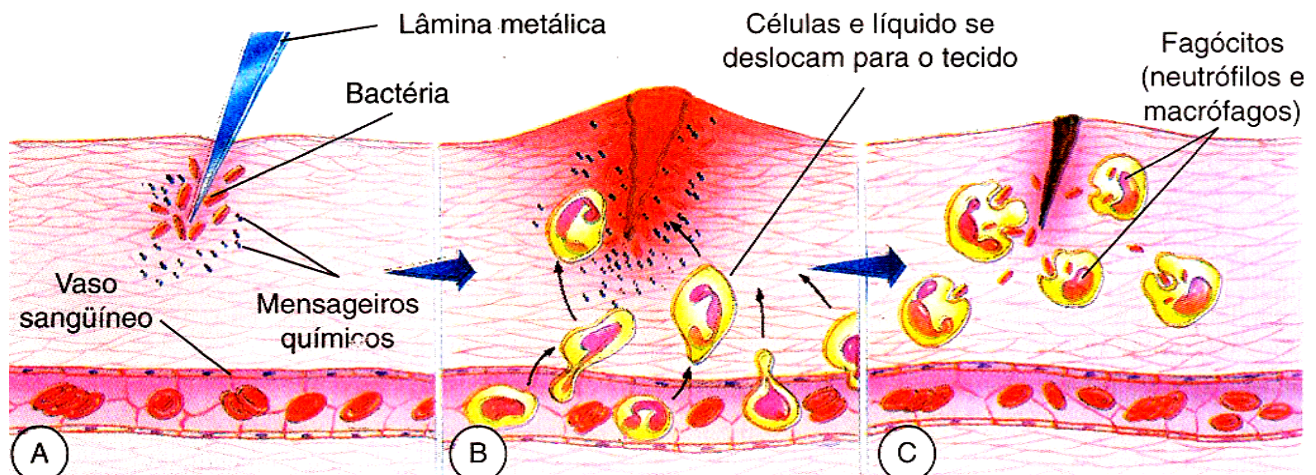


Figura 2 (a) No local da infecção, são liberados mensageiros químicos (b) que provocam vasodilatação, além de atrair neutrófilos e monócitos, que se transformam em macrófagos no local. (c) Neutrófilos e macrófagos fagocitam e destroem os microrganismos; por isso são chamados fagócitos.

As frentes de combate da resposta imune

A batalha contra a infecção tem duas frentes: a imunidade humoral (dependente de anticorpos) e a imunidade celular (dependente de células). Em consequência da inflamação, os vasos linfáticos aumentam a drenagem de líquido e de materiais que chegam aos nódulos linfáticos (gânglios linfáticos ou linfonodos) da região. A proliferação de células de defesa nos nódulos linfáticos e a inflamação provocada pela presença de bactérias e de outras substâncias estranhas determinam o aumento do tamanho dos nódulos que recolhem a linfa da região afetada. Um ferimento infectado no pé, por exemplo, pode causar aumento dos nódulos linfáticos da região inguinal; uma tonsilite (ou amigdalite) pode determinar aumento dos nódulos do pescoço. Os nódulos linfáticos inflamados tomam-se aumentados e dolorosos, o que é conhecido por ínguas.

Assim como os nódulos linfáticos filtram a linfa, o baço reconhece materiais estranhos que passam por ele, pelo sangue. O baço é dotado de uma vasta população de linfócitos, macrófagos e outras células do sistema imunológico.

Entre as células normalmente encontradas nos nódulos linfáticos e no baço, estão as células apresentadoras de antígenos (normalmente macrófagos), que reconhecem substâncias estranhas ao corpo. Elas estimulam os linfócitos T4 a liberarem certas substâncias (interleucinas e interferons) que estimulam outros linfócitos T e outras células de defesa. Os linfócitos B transformam-se em plasmócitos, células produtoras de imunoglobulinas (ou anticorpos), proteínas que se ligam especificamente a determinados antígenos.

Em geral os antígenos têm natureza protéica. Se proteínas de cobra forem injetadas em um macaco, ele produzirá anticorpos contra elas, reconhecendo as proteínas da cobra como antígenos.

A ligação antígeno-anticorpo tem elevada especificidade, ou seja, cada anticorpo se liga a um antígeno. A resposta humoral desencadeada contra um antígeno não é eficaz contra outro: os anticorpos que atacam o vírus da caxumba, por exemplo, não atacam o vírus do sarampo.

Em uma segunda exposição a determinados antígenos, os anticorpos são produzidos mais rápida e intensamente que na primeira (figura 3). Por isso certas infecções, como a rubéola, "deixam imunidade".

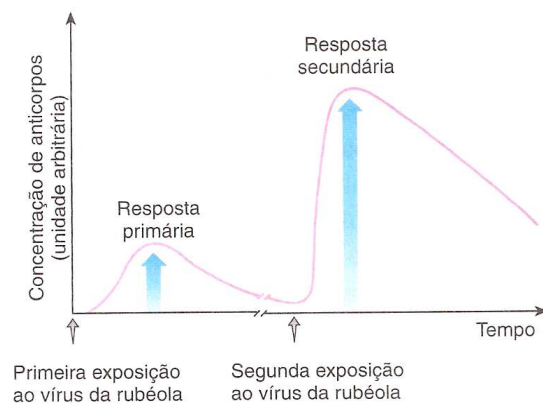
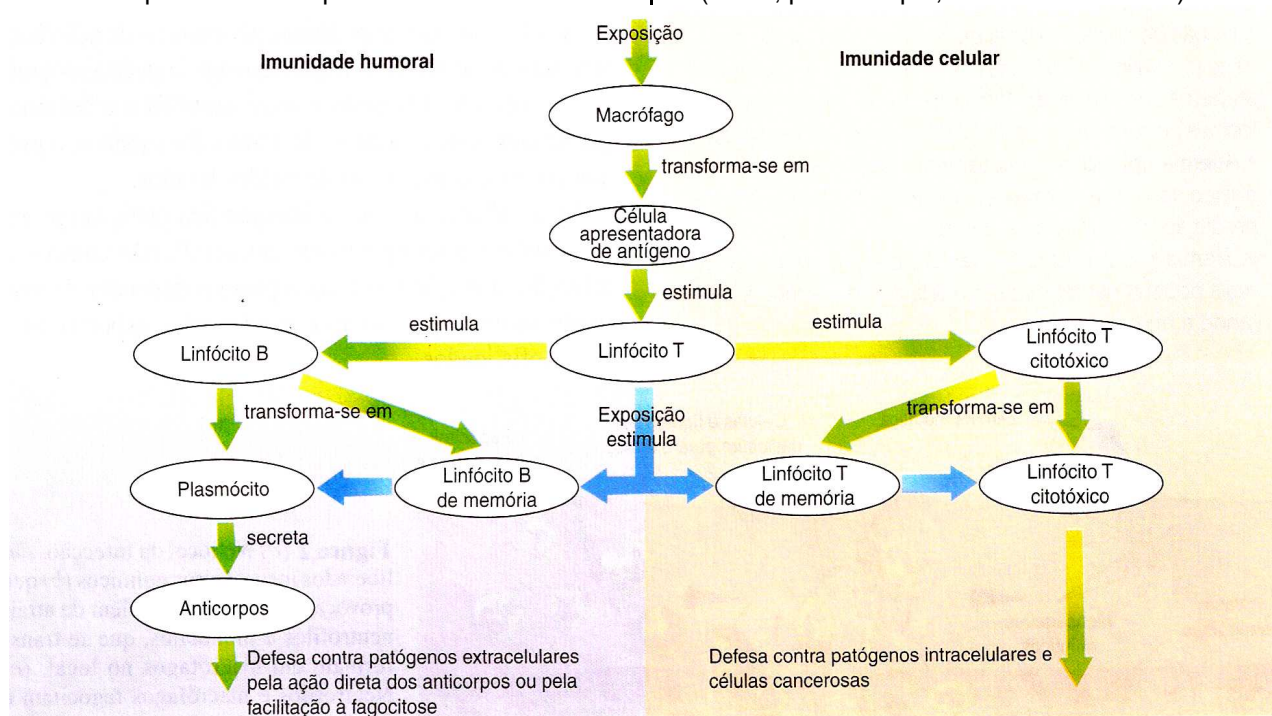


Figura 3 Após o primeiro contato com o vírus da rubéola, o organismo de uma pessoa demora algumas semanas para produzir anticorpos em níveis neutralizadores (resposta primária) e deve manifestar a doença. Em um segundo contato com o mesmo vírus, a produção de anticorpos é mais rápida e intensa (resposta secundária), inativando-o antes que ele cause manifestações. Os anticorpos são mais ativos contra patógenos extracelulares, como a maioria das bactérias. Como os vírus são parasitas intracelulares, o ataque às células infectadas é executado por outras células, representando a imunidade celular. As interleucinas estimulam os linfócitos Ts e os linfócitos NK (*Natural Killer*), que adquirem ação citotóxica e destroem células

infectadas por vírus ou quimicamente alteradas | (como, por exemplo, células cancerosas).



Especificidade	Diversidade
 <p>O organismo reconhece e reage com a produção de anticorpos específicos contra determinado agente infeccioso.</p>	 <p>O sistema imunológico é capaz de reconhecer milhares de tipos de microrganismos, bastante diferentes uns dos outros, e de desencadear contra cada tipo uma resposta adequada.</p>
Sensibilidade	Aquisição de memória
 <p>As células têm uma grande sensibilidade diante de substâncias estranhas que invadem o corpo. Mesmo na presença de pequenas quantidades de antígenos, as células se excitam e desencadeiam uma intensa mobilização da nossa defesa.</p>	 <p>Uma vez que o sistema imunológico tenha entrado em contato com um agente infeccioso, poderá desenvolver células capazes de reconhecer esse agente, mesmo depois de várias décadas.</p>

Tanto as células da linhagem B quanto as da linhagem T adquirem "memória imunológica",

podendo desencadear a resposta imune com mais rapidez e intensidade.

Linhas de atuação do sistema imunológico.

propriedades do sistema imunológico.

Imunidade passiva

Quando um organismo se torna protegido recebendo anticorpos contra uma doença, ocorre **imunidade passiva**, pois ele não produziu anticorpos, mas recebeu-os prontos. A ação desses anticorpos se inicia logo que eles entram no organismo receptor; entretanto desaparecem depois de algumas semanas ou meses.

A imunidade passiva pode ocorrer por via natural: através da placenta, anticorpos são transferidos para o feto, que nasce protegido contra uma série de doenças infecciosas, como a rubéola, o sarampo e a caxumba. Durante os primeiros meses de vida, a concentração de anticorpos recebidos da mãe diminui progressivamente, até que desaparecem, quando as crianças se tornam, então, suscetíveis a essas doenças.

O leite é outro agente protetor, pois contém anticorpos, células fagocitárias vivas e outros fatores antimicrobianos. Os anticorpos recebidos por meio do leite revestem o tubo digestivo e dificultam a proliferação de bactérias patogênicas. Nos primeiros dias depois do parto, as fêmeas produzem o **colostr**, secreção que parece "aguada" porque tem menos gorduras, mas é riquíssima em anticorpos. Há mulheres que imaginam tratar-se de um "leite fraco", o que pode levá-las a substituir seu leite pelo de vaca, privando a criança de seu mais precioso alimento: o leite da própria mãe.

A aquisição de anticorpos por meio da placenta e pelo leite materno são exemplos de **imunidade passiva natural**.

Existem formas artificiais de se fornecer anticorpos. Eles podem ser obtidos de plasma humano, sendo conhecidos por **imunoglobulinas**, que consistem na mistura de diversos tipos de anticorpos contra inúmeras doenças. Se a imunoglobulina for obtida de pessoas que foram vacinadas ou que estão convalescendo de determinada doença, é chamada **imunoglobulina hiperimune**. A imunoglobulina antitetânica, por exemplo, é obtida dessa forma e pode inativar rapidamente a toxina tetânica, antes que lese o sistema nervoso do paciente.

O soro contra peçonha de serpentes e outros animais, como aranhas e escorpiões, é obtido geralmente do sangue de cavalos que foram previamente inoculados com ela (figura 4). Como a ligação antígeno-anticorpo é específica, existem soros próprios para neutralizar cada tipo de peçonha. O soro anticrotálico, o antibotrópico e o antielapídico são utilizados contra peçonhas de cascavel, de jararaca e de cobra-coral-verdadeira, respectivamente.

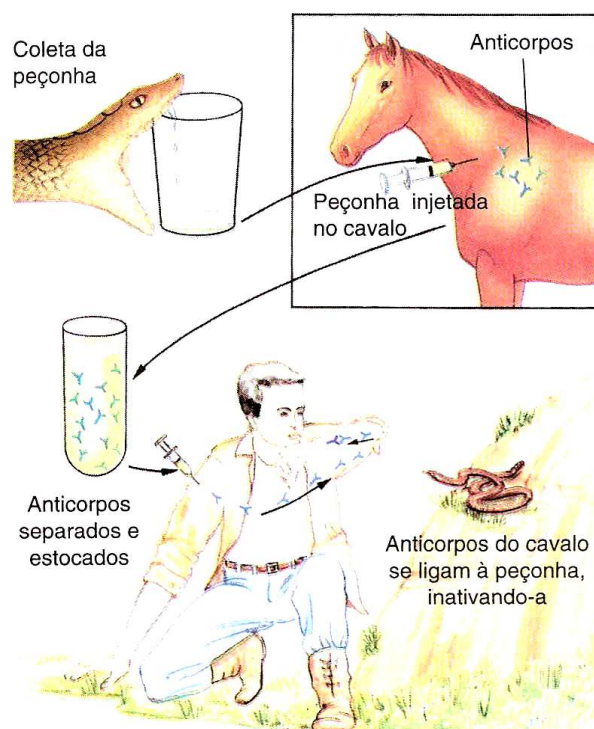


Figura 4 A peçonha de certa espécie de serpente é inoculada em um cavalo, cujo sangue é posteriormente extraído, separando-se o soro rico em anticorpos que podem inativar rapidamente a peçonha,

A imunoglobulina antitetânica extraída de sangue humano é uma **imunoglobulina homóloga**, enquanto soro antiofídico, o antiescorpiônico, o antidiftérico e o anti-rábico, obtidos de sangue de outros animais, são **imunoglobulinas heterólogas**. Sempre que possível, o uso de imunoglobulina homóloga deve ter preferência sobre os soros, que contêm proteínas estranhas. Afinal, são anticorpos produzidos pelos organismos de outros animais (geralmente cavalos). Ao receber soro, o organismo de uma pessoa pode desenvolver anticorpos anti-soro e apresentar reações alérgicas graves, como o **choque anafilático**.

O emprego das imunoglobulinas homólogas ou heterólogas confere **imunidade passiva artificial**. Como contêm anticorpos e sua ação é imediata, os soros são usados tanto na prevenção como no tratamento de doenças. Os anticorpos recebidos desaparecem da circulação dentro de semanas ou meses.

Imunidade ativa

Quando um organismo produz anticorpos, ocorre **imunidade ativa**. Na primeira exposição a um antígeno, níveis elevados de anticorpos demoram para ser alcançados, mas a imunidade resultante pode ser permanente, porque surgem células de memória,

No primeiro contato com o vírus causador da rubéola, por exemplo, o organismo de uma criança o reconhece como partícula estranha, produz anticorpos e adquire células de memória;

no próximo contato, desencadeia contra ele uma rápida e intensa produção de anticorpos, impedindo a manifestação da doença. Esse é um exemplo de **imunidade ativa natural**.

O uso de antígenos modificados, mortos ou atenuados, incapazes de causar doenças, mas que estimulam a produção de anticorpos e a aquisição das células de memória, confere **imunidade ativa artificial**, conseguida com o uso das **vacinas**,

As vacinas podem ser constituídas por:

- **agentes causadores da doença**, previamente mortos por meios físicos ou químicos. A vacina contra a coqueluche (componente da vacina tríplice infantil ou DPT) é um exemplo, pois contém a bactéria *Bordetella pertussis* morta; a vacina Salk (usada na prevenção da poliomielite) contém o vírus causador da doença, morto;
- **agentes vivos atenuados**, que, pelo emprego de técnicas especiais, perdem a patogenicidade (ou seja, a capacidade de provocar a doença), mas não a capacidade de estimular a produção de anticorpos e a aquisição de células de memória. São exemplos as vacinas contra sarampo, caxumba, rubéola, a Sabin (contra a poliomielite) e a BCG (contra a tuberculose);
- **toxinas inativadas** por meios físicos ou químicos. Existem doenças em que as principais lesões são causadas pelas toxinas produzidas por microrganismos. Nesses casos, é mais eficiente produzir anticorpos neutralizadores das toxinas. As vacinas antitetânica e antidiftérica (outras componentes da vacina tríplice) são toxinas inativadas;
- **fragmentos de agentes infecciosos**, como do vírus causador da hepatite B. A vacina contra a hepatite B pode ser produzida a partir de partículas virais obtidas do plasma de portadores crônicos do vírus ou por técnicas de Engenharia Genética, em que pedaços do material genético do agente são implantados em fungos, que passam a produzir antígenos virais;
- **fragmentos de DNA ou RNA**, extraídos de agentes infecciosos (vírus, bactérias, protozoários etc.). Introduzidos em células humanas, induzem a síntese de proteínas dos microrganismos, as quais passam a funcionar como antígenos, desencadeando a produção de anticorpos.

A produção de anticorpos desencadeada pelas vacinas segue os mesmos passos de um primeiro contato com o antígeno: a resposta é relativamente lenta e, por isso, as vacinas não são adequadas ao tratamento de doenças. Entretanto, como induzem o aparecimento de células de memória e deixam imunidade duradoura, representam uma medida de prevenção de doenças.

O desenvolvimento de vacinas contra certas enfermidades é, ainda hoje, um desafio. Não há vacina permanentemente eficaz contra a gripe, devido à alta taxa de mutações dos vírus. Os anticorpos que atacam um vírus não atuam sobre o mutante e não se conseguiu, até o momento, determinar uma fração dos vírus que seja estável e comum a todos eles.

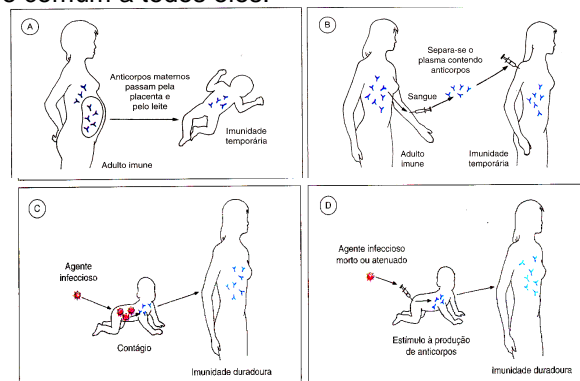


Figura 5 (a) Imunidade passiva natural; (b) imunidade passiva artificial (imunoglobulinas homólogas); (c) imunidade ativa natural; (d) imunidade ativa artificial (vacinas).

Tabela 1 Cobertura para três tipos de vacina, no Brasil, em menores de 1 ano.

Região	Tríplice (difteria, tétano e coqueluche)	Sarampo	Pólio
Total do país	75,5 %	78,5 %	77,5 %
Norte	76,1 %	68,2 %	64,3 %
Nordeste	69,4 %	76,6 %	76,4 %
Sudeste	75,5 %	82,6 %	77,2 %
Sul	84,7 %	88,2 %	86,1 %
Centro-Oeste	83,6 %	88,2 %	86,1 %

3 Um dos mais dramáticos problemas sociais do Brasil é o trabalho infantil. Em todas as atividades que empregam crianças (algumas estão na tabela a seguir), são comuns os ferimentos que, com frequência, resultam em tétano.

4. SÍNDROME DA IMUNODEFICIÊNCIA ADQUIRIDA

Conhecer a verdade, combater os preconceitos e - acima de tudo - prevenir-se: essas são as armas contra a Aids'

O HIV é um retrovírus, cujo material genético é constituído por RNA, e possui a transcriptase reversa, uma DNA-polimerase dependente do RNA (veja o ciclo do HIV, no capítulo 10). A infecção inicia-se com a ligação do HIV a receptores específicos localizados na membrana de células, principalmente de linfócitos T₄, macrófagos e monócitos.

A transmissão do HIV (*human immunodeficiency*

virus), causador da Aids (síndrome da imunodeficiência adquirida), ocorre por contágio com sangue, espermatozoides e secreções vaginais. A transmissão da mãe para o filho (transmissão vertical) ocorre através da placenta, durante a gestação, no parto ou no aleitamento.

A imunossupressão causada pelo HIV decorre da destruição de grandes quantidades de linfócitos T₄, que coordenam a resposta imunológica. Assim, o portador torna-se suscetível a **microrganismos oportunistas** (agentes infecciosos que, em pessoas normais, apresentam baixa patogenicidade).

O contato social com portadores não transmite o HIV, nem há caso confirmado de transmissão da Aids para familiares encarregados de cuidar dos pacientes. O vírus já foi isolado em outros fluidos corporais, como saliva e lágrima, mas nunca se comprovou que estes possam infectar.

Tabela 2 A transmissão da Aids: verdades e mitos.

Não transmitem Aids	Comportamentos de risco
Doar sangue; abraço; aperto de mão; copos e talheres; uso compartilhado de banheiros ou piscinas; beijo na face; tosse e espirros; picada de insetos	Sexo sem proteção (sem o uso de preservativos); promiscuidade sexual (múltiplos parceiros); uso de drogas injetáveis com uso compartilhado de agulhas e seringas; uso de sangue ou derivados sem controle

O período de incubação do HIV é de cinco anos, em média, mas varia de acordo com a forma de transmissão e com a existência de fatores concomitantes.

Os testes, como o Elisa e o Western Blot, detectam a presença dos anticorpos anti-HIV. Como os anticorpos surgem meses após a infecção, a pessoa portadora do vírus pode ter resultados negativos em testes habituais (figura 6). Existem testes que diminuem esse período de resultados falso-negativos. Um deles, a PCR (*polymerase chain reaction* ou "reação em cadeia da polimerase"), detecta a presença de fragmentos do material genético do vírus.

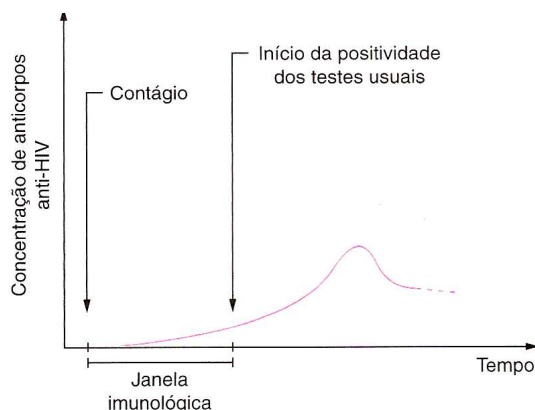


Figura 6 Durante a janela imunológica, o portador do HIV pode ter a falsa informação de que não apresenta o vírus e, se não tiver os cuidados necessários, poderá transmiti-lo.

Uma vez manifestada a doença, a mortalidade provocada pela Aids é de 100%. Suas manifestações mais frequentes são: emagrecimento, fraqueza, febre, tosse persistente, diarreia, manchas na pele, infecções oportunistas, aumento de nódulos linfáticos, retardo no desenvolvimento (em crianças), sarcoma de Kaposi (forma de câncer de pele e de vasos sanguíneos) e diminuição na quantidade de linfócitos circulantes.

No tratamento da Aids usam-se drogas antivirais, que são mais eficientes em associações (inadequadamente chamadas "coquetéis"), cada uma agindo em uma etapa do ciclo do HIV. Os inibidores da transcriptase reversa (como o AZT, o ddI, o ddC e o 3TC) impedem a replicação viral; os inibidores de protease (como o ritonavir, o saquinavir e o indinavir) impedem a maturação viral.

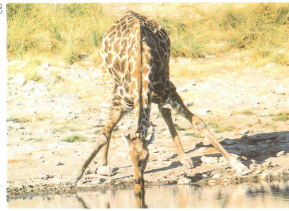
As medidas de prevenção incluem:

- usar preservativos em todas as relações sexuais (vaginal, anal ou oral);
- reduzir o número de parceiros sexuais, pois, embora eficaz, o uso de preservativos não é uma medida absolutamente segura;
- evitar atividades sexuais com alto risco de contato com sangue, como, por exemplo, durante as menstruações;
- não compartilhar seringas e agulhas;
- no caso de transfusão de sangue ou derivados, exigir amostras que tenham sido testadas;
- manter-se informado sobre a doença, suas formas de transmissão e de prevenção.

Vacinas estão em fase experimental. Entretanto um dos fatores que têm dificultado a obtenção de vacinas eficazes são as mutações, que determinam o aparecimento de tipos de HIV ligeiramente diferentes.

CAPÍTULO 04 : CIRCULAÇÃO

1. POR QUE UM SISTEMA CIRCULATÓRIO?



Para muitos animais, como essa girafa, distribuir nutrientes e oxigênio pelo corpo pode ser um grande problema.

Animais de porte superior a alguns milímetros geralmente possuem sistemas internos de distribuição de fluido. O fluido circulante, chamado sangue, põe em comunicação as partes do corpo com as superfícies especializadas em trocas com o ambiente, as quais absorvem nutrientes, trocam gases ou eliminam resíduos metabólicos. O sangue circula pelo sistema circulatório, que participa do transporte de gases, nutrientes, resíduos metabólicos, hormônios e componentes do sistema de defesa. Além disso, contribui na distribuição de calor.

Artrópodes, a maioria dos moluscos e protocordados tem sistema circulatório aberto ou lacunar, em que o sangue, depois de bombeado pelo coração e circular dentro de vasos, sai deles para regiões do corpo denominadas hemocelos (ou lacunas), entrando em contato direto com as células. O sangue de animais com sistema circulatório aberto (conhecido por hemolinfa) tem poucas células, com predomínio da parte líquida. Anelídeos, moluscos cefalópodes e vertebrados apresentam sistema circulatório fechado, em que o sangue flui exclusivamente nos vasos sanguíneos.

No sistema circulatório aberto, o sangue circula sob baixa pressão e com fluxo lento; no sistema circulatório fechado, a pressão é elevada e o fluxo é rápido, mais eficiente na distribuição de substâncias, como gases respiratórios. Outra vantagem do sistema circulatório fechado sobre o aberto é a presença, no sangue, de grande quantidade e diversidade de células que executam funções específicas, como o transporte de gases e o combate a agentes infecciosos.

Animais - como os crustáceos e os moluscos - que utilizam a hemolinfa no transporte de oxigênio e gás carbônico geralmente têm taxa metabólica baixa e movimentos lentos; ainda que possam movimentar-se rapidamente, como os siris, só o fazem por curtas distâncias. Os insetos, por sua vez, possuem sistema circulatório aberto, mas podem locomover-se com grande velocidade. Sua respiração é traqueal, e as trocas gasosas acontecem diretamente entre as células e o ar, sem a participação do sangue.

2. COMPONENTES DO SISTEMA CIRCULATÓRIO

- **Sangue.** O sangue possui uma parte líquida (o plasma) e vários tipos de elementos figurados, cada um dos quais com função específica.
- **Coração.** Órgão muscular oco que, contraindo-se, impulsiona o sangue pelo sistema de tubos. Pode ser único (como o humano) ou múltiplo (como na maioria dos invertebrados). O músculo cardíaco do coração dos vertebrados é o miocárdio. Cada contração do miocárdio se chama sístole; o relaxamento que acontece entre as sístoles é a diástole.
- **Vasos sanguíneos.** Existem três tipos fundamentais de vasos sanguíneos (figura 1): artérias, veias e capilares, que diferem quanto ao calibre, à estrutura das paredes e à presença ou não de válvulas. Seu revestimento interno é o endotélio, um tipo de tecido epitelial.

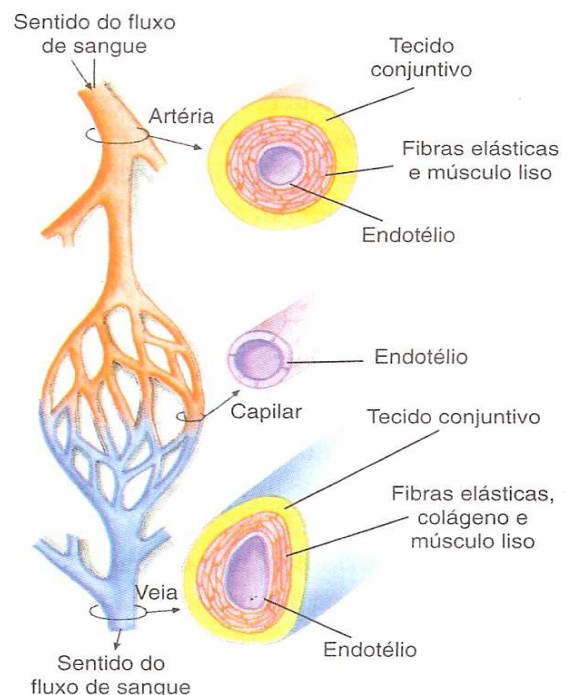


Figura 1 A parede das artérias é rica em fibras elásticas e músculo liso; as veias têm parede menos espessa, com menos células musculares e fibras elásticas e mais colágeno; a parede dos capilares possui uma única camada de células.

Artérias são os vasos pelos quais o sangue flui do coração para os tecidos do corpo sob alta pressão. Elas pulsam quando distendidas pelo sangue, impulsionado pelos batimentos cardíacos. Artérias de pequeno calibre são chamadas arteríolas.

Pelas **veias**, o sangue flui dos tecidos para o coração.

Em seu interior, existem válvulas que impedem o refluxo do sangue. As pequenas veias são as vênulas.

Os **capilares** interpõem-se entre arteríolas e vênulas, representando o único território do sistema circulatório em que acontecem trocas entre o sangue e os tecidos. Em sua parte arterial, a pressão do sangue é maior que a

pressão osmótica do plasma, e essa diferença determina a saída de fluido; na parte venosa, a pressão do sangue é menor que a pressão osmótica do plasma, e o fluido retoma para o interior do capilar.

3. SISTEMA LINFÁTICO

O fluido que permanece no interstício é recolhido pelo **sistema linfático** (figura 2), paralelo ao sistema circulatório. Esse fluido - que passa a se chamar **linfa** - move-se lentamente pelos **vasos linfáticos**, que são dotados de válvulas. Antes de ser devolvida à circulação sangüínea, a linfa passa pelos **nódulos linfáticos**, os quais filtram células mortas, restos celulares e microrganismos.

Os vasos linfáticos de quase todo o corpo reúnem-se em um vaso calibroso, o **ducto torácico**, por meio do qual a linfa é lançada ao sangue em uma veia, perto do coração.

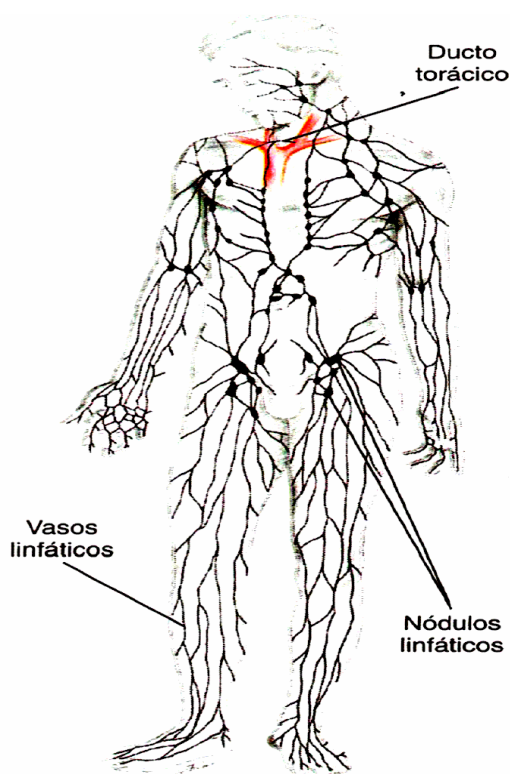


Figura 2 Sistema linfático humano.

4. CIRCULAÇÃO DOS VERTEBRADOS

No coração único dos vertebrados, as câmaras às quais o sangue chega são os **átrios** (ou **aurículas**). As câmaras que bombeiam o sangue para fora do coração são os **ventrículos**, cujas paredes são mais espessas que as dos átrios. Essa maior espessura tem valor adaptativo, pois os ventrículos bombeiam o sangue para fora do coração sob alta pressão.

Entre os átrios e os ventrículos existem válvulas que permitem a passagem do sangue somente no sentido dos átrios para os ventrículos.

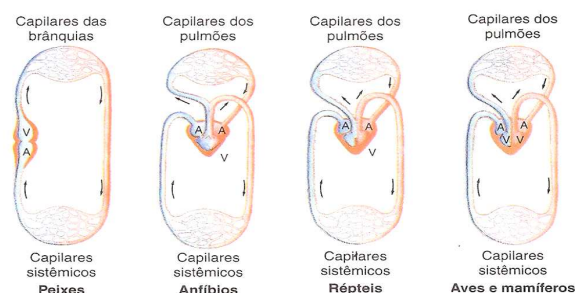


Figura 3 Comparação da circulação de vertebrados: o sangue venoso (azul) é pobre em oxigênio e rico em gás carbônico; o sangue arterial (vermelho) é rico em oxigênio e pobre em gás carbônico.

Peixes

o coração dos peixes tem um **átrio** e um **ventrículo**. Ao átrio chega o sangue venoso que passou pelos tecidos do corpo. Do átrio o sangue passa para o ventrículo, cuja contração o impulsiona para a **artéria aorta ventral**. Essa artéria origina os arcos aórticos, que se ramificam nos **capilares branquiais**; nestes ocorrem trocas gasosas entre a água e o sangue venoso, que se converte em arterial.

O sangue arterial é recolhido pela **artéria aorta dorsal**. Na passagem pelos **capilares sistêmicos** (nos diversos órgãos, como o cérebro, os rins e os músculos), o sangue perde oxigênio e recolhe gás carbônico, convertendo-se em sangue venoso, que retoma ao coração pelas veias.

A circulação dos peixes possui apenas um circuito: coração ---> brânquias ---> tecidos do corpo ---> coração. É classificada, portanto, como **circulação simples**. Como não há mistura de sangue arterial com sangue venoso, é uma **circulação completa**.

Anfíbios

O coração dos anfíbios possui um **átrio direito**, que recebe o sangue venoso (pobre em oxigênio) vindo dos tecidos, e um **átrio esquerdo**, que recebe o sangue arterial (oxigenado) proveniente dos pulmões. Os átrios enviam sangue a um **ventrículo único**, no qual há mistura de sangue arterial com sangue venoso. Em seguida, esse sangue é bombeado simultaneamente para os pulmões e para o restante do corpo, inclusive para a pele, que é úmida, delgada e ricamente vascularizada e funciona como um local adicional de oxigenação do sangue.

Na circulação dos anfíbios, há dois circuitos: coração ---> pulmões ---> coração (**pequena circulação ou circulação pulmonar**) e coração ---> tecidos do corpo ---> coração (**grande circulação ou circulação sistêmica**). Trata-se de uma **circulação dupla**. A mistura de sangue arterial com sangue venoso, no ventrículo único, caracteriza uma **circulação incompleta**.

Répteis

Os répteis apresentam **circulação dupla e incompleta**, semelhante à dos anfíbios. O coração tem **dois átrios** e um **ventrículo único**, parcialmente dividido por um septo. No ventrículo dos répteis, ocorre mistura de sangue arterial com sangue venoso, porém menos intensa que no ventrículo dos anfíbios. O sangue bombeado do ventrículo para os vasos sanguíneos sistêmicos é mais rico em oxigênio que o sangue impulsionado pelo ventrículo dos anfíbios.

Nos répteis crocodilianos, como jacarés e crocodilos, o coração é dividido em dois átrios e dois ventrículos. Nesses répteis, um orifício chamado **forame de Panizza**, que comunica os dois arcos aórticos, permite alguma mistura de sangue arterial com sangue venoso, fora do coração.

Aves e mamíferos

O coração de aves e mamíferos tem dois átrios e dois ventrículos, separados por um **septo interventricular**, não havendo mistura de sangue arterial com sangue venoso. Aves e mamíferos apresentam **circulação dupla e completa**.

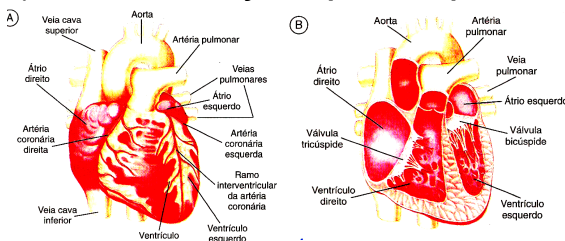


Figura 4 Coração humano: (a) vista externa e (b) vista interna.

O **átrio direito** recebe o sangue venoso que chega dos tecidos pelas veias cavas. A veia cava anterior (ou superior) recebe o sangue drenado da cabeça e dos membros anteriores (ou superiores), e a veia cava posterior (ou inferior) recolhe o que vem dos membros posteriores (ou inferiores) e do tronco. Do átrio direito o sangue passa (através da válvula tricúspide) para o **ventrículo direito**, de onde é impulsionado para os pulmões, passando pelas artérias pulmonares. Oxigenado nos capilares dos pulmões, o sangue retorna pelas veias pulmonares ao **átrio esquerdo**, de onde passa (através da válvula bicúspide ou mitral) para o **ventrículo esquerdo**. Em seguida, é bombeado sob alta pressão para a artéria aorta, que o distribui para os tecidos.

O ventrículo esquerdo é a câmara cardíaca que tem a parede muscular mais espessa e vigorosa. Enquanto o ventrículo direito impulsiona o sangue para os pulmões (através da pequena circulação), o ventrículo esquerdo impulsiona-o para os tecidos do corpo (através da grande circulação), sob pressão bem maior.

Não havendo mistura de sangue, a oferta de oxigênio para as células é abundante, permitindo que aves e mamíferos mantenham alto grau de atividade física e neurológica. Dissipando parte da energia liberada na respiração celular aeróbia

na forma de calor, aves e mamíferos mantêm constante a temperatura corporal.

*A diferença entre a circulação das aves e a dos mamíferos é anatômica. Após emergir do ventrículo esquerdo, a aorta faz uma acentuada curvatura (chamada **croça da aorta** ou **cajado aórtico**) e se dirige para a região caudal do corpo. Nas aves, tal curvatura é voltada para o lado direito do corpo; nos mamíferos, para o lado esquerdo. Trata-se de um detalhe sem importância funcional.*

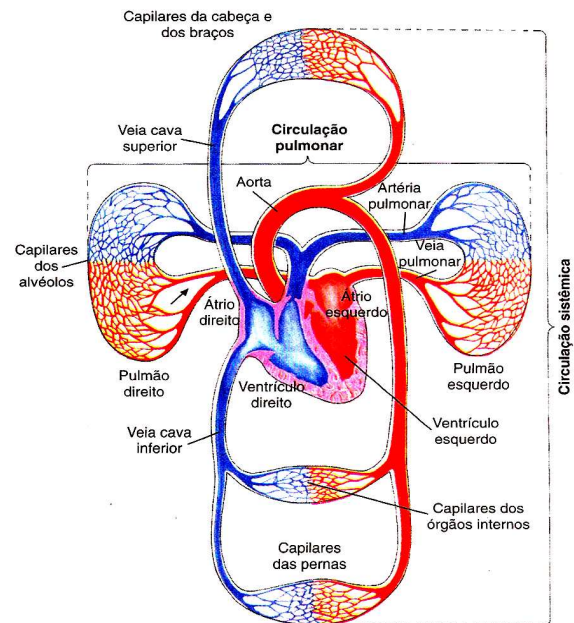


Figura 5 Aspecto geral da circulação humana.

5. CONTROLE DA ATIVIDADE CIRCULATÓRIA

Mesmo fora do corpo, o coração dos vertebrados continua batendo se mantido em condições adequadas. O estímulo provém de uma região da parede do átrio direito, o **nódulo sinoatrial (NSA)** ou **marcapasso sinoatrial**, cujas células, além de se contraírem como células musculares, geram e transmitem um impulso que se propaga pelas células dos átrios, os quais se contraem e expulsam o sangue para os ventrículos. Em seguida o impulso alcança o **nódulo atrioventricular (NAV)**, de onde passa para o **feixe de His**, que se ramifica e o distribui pelos ventrículos, os quais se contraem simultaneamente. Em seu conjunto, os nódulos sinoatrial e atrioventricular, as fibras do feixe de His e suas ramificações formam o tecido cardíaco de condução.

Em um ser humano adulto em repouso, o coração bate cerca de 72 vezes por minuto. A elevação da frequência cardíaca (**taquicardia**) pode ser desencadeada por fibras do sistema nervoso que liberam noradrenalina ou pela adrenalina, hormônio secretado pelas adrenais. A diminuição da frequência (**bradicardia**) pode ser provocada por fibras do sistema nervoso que

liberam acetilcolina.

Débito cardíaco (ou **volume-minuto cardíaco**) é o produto da frequência cardíaca pelo volume ejetado em cada sístole. Em um adulto em repouso, esse volume é de aproximadamente 5 l por minuto.

Alguns fatores que aumentam a frequência cardíaca são: queda da pressão arterial, excitação, exercícios, adrenalina ou noradrenalina, hipoxia, raiva, dor e febre. Diminuem a frequência cardíaca: aumento da pressão arterial, expiração, tristeza, repouso e acetilcolina.

Uma interessante adaptação evolutiva é encontrada nos fetos dos mamíferos. Sua hemoglobina - chamada **hemoglobina F** - tem maior afinidade com o oxigênio que a hemoglobina A, encontrada em adultos, conseguindo recolher o oxigênio que chega a placenta, através da qual realizam trocas gasosas.

6. TRANSPORTE DE GASES

Transporte de oxigênio

Animais cujo sangue transporta gases respiratórios geralmente possuem moléculas transportadoras, chamadas **pigmentos respiratórios**, que se ligam ao oxigênio nos órgãos respiratórios, nos quais a concentração do gás é alta, e liberam-no nos tecidos, nos quais a concentração é baixa.

Os pigmentos respiratórios aumentam consideravelmente a capacidade de transporte de oxigênio pelo sangue. Na maioria dos invertebrados, eles estão dissolvidos no plasma; nos vertebrados, estão no interior das hemácias. Em pulmões, brânquias e pele, sob elevada concentração de oxigênio, a hemoglobina (Hb) liga-se ao oxigênio e forma a **oxiemoglobina** (HbO₂). Nos capilares sistêmicos, sob baixa concentração de oxigênio, a ligação se desfaz e a oxiemoglobina libera o oxigênio para os tecidos.

Quando atletas disputam competições em locais de grande altitude (como La Paz, na Bolívia), costumam queixar-se de cansaço, dor de cabeça, taquicardia e náuseas. Nessas regiões, o ar é rarefeito e a oferta de oxigênio é menor que ao nível do mar (figura 6).

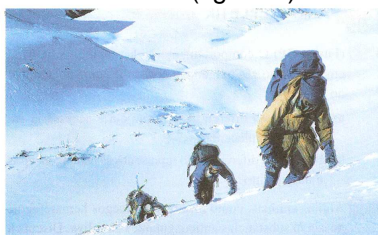


Figura 6 Além do esforço representado pela escalada, os alpinistas ainda enfrentam baixas temperaturas, ventos fortes e pouca

disponibilidade de oxigênio.

Se os atletas passarem duas ou três semanas em locais de altitude elevada, a baixa saturação de oxigênio no sangue fará os rins secretarem **eritropoetina**, hormônio que estimula a medula óssea vermelha a produzir mais hemoglobina e mais hemácias. O aumento da quantidade dessas células e da hemoglobina eleva a capacidade de captação do oxigênio. Os habitantes de regiões altas têm mais hemoglobina que as pessoas que vivem ao nível do mar. Em altitudes superiores a 3.000 m, a concentração média de hemoglobina é de 16 a 18 g/100 ml de sangue, enquanto, ao nível do mar, tal concentração varia entre 12 e 16 g/100 ml. A frequência cardíaca e o volume-minuto respiratório também são mais elevados.

Transporte de gás carbônico

O gás carbônico é o resíduo metabólico liberado em maior quantidade pelas células. Solúvel em água, reage com ela formando ácido carbônico, que, em seguida, se ioniza. A reação é catalisada pela enzima **anidrase carbônica**, presente no interior das hemácias.

Nos tecidos, a liberação de gás carbônico pelas células mantém alta a concentração desse gás no sangue, deslocando o equilíbrio da reação para a direita. No ar alveolar ou na água que banha as brânquias, a concentração de gás carbônico é baixa. Quando o sangue chega aos órgãos respiratórios, o equilíbrio é deslocado para a esquerda e forma-se o gás carbônico, liberado para o ar.

Nos vertebrados, o plasma transporta cerca de 70% do gás carbônico (como íons bicarbonato); a hemoglobina conduz aproximadamente 25%, como **carbaminoemoglobina** ou **carboemoglobina** (HbCO₂); parcela ainda menor do gás carbônico (cerca de 5%) permanece dissolvida no plasma.

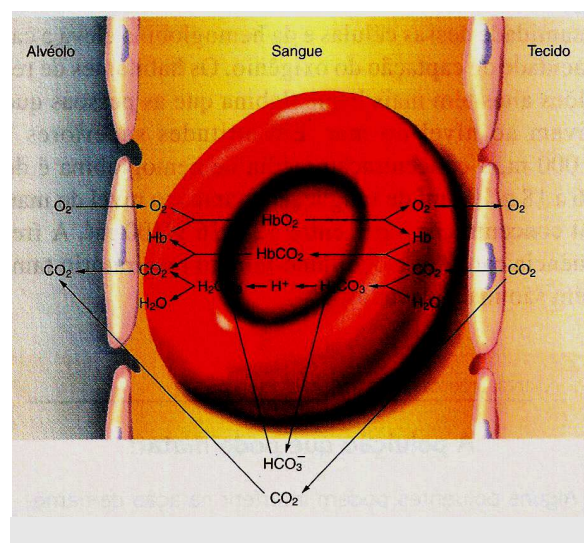


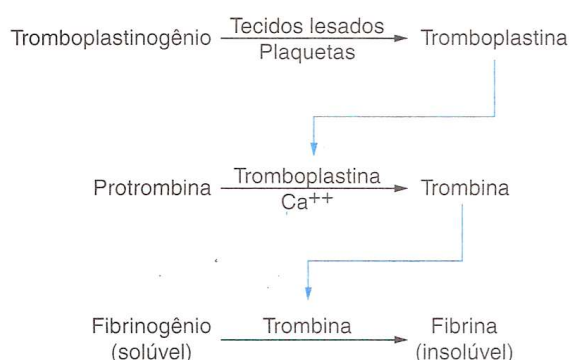
Figura 7 O oxigênio é transportado ligado à hemoglobina; o gás carbônico é transportado no plasma (como bicarbonato ou dissolvido) ou

ligado à hemoglobina.

7. COAGULAÇÃO

Os vertebrados contam com eficientes mecanismos de contenção de hemorragias, que, em conjunto, recebem o nome de **hemostasia**. Substâncias liberadas na lesão (fatores teciduais) e pelas plaquetas que se rompem ao aderir ao ferimento (fatores plaquetários) desencadeiam a **coagulação**. Tais substâncias, chamadas **fatores de coagulação**, são inativas durante a maior parte do tempo.

Durante a coagulação, ocorre uma seqüência de reações em cadeia, em que o produto de uma reação é a enzima que catalisa a reação seguinte. O cálcio é necessário para a conversão da protrombina em trombina.



A etapa final dessa cascata de reações é a formação da **fibrina**, que é insolúvel e se precipita, formando uma rede. As hemácias ficam retidas na rede, que assume coloração vermelha. A "rolha" que se forma, constituída por rede de fibrina, plaquetas e hemácias, é o **coágulo**, que impede o extravasamento de sangue e a entrada de microrganismos na circulação. À medida que ocorre a regeneração do local lesado (endotélio, parede do vaso e tecidos adjacentes), o coágulo vai-se desprendendo.

Fatores da coagulação e anticoagulantes

A síntese de alguns fatores da coagulação (como a protrombina) ocorre no fígado e depende da vitamina **K**, cuja deficiência pode provocar hemorragias.

A **hemofilia** é uma doença hereditária que afeta a coagulação do sangue. O tipo mais freqüente (hemofilia A) consiste na deficiência do fator **VIII**, um dos fatores da coagulação. Os hemofílicos têm episódios freqüentes de sangramento, cujo tratamento consiste na administração do fator **VIII**, que pode ser feita por transfusão de sangue ou de plasma e pela aplicação de concentrados de fator **VIII**, obtidos de sangue normal ou por técnicas de Engenharia Genética.

Como o tratamento da hemofilia envolve o uso de sangue ou derivados, os hemofílicos correm um risco elevado de infecção por doenças

cujos agentes permanecem na circulação, como a hepatite B e a Aids.

Os **anticoagulantes** são substâncias que bloqueiam a cascata da coagulação. A maioria impede a produção de protrombina ou sua conversão em trombina e, conseqüentemente, a conversão de fibrinogênio em fibrina. Tal transformação depende de cálcio: substâncias que removem o cálcio de uma amostra de sangue como o oxalato e o citrato - impedem a coagulação. Os pulmões, o fígado e outros órgãos de mamíferos produzem **heparina**, substância que bloqueia a transformação de protrombina em trombina, impedindo a coagulação do sangue dentro dos vasos sanguíneos. As glândulas salivares de animais hematófagos, como sanguessugas e alguns morcegos, produzem anticoagulantes, que impedem a coagulação do sangue dentro de seus tubos digestivos.

A **estreptoquinase**, enzima produzida por determinadas bactérias, digere a fibrina e dissolve coágulos recém-formados. Em casos de infarto agudo do miocárdio, a estreptoquinase tem sido aplicada, por meio de um cateter, diretamente na artéria coronária logo nas primeiras horas após sua obstrução.

CAPÍTULO 05 : EQUILÍBRIO HIDROSSALINO E EXCREÇÃO

1. A REGULAÇÃO DA ÁGUA E DOS SAIS

Além de remover resíduos, o sistema excretor é um eficiente regulador homeostático, responsável pela estabilidade da composição química do meio interno.

Apesar das variações do ambiente - temperatura, composição química, pH, salinidade etc. -, os animais têm a capacidade de manter a estabilidade do meio interno (homeostase).

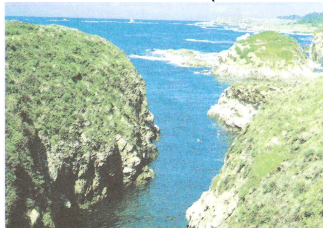


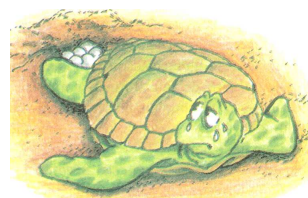
Figura 1 Estuários de rios são locais povoados por uma rica fauna aquática, adaptada a variações de salinidade.

Os invertebrados marinhos mantêm a concentração do meio interno próximo da concentração da água do mar, e a maioria morre em ambiente diluído.

Peixes dulcícolas vivem em meio hipotônico. Por osmose, a água entra pelas brânquias e pela superfície do corpo. Os rins eliminam o excesso de água; os sais perdidos na urina são repostos pelos alimentos e por absorção ativa por meio das brânquias. Os peixes ósseos marinhos vivem em meio hipertônico. Por osmose, eles perdem água pela superfície corporal e pelas brânquias, compensada pela ingestão de água do mar e de alimentos. O excesso de sais é eliminado pelas brânquias e pela urina. A concentração de sais no sangue dos condrites marinhos é menor que a concentração na água do mar; associados à alta concentração de compostos orgânicos (como a uréia), esses sais contribuem para manter o plasma desses peixes ligeiramente hipertônico em relação à água do mar.

A maioria dos anfíbios adultos não tem brânquias, absorve sais pela superfície do corpo e não está adaptada à vida marinha.

As aves marinhas obtêm água dos alimentos (geralmente peixes) e da água do mar que ingerem. Aves e répteis marinhos, como as tartarugas, possuem na cabeça as glândulas de sal, que eliminam uma solução concentrada de cloreto de sódio. Quando as tartarugas vão às praias para depositar os ovos, é possível observar a eliminação de líquido que escorre de seus olhos. Trata-se de uma eficiente forma de eliminação de sal e não uma manifestação de sentimento!



Baleias, focas e outros mamíferos aquáticos bebem pouca ou nenhuma água do mar, vivendo à custa da água dos alimentos. Formam urina e leite concentrados, economizando água.

2. RINS, EXCREÇÃO E HOMEOSTASE

O sistema excretor elimina resíduos metabólicos e outras substâncias tóxicas, ingeridas ou originadas no próprio corpo. Os seres humanos, por exemplo, eliminam CO_2 para o ar atmosférico por meio dos pulmões e uréia pelos rins. A eliminação desses resíduos metabólicos constitui formas de excreção.

O sistema excretor é o principal mantenedor das condições do ambiente interno. Os rins participam do controle das concentrações plasmáticas de íons e do equilíbrio ácido-base. A acidose é parcialmente corrigida pela produção de urina mais ácida (maior eliminação de íons W^- e

retenção de íons HCO_3^-); a alcalose, pela produção de urina básica (retenção de íons H^+ e

maior eliminação de íons HCO_3^-).

Resíduos nitrogenados

A partir do grupo amina (NH_2) dos aminoácidos, o metabolismo protéico origina os **resíduos nitrogenados**, como a amônia, a uréia e o ácido úrico.

Tabela 1 Resíduos nitrogenados mais comuns.

Características	Amônia	Uréia	Ácido úrico
Toxicidade	Alta	Moderada	Baixa
Solubilidade	Alta	Alta	Muito baixa
Difusibilidade através de membranas	Alta	Moderada	Baixa
Custo metabólico para a síntese	Nenhum	Baixo	Alto

A excreção da amônia apresenta vantagens: o trabalho metabólico e o gasto energético são pequenos;

a amônia atravessa rapidamente as membranas vivas, sendo eliminada com grande facilidade.

Entretanto a amônia é muito tóxica e sua excreção exige grande quantidade de água. A maioria dos animais aquáticos excreta-a, rapidamente, pelas brânquias, pelos rins e pela superfície do corpo. Animais que eliminam amônia (invertebrados aquáticos, a maioria dos peixes e os anfíbios na fase larvária) são **amoniotélicos**.

Na transição do ambiente aquático para o

terrestre, com a menor oferta de água, tornou-se menor a capacidade de diluição. Os animais passaram a excretar uréia ou ácido úrico, menos tóxicos e menos dependentes de água em sua diluição.

Animais que eliminam uréia são **ureotélicos**: alguns invertebrados terrestres, os peixes cartilaginosos, os anfíbios adultos e os mamíferos. O fígado dos vertebrados ureotélicos converte o grupo amina em uréia, em uma seqüência de reações chamada **ciclo da ornitina**. A elevada concentração de uréia no sangue dos peixes cartilaginosos, bem tolerada, é conhecida por **uremia fisiológica**.

O ácido úrico é quase insolúvel em água e tem toxicidade muito reduzida. Animais **uricotélicos** (a maioria dos artrópodes terrestres, répteis e aves) são aqueles que excretam ácido úrico, com perda mínima de água.

O desenvolvimento embrionário também determina o tipo de resíduo nitrogenado. Os embriões de peixes e de anfíbios desenvolvem-se na água, excretando amônia assim que ela é produzida. Depois da eclosão dos ovos, as larvas dos anfíbios permanecem na água e excretam amônia; os anfíbios terrestres adultos excretam uréia.

Répteis e aves excretam ácido úrico. No ovo, revestido pela casca e por membranas impermeáveis à água, o embrião armazena ácido úrico em uma bolsa chamada alantóide.

Os embriões da maioria dos mamíferos trocam substâncias com o sangue materno por meio da placenta. Produzem uréia, que passa para o sangue da mãe, cujos rins irão excretá-la na urina.

3. SISTEMA EXCRETOR HUMANO

Dos rins, passando pelos ureteres, a urina chega à bexiga urinária (figura 2a). Os rins recebem sangue das artérias renais e o devolvem pelas veias renais, que vão dar na veia cava inferior.

O **néfron** (figura 2b), unidade funcional do rim, possui um longo túbulo, com uma extremidade fechada pela **cápsula de Bowman** (figura 2c) e outra aberta no **túbulo** (ou **dueto**) **coletor**. O **túbulo do néfron** (ou **túbulo renal**) tem três segmentos: o túbulo contorcido proximal, a alça de Henle e o túbulo contorcido distal. Além da parte tubular, o néfron apresenta uma parte vascular, chamada **glomérulo de Malpighi**, um novelo de capilares envolvido pela cápsula de Bowman e formado por ramificações de um dos milhares de **arteríolas aferentes**, que são ramos da artéria renal.

Na saída do glomérulo, os capilares fundem-se na **arteríola eferente**, a qual se ramifica numa rede de capilares que circunda o túbulo do néfron. Esses capilares se fundem numa das vênulas que irão formar a veia renal.

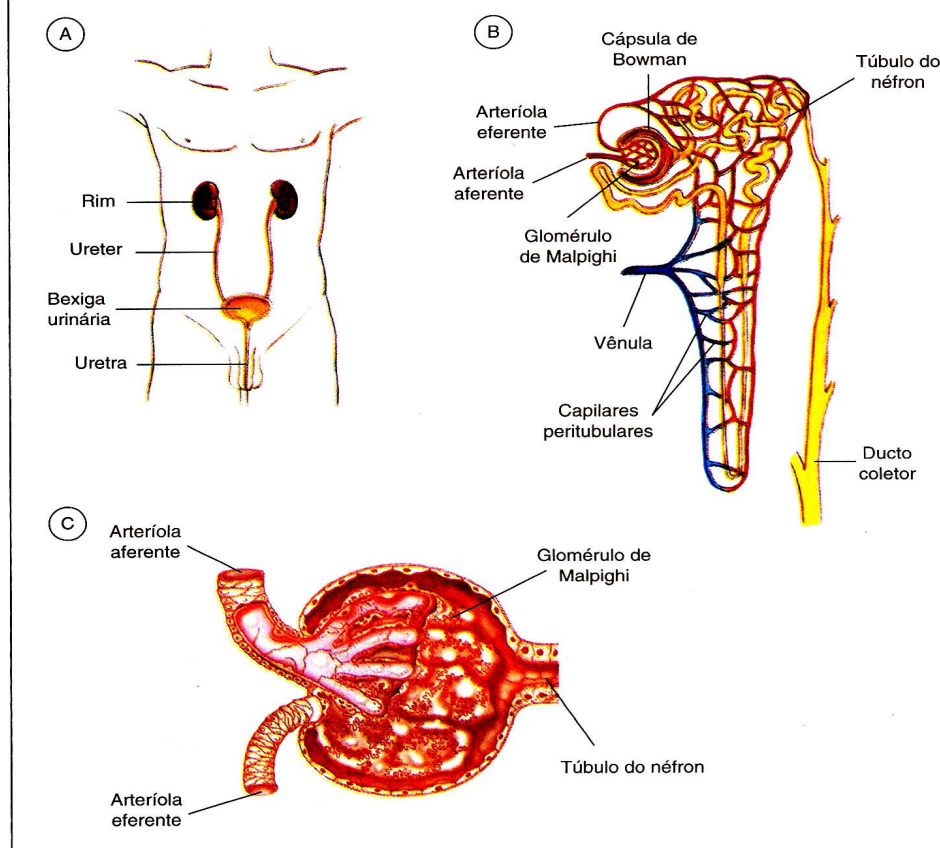


Figura 2 (a) Sistema excretor humano. (b) Ampliação do néfron. (c) Corte da cápsula de Bowman, mostrando o glomérulo de Malpighi.

4. FORMAÇÃO DA URINA

O néfron é a unidade funcional do rim: a urina produzida por um rim é a soma da urina produzida pelos seus néfrons e resulta da **ultrafiltração glomerular**, da **reabsorção tubular** e da **secreção tubular** (figura 3).

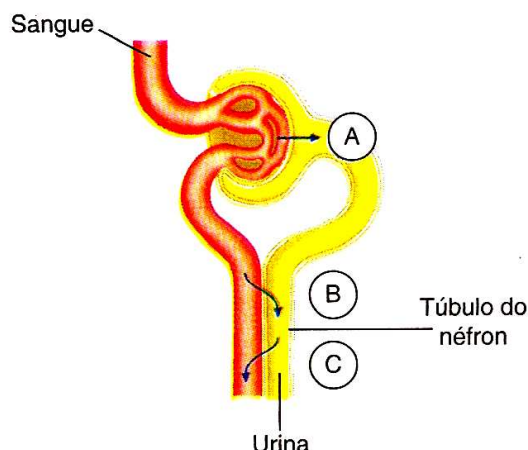


Figura 3 (a) Ultrafiltração glomerular; (b) secreção tubular; (c) reabsorção tubular.

Ultrafiltração glomerular (FG)

A ultrafiltração glomerular acontece nos glomérulos.

O sangue, sob pressão elevada, passa pelos capilares, cujas paredes filtram cerca de 20% do fluido do plasma sanguíneo, recolhido pelas cápsulas de Bowman.

Nessa etapa, as únicas partículas plasmáticas suficientemente grandes a ponto de não serem filtradas são as proteínas. Hemácias, leucócitos e plaquetas também não atravessam o glomérulo, estando normalmente ausentes da urina.

O filtrado glomerular tem composição química semelhante à do plasma sanguíneo, exceto as proteínas. Entretanto a composição química da urina e a do plasma são diferentes. As modificações que o filtrado glomerular sofre, até se transformar em urina, ocorrem durante sua passagem pelo túbulo do néfron e pelo túbulo coletor.

Reabsorção tubular (RT)

A ultrafiltração glomerular é pouco seletiva. Muitas substâncias importantes para o metabolismo (como glicose, aminoácidos, vitaminas e íons) são filtradas, sofrendo, depois, reabsorção tubular.

As células dos túbulos renais possuem muitas mitocôndrias (que fornecem energia para o transporte ativo) e grande quantidade de microvilosidades (que representam extensa área

de trocas)

Em 24 horas, formam-se cerca de 200 l de filtrado glomerular, mas apenas 1 l ou 1,5 l de urina é eliminado. Durante a passagem pelo túbulo do néfron, quase toda a água é reabsorvida e devolvida para a circulação.

Algumas partículas (como as de água) são reabsorvidas passivamente, enquanto outras (de glicose, bicarbonato, sódio etc.) sofrem reabsorção ativa.

Secreção tubular (SI)

Algumas substâncias estão presentes em maior concentração na urina que no filtrado glomerular, pois sofrem secreção tubular.

Do sangue para o interior do túbulo do néfron, são secretadas a amônia, o ácido úrico, alguns íons (K⁺ e H⁺) e certos medicamentos, como a penicilina. Por isso diversas drogas são detectadas na urina, que pode ser analisada em testes *antidoping*.

$$\text{Urina} = \text{FG} + \text{ST} - \text{RT}$$

5. REGUIAÇÃO DA FUNÇÃO RENAL

O equilíbrio hídrico depende do **hormônio antidiurético** (HAD), hormônio poupador de água, liberado pela hipófise. A perda natural de água acarreta aumento da concentração e da osmolaridade do plasma, que estimulam a secreção do HAD, cuja ação leva à diminuição da perda de água pela urina. A produção do HAD pode ser estimulada, também, pela queda da pressão arterial, como acontece em hemorragias intensas.

A **aldosterona**, secretada pela glândula supra-renal, estimula a reabsorção, pelos túbulos do néfron, de sódio e de cloretos, determinando aumento da osmolaridade plasmática e da pressão arterial.

Quando aumenta a pressão do sangue nos átrios, um grupo de células dessa região secreta o **fator natriurético atrial** (FNA), hormônio que aumenta o volume da urina. A maior perda de água pela urina diminui a pressão arterial.

CAPÍTULO 06 : SISTEMA NERVOSO E ÓRGÃOS DOS SENTIDOS

1. UM SISTEMA EM ALERTA

O sistema nervoso permite que os animais reajam adequadamente aos estímulos ambientais. Depois que esses estímulos são processados, mensagens são enviadas aos órgãos efetores - músculos ou glândulas.

Estimulando músculos, os estímulos nervosos desencadeiam movimentos, como a retirada da mão de uma chama; estimulando glândulas, desencadeiam a liberação de secreções.

No sistema nervoso diferenciam-se duas linhagens celulares: as **células da glia** (ou **neuróglia**) e os **neurônios** (figura 1), pelos quais caminham as mensagens nervosas, chamadas **impulsos nervosos**. As células da glia dão suporte aos neurônios, participam da defesa do sistema nervoso e controlam as trocas de substâncias entre ele e o sangue.

Os neurônios apresentam duas propriedades fundamentais:

- **excitabilidade** - capacidade de reagir a estímulos;
- **condutibilidade** - propriedade de transmitir as alterações desencadeadas pelos estímulos.

Um neurônio típico possui corpo celular, dendritos e axônio. Os **dendritos** são prolongamentos receptores de estímulos, nos quais o impulso nervoso é gerado; pelo **axônio** o impulso nervoso propaga-se para longe do corpo celular e, por suas extremidades, deixa a célula.

A propagação do impulso nervoso, ao longo do neurônio, ocorre no sentido dendritos ~ corpo celular ~ axônio. A região de passagem do impulso nervoso de um neurônio para a célula adjacente chama-se **sinapse nervosa**.

Há neurônios que possuem o axônio recoberto por um complexo lipoprotéico, chamado **bainha de mielina** (figura 1).

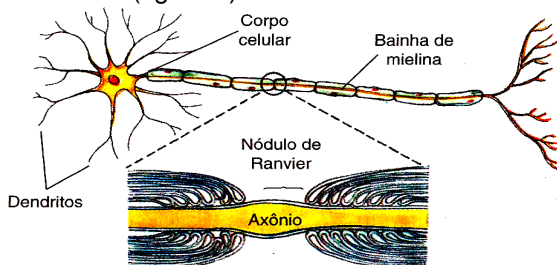


Figura 1 O núcleo e a maior parte do citoplasma de um neurônio estão no corpo celular. A bainha de mielina é formada pelo enrolamento em espiral da membrana plasmática da célula de Schwann, ao redor do axônio. Cada "falha" na bainha de mielina é chamada nóculo ou estrangulamento de Ranvier.

Os animais dotados de sistema nervoso mais

simples são os celenterados, que possuem **sistema nervoso difuso** (figura 2a), cujas células estão distribuídas quase uniformemente por todo o corpo.

Nos platelmintos, o sistema nervoso é constituído por dois **gânglios cerebrais** na região anterior do corpo. Deles partem, para a região posterior, dois cordões nervosos, nos quais há gânglios menores. Essa organização - chamada **sistema nervoso ganglionar** - também é observada em anelídeos, artrópodes (figura 2b) e moluscos. Entre os moluscos, os cefalópodes são os que apresentam sistema nervoso mais desenvolvido; seus gânglios nervosos agrupam-se em um grande cérebro protegido por uma cápsula, de onde saem nervos para os tentáculos.

Os vertebrados têm **sistema nervoso dorsal** (figura 2c) protegido por estruturas ósseas ou cartilaginosas. Além do **encéfalo** bem desenvolvido dentro da caixa craniana, esses animais possuem, no interior da coluna vertebral, a **medula espinhal**, que é atravessada por um estreito canal central percorrido por líquido, diferentemente dos maciços cordões nervosos dos invertebrados.

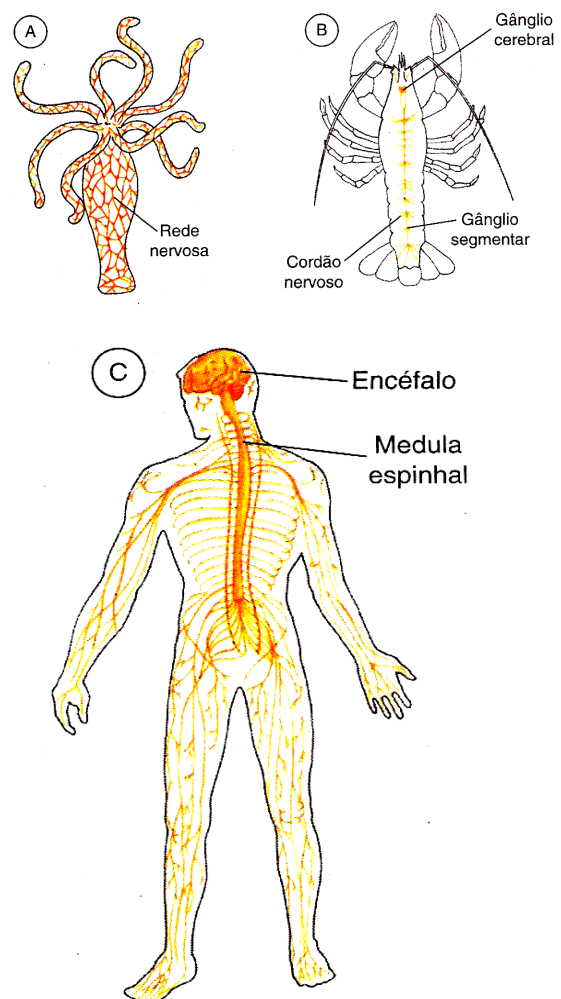


Figura 2: Sistema nervoso de (a) celenterados, (b) artrópodes e (c) vertebrados.

Os corpos celulares concentram-se geralmente em áreas restritas do sistema nervoso: nos invertebrados, estão presentes nos **gânglios**; nos vertebrados, no **sistema nervoso central (SNC)**, que é protegido por estruturas ósseas ou cartilaginosas resistentes (a caixa craniana e o canal formado pela coluna vertebral).

Do sistema nervoso central partem os prolongamentos dos neurônios, formando feixes chamados **nervos**, que, juntamente com os gânglios nervosos, constituem o **sistema nervoso periférico (SNP)**.

Os nervos que levam informações dos receptores sensoriais para o sistema nervoso central são os **nervos sensoriais** (nervos aferentes ou sensitivos), formados por prolongamentos de neurônios sensoriais; aqueles que transmitem impulsos do sistema nervoso central para músculos ou glândulas são **nervos motores** (ou nervos eferentes), constituídos por feixes de axônios de neurônios motores. Existem **nervos mistos**, formados por prolongamentos de neurônios sensoriais e motores. Os neurônios motores são centrífugos e os neurônios sensoriais, centrípetos.

2 ORGANIZAÇÃO DO SISTEMA NERVOSO DE VERTEBRADOS

O sistema nervoso central recebe, analisa, integra informações, seleciona e envia ordens. O sistema nervoso periférico transmite informações dos órgãos sensoriais para o sistema nervoso central e deste para os órgãos efetores (músculos ou glândulas).

Três membranas, chamadas **meninges**, recobrem o sistema nervoso central: pia-máter, aracnóide e duramáter. Banhando o sistema nervoso, está o **líquido** (ou liquor) **cefalorraquidiano**, que, além de ser um meio de distribuição de células e substâncias (anticorpos, por exemplo), protege contra traumatismos, amortecendo choques.

O encéfalo dos vertebrados é a maior região integradora do sistema nervoso e o principal centro de coordenação do corpo (figura 3).

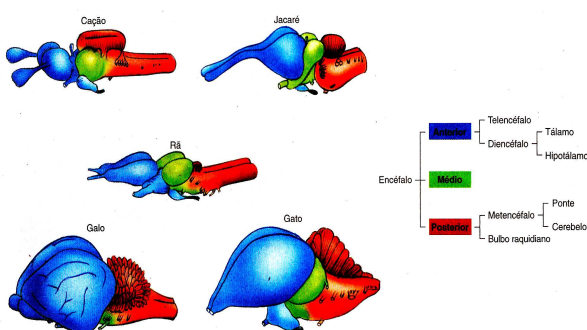


Figura 3 Comparação entre os encéfalos de vertebrados. Na evolução dos vertebrados, o sistema nervoso central foi adquirindo estruturas

ósseas ou cartilaginosas de proteção.

Tabela 1 Regiões do sistema nervoso central de vertebrados. Em seu conjunto, o telencéfalo e o diencefalo formam o **cérebro**

Divisões	Vesículas primitivas	Vesículas secundárias	Regiões	Características e funções
Encéfalo	Encéfalo anterior	Telencéfalo	Hemisférios cerebrais unidos pelo corpo caloso	Controle das ações motoras voluntárias, integração dos estímulos sensoriais, raciocínio, aprendizado, pensamento, fala e memória. As partes mais superficiais, chamadas de córtex cerebral, relacionam-se com alguns aspectos da inteligência humana. O córtex cerebral divide-se em lobos e, em cada um deles, existem áreas associadas com funções específicas: córtex motor, córtex sensorial, córtex auditivo e córtex visual.
		Diencefalo	Tálamo	Integra o córtex cerebral e a medula espinhal.
			Hipotálamo	Centro de controle da fome, da saciedade, da sede, da manutenção da temperatura, da osmolaridade do sangue, do metabolismo de gorduras e carboidratos. Relaciona-se também com a regulação do sono.
	Encéfalo médio	Mesencéfalo		Em vertebrados inferiores, associa-se aos sentidos da visão e da audição; em seres humanos, inclui a formação reticular, associada aos estados de vigília e consciência.
	Encéfalo posterior	Metencéfalo	Ponte	Tem fibras que se dirigem ou que partem do encéfalo anterior, muitas das quais cruzam da direita para a esquerda e vice-versa, explicando o domínio contralateral exercido pelo córtex motor sobre o corpo.
			Cerebelo	Coordenação motora e manutenção do equilíbrio.
		Mielencéfalo	Bulbo raquidiano	Centro regulador de atividades vitais, como a respiração, a pressão arterial e a frequência cardíaca, a transpiração, os movimentos peristálticos, a produção de secreções digestivas e os vômitos. O encéfalo médio, a ponte e o bulbo raquidiano formam o tronco encefálico.
Medula espinhal				Via de passagem de informações do encéfalo para a periferia e vice-versa; sede das atividades reflexas, executadas sem o comando do cérebro.

Arco reflexo

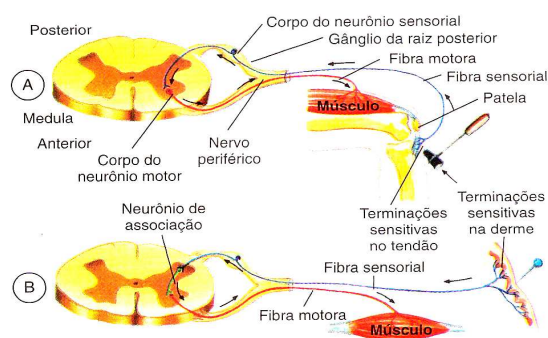
Há respostas automáticas, fora do domínio do cérebro, eficientes em situações de perigo e conhecidas por ato reflexo (ou apenas reflexo). O caminho seguido pelo impulso nervoso e que permite sua execução é o arco reflexo.

Duas situações que envolvem reflexos são bem conhecidas: o reflexo patelar e o reflexo de retirada. Em ambos, o cérebro é informado da ocorrência de algo, mas não parte dele a decisão de estender a perna ou de retirar a mão. O impulso parte de neurônios localizados na própria medula espinhal, tratando-se, portanto, de um reflexo medular.

Quando o tendão é percutido por um martelo, a distensão estimula receptores nele presentes, que geram um impulso nervoso transmitido por um neurônio sensorial a um neurônio motor, e deste para o músculo, que se contrai (reflexo patelar). Nesse trajeto, o impulso caminha por dois neurônios (figura 4a).

Há arcos reflexos com três neurônios (figura 4b), como o que desencadeia o reflexo de retirada.

Estimulado por uma panela quente, o neurônio sensorial é excitado e o impulso nervoso gerado é transmitido, simultaneamente, para dois outros neurônios: um deles leva a informação ao cérebro e a pessoa tem conhecimento do que está ocorrendo; o outro, chamado neurônio de associação (ou interneurônio), recebe o impulso e o transfere para o neurônio motor. Antes que o cérebro analise a situação, a mão é retirada.

**Figura 4 (a)** Reflexo patelar, com dois neurônios.

(b) Reflexo de retirada, com três neurônios.

A seguir estão esquematicamente representados três neurônios (figura 5).

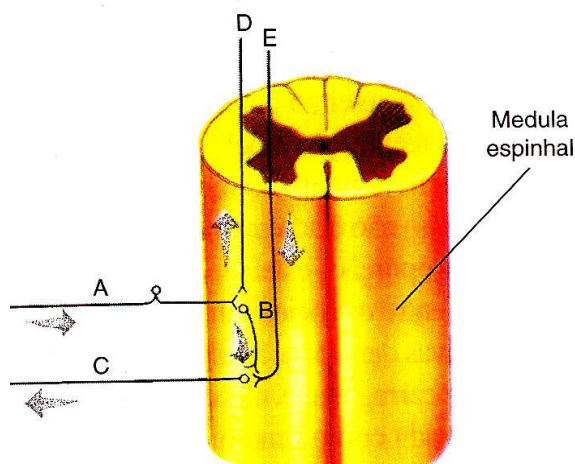


Figura 5: Neurônio

I sensorial: A; neurônio de associação: B; neurônio motor: C; área sensorial do cérebro: D; área motora do cérebro: E.

Quando alguém é tocado, a informação sensorial segue o caminho A --> D. Ao decidir virar-se, o impulso parte do cérebro e alcança os músculos pelo caminho E --> C.

Imaginemos, agora, que alguém houvesse, por descuido, encostado a ponta de um cigarro aceso no braço dessa pessoa. Em tal circunstância (estímulo doloroso, por exemplo), o impulso nervoso propaga-se simultaneamente por dois caminhos:

- pelo trajeto A --> D, informando o cérebro do acontecido;
- pelo trajeto A --> B --> C, determinando a retirada do braço antes de o cérebro processar a informação e tomar uma decisão.

O caminho A --> B --> C, que permite a rápida retirada do braço, é o arco reflexo.

Considere-se a seguinte situação: uma pessoa sofreu seção da medula espinhal na região torácica. Se for aplicado um leve toque em seus pés, a pessoa nada irá sentir, pois o impulso nervoso não alcançará seu cérebro. Caso seja solicitado ao acidentado que movimente os pés, ele será incapaz de fazê-lo, porque as mensagens enviadas pelo cérebro não chegarão à parte inferior da medula espinhal. Todavia, se o pé do paciente for estimulado com um estilete pontiagudo, ele irá mover o pé, embora não sinta dor. Esse movimento é um reflexo, e os neurônios que o desencadeiam estão localizados em um nível da medula espinhal inferior à lesão.

A poliomielite (ou paralisia infantil) é uma doença causada por um vírus que afeta neurônios motores da medula espinhal. Há interrupção dos trajetos E --> C e A --> B --> C. Tanto as atividades reflexas quanto as voluntárias deixam de ocorrer, mas a sensibilidade se mantém

preservada, uma vez que o caminho para o cérebro (A --> D) está íntegro.

Sistema nervoso periférico

Há certas atividades que, embora controladas pelo sistema nervoso, não são voluntárias. A produção de suco gástrico, por exemplo, não depende de nossa decisão consciente. Outras ações são ora voluntárias, ora involuntárias. Um exemplo é o movimento respiratório: durante a maior parte de nossa vida, não precisamos lembrar que "está na hora de respirar"; entretanto, se quisermos, poderemos executar um movimento respiratório ou interromper a respiração, ainda que por tempo limitado.

Para facilitar a compreensão, vamos separar as atividades da seguinte forma:

as que podem ser mantidas sob controle da vontade, ainda que isso não ocorra sempre ou ocorra por tempo limitado;

- as que nunca estão sob o controle da vontade. Com essa separação, poderemos entender com mais facilidade a divisão do sistema nervoso em dois ramos: o sistema nervoso somático e o sistema nervoso autônomo.

O sistema nervoso somático - que atua sobre os músculos que estão ligados aos ossos - inclui os nervos que comandam as atividades tipicamente voluntárias, como andar, escrever, tocar piano ou nadar. Sob o controle desse sistema, estão ainda as atividades que, mesmo dentro de certos limites, podem estar sob o domínio da vontade, como respirar e piscar.

O sistema nervoso autônomo atua sobre atividades que não são voluntárias, como a produção de suor, o controle do diâmetro da pupila, a frequência cardíaca, a pressão arterial, a produção de secreções digestivas e os movimentos peristálticos. Sob o controle do sistema nervoso autônomo estão glândulas, coração e músculos da parede de órgãos ocos (como o estômago e o intestino).

As duas divisões do sistema nervoso autônomo - o sistema simpático e o sistema parassimpático - apresentam ações habitualmente antagonísticas. A grande vantagem do antagonismo é a manutenção de um controle eficiente sobre as atividades: de acordo com a necessidade, elas podem ser estimuladas ou inibidas, adequando-se a cada situação. Vejamos um exemplo: em um ambiente escuro, os estímulos provenientes do sistema nervoso simpático mantêm a pupila mais aberta, permitindo a entrada de mais luz. Passando para um local iluminado, o sistema nervoso parassimpático determina o fechamento da pupila, evitando que a grande quantidade de luz possa lesar as células da retina.

A tabela 2 mostra ações dessas duas divisões.

Tabela 2 Ações do sistema nervoso autônomo.

Órgão	Efeito da estimulação simpática	Efeito da estimulação parassimpática

Glândulas sudoríparas	Sudorese abundante	Nenhum efeito
Coração	Taquicardia	Bradycardia
Artérias da pele	Vasoconstrição	Nenhum efeito
Brônquios	Dilatação	Constrição
Peristaltismo do tubo digestivo	Diminuição	Aumento
Fígado	Liberação de glicose	Nenhum efeito
Rim	Diminuição da diurese	Nenhum efeito
Bexiga urinária	Relaxamento	Contração
Esfíncter urinário	Contração	Relaxamento
Glicose sanguínea	Elevação	Nenhum efeito
Metabolismo basal	Elevação	Diminuição
Atividade mental	Elevação	Nenhum efeito
Sistema reprodutor masculino	Ejaculação	Ereção

Em geral o sistema simpático é um **sistema de alerta**, que coloca o corpo em condição de enfrentar situações de emergência ou perigo; por sua vez, o sistema parassimpático coloca o organismo em uma situação de **menor consumo de energia**.

O antagonismo entre as duas divisões do sistema nervoso autônomo é explicado pela liberação de diferentes substâncias químicas nos órgãos-alvo: no sistema nervoso simpático ocorre liberação de **noradrenalina**, enquanto no sistema nervoso parassimpático há liberação de **acetilcolina**. Essas substâncias efetuam ações opostas sobre os órgãos.

3. IMPULSO NERVOSO

No neurônio em repouso, por ação da bomba de sódio e potássio, a concentração de sódio é maior no lado de fora que no lado de dentro da célula, enquanto a concentração de potássio é maior no meio intracelular que no meio extracelular. Por difusão, há tendência de saída de potássio e de entrada de sódio no neurônio. Todavia a membrana plasmática do neurônio em repouso é praticamente impermeável ao sódio, impedindo que esse íon se mova a favor de seu gradiente de concentração (de fora para dentro). Essa membrana, porém, é muito permeável ao potássio, que, favorecido pelo gradiente de concentração e pela permeabilidade da membrana, se difunde livremente no meio extracelular.

Como a saída de potássio não é acompanhada pela entrada de sódio na mesma proporção, estabelece-se uma diferença de cargas elétricas

entre os meios intra e extracelular: há déficit de cargas positivas dentro da célula, e a membrana mantém-se eletricamente carregada. A membrana do neurônio em repouso é polarizada como uma pilha elétrica: sua face interna é o "pólo negativo" e a face externa é o "pólo positivo". A diferença de potencial (ddp) vigente entre as duas faces do neurônio em repouso, chamada potencial de repouso ou potencial de membrana, é de cerca de -70 m V.

Um neurônio pode ser estimulado em qualquer ponto de sua superfície, e a excitação é transmitida em todos os sentidos. Entretanto, em condições normais, apenas as extremidades dos dendritos recebem estímulos.

Para que o neurônio reaja, o estímulo deve ter certa intensidade mínima (chamada **limiar de excitação**). Se o estímulo é de baixa intensidade, as alterações sofridas pelo neurônio não são suficientes para gerar um impulso nervoso; se o estímulo tem intensidade igualou superior ao limiar de excitação, o neurônio reage, e reagirá sempre da mesma maneira, mesmo que a intensidade do estímulo aumente. Portanto o neurônio obedece à **lei do tudo ou nada**: uma vez ultrapassado o limiar de excitação, ele reage sempre da mesma forma, qualquer que seja a intensidade do estímulo.

Ao ser estimulada, uma pequena região da membrana plasmática torna-se momentaneamente permeável ao sódio. Como a concentração desse íon é maior fora da célula que dentro dela, o sódio atravessa a membrana no sentido do interior. A entrada de sódio é acompanhada por pequena saída de potássio. O fluxo mais intenso de sódio toma o interior da célula carregado positivamente em relação ao exterior, que se torna negativo. Essa alteração na distribuição de cargas elétricas chama-se **despolarização**.

A oscilação sofrida pelo potencial elétrico da membrana do neurônio, que se observa quando ele é estimulado, é o **potencial de ação**: na região despolarizada, a ddp entre as duas faces da membrana passa de -70 m V para +40 m V.

Ao período de alteração transitória da permeabilidade do neurônio, segue-se um **período de repolarização**, em que o potássio se difunde no meio extracelular. Como sua carga elétrica é positiva, a membrana readquire sua condição inicial: negativa na face interna e positiva na face externa. Concluída a repolarização, a bomba de sódio e potássio restabelece os gradientes normais de concentração, removendo o sódio e introduzindo o potássio na célula.

Durante o período de repolarização, o neurônio se mantém insensível e não responde a estímulos, por mais intensos que sejam. O tempo gasto na repolarização chama-se **período refratário**.

Quando se estimula uma região da membrana de um neurônio em repouso, ela se despolariza e seu interior se torna positivo não só em relação ao meio externo, mas também em relação ao interior da região adjacente. Há, então, fluxo de cargas positivas no sentido da região que ainda está em repouso, o que a estimula e despolariza; essa região, agora despolarizada, estimula a região vizinha e assim, sucessivamente, até que o estímulo alcance o final do axônio (figura 6). Essa onda de

despolarização é o **impulso nervoso**.

Quando uma região está despolarizada, a região anterior, por onde o impulso acabou de passar, inicia sua repolarização e retoma ao repouso. Como o potencial de ação é a oscilação no potencial elétrico que a membrana sofre ao ser estimulada, podemos definir o impulso nervoso como um **potencial de ação propagado** ao longo da membrana do neurônio.

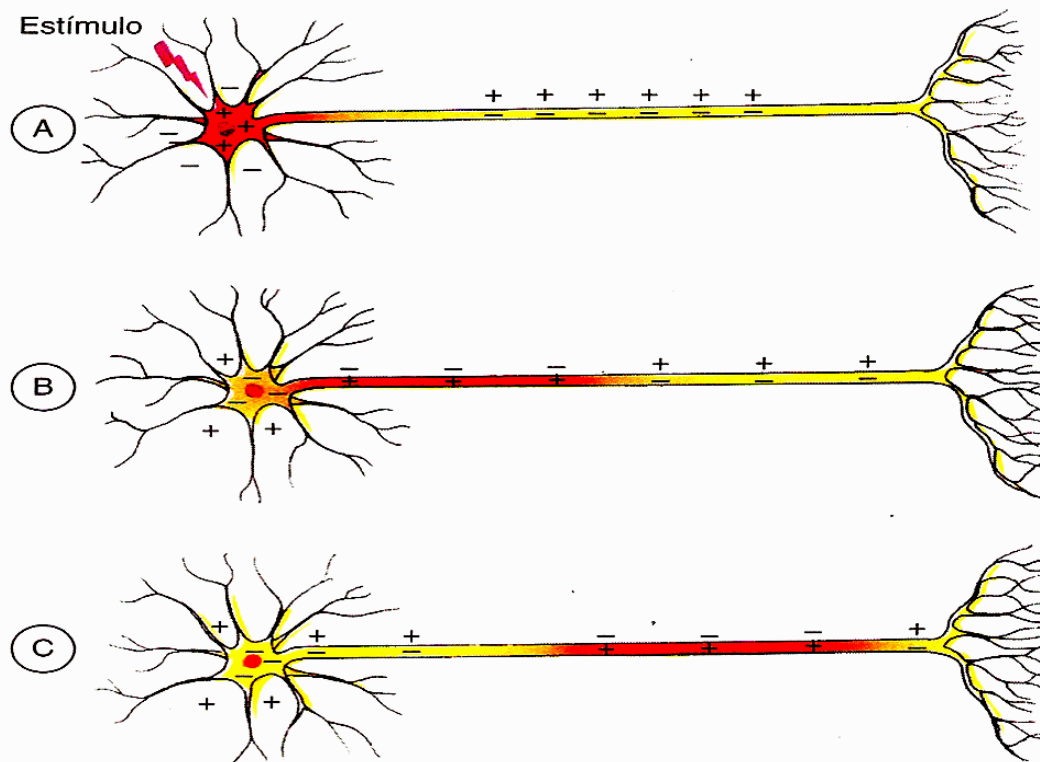


Figura 6 (a) Ao ser estimulada, a membrana do neurônio sofre uma inversão em sua polaridade e estimula a região adjacente. (b) Quando essa se despolariza, a região inicial já está repolarizada. (c) Dessa forma, o impulso nervoso percorre o axônio.

O impulso nervoso é um fenômeno de natureza eletroquímica, autopropagado e recuperativo, que caminha pela membrana do neurônio habitualmente em um único sentido.

Axônios mielinizados transmitem o impulso mais rapidamente que os axônios amielínicos. Quando, em um nódulo de Ranvier, a membrana está despolarizada, a alteração elétrica passa diretamente para o nódulo seguinte, que se estimula e se despolariza, num mecanismo conhecido como **condução saltatória**.

Outro fator que determina a velocidade do impulso nervoso é a espessura do axônio: axônios calibrosos conduzem o impulso mais rapidamente que axônios finos.

Sinopse nervosa

A região de interação entre um neurônio e outra célula é a **sinapse nervosa** (figura 7). O espaço existente entre a membrana do neurônio (membrana pré-sináptica) e a membrana da

célula que ele estimula (membrana pós-sináptica) é a **fenda sináptica**. Na extremidade do axônio, existem **vesículas sinápticas** repletas de substâncias, chamadas **neurotransmissores**, dos quais os mais conhecidos são a acetilcolina e a noradrenalina.

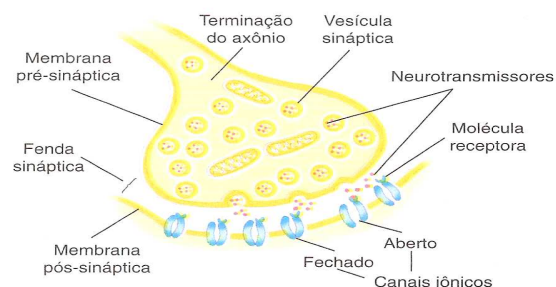


Figura 7 Esquema de uma sinapse nervosa.

Sociedade, trabalha e consumo

Drogas: tê fora!

A adolescência é o período de transição entre a infância e a idade adulta e representa uma grande mudança na postura do indivíduo diante

da vida, quando responsabilidades e relacionamentos passam a representar experiências bastante diferentes daquelas vividas na infância. Trata-se de um período de descobertas e, particularmente, de dúvidas e confrontos entre o certo e o errado.

Diante de pressões de natureza interna e externa, alguns adolescentes podem passar à **transgressão**, que pode ser definida como "desobediência a uma ordem ou determinação" ou, ainda, "a violação de uma norma". Embora complexas, as causas da transgressão podem envolver pressões do grupo, anseio de auto-afirmação, rebeldia contra a família ou outras Instituições (escola, por exemplo), procura por novas emoções, ansiedade etc.

A transgressão pode manifestar-se com diversas faces: desrespeitar pais e professores, desleixar-se do cuidado pessoal (higiene e roupas), formar gangues, pichar ou destruir, consumir drogas (bebidas, cigarro ou drogas mais pesadas) etc. Certamente existem fatores predisponentes à transgressão, inclusive para o consumo de drogas: falta de informações adequadas, distúrbios preexistentes de saúde, dificuldades quanto à vida escolar ou à inserção no mercado de trabalho, vida em ambiente familiar e/ou social conturbado, más condições de renda e de moradia, facilidade de acesso às drogas etc.

Chamamos de **droga** qualquer substância que, penetrando no corpo, atua no sistema nervoso, causando alterações de comportamento. Assim, são drogas as bebidas alcoólicas e o cigarro, embora legalmente aceitas e socialmente toleradas - ou mesmo estimuladas

A **toxicomania** (ou **drogadição**) - entendida como o consumo habitual de drogas - envolve a dependência (psíquica, física ou ambas) de determinada substância, o que acaba por levar o indivíduo a buscá-lo e todas as maneiras. Em geral há necessidade de aumento progressivo da dose.

A **dependência psíquica** caracteriza-se pela compulsão ou desejo incontrolável de conseguir a droga e desfrutar seus efeitos; a **dependência física**, por sua vez, envolve alterações metabólicas que levam o usuário à necessidade de consumi-la periodicamente, caso contrário, pode exibir quadro conhecido por **síndrome de abstinência**, cujas manifestações variam de uma substância para outra. Quando o usuário deixa de usar a droga, pode apresentar manifestações graves, que chegam até a causar a morte. Além da dependência química, pode haver **tolerância**, pois o organismo passa a necessitar de doses cada vez maiores da substância. Parece contraditório que, mesmo recebendo informações de que as drogas matam, muitos adolescentes ainda estejam procurando esse caminho. Juntam-se a curiosidade (o prazer de experimentar) e a sensação de invulnerabilidade ("posso usar uma vez, mas não

vou me viciar").

Drogas em escolas do Rio de Janeiro (1997 a 1999).

Droga	Idade de iniciação	Já usaram ao menos uma vez	Usam com frequência
Solventes/inalantes	12,7 anos	9,0%	2,8%
Maconha	13,8 anos	6,3%	2,0%
Cocaína	13,6 anos	1,9%	0,6%
Tranquilizantes	-	7,1%	1,6%

Fonte: Revista Galileu.

Não há receitas mágicas para reduzir o consumo de drogas por adolescentes. Com certeza, o conhecimento a respeito de seus efeitos e de suas consequências é necessário; entretanto elas só deixarão de ser consumidas quando as causas que levam à procura forem eliminadas ou minimizadas, o que envolve a participação de pais, escola, comunidade, mídia, empresas e governo.

Drogas, efeitos imediatos e tardios.

Alcool	Alteração de comportamento, agressividade ou depressão, reações motoras mais lentas. fala enrolada. perda de consciência, risco de acidentes, vasodilatação. hipotermia, coma - e morte	Queda no rendimento escolar ou no trabalho, dificuldade de aprendizado. perda de memória; hipertensão arterial, cinesiose e outras lesões do fígado. impotência sexual, gastrite ou úlcera gástrica, diarreia crônica, desnutrição. pelagra, lesões visuais	Física e psíquica
Tabaco (nicotina)	Euforia ou relaxamento, tosse. vasoconstrição. taquicardia, dificuldade para respirar	Enfisema e câncer do pulmão. outras formas de câncer, infarto agudo do miocárdio. demielinização cerebral, fetos com baixo peso	Física e psíquica
Maconha	Confusão mental, agressividade, euforia ou relaxamento, delírios e alucinações, olhos vermelhos, boca seca, taquicardia, vasodilatação, dificuldade para	Lesões pulmonares. infertilidade e impotência, perda de memória, queda no rendimento escolar ou no trabalho	Psíquica

	andar		
Cocaína	Euforia, agitação, excitação sexual, sensação de poder, fala e raciocínio acelerados, boca seca, pupilas dilatadas, convulsões, coma e morte	Dor de cabeça, distúrbio crônico, sudorese excessiva, queda no rendimento escolar ou no trabalho, sangramento nasal, insônia, tosse crônica, depressão, lesões do encéfalo, delírio, risco de Aids (ponteira de agulhas e seringas)	Psíquica
Crack	Excitação, pupilas dilatadas, alucinações, depressão	Emagrecimento, queda no rendimento escolar ou no trabalho, apatia, isolamento, alterações do sono, perda de memória	Psíquica
Inalantes e solventes (cola de sapateiro, benzina, éter, clorofórmio, esmalte etc.)	Alucinações, tendência à violência, agitação psicomotora, sensação de sufocação, asfixia e morte	Queda no rendimento escolar ou no trabalho, lesões visuais, cinose do fígado, perda de memória, lesões cerebrais, fibrose pulmonar	Psíquica
LSD (ácido lisérgico)	Alucinações visuais e auditivas, euforia ou pânico, ansiedade, pupilas dilatadas, sudorese, convulsões, coma e morte	Desagregação da personalidade, queda no rendimento escolar ou no trabalho, apatia, isolamento	Psíquica
Heroína, codeína, morfina	Euforia, torpor, sensação de leveza, letargia, náuseas e vômitos, convulsões, coma e morte	Queda no rendimento escolar ou no trabalho, insônia, depressão, lesões do encéfalo, constipação intestinal	Física e psíquica
Medicamentos (sedativos, tranqüilizantes, antidepressivos, anfetaminas etc.)	Dependem do princípio ativo. Em geral: excitação, euforia, relaxamento, sonolência, taquicardia, redução do apetite	Arritmias cardíacas, dor torácica, ansiedade, alucinações, hemorragias cerebrais	Psíquica

Quando o impulso nervoso alcança a terminação do axônio, as vesículas liberam o neurotransmissor, que atravessa a fenda

sináptica e se liga a moléculas receptoras na membrana pós-sináptica, abrindo-se os canais que permitem a entrada de íons Na^+ ; em consequência, um impulso nervoso é gerado e propaga-se pela célula. Assim que o neurotransmissor atinge a membrana pós-sináptica, é inativado por enzimas.

Diferentemente da propagação ao longo do neurônio, a passagem do impulso pela sinapse é um fenômeno exclusivamente químico. É unidirecional, pois apenas na extremidade do axônio existem vesículas que contêm o neurotransmissor.

A passagem do impulso nervoso de um neurônio para uma célula muscular também acontece por meio de um mediador químico, e a região de interação entre eles é a **sinapse neuromuscular** (ou junção neuromuscular).

2. JANELAS PARA O AMBIENTE

Os receptores presentes nos órgãos sensoriais convertem diferentes estímulos ambientais em um **potencial gerador**. As fibras nervosas neles conectadas transformam esse potencial gerador em potencial de ação, que irá propagar-se até os centros controladores do sistema nervoso, os quais, nos vertebrados, estão localizados no sistema nervoso central.

Receptores de superfície

A pele apresenta estruturas sensoriais (tabela 3) que percebem estímulos ambientais.

Tabela 3 Receptores de superfície e sensações.

Receptores de superfície	Sensação percebida
Receptores de Krause	Frio
Receptores de Ruffini	Calor
Receptores de Vater-Pacini	Pressão
Receptores de Meissner	Tato
Terminações nervosas livres	Dor

Quimiorreceptores

Para a maioria dos animais, os receptores químicos têm importância quase vital. O **paladar**, por exemplo, permite distinguir o que pode ou não ser comido. Existem, inclusive, animais que apresentam **receptores gustativos** dentro e fora da boca, podendo perceber o sabor dos materiais antes de ingeri-los. Assim, o animal evita colocar na boca substâncias venenosas ou tóxicas. O órgão vomeronasal (ou órgão de Jacobson),

receptor químico situado no palato de serpentes e lagartos, reconhece a presença de substâncias voláteis recolhidas do ar pela língua. O contínuo movimento que as serpentes executam com sua língua bífida é uma forma de coletar amostras do ar.

Em seres humanos, esses receptores se encontram em toda a boca, mas se concentram

nas **papilas gustativas** da língua (figura 8a). Da combinação de sensações gustativas fundamentais (doce, azedo, salgado e amargo), resultam centenas de sabores distintos.

Outro sentido estimulado quimicamente é o **olfato**, percepção de substâncias voláteis presentes no ar, que também atua na distinção dos alimentos. A área receptora do olfato é a mucosa **olfativa** (figura 8b). Em animais aquáticos, esses receptores são excitados por substâncias dissolvidas na água e são semelhantes aos receptores gustativos.

Figura 8 (a) Distribuição dos receptores gustativos na superfície da língua. (b) Mucosa olfativa humana, relativamente pequena e pouco sensível.

O olfato desempenha importantes papéis adaptativos: delimitação de território, reconhecimento de parceiros sexuais, localização de alimentos e detecção de predadores.

Existem animais que produzem substâncias odoríferas - os **feromônios** - que interferem no comportamento de outros membros da mesma espécie.

A região do encéfalo que processa as informações olfativas é o **bulbo olfativo**, relativamente pequeno nas aves e nos seres humanos, em relação ao de outros vertebrados.

Fotorrecepção

Celenterados e platelmintos concentram células fotossensíveis em estruturas chamadas **ocelos**, que, embora detectem a presença de luz, não formam imagens. Em medusas, localizam-se na borda do corpo; nas planárias, na região anterior do corpo. Nos anelídeos, como a minhoca, células fotossensíveis espalham-se por toda a superfície corporal.

As estruturas formadoras de imagens são os **olhos**, presentes em artrópodes, moluscos cefalópodes e vertebrados. Os insetos têm **olho composto** (figura 9), constituído por unidades receptoras que formam imagens independentes.

Córnea

Lente interna

Figura 9 Olho com-

Unidade receptora posto de inseto.

Um eficiente equipamento formador de imagens é o **olho de câmara** dos cefalópodes e dos vertebrados (figura 10).

Figura 10 O olho humano (visto em corte sagital) fica em uma cavidade óssea, chamada órbita, à qual é ligado por músculos capazes de movimentá-lo em todas as direções.

Cada olho possui na parte anterior uma lente convergente - a **córnea** -, cuja superfície é lubrificada pela lágrima, secretada pelas glândulas lacrimais e drenada para a cavidade nasal por meio de um orifício existente no canto interno do olho. A **íris**, controlada pelo sistema

nervoso autônomo, é uma estrutura muscular dotada de um orifício central de diâmetro variável, a **pupila**. Dentro do globo ocular, a luz atravessa o **cristalino**, projetando a imagem na **retina** (figura 11), onde estão as células fotossensíveis: **cones e bastonetes**.

Figura 11 A córnea e o cristalino são lentes convergentes, como a lente objetiva de uma máquina fotográfica. Como o diafragma da máquina, a íris controla a entrada de luz. A retina é análoga ao filme fotográfico. Tanto na retina como no filme, a imagem projetada é invertida. O nervo óptico conduz impulsos para o córtex cerebral, onde se dá a correção da imagem.

• **11.** Óculos de sol de má qualidade podem causar lesões oculares sérias. Como diminuem a entrada de luz visível no olho, provocam a dilatação da pupila; sem filtros adequados, facilitam a penetração da lesiva radiação ultravioleta. Dê preferência a lentes com filtro UV!

A córnea é uma lente de curvatura fixa, enquanto o cristalino tem curvatura variável. Ele é preso ao músculo ciliar, que pode torná-lo mais delgado ou mais curvo, permitindo que a imagem se projete sobre a retina. Essa propriedade é a **acomodação visual**, que possibilita enxergar nitidamente objetos localizados a diferentes distâncias. A visão nítida ocorre quando a imagem é projetada exatamente sobre a retina (**emetropia**). Se a imagem se forma antes da retina (**miopia**) ou depois dela (**hipermetropia**), o que se vê é uma imagem desfocada.

A noção de profundidade (ou visão estereoscópica) é dada pela acomodação visual e pela movimentação simultânea dos dois olhos ao focalizarem o mesmo objeto. É uma característica dos mamíferos, particularmente dos primatas, cujos olhos se localizam em um mesmo plano.

Os cones são pouco sensíveis à luz, isto é, têm elevado limiar de excitação. A imagem fornecida por eles é nítida e rica em detalhes e permite distinguir-se as cores. Há três tipos de cones: um que se excita com luz vermelha, outro com luz verde e o terceiro com luz azul.

Os bastonetes não têm poder de resolução visual tão bom, mas são mais sensíveis à luz que os cones, ou seja, seu limiar de excitação é mais baixo. Em situações de pouca luminosidade, a visão depende exclusivamente dos bastonetes: é a chamada **visão noturna** (ou **visão de penumbra**).

Em células fotossensíveis da retina, há substâncias sensíveis à luz, produzidas a partir da vitamina A. Estimuladas pela luz, provocam modificações elétricas na membrana das células, que desencadeiam um potencial de ação.

A deficiência de vitamina A acarreta alteração principalmente dos bastonetes, sendo a causa da **cegueira noturna**, cujo nome se prende ao fato de a visão noturna ser mais dependente dos bastonetes que a diurna. A carência de vitamina

A também provoca a **xerofthalmia**, ressecamento da córnea por diminuição na produção de lágrima, que predispõe a infecções e cegueira.

As serpentes peçonhentas solenoglifodonte (como a cascavel e a jararaca) possuem um órgão que se abre entre os olhos e as narinas, chamado **fosseta loreal**, que possibilita detectar o infravermelho, radiação associada à emissão de calor. Essas serpentes têm hábitos noturnos e percebem a presença de animais homeotermos, que são mais quentes que o ambiente e dissipam calor, e, assim, podem caçá-las mesmo no escuro.

Fonorreceptores

Peixes percebem vibrações e alterações de pressão na água.

Ao longo do sistema da **linha lateral** (veja a figura 31, do capítulo 18), há orifícios por onde a água penetra e banha células ciliadas. A movimentação da água faz vibrar os cílios, gerando um impulso nervoso transmitido ao cérebro.

Nos anfíbios, há uma membrana situada na cabeça (o **tímpano**). As vibrações do tímpano são transmitidas, por um ossículo, para uma cavidade cheia de líquido, em cuja parede há células ciliadas. O movimento do líquido balança os cílios, gerando um impulso nervoso levado ao cérebro.

A membrana timpânica de répteis, aves e mamíferos não fica rente à superfície do corpo. Há um canal - o **conduto auditivo externo** - pelo qual os sons penetram e movimentam o tímpano. Fora do conduto auditivo externo, os mamíferos têm uma peça cartilaginosa - o **pavilhão auditivo** - que funciona como concha acústica, dirigindo o som para o interior da orelha (figura 12).

Figura 12 O sistema auditivo humano é dividido em orelha externa, orelha média e orelha interna. Na orelha média, separada da orelha externa pelo tímpano, está a cadeia ossicular (martelo, bigorna e estribo).

A moderna nomenclatura anatômica humana recomenda o uso da palavra orelha, em vez de ouvido.

A **orelha externa** (ou ouvido externo), que inclui o pavilhão auditivo e o conduto auditivo externo, capta os sons e os direciona para o tímpano. Muitos mamíferos, como o cachorro, têm pavilhão auditivo grande e móvel, que permite captar os sons com maior acuidade e perceber a posição da fonte emissora.

A **orelha média** (ou ouvido médio) é uma cavidade do osso temporal. Tem três orifícios: um é coberto pelo tímpano, outro pela janela oval e um terceiro é aberto e comunica-se com a faringe pela tuba auditiva (ou trompa de Eustáquio). O ar penetra na orelha média pela tuba, principalmente durante o bocejo e a deglutição. O som faz vibrar o tímpano. A seguir a cadeia ossicular, entre o

tímpano e a janela oval, transmite e amplifica vibrações.

A **orelha interna** (ou ouvido interno) é formada pela cóclea (ou caracol), onde está o órgão de Corti, e pelos canais semicirculares. No órgão de Corti, permanentemente cheio de um líquido chamado endolinfa, há células ciliadas. A vibração da janela oval, provocada pela movimentação da cadeia ossicular, move esse líquido e as células ciliadas que nele estão mergulhadas. Assim como na linha lateral dos peixes, a vibração dos cílios gera um potencial de ação, que é transmitido ao cérebro.

A pressão exercida pelo ar, na face externa da membrana timpânica, é a pressão atmosférica. Como o ar penetra na orelha média pela tuba auditiva, a pressão na face interna do tímpano é igual à pressão atmosférica, permitindo ao tímpano vibrar livremente. Quando estamos resfriados, as secreções e a inflamação da faringe podem obstruir o orifício de abertura da tuba, dificultando a entrada de ar na orelha média. Retraída, a membrana diminui sua mobilidade normal, prejudicando a transmissão de sons e a capacidade auditiva.

Fato semelhante acontece quando se desce uma montanha. Em locais de menor altitude, como a pressão atmosférica é maior, o tímpano é deslocado para dentro e não vibra normalmente, prejudicando a audição. Manobras que abrem o orifício da tuba, tais como abrir e fechar a boca, ou engolir saliva ou alimento, permitem a entrada de ar na orelha média, igualando-se as pressões nas duas faces do tímpano.

CAPÍTULO 07 : REVESTIMENTO, SUSTENTAÇÃO E MOVIMENTOS

1. TECIDOS DE REVESTIMENTO

Grande parte do sucesso evolutivo das espécies deve-se à sua capacidade de proteger, sustentar e movimentar o corpo.

Os tecidos de revestimento - ou **epitélios** (figura 1) - apresentam uniformidade de tipos celulares, com pouco material entre as células, que são justapostas e aderidas entre si. O escasso material intercelular une as células. Os epitélios são avasculares, isto é, não recebem vasos sanguíneos: suas células são nutridas e oxigenadas por difusão, a partir dos tecidos conjuntivos subjacentes.

A epiderme dos invertebrados, formada por uma única camada de células, pode apresentar células secretoras, as quais produzem envoltórios: o exoesqueleto dos artrópodes e as conchas dos moluscos.

A epiderme dos vertebrados possui várias camadas de células; na maioria deles, as células mais superficiais são impregnadas de queratina, uma proteína insolúvel e resistente. Além da epiderme, sua pele inclui também a derme, uma camada de tecido conjuntivo ricamente vascularizada. Sob a derme, está a hipoderme (tecido adiposo), reserva energética e isolante térmico.

A epiderme dos peixes é fina e desprovida de queratina; a dos anfíbios, úmida e delgada, permite a ocorrência de hematose. A epiderme dos répteis tem uma camada queratinizada espessa, formada por camadas de células mortas. É impermeável e dificulta a perda de água por evaporação, além de ser resistente.

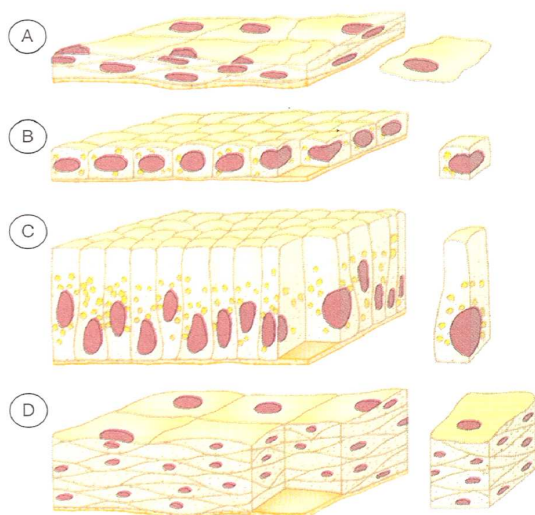


Figura 1 Classificação de epitélios quanto ao número de camadas celulares e quanto à morfologia celular: (a) pavimentoso simples (ou uniestratificado): revestimento dos alvéolos pulmonares; (b) cuboidal simples: túbulos dos néfrons; (c) colunar simples (ou prismático): revestimento interno do intestino; (d) pavimentoso

estratificado: epiderme.

Répteis e aves possuem a epiderme praticamente aglandular. Na epiderme dos mamíferos, há glândulas de origem epidérmica, como as sudoríparas e as sebáceas. Assim como os répteis, as aves e os mamíferos têm pele com uma camada queratinizada. Penas e pêlos também são formados por queratina.

Os epitélios associam-se a:

- proteção contra agressões físicas e químicas e contra agentes infecciosos;
- absorção de nutrientes (no tubo digestivo ou na epiderme);
- trocas gasosas com o ambiente (na epiderme, nas brânquias ou nos pulmões);
- manutenção da temperatura corporal;
- secreção de substâncias (epitélio glandular).

Exemplos de epitélios

• **Endotélio.** Revestimento interno dos vasos sanguíneos, um epitélio pavimentoso simples. A parede dos capilares é formada apenas por endotélio.

• **Alvéolos pulmonares.** São revestidos internamente por epitélio pavimentoso simples, que permite a ocorrência de hematose.

• **Epitélio da mucosa intestinal.** Epitélio de absorção formado por uma camada de células colunares, com vilosidades e microvilosidades.

• **Epitélio mucociliar (pseudo-estratificado).** Recobre internamente as vias aéreas, sendo formado por uma única camada de células, cujos núcleos estão em diferentes alturas, parecendo ter várias camadas. Apresenta células ciliadas e outras produtoras de muco (as células caliciformes).

• **Epiderme.** É o epitélio pavimentoso pluriestratificado que faz parte da pele (figura 2). Sua camada superficial - a camada córnea - é formada por células mortas impregnadas de queratina. À medida que as células envelhecem e se enchem de queratina, novas células surgem, na camada basal, e substituem as que morrem e se descamam. Na epiderme estão os melanócitos, células que produzem melanina e determinam a cor da pele.

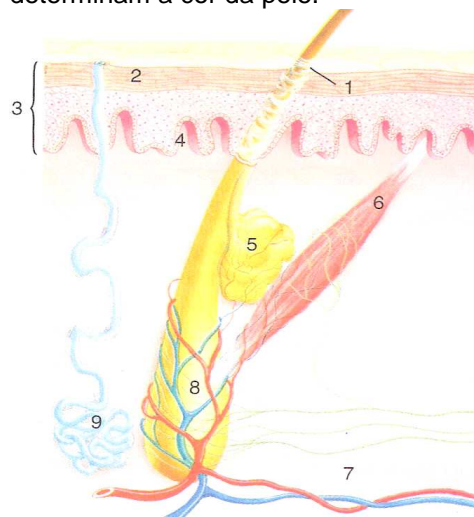


Figura 2 Corte da pele humana: secreção sebácea sendo eliminada através do orifício do pêlo (1): camada queratinizada ou córnea (2); epiderme (3); papila dérmica (4); glândula sebácea (5); músculo eretor do pêlo (6); vasos sanguíneos (7); folículo piloso (8); glândula sudorípara (9).

Epitélios glandulares

Em determinados locais, os epitélios formam **glândulas** (figura 3), que são órgãos secretores. As glândulas que lançam suas secreções na superfície do corpo ou na cavidade interna de certos órgãos, como a boca, o estômago e as vias aéreas, são chamadas **glândulas exócrinas** (ou de secreção externa). Exemplos: o fígado, as glândulas sudoríparas, sebáceas, lacrimais, salivares e mamárias.

Aquelas que se desligam do epitélio e lançam as secreções - denominadas **hormônios** - na corrente sanguínea são **glândulas endócrinas** (ou de secreção interna). Exemplos: hipófise, tireóide e adrenal.

As **glândulas mistas** produzem hormônios e secreções exócrinas. O pâncreas é um exemplo: secreta o suco pancreático e produz hormônios, como a insulina.

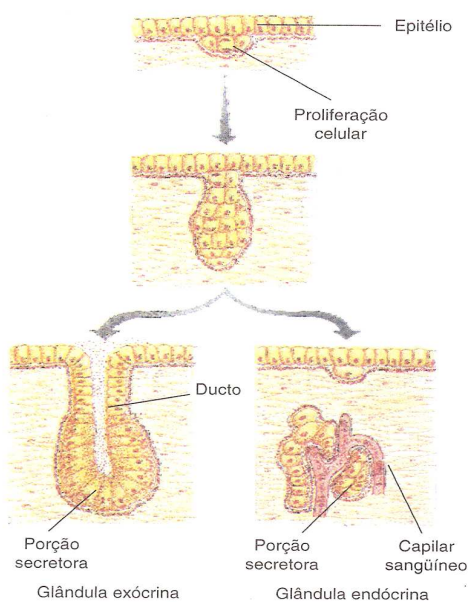


Figura 3 Algumas glândulas permanecem ligadas ao epitélio por meio de um ducto; outras se desligam dele, formando órgãos independentes.

2. OSSOS E ESQUELETO

Tecido ósseo

O tecido ósseo é um tipo especial de tecido conjuntivo, cujo interstício, chamado **matriz óssea**, possui sais minerais (principalmente de cálcio e fósforo) e uma parte orgânica protéica, cujo componente mais abundante é o colágeno. Suas células são os **osteócitos** (células que mantêm a parte mineral da matriz óssea), os **osteoblastos** (que produzem a parte protéica da matriz) e os **osteoclastos** (ricos em lisossomos,

cujas enzimas digerem a parte orgânica da matriz óssea e permitem sua remodelação). O tecido ósseo encontra-se em camadas concêntricas ao redor dos **canais de Havers**, dispostos longitudinalmente no osso (figura 4) e que se comunicam entre si pelos **canais de Volkmann**.

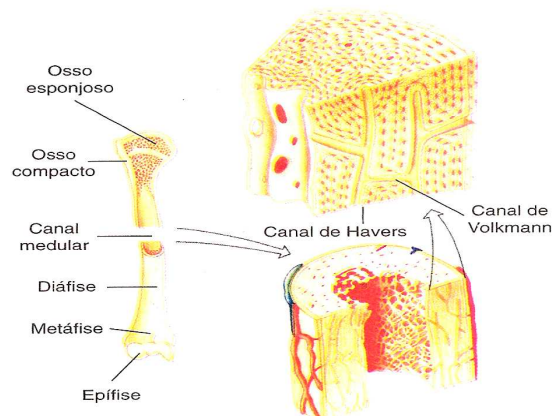


Figura 4 Pelos canais de Havers e de Volkmann, passam vasos sanguíneos que nutrem e oxigenam o tecido ósseo.

Entre outras funções, os ossos constituem um sistema de alavancas que potencializa a ação dos músculos, sustenta o peso do corpo e protege órgãos vitais, como o encéfalo e a medula espinhal. Além disso são o maior depósito de cálcio do corpo.

Tecido cartilaginoso

Menos resistente e mais elástico que o tecido ósseo, o tecido cartilaginoso forma as cartilagens, que sustentam algumas partes do corpo, como orelhas e nariz. Na superfície articular dos ossos, as cartilagens diminuem o atrito entre eles; na traquéia e nos brônquios, mantêm esses tubos abertos, permitindo a passagem do ar. O tecido cartilaginoso possui uma **matriz cartilaginosa** abundante, rica em colágeno e não mineralizada. Suas células são os **condrócitos** (que mantêm a matriz cartilaginosa), os **condroclastos** (ricos em lisossomos com enzimas proteolíticas, que digerem e remodelam a matriz cartilaginosa) e os **condroblastos** (que produzem as proteínas da matriz).

Esqueleto

Tubarões e raias têm **esqueleto cartilaginoso**, com deposição de sais de cálcio como reforço em algumas regiões. Peixes ósseos e vertebrados tetrápodes (anfíbios, répteis, aves e mamíferos) possuem **esqueleto ósseo**, embora haja regiões com cartilagem, como as superfícies articulares dos ossos.

Esqueletos externos (ou **exoesqueletos**) existem em protozoários e em determinados invertebrados, como moluscos e artrópodes; esqueletos internos (ou **endoesqueletos**) são encontrados em esponjas, equinodermos e cordados.

Nos vertebrados, os ossos da cabeça, a coluna vertebral, as costelas e o esterno formam o **esqueleto axial** (figura 5, em amarelo); as cinturas escapular (clavícula e escápula) e pélvica (ossos da bacia) e os ossos dos membros superiores e inferiores constituem o **esqueleto apendicular** (figura 5, em cinza).

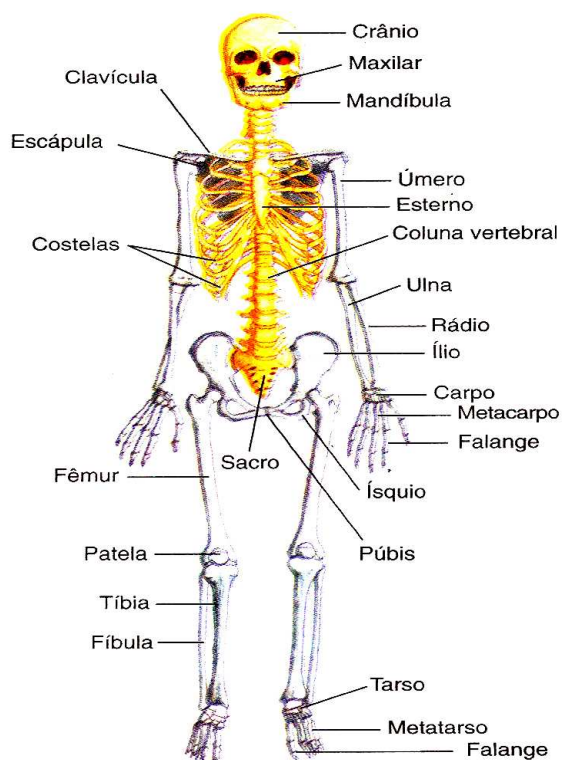


Figura 5 Esqueleto humano e suas principais divisões.

As **articulações** (ou juntas) são pontos de contato entre ossos vizinhos, podendo permitir ou não o movimento dos ossos que as formam. Algumas articulações, como as que existem no crânio de um adulto, são imóveis e resultam de soldaduras entre ossos.

3. TECIDO MUSCULAR

O **tecido muscular** (figura 6) movimenta o corpo todo e partes dele. Os **músculos estriados** são os responsáveis por contrações rápidas, empreendidas nos movimentos de fuga, por exemplo. Os **músculos lisos** têm contração lenta e executam atividades que não exigem rapidez, como a propagação dos alimentos pelo tubo digestivo. No coração dos vertebrados, encontra-se um terceiro tipo: o **músculo estriado cardíaco** (ou **miocárdio**).

Os músculos estriados dos vertebrados estão conectados aos ossos e são chamados **músculos esqueléticos**. Músculos lisos são encontrados nas paredes de órgãos ocos, como o estômago, o intestino, a vesícula biliar e a bexiga urinária, e são denominados **músculos viscerais**.

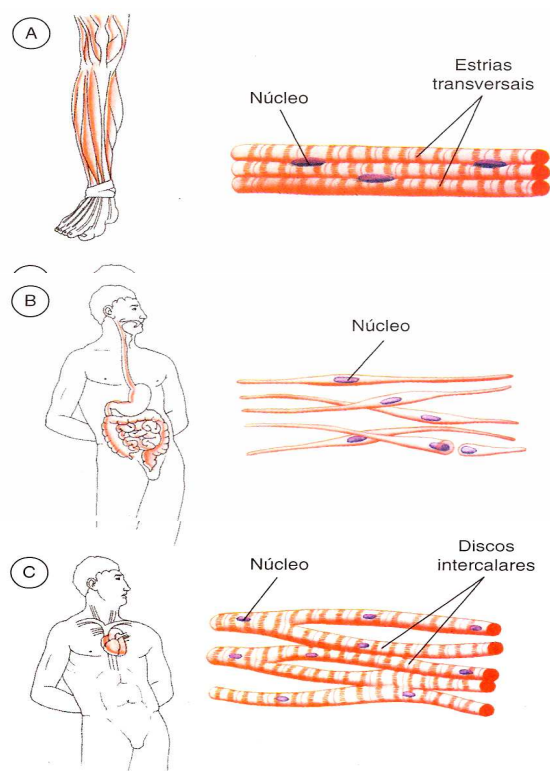


Figura 6: (a) O músculo estriado é formado por células cilíndricas e longas, que possuem vários núcleos sob a membrana plasmática e numerosas estrias transversais. (b) As células do músculo liso são longas, fusiformes e têm extremidades afiladas; seu núcleo é único e central e elas não têm estrias transversais. (c) As células do miocárdio são cilíndricas e estriadas e possuem um ou dois núcleos centrais: entre as células, há discos intercalares, que aumentam a adesão e facilitam a propagação de impulsos elétricos.

Contração muscular

Cada célula muscular (figura 7) pode ser chamada de fibra muscular e sua membrana plasmática é o **sarcolema**. O citoplasma contém **miofibrilas**, estruturas cilíndricas dispostas longitudinalmente. Cada miofibrila é formada por uma sequência linear de **sarcômeros**, constituídos por filamentos das proteínas dispostos paralelamente: a **actina**, formada por filamentos delgados, e a **miosina**, constituída por espessos filamentos com extremidades globulares. O padrão estriado do sarcômero repete-se em toda a extensão das miofibrilas, conferindo às células musculares aspecto estriado típico, que reflete a distribuição de actina e miosina no sarcômero.

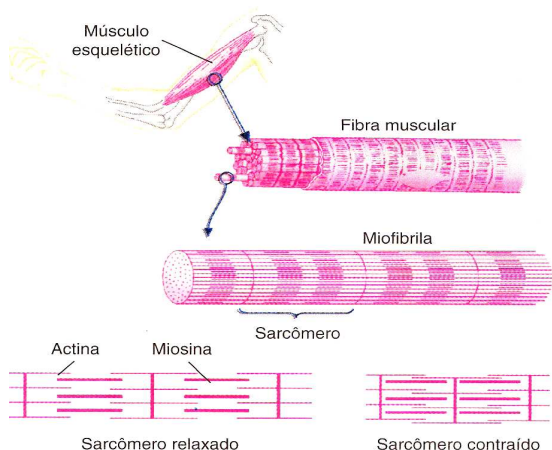


Figura 7: Durante a contração, ocorre deslizamento entre os filamentos de actina e os de miosina. Todos os sarcômeros de uma miofibrila se encurtam simultaneamente e, como isso ocorre em todas as miofibrilas da célula, seu comprimento diminui, caracterizando a contração muscular.

Na célula muscular em repouso, os íons cálcio estão estocados no retículo endoplasmático (chamado **retículo sarcoplasmático**). Quando ela é estimulada, há deslocamento de íons cálcio do retículo sarcoplasmático para junto dos sarcômeros. Na presença de cálcio, as moléculas de miosina adquirem atividade enzimática e hidrolisam moléculas de ATP, liberando energia.

Com a energia liberada, as extremidades globulares dos filamentos de miosina prendem-se aos locais de ancoragem nos filamentos de actina. Os filamentos de actina e de miosina passam a deslizar uns sobre os outros (figura 7), resultando no encurtamento do sarcômero.

Na fase de relaxamento, o cálcio é retirado ativamente do sarcômero e levado ativamente de volta para o interior do retículo sarcoplasmático. Portanto a célula muscular gasta ATP também para se relaxar.

A energia necessária para a contração muscular provém da degradação da glicose na respiração celular aeróbica. Se a oferta de oxigênio for insuficiente para suprir a demanda energética da contração, as células musculares passarão a realizar, simultaneamente, a fermentação láctica. O acúmulo de ácido láctico, em grande quantidade, no músculo pode gerar algumas manifestações desconfortáveis, como **dores musculares, fadiga e câibras**.

O ácido láctico difunde-se fora das células, sendo parcialmente removido dos músculos pela corrente circulatória. No fígado o ácido láctico é reconvertido em glicose.

A sinapse neuromuscular - região em que o impulso nervoso alcança a fibra muscular - pode ser bloqueada pelo curare, substância que impede a ação da acetilcolina, mediador liberado na extremidade dos axônios. Conseqüentemente, há paralisia dos músculos esqueléticos, ocorrendo morte por parada respiratória.

CAPÍTULO 08 : SISTEMA ENDÓCRINO E HOMEOTERMIA

1. UM SISTEMA MENSAGEIRO

O trecho a seguir foi adaptado da revista *Globo Ciência*:

"O rapaz entra em casa chutando a porta. Brigou na escola, apanhou do colega e ainda levou uma advertência da diretora; liga o som no último volume e atíça a fúria da irmã, que está 'naqueles dias'. Ela rebate aos berros.

A mãe, que deveria intervir, prefere trancar-se no quarto. Está sentindo ondas de calor; dormiu mal à noite e não suporta qualquer barulho. O marido que resolve, ao chegar!

Será que ele, parado num congestionamento e com a úlcera roendo-lhe as entranhas, vai chegar em casa com espírito apaziguador?"

Se essa dramática história terminar em crime, não será difícil apontar os culpados! São os **hormônios**, substâncias informacionais produzidas pelas glândulas endócrinas e distribuídas pelo sangue. Os órgãos que reagem a seu estímulo são denominados **órgãos-alvo**. No corpo humano, a taquicardia decorrente de uma ameaça, as contrações do útero no parto e até mesmo o crescimento estão associados à atividade hormonal.

Entre os hormônios, há derivados de ácidos graxos e de aminoácidos, peptídios, proteínas, aminas e esteróides. Portanto a definição de hormônio não é química, mas funcional: os hormônios modificam o funcionamento dos órgãos-alvo, ligando-se a receptores específicos.

O **sistema endócrino** (figura 1) é o conjunto de órgãos e tecidos que secretam hormônios. Em conjunto com o sistema nervoso, ele garante a integração entre as diferentes partes do corpo. Os hormônios são distribuídos pela corrente sanguínea, das glândulas produtoras até os órgãos-alvo, diferentemente dos impulsos, que, no sistema nervoso, percorrem os neurônios.

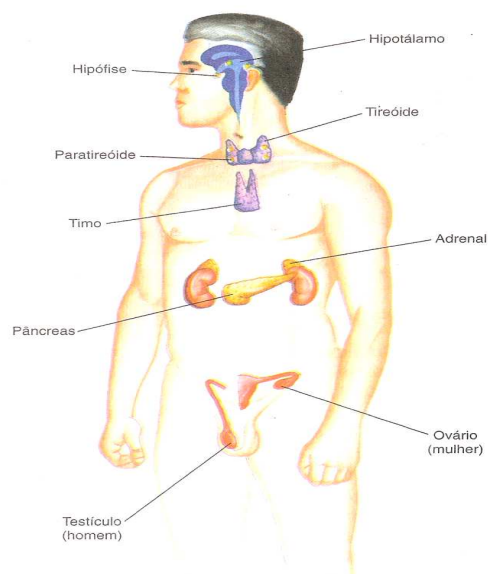
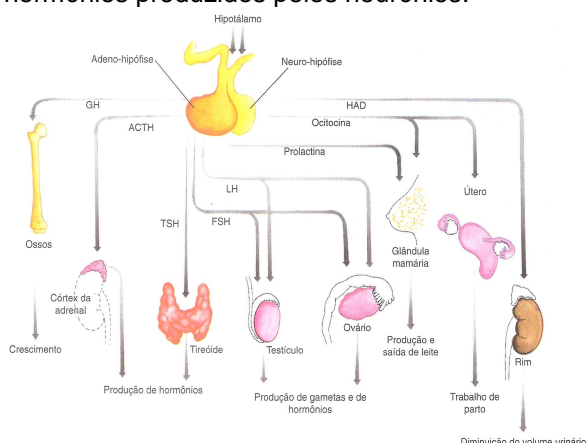


Figura 1 Principais glândulas endócrinas humanas.

2. HIPÓFISE

Ligada à base do encéfalo, a **hipófise** fica protegida em uma cavidade óssea. Nos seres humanos, divide-se em adeno-hipófise (ou hipófise anterior) e neuro-hipófise (ou hipófise posterior). Em peixes, anfíbios e répteis, o lobo intermédio da hipófise secreta o **hormônio melanotrófico** (MSH), importante no controle da pigmentação da pele.

O **hipotálamo**, ao qual se liga a hipófise, secreta substâncias (hormônios ou fatores liberadores) que interferem na produção de hormônios hipofisários. Além disso, neurônios do hipotálamo têm as extremidades de seus axônios na neuro-hipófise, a qual armazena e secreta hormônios produzidos pelos neurônios.



A **adeno-hipófise** secreta diversos hormônios (figura 2).

Figura 2 Como a hipófise controla a atividade de outras glândulas endócrinas, ela é conhecida como glândula mestra.

O **hormônio de crescimento** (GH),

também conhecido como **hormônio somatotrófico** (STH), promove o alongamento dos ossos e estimula outras atividades metabólicas. Na infância os ossos apresentam a **cartilagem de crescimento**, que responde ao estímulo do hormônio de crescimento. Entre 17 e 21 anos, tais cartilagens são substituídas por tecido ósseo, interrompendo-se o crescimento. A deficiência de GH na infância determina o **nanismo hipofisário**; o excesso provoca o **gigantismo**. O excesso de GH no adulto não leva ao gigantismo, mas à **acromegalia**, um aumento acentuado de extremidades: mãos, pés, base do nariz e mandíbula. A insuficiência desse hormônio em adultos é rara e pobre em manifestações.

A **prolactina** (ou hormônio lactogênico) estimula a produção de leite.

O **hormônio tireotrófico** (TSH ou tireotrofina) estimula a secreção de hormônios tireoidianos (figura 3).

O **hormônio adreocorticotrófico** (ACTH) estimula a secreção de hormônios pelo córtex das adrenais.

O **hormônio folículo-estimulante** (FSH) e o **hormônio luteinizante** (LH), denominados **hormônios gonadotróficos**, atuam diretamente sobre a atividade das gônadas (ovários e testículos).

A **neuro-hipófise** armazena e secreta dois hormônios - a ocitocina e o hormônio antidiurético -, sintetizados por neurônios do hipotálamo.

A **ocitocina** (ou oxitocina) provoca as contrações do útero, no parto, e a saída de leite, na lactação. A sucção do mamilo estimula a hipófise a secretar ocitocina e prolactina.

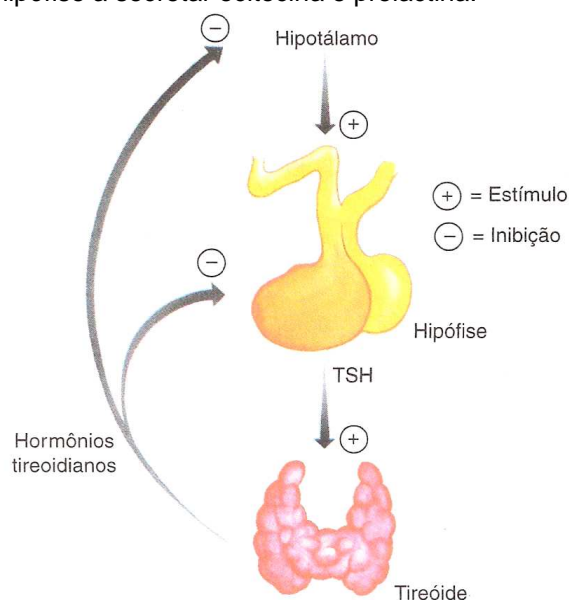


Figura 3 Quando a concentração de hormônios tireoidianos no sangue está baixa, a hipófise secreta TSH, estimulando a atividade da tireóide. Quando a concentração plasmática de hormônios tireoidianos está alta, ocorre inibição da liberação

de TSH, diminuindo a atividade da tireóide. Trata-se de um mecanismo de retroindução negativa (ou *feedback* negativo), verificado também com outros hormônios, como o ACTH.

O **hormônio antidiurético** (HAD ou vasopressina) estimula a reabsorção de água pelos rins, diminuindo o volume da urina, que fica mais concentrada. Esse hormônio também provoca vasoconstrição, podendo elevar a pressão arterial.

A deficiência de HAD causa o **diabetes insípido**, que leva à eliminação de até 20 l/diários de urina diluída, provocando muita sede.

O etanol tem ação diurética, pois inibe a secreção de HAD. Daí a sensação de sede intensa que caracteriza a ressaca. Para minimizar tal efeito, deve-se evitar a ingestão de bebidas alcoólicas quando já houver déficit hídrico (por exemplo, após a prática de esportes).

3. TIREÓIDE

No pescoço, apoiada sobre as cartilagens da laringe e da traquéia, a tireóide secreta dois hormônios que contêm átomos de iodo: a **triiodotironina** (o mais ativo) e a **tiroxina**.

O iodo é obtido de vegetais e, principalmente, de alimentos de origem marinha, como peixes, ostras e camarões. Dieta pobre em iodo pode provocar aumento do volume da tireóide, chamado **bócio endêmico** (ou **careneiai**), que é evitado com a adição obrigatória de iodo ao sal de cozinha.

A triiodotironina e a tiroxina aumentam a taxa metabólica e a geração de calor; estimulam, ainda, a síntese de proteínas, atuando no crescimento e no desenvolvimento. Se a tireóide de um animal jovem for removida, ele apresentará retardo no crescimento e na maturidade sexual. A retirada da tireóide de um girino, por exemplo, impede a metamorfose; por outro lado, se hormônios tireoidianos forem administrados a uma larva jovem, a metamorfose ocorrerá precocemente, originando um adulto pequeno.

Produção excessiva de hormônios tireoidianos é denominada **hipertireoidismo**, caracterizado por emagrecimento, agitação e nervosismo, pele quente e úmida, episódios de taquicardia e aumento da pressão arterial, sensação contínua de calor e proeminência do globo ocular (exoftalmia).

A deficiência de hormônios tireoidianos chama-se **hipotireoidismo**, cujas manifestações são apatia, sonolência, obesidade, sensação de frio, pele seca e fria, fala arrastada, edema (inchaço), pressão arterial e frequência cardíaca baixas. Em crianças, o hipotireoidismo compromete o desenvolvimento físico e mental.

Defeitos na formação da glândula, durante o desenvolvimento embrionário, levam ao **hipotireoidismo congênito**, que pode não se manifestar logo no nascimento, porque os

hormônios maternos mantêm o desenvolvimento normal do feto. O tratamento do hipotireoidismo congênito deve ser iniciado antes que a doença provoque lesões físicas e mentais, que são irreversíveis. O **teste do pezinho**, realizado em recém-nascidos e obrigatório por lei, mede as concentrações de tiroxina e de fenilalanina. Dosagem baixa de tiroxina aponta para o diagnóstico de hipotireoidismo congênito, que exige tratamento imediato com hormônios, administrados por toda a vida.

A tireóide também secreta a **calcitonina**, hormônio que inibe a remoção de cálcio dos ossos e a saída dele para o plasma sanguíneo. Quando a concentração de cálcio no sangue está elevada, a calcitonina estimula sua incorporação nos ossos, diminuindo a concentração desse mineral no sangue.

Níveis elevados de fenilalanina indicam fenilcetonúria, doença hereditária sem relação com a tireóide, mas que também determina retardo mental grave se não tratada precocemente. O tratamento consiste em dieta isenta de fenilalanina

4. PARATIREÓIDES

Geralmente em número de quatro, as paratireóides localizam-se na região posterior da tireóide. Secretam o **paratormônio**, que regula a concentração plasmática de cálcio e de fósforo. Esse hormônio estimula a remoção de cálcio dos ossos, o qual passa para o plasma sanguíneo; eleva a absorção intestinal de cálcio dos alimentos e a reabsorção de cálcio nos rins. O resultado é o aumento da concentração de cálcio no sangue.

A secreção de paratormônio é controlada diretamente pela concentração de cálcio no sangue: se esta aumenta, inibe a secreção do paratormônio; se diminui, estimula sua secreção.

5. ADRENAIS

As adrenais (ou supra-renais), que se localizam sobre os rins (figura 4), são constituídas por duas camadas: a **medula** e o **córtex**.

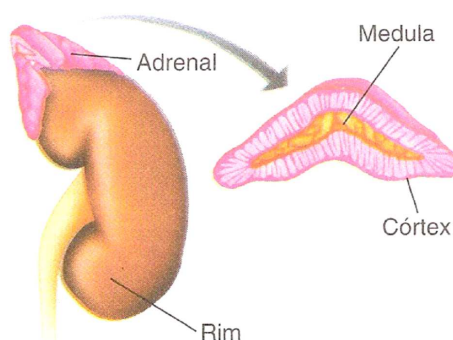


Figura 4 Corte da adrenal mostrando a medula e o córtex.

A medula secreta a adrenalina e a

noradrenalina, principalmente em situações de estresse físico ou emocional, preparando o organismo para a fuga ou a luta. Entre outros efeitos, causam aumento da frequência cardíaca, elevação da pressão arterial, constrição das arteríolas, transpiração, dilatação da pupila e dos brônquios.

O córtex secreta glicocorticóides, mineralocorticóides e androgênios.

Os glicocorticóides (como o cortisol) reduzem as inflamações, estimulam a conversão de proteínas e gorduras em glicose, ao mesmo tempo que diminuem a captação de glicose pelas células, aumentando a utilização de gorduras.

Os mineralocorticóides (como a aldosterona) aumentam a reabsorção renal de sódio, de cloretos e de água, contribuindo para elevar a pressão arterial.

Os androgênios determinam o desenvolvimento e a manutenção de características sexuais secundárias masculinas, como o timbre mais grave de voz, a maior massa muscular e óssea, a distribuição de pêlos no corpo e a cartilagem tireóide proeminente. São características sexuais secundárias aquelas não ligadas diretamente aos órgãos da reprodução.

6. PÂNCREAS

O pâncreas é uma glândula mista: os ácinos pancreáticos (porção exócrina) produzem suco pancreático; as ilhotas pancreáticas de Langerhans (porção endócrina) produzem a insulina, o glucagon e a somatostatina.

A glicose é o principal combustível das células, usada nos processos intracelulares de obtenção de energia (figura 5).

O glucagon ativa uma enzima que fraciona as moléculas de glicogênio do fígado em moléculas de glicose, que passam para o sangue, elevando a glicemia; atua, também, na mobilização de ácidos graxos para a circulação. A produção de glucagon aumenta quando a glicemia diminui.

A insulina aumenta a captação da glicose pelas células; ao mesmo tempo, inibe a utilização de ácidos graxos, que se depositam no tecido adiposo. No fígado, a insulina estimula a captação da glicose plasmática e sua conversão em glicogênio, provocando diminuição da glicemia. Se a glicemia se eleva, a secreção da insulina aumenta.

Nota-se que a insulina e o glucagon exercem ações antagônicas no controle da glicemia.

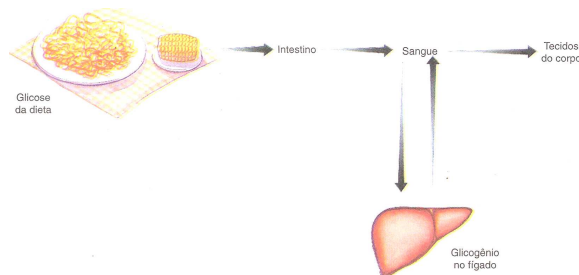


Figura 5 Ciclo da glicose pelo corpo. Sua concentração no sangue chama-se glicemia.

Diabetes melito

A deficiência de insulina é a causa básica do diabetes melito (ou *diabetes mellitus*). Como diminui a captação de glicose pelas células, a glicemia se eleva (hiperglicemia).

Nos diabéticos, parte do excesso de glicose é eliminada pela urina (glicosúria) em maior volume de água (poliúria). Conseqüentemente, o diabético sente mais sede, ingerindo mais água (polidipsia). Como as células têm dificuldade para utilizar a glicose, são então aproveitadas as reservas de ácidos graxos.

O tratamento do diabetes melito inclui dieta isenta de carboidratos de absorção rápida (mono ou dissacarídeos) e medicamentos, entre eles a própria insulina, habitualmente obtida de pâncreas de porco ou de boi e, modernamente, por Engenharia Genética.

Em 1982, com a técnica do DNA recombinante, foi produzida insulina humana, e sua comercialização foi autorizada já no ano seguinte. Os diabéticos passaram a dispor de um hormônio que, "embora sintetizado por bactérias, é virtualmente humano.

7. CONTROLE DA TEMPERATURA CORPORAL

A atividade metabólica é favorecida quando a temperatura do corpo se aproxima da temperatura ótima das enzimas. A capacidade de manter constante a temperatura corporal, propriedade chamada **homeotermia**, presente apenas em aves e mamíferos, permite a ocupação dos mais diversos ambientes. A homeotermia associa-se com mecanismos de ajuste que envolvem diversos sistemas, como o nervoso e o endócrino.

Certos animais possuem temperatura corporal que acompanha as alterações da temperatura do ambiente: se esta se eleva, o corpo esquenta; se diminui, o corpo esfria. Esses animais são **poecilotermos** e sua temperatura corporal geralmente é próxima da temperatura do ambiente. Os animais **homeotermos** têm a temperatura corporal constante, independentemente das variações da temperatura do ambiente (figura 6).

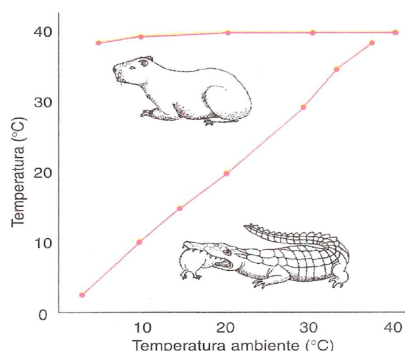


Figura 6 Relação entre temperatura ambiente e temperatura corporal em um animal homeotermo (a capivara) e em um poiquilotermo (o jacaré).

Os seres humanos e a maioria dos mamíferos mantêm a temperatura corporal em torno de 36,7 °C, enquanto as aves geralmente apresentam temperaturas próximas de 40°C.

Os animais poiquilotermos são considerados **ectotérmicos** (ou exotérmicos), porque a temperatura corporal depende principalmente do calor obtido do meio externo; os animais homeotermos são **endotérmicos**, pois sua temperatura corporal depende fundamentalmente da geração interna de calor, em seus processos metabólicos. Poiquilotermo e ectotérmico são termos usados como sinônimos; o mesmo ocorre com homeotermo e endotérmico. Embora às vezes usadas como sinônimos de poiquilotermos e homeotermos, respectivamente, as expressões "animais de sangue frio" e "animais de sangue quente" devem ser evitadas.

A manutenção da temperatura corporal adequada permitiu que os animais homeotermos ocupassem grande diversidade de ambientes, ao contrário dos animais poiquilotermos, que só vivem em faixas mais restritas de habitats.

Metabolismo e geração de calor

Na respiração celular aeróbia, menos da metade da energia da glicose é transferida para as moléculas de ATP, e o restante é dissipado na forma de calor.

Aves e mamíferos, que são homeotermos, têm pulmões com grande área de trocas gasosas e circulação dupla e completa. Dessa forma, mantêm seus tecidos ricamente oxigenados, condição necessária para a manutenção da taxa metabólica elevada.

Os homeotermos apresentam taxa metabólica alta em ambientes muito frios, gerando grande quantidade de calor, que permite manter constante a temperatura corporal. À medida que a temperatura ambiente sobe, a quantidade de calor necessária para manter a temperatura corporal diminui. Acima de certa temperatura ambiente, a taxa metabólica deixa de declinar, porque alcança o seu valor mínimo (figura 7).

Metabolismo basal é a taxa metabólica de

um animal homeotermo em repouso absoluto, num ambiente termicamente confortável.

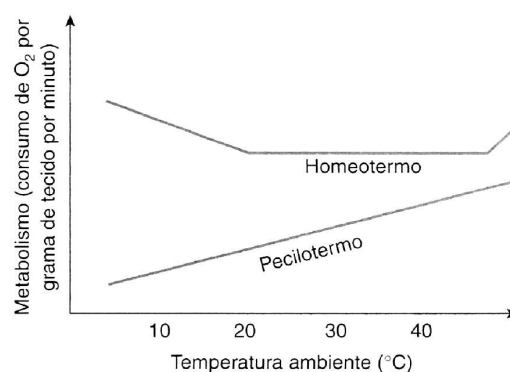


Figura 7 Para os animais homeotermos, há uma faixa de temperatura ambiental em que a manutenção da temperatura corporal exige menor trabalho metabólico.

No hipotálamo, está localizado o **centro termorregulador**, que desencadeia mecanismos de ajustes capazes de aumentar ou diminuir a geração e a dissipação de calor. Cada animal homeotermo tem uma temperatura corporal ótima, constituindo o ponto de ajuste do centro hipotalâmico. No ser humano, poucas atividades acontecem normalmente em temperaturas diferentes de 36,7 °C. Uma delas é a espermatogênese, que ocorre, nos testículos, em temperatura 1 °C a 2 °C inferior à temperatura corporal.

Mecanismos de termorregulação

Manter a temperatura corporal constante depende de equilíbrio entre a geração e a dissipação de calor. Em ambiente frio, um animal aumenta sua produção de calor e ativa mecanismos que lhe diminuem a perda; em locais quentes, a dissipação de calor aumenta e a geração diminui. Os **mecanismos inespecíficos** de controle da temperatura corporal dependem apenas de propriedades físicas das substâncias que compõem o corpo dos animais. Uma dessas substâncias é a água, que representa a maior porcentagem da massa dos animais e tem **elevado calor específico**: grande quantidade de água atua como um "amortecedor térmico", evitando grandes oscilações.

Outra substância é a gordura, principalmente a que se dispõe em uma camada sob a pele. Essa camada conduz mais calor, funcionando como **isolante térmico**, que diminui a intensidade das trocas de calor e, principalmente, da sua dissipação para o ambiente. Além disso, as gorduras são moléculas ricas em energia, e sua oxidação gera calor.

Os **mecanismos específicos** de controle da temperatura corporal, presentes apenas em aves e mamíferos, dependem do hipotálamo e das conexões existentes entre ele, outras estruturas controladoras e as estruturas efetoras.

Em locais frios, aumenta a geração e a retenção de calor nos animais homeotermos, enquanto a dissipação diminui. Respostas comportamentais, como encolher o corpo e procurar locais abrigados, contribuem para a retenção de calor. A contração das arteríolas da pele (vasoconstrição superficial) diminui a chegada de sangue à superfície do corpo. Quanto menos sangue chega à pele, menos calor é dissipado.

A contração dos músculos eretores dos pêlos (nos mamíferos) ou das penas (nas aves) causa **ericação**, que aumenta a retenção de calor porque cria, ao redor do corpo, um boi são de ar que atua como isolante térmico.

Além dos mecanismos de retenção de calor, as baixas temperaturas estimulam, também, a geração de calor por aumento do tônus dos músculos, que ficam mais tensos e chegam mesmo a tremer, aquecendo o corpo. O aumento na geração de calor pode, ainda, ser conseguido por elevação da taxa metabólica. No frio, cresce a produção de hormônios tireoidianos e de cortisol. Este aumenta a disponibilidade de ácidos graxos e de carboidratos, enquanto os hormônios tireoidianos fazem subir a taxa metabólica, incrementando a geração de calor. Com o aumento da taxa metabólica, o consumo de alimentos se eleva.

Em ambientes quentes, vestir roupas leves ou molhar o corpo são respostas comportamentais que têm o mesmo significado fisiológico: retirar calor do corpo. Em altas temperaturas, a redução da atividade e do tônus muscular reduz a geração de calor.

Alguns animais, como os cães, aumentam consideravelmente a frequência respiratória, arquejando ou ofegando (figura 8). Com isso, elevam a perda de calor pelo sistema respiratório. Ao contrário do que se pensa, os cães não transpiram pela língua.



Figura 8 O ar inspirado pelo cão tem a temperatura ambiente; o ar expirado é alguns graus mais aquecido. Essa diferença de temperatura representa perda razoável de calor.

Em ambientes quentes, a vasodilatação das arteríolas da pele aumenta a quantidade de sangue que chega até ela e a quantidade de calor que pode ser dissipado. Nesses ambientes as glândulas sudoríparas secretam mais suor. A evaporação da água do suor requer energia térmica, que é retirada do corpo, esfriando-o.

No calor, a taxa metabólica se mantém baixa, reduzindo a geração de calor. O aumento na liberação de HAD, que intensifica a reabsorção de água pelos rins, diminui o volume urinário. Com

isso, mais água é usada na transpiração

